

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Журавель Вячеслав Вікторович

УДК 656.212

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ПРИЦІЛЬНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З МЕТОЮ
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Яновський Петро Олександрович
кандидат технічних наук,
доцент

Дніпропетровськ – 2013 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК.....	11
1.1 Аналіз досвіду використання технічних засобів сортувальних гірок.....	11
1.2 Аналіз методів нормування тривалості осаджування вагонів на сортувальних коліях.....	24
1.3 Аналіз методів моделювання процесів розформування-формування составів на сортувальних гірках.....	27
1.4 Особливості розпуску составів за наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива.....	35
1.5 Висновки до розділу 1.....	39
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ-ФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ.....	41
2.1 Загальна характеристика об'єкту дослідження.....	41
2.2 Структура, послідовність та методи проведення досліджень.....	43
2.3 Аналіз показників роботи сортувальних гірок і параметрів вагонопотоків, що підлягають переробці на них.....	45
2.4 Удосконалення імітаційної моделі процесу розформування составів на сортувальній гірці з метою урахування особливих умов сортування вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива.....	48
2.5 Оцінка адекватності моделі.....	59
2.6 Аналіз впливу основних факторів на параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальній гірці.....	68
2.7 Встановлення зв'язку між основними факторами та параметрами якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальній гірці.....	74
2.8 Висновки до розділу 2.....	78

РОЗДІЛ 3 НОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПРИЦІЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ.....	80
3.1 Загальні принципи побудови регресійних моделей.....	81
3.2 Регресійні моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів з урахуванням окремих факторів.....	84
3.3 Нормування параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальній гірці.....	101
3.4 Тривалість осаджування вагонів на коліях сортувального парку та їх пошкодження під час зіткнень.....	106
3.5 Висновки до розділу 3.....	117
РОЗДІЛ 4 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК ЗА РАХУНОК ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИЦІЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІДЧЕПІВ.....	119
4.1 Аналіз витрат, які впливають на ефективність функціонування сортувальних гірок.....	119
4.2 Визначення раціональної точності прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках.....	126
4.3 Рекомендації щодо практичного впровадження результатів дослідження.....	132
4.4 Висновки до розділу 4.....	138
ВИСНОВКИ.....	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	144
ДОДАТОК А АКТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	165
ДОДАТОК Б ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ. ПАРАМЕТРИ ВАГОНОПОТОКІВ, ЩО ПЕРЕРОБЛЯЮТЬСЯ НА НИХ.....	171
ДОДАТОК В МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ....	174
В.1 Визначення тривалості виконання операцій з направлення вагонів ЗСГ на колію сортувального парку згідно з призначенням відчепа.....	174

В.2 Приклад вихідних даних та результатів імітаційного моделювання процесу розформування составів.....	197
В.3 Вибірki випадкових величин швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, та довжини «вікон», що утворюються між ними.....	203
В.4 Параметри сортувальної гірки великої потужності.....	205
ДОДАТОК Г ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ПРИЦІЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІДЧЕПІВ.....	207
ДОДАТОК Д ДАНІ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ АДЕКВАТНОСТІ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ.....	213
Д.1 Регресійні моделі, які розглянуто у дисертаційній роботі.....	213
Д.2 Регресійні моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів з урахуванням окремих факторів.....	216
Д.3 Регресійні моделі для нормування параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів у залежності від похибки їх гальмування та ухилу сортувальних колій з урахуванням параметрів вагонопотоку.....	223
Д.4 Тривалість осаджування вагонів у розрахунку на один вагон.....	229
Д.5 Можлива кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених.....	231
Д.6 Витрати, що пов'язані з розформуванням составів.....	233

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРШ	– система автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів з сортувальної гірки;
АСК	– автоматизована система керування;
Вагони ЗСГ	– вагони, які заборонено спускати з гірки без локомотива
ГАЦ	– гіркова автоматична централізація;
ГП	– гальмова позиція;
ДПБ	– дуже поганий бігун;
ДХБ	– дуже хороший бігун;
ЕМСП	– електромагнітний вагонний сповільнювач-прискорювач;
КГМ	– комплекс гірковий мікропроцесорний;
КЗК	– контроль заповнення колій;
ЛО	– людина-оператор;
ПГП	– паркова гальмова позиція;
РІЖТ	– Ростовський інститут інженерів залізничного транспорту;
РФ	– Російська Федерація;
СГ	– сортувальна гірка;
СП	– сортувальний парк;
СС	– сортувальна станція;
ТВС	– точковий вагонний сповільнювач;
ЦНІІ	– Центральний науково-дослідний інститут Міністерства шляхів сполучення СРСР.

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку економіки України актуальними задачами для залізничного транспорту є підвищення його конкурентоспроможності на ринках транспортних послуг, забезпечення безпеки маневрової роботи та термінів доставки вантажів, їх схоронності під час перевезень, впровадження ресурсозберігаючих технологій.

Якість регулювання швидкості скочування відчепів з сортувальної гірки і, насамперед, прицільного регулювання суттєво впливає на довжину «вікон», які утворюються між групами вагонів на коліях сортувального парку, та кількість операцій осаджування вагонів і, як наслідок, на тривалість виконання маневрових операцій з їх осаджування на сортувальних коліях, що певною мірою визначає час знаходження вагонів на сортувальних станціях, термін доставки вантажів, обіг і робочий парк вагонів. Крім того, точність гальмування відчепів впливає на швидкість їх підходу до вагонів, що знаходяться на коліях сортувального парку, перевищення нормованої величини якої може викликати пошкодження вагонів і вантажів.

Вагонопотоки, що переробляються на сортувальних гірках, різняться ваговою категорією вагонів, кількістю вагонів у відчепі тощо, що суттєво впливає на показники їх функціонування.

У цьому зв'язку підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок шляхом визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості скочування відчепів на основі науково обґрунтованих методів їх комплексної оцінки, що дозволяють мінімізувати витрати на розформування составів на сортувальних гірках, являє собою важливе науково-прикладне завдання. Таким чином, тема дисертації, що присвячена вирішенню даного завдання, є досить актуальною.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності до пріоритетних напрямків розвитку залізничної

галузі, які визначені у Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16. 12. 2009 р. за № 1555-р), а також пов'язана з науково-дослідними роботами, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Автоматизація проектування залізничних станцій» (державний реєстраційний номер (№ держреєстрації) 0105U001800), «Удосконалення методики оперативного управління сортувальним процесом на станціях» (№ держреєстрації 0108U000642), «Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях» (№ держреєстрації 0109U000480), «Розробка технологічного процесу Одеської залізниці» (№ держреєстрації 0108U010418), у яких автор дисертації є виконавцем та автором звітів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок шляхом визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості на основі науково обґрунтованих методів їх комплексної оцінки.

Поставлена мета досягається в результаті вирішення наступних задач:

- аналіз проблем підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок;
- аналіз показників роботи сортувальних гірок і дослідження вагонопотоків, що підлягають переробці на них;
- удосконалення імітаційної моделі процесу розформування составів поїздів на сортувальній гірці з метою урахування особливих умов сортування вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива;
- визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів;
- отримання залежностей, факторами яких є похибка гальмування відчепів та ухил сортувальних колій, які з урахуванням параметрів вагонопотоку дозволяють нормувати якісні показники прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальній гірці;
- отримання залежностей для нормування середньої тривалості осаджування на коліях сортувального парку у розрахунку на один вагон;

– удосконалення методу визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості відчепів, які дозволяють мінімізувати витрати на розформування составів на сортувальних гірках.

Об'єктом дослідження є процес розформування-формування составів на сортувальній гірці.

Предметом досліджень є взаємозв'язки конструкційних і технологічних параметрів сортувальної гірки та параметрів вагонопотоку, що переробляється на ній, з показниками прицільного регулювання швидкості скочування відчепів.

Методи дослідження. Математична статистика використана для дослідження показників роботи сортувальних гірок і вагонопотоків, що підлягають переробці на них.

Чисельні методи розв'язання диференційних рівнянь і теорія маневрової роботи використані для удосконалення імітаційної моделі процесу розформування составів поїздів на сортувальній гірці з метою урахування особливих умов сортування вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива.

Імітаційне моделювання використано для визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках.

Кореляційний аналіз використаний для встановлення зв'язку між параметрами якості прицільного регулювання швидкості відчепів та основними факторами, що на них впливають.

Математична статистика, імітаційне моделювання, регресійний аналіз та планування експериментів використані для нормування параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках.

Математична статистика, теорія маневрової роботи, регресійний аналіз використані під час нормування середньої тривалості осаджування на коліях сортувального парку у розрахунку на один вагон та можливої кількості пошкоджених вагонів на 1000 перероблених.

Методи економіко-математичного моделювання та техніко-економічного аналізу використані для визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості скочування відчепів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні актуального науково-прикладного завдання підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок шляхом визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, для чого у дисертаційній роботі:

- вперше отримано залежності параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках, факторами яких є похибка гальмування відчепів і ухил сортувальних колій, що дозволяють нормувати тривалість виконання маневрових операцій у сортувальних парках станцій;

- удосконалено метод визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості відчепів, що, на відміну від існуючих, дозволяє встановити точність прицільного регулювання та ухил сортувальних колій, за яких мінімізуються загальні витрати на розформування составів на сортувальних гірках;

- удосконалено математичну модель процесу розформування составів поїздів на сортувальній гірці, яка, на відміну від існуючих, дозволяє врахувати особливі умови розпуску составів за наявності вагонів, що заборонено спускати з гірки без локомотива.

Практичне значення отриманих результатів. Основні результати дисертаційної роботи прийняті до впровадження в службі перевезень, у відділах перевезень та на технічних станціях Придніпровської залізниці, на сортувальних станціях Одеської залізниці. Результати роботи використовуються в учбовому процесі при підготовці спеціалістів та магістрів спеціальності 7.07010102 (8.07010102) «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті» ДНУЗТу в дисциплінах «Залізничні станції та вузли» та «Управління експлуатаційною роботою».

Наукові положення, висновки та рекомендації, а також розроблені моделі та методи можуть бути використані в системах підтримки прийняття рішень для оцінки варіантів удосконалення конструкції, технології роботи та системи керування сортувальних гірок, а також для прогнозування показників їх функціонування за

різного рівня технічного оснащення, профілю сортувальних колій та структури вагонопотоку.

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 [49, 50, 51, 53, 54] опубліковані без співавторів. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: у статті [52] автором визначено вплив похибки гальмування відчепів на показники роботи сортувальної гірки та отримано регресійні моделі для їх розрахунку; у статті [55] автором отримано регресійні моделі для визначення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів на коліях сортувального парку, довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон, тривалості осаджування у розрахунку на один вагон та можливої кількості пошкоджених вагонів на 1000 перероблених у залежності від похибки гальмування та ухилу сортувальних колій з урахуванням параметрів вагонопотоку, що переробляється на гірці.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на Міждержавній науково-методичній конференції «Комп'ютерне моделювання» (Дніпродзержинськ, Дніпродзержинський державний технічний університет, 2000 р.); на IV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Київ, ДЕТУТ, 2008 р.); на VII Міжнародній науковій конференції «Проблеми економіки транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008); на Всероссийской научно-технической конференции «Транспорт, наука, бизнес: проблемы и стратегия развития» (Екатеринбург, УрГУПС, 2008); на 68-й, 70-й, 71-й та 72-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008, 2010, 2011 і 2012 рр.); на II-й та III-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Інтеграція України в міжнародну транспортну систему» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2010, 2011 рр.); на наукових семінарах кафедри «Станції і вузли» ДНУЗТ 2006 - 2011 рр. У повному обсязі дисертація доповідалась і була

схвалена у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на міжкафедральному науковому семінарі (2012 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 20 наукових праць, з них 7 наукових статей у фахових виданнях, затверджених ВАК України, та 13 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і п'яти додатків. Повний обсяг роботи складає 239 сторінок; з них основний текст на 139 сторінках, 8 рисунків на 4 сторінках, список використаних джерел зі 198 найменувань на 21 сторінці, додатки на 75 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

Необхідність інтеграції залізниць України до європейської транспортної системи висуває якісно нові вимоги щодо рівня послуг з перевезення вантажів і пасажирів. З цієї метою Стратегією розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р. [157] передбачений ряд заходів, які спрямовано на приведення оснащення залізниць у відповідність до нових умов роботи. У наш час залізничний транспорт функціонує в умовах жорсткої конкуренції з іншими видами транспорту. В зв'язку з цим проблема підвищення якості послуг є вкрай важливою [151]. Рівень конкурентоспроможності залізниць на ринку транспортних послуг у значній мірі залежить від якості роботи залізничних станцій, які є одним з головних елементів транспортної інфраструктури країни.

Мережа залізниць України налічує майже 22000 км експлуатаційної довжини, на якій розташовано 1644 станції [192], у тому числі 36 сортувальних. Ці станції, враховуючи їх провідну роль в організації вантажопотоків, є найбільш технічно розвиненими, всі вони оснащені сортувальними гірками (СГ). Разом з тим рівень механізації СГ є недостатнім: лише близько 50 % з них оснащено засобами механізації;

30 % оснащено комплексними системами механізації з трьома гальмовими позиціями (ГП); 22 % – з елементами автоматизації.

1.1 Аналіз досвіду використання технічних засобів сортувальних гірок

Для забезпечення сортувального процесу на станціях використовують сортувальні пристрої, кількість яких на мережі залізниць нашої країни [73] дорівнює 177, з них

СГ: механізованих – 36, немеханізованих – 11, малої потужності – 97; витяжних колій: на ухилі – 22, профільованих – 11.

1.1.1 Пристрої регулювання швидкості скочування відчепів, які використовуються на залізницях України та світу

СГ підвищеної, великої та середньої потужності (за виключенням СГ станції Кривий Ріг-Сортувальний) оснащені механізованими ГП на спускній частині [10]. П'ять СГ малої потужності обладнані однією немеханізованою ГП з башмачним регулюванням швидкості скочування відчепів на спускній частині, а решта – не мають ГП на спускній частині та обладнані немеханізованими парковими ГП (ПГП). Немеханізовані ПГП також встановлено на п'яти СГ великої та десяти СГ середньої потужності. Обладнання ГП башмакоскидачами здійснюється згідно з вимогами [124]. У 70-х роках ХХ сторіччя відбувалися випробування башмаконакладачів системи інженера Пачеса [191], які не знайшли свого подальшого використання.

У цілому, сортувальні станції (СС) та СГ забезпечують необхідні обсяги переробки вагонів. Однак, аналіз їх оснащення вказує на значне зношення технічних засобів, зокрема пристроїв регулювання швидкості скочування відчепів. Сьогодні на СГ мережі [73] в експлуатації знаходяться 1098 вагонних уповільнювачів сімох типів, а саме: КВ-2 – 1%, КВ-3 – 16 %, РНЗ-2 – 63 %, Т-50 – 8 %, ВЗПГ – 2 %, НК-114 – 3 %, КНП-5 – 7 %. Переважна їх більшість, за винятком ВЗПГ і НК-114, є морально застарілими з підвищеним енергоспоживанням і трудомісткістю обслуговування. А сповільнювачі КВ-2 і Т-50 зняті з виробництва, запасні частини до них не випускають.

На спускній частині найважливіших СГ мережі залізниць Російської Федерації (РФ) рекомендовано використовувати [67] балкові вагонні сповільнювачі типу КЗ-5, на ПГП у кривих ділянках – три сповільнювачі типу РНЗ-2М, на прямих ділянках – довгошинні поодинокі сповільнювачі типу КНЗ-5 з пневмокамерами, які забезпечують більш плавне та надійне гальмування вагонів [177]. Також на СГ використовуються вагонні сповільнювачі типу КЗ-3, КВ-3, КНП-5 і ВЗПГ. На СГ

малої потужності [65] раціональним є застосування енергонезалежних балкових сповільнювачів пружинно-гідравлічного типу, таких як ПГЗ. Подібні пристрої експлуатуються на СГ Чехії (станція Прага-Вршовице) та Словаччини (станції Кошице та Чієрна-над-Тісоу).

Ефективність гальмування відчепів для сповільнювачів РНЗ-2М [188] залежить від розміщення колісних пар у їх шинах і може змінюватися в декілька разів. Враховуючи, що в кожного із трьох сповільнювачів різний технічний стан і вони по-різному відрегульовані, то від їх однакових за тривалістю впливів на відчеп можуть бути малопередбачувані наслідки. Сукупна інерційність розгальмовування доходить в окремих випадках до 2,5-3,0 с.

Результати досліджень [120] показали, що навіть невеликий дощ знижує гальмову потужність натискного сповільнювача на 10 %, а за вологості 100 % гальмова потужність кліщоподібних уповільнювачів знижується приблизно на 32,5 %. Влучення в пару тертя вологи знижує ефективність гальмування на 15-20 %. Тільки на закритих СГ можуть надійно працювати такі засоби механізації сортувального процесу, як вагоноосаджувачі та вагонні сповільнювачі малої потужності.

Неточне регулювання керуючих апаратів [185] мають 30 % уповільнювачів на І і ІІ ГП і 50 % – на ПГП. При цьому, річні втрати на всіх гірках РФ становлять 38 млн. м³ нормального повітря.

Крім відомих кліщоподібно-натискних і кліщоподібно-вагових уповільнювачів застосовують сповільнювачі з іншими принципами гальмування. Так [15], на розташованих неподалік від житлових зон СГ використовують рейки з гумовим покриттям. Гальмові засоби на постійних магнітах є найбільш ефективними у разі високих (понад 20 км/год) швидкостей руху відчепів. В Європі поширені також гідравлічні спіральні сповільнювачі, під час проходження вагона по якому гребінь колеса взаємодіє зі спіральним виступом циліндра. Для гальмування в парковій зоні на СГ встановлюються точкові вагонні сповільнювачі (ТВС), які забезпечують квазінеперервне регулювання швидкості. Найбільше визнання одержали гідравлічні поршневі сповільнювачі, гальмовий вплив яких виникає у разі наїзду гребеня колеса

вагона на поршень сповільнювача, що закріплений на шийці рейки. ТВС розповсюджені [195, 196, 66] на гірках Англії, США, Німеччини, Швейцарії, Угорщини, де застосовують два типи таких пристроїв – газонаповнені Dowty (Великобританія) та Tissen (Німеччина) з тарілчастими пружинами. На СГ Китаю застосовують газонаповнені сповільнювачі T-DW. Як правило, на кожній підгірковій колії встановлюється 800-1200 ТВС.

Квазінеперервне регулювання швидкості відчепів з використанням ТВС поліпшує якість сортувального процесу, підвищує схоронність рухомого складу та вантажів. Однак на практиці [66] їх застосування має певні недоліки: 1) для ефективної роботи ТВС потрібні підгіркові колії з суцільним ухилом не менш ніж 1,5 ‰; 2) зниження темпу розпуску составів і збільшення витрат енергії під час виконання маневрових операцій (ТВС утворюють гальмовий ефект у разі перевищення граничних швидкостей незалежно від напрямку руху – з СГ або на СГ); 3) застосування ТВС потребує зміни технології роботи СГ для значного зменшення обсягів маневрових пересувань локомотивів (з вагонами чи без них) гірковими та парковими коліями; 4) значна вартість ТВС (300-400 доларів за одиницю); 5) використання вартісного устаткування для технічного обслуговування ТВС; 6) у разі неможливості організації необхідного технічного обслуговування ТВС швидко виходять із ладу, а для відновлення їх працездатності необхідно виконувати капітальний ремонт, вартість якого може становити 50-70 % і більше від первісної вартості виробу.

На СГ у парковій зоні можуть встановлюватися гідравлічні прискорювачі [115], які працюють, якщо швидкість відчепа є нижчою за встановлену межу, та вагоноосаджувачі [114], які у разі необхідності доводять відчеп до вагонів, що стоять на колії.

У 60-80-х роках ХХ сторіччя в СРСР з'являються розробки прискорювачів-уповільнювачів [163], прискорювачів [8] та осаджувачів вагонів, ефективність використання на сортувальних коліях яких встановлено у роботах [89, 95, 7, 34], але з різних причин ці пристрої не знайшли використання на мережі залізниць. У наш час відновилося певна зацікавленість у створенні таких пристроїв. Так, у роботі [97]

наведено конструкцію та принцип дії електромеханічного прискорювача-сповільнювача, ефективність використання якого встановлено у роботі [176].

Застосування на спускній частині СГ потужних сповільнювачів [107] має ряд недоліків, серед яких – значні витрати електроенергії, велика інерційність, неможливість встановлення в кривих тощо. Рішенням даної проблеми [109] може бути застосування ланцюга малопотужних сповільнювачів (РНЗ-2, РНЗ-2М, ЗВУ), які мають кращі техніко-експлуатаційні показники у порівнянні з потужними. Реалізація даної ідеї можлива шляхом розробки нових гіркових горловин [36].

До перспективних [149, 150, 128] можна віднести електромагнітні (електродинамічні) вагонні сповільнювачі або електромагнітні вагонні сповільнювачі-прискорювачі (ЕМСП). Їх робота може бути порівняно легко автоматизована, а регулювання не потребує високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Але ЕМСП притаманні інерційність та перекося колісної пари. Все це призводить до появи похибки під час реалізації тягового зусилля. Електромагнітний сповільнювач [102] також має недоліки: утруднення отримання збалансованих зусиль, що прикладаються до шин гальмових балок; ослаблення магнітного поля в зазорі між шинами і, як наслідок, сил тертя, які впливають на колесо вагона.

Виконаний аналіз свідчить про те, що концепція інтервально-прицільного регулювання швидкості відчепів через певні недоліки повністю не виключає збої в роботі СГ, пошкодження вагонів і вантажів, що перевозяться. Це пов'язано з інерційністю та нестабільністю гальмових характеристик уповільнювачів, незадовільним станом поздовжніх профілів колій, помилками в роботі гіркових операторів і автоматизованих систем керування (АСК) через неповне врахування факторів, що впливають на процес розпуску составів. Незважаючи на відзначені недоліки, системи інтервально-прицільного регулювання одержали домінуюче поширення на залізницях світу.

1.1.2 Системи автоматизації сортувального процесу

АСК, які використовувалися й використовуються дотепер на СГ, розв'язують певні завдання керування розпуском составів.

Однією з таких систем [130] є гіркова автоматична централізація (ГАЦ) розроблена у Центральному науково-дослідному інституті Міністерства шляхів сполучення СРСР (ЦНІІ) – ГАЦ ЦНІІ, яка реалізує функцію керування маршрутами руху, для чого вона має підсистеми, що забезпечують, планують і здійснюють керівний вплив на об'єкти управління. На основі ГАЦ ЦНІІ було розроблено систему ГАЦ КР, яка додатково реалізує функцію керування маршрутами руху з одночасним контролем процесу розпуску. АСК маршрутами руху (АСК МР), на відміну від попередніх ГАЦ, розроблялася як виконавча та контрольна підсистема АСК СС. У цілому набір її функцій [59] сформовано, виходячи з необхідності автоматизації циклу керування технологічним процесом, починаючи з моменту надходження вагонів на колію насуву до постановки їх у сформований состав у підгірковому парку з видачею контрольної інформації до АСК СС.

Впровадження системи автоматичного завдання швидкості розпуску АЗІР ЦНІІ забезпечило можливість застосування змінної швидкості розпуску состава, що дозволяє збільшити пропускну спроможність СГ [59]. Ця система є додатковою до діючих і функціонує разом з ГАЦ КР або іншими системами.

Найбільш складним завданням керування є автоматичне регулювання швидкостей скочування відчепів. Алгоритми інтервального гальмування перших систем автоматичного регулювання швидкості (АРШ) скочування відчепів з сортувальної гірки АРШ ГТСС [168] і АРШ ЦНІІ [172, 173] мали за мету забезпечення однакової тривалості скочування відчепів, за якої між ними повинні створюватися інтервали достатні для переведення розділових стрілок на спускній частині СГ. Проте, враховуючи випадкові коливання ходових властивостей відчепів і похибки реалізації заданих швидкостей виходу, для окремих сполучень відчепів умови розділення не виконуються. Швидкість виходу відчепа з ПГП визначається у залежності від даних про його питомий ходовий опір і дальність пробігу до вагонів, які стоять на сортувальних коліях. Значне скорочення кількості нерозділень відчепів на спускній

частині [147] забезпечує застосування алгоритму, у якому швидкість виходу з І ГП визначається за ваговою категорією, а з ІІ ГП – за умов інтервального регулювання з урахуванням гальмування на ПГП. У роботі [169] встановлено, що частота втручання гіркових операторів у роботу систем АРШ є суттєвою, особливо під час руху відчепів у зоні дії ІІ ГП (40-60 %).

З урахуванням існуючих систем пізніше було розроблено АСК процесом розформування составів на гірці (АСК РСГ). Ця система [129, 81] здійснює регулювання швидкості насуву та руху відчепів, керування маршрутами і обмін інформацією з АСК СС. У ній прийнято двоетапний підхід до управління процесом розпуску составів. На етапі оптимізаційного управління з використанням імітаційного моделювання визначаються оптимальні режими скочування відчепів для конкретної СГ, які надалі представляються регресійними рівняннями. На етапі оперативного управління процесом розпуску конкретного составу за допомогою отриманих рівнянь визначаються оптимальні чисельні значення швидкості виходу відчепів з ГП і швидкості розпуску составу в моменти відриву від нього відчепа. Перевагами АСК РСГ [182] є підвищення надійності та живучості, покращення якості управління розпуском, підвищення ефективності розробки, впровадження та експлуатації системи. У [166] наведено аналіз вимог до точності гальмування відчепів і визначення їх ходового опору, ефективності влаштування ділянок вимірювання ходового опору перед ПГП та розташування на коліях додаткових прицільних ГП, оптимізації ухилу сортувальних колій і довжин ділянок контролю заповнення колій (КЗК). У [57] надано рекомендації про використання в АСК РСГ методу комбінованого управління гальмуванням з введенням похідної до закону регулювання, як найбільш ефективного.

Комплекс гірковий мікропроцесорний розроблений у Ростовському інституті інженерів залізничного транспорту (КГМ РІЖТ) призначений для автоматизації технологічних процесів розформування составів на СГ шляхом автоматичного керування маршрутами скочування та регулювання швидкості руху відчепів на ГП [2, 84]. У плануючій підсистемі реалізовані такі функції: формування програми розпуску; розрахунок результатів умовного розпуску составів; навчання комплексу

на зовнішньому системному рівні; попередній розрахунок процесу керування маршрутами руху; оперативна корекція режимів керування й адаптація моделей у реальному часі тощо. У керівній підсистемі реалізовані такі функції: контроль за черговістю та правильністю розчеплення; коригування програми розпуску; спостереження за відчепами та визначення їх маршрутів; трансляція завдань. Таким чином, КГМ РІЖТ є системою, що адаптується та виконує коригування процесу скочування відчепа в реальному масштабі часу. Порівняння КГМ РІЖТ із розглянутими вище системами свідчить про значне розширення функціональних можливостей системи розформування составів. У 1991 р. [139] на станції Пенза-3 було впроваджено КГМ-04 з покращеною версією автоматичного гальмування.

Аналіз чинників, які впливають на похибки гальмування відцепів і визначають якість управління сповільнювачами ГП, [165] дозволив встановити, що точність гальмування залежить від параметрів самих сповільнювачів, пристроїв автоматики та прийнятих алгоритмів управління.

Відповідно до методики, яку наведено в [98], виконано дослідження технологій регулювання швидкості руху відцепів на спускній частині СГ великої потужності [101]. До аналізу приймалися такі алгоритми регулювання швидкості – АРШ ГТСС, КГМ РІЖТ, методика інтервального регулювання та методика постійних швидкостей виходу відцепів з ГП [99]. Отримані результати показали необхідність продовження досліджень з оптимізації та розробки нових технологічних процесів регулювання швидкості руху відцепів на сортувальних СГ з системами АРШ.

Істотне зменшення впливу невизначеності на якість управління та компенсацію у певній мірі недостатності апіорної інформації про керований процес на стадії проектування може забезпечити запропонований у роботі [131] принцип адаптації, який дозволить створити ефект пристосування до умов, що змінюються. В [74] розроблено математичний апарат адаптивної системи управління розпуском, яка здатна коригувати параметри об'єктів і управляючі дії в процесі функціонування. Оптимізація управління при заданій програмі розпуску составу здійснюється за комплексним критерієм мінімізації тривалості розпуску та

енергетичних витрат на гальмування відчепів. В [75] викладено спосіб ідентифікації в процесі адаптивного управління роботою системи розформовування составів, використання якого дозволить зменшити енерговитрати та підвищити безпеку її функціонування.

У роботі [184] розроблено принципи побудови АСК СС, згідно з якими до її складу повинні входити ряд локальних підсистем. У підсистемах розформування составів на СГ необхідно враховувати стохастичний характер технологічного процесу та перешкод у каналах вимірювання, нестаціонарність потоку відчепів. Як показали дослідження, ці явища можуть бути в достатньому обсязі враховані шляхом використання імітаційної моделі в контурі управління.

Наслідуює функції КГМ РПЖТ система КГМ ПК з використанням промислових комп'ютерів [178], яка забезпечує автоматичне керування процесом розформування составів на СГ, регулювання швидкостей руху відчепів, діагностування та протоколювання стану всіх виконавчих і контрольних пристроїв СГ, ведення інформаційного обміну з АСК СС й іншими системами.

У роботі [113] наведено методику виміру та прогнозування ходових властивостей відчепів і керування на їх основі прицільним гальмуванням на ПГП з використанням систем, що адаптуються до зміни умов розпуску на основі статистичної обробки даних про результати вимірів ходових властивостей попередніх відчепів. Однак і використання даного методу [118] не дає позитивних результатів у керуванні ПГП, тому що система погано адаптується до обстановки, яка швидко змінюється, та не здатна на достатньому рівні враховувати конкретні ситуації у поводженні відчепів.

У останні роки на залізницях РФ розроблено комплексну систему автоматизації керування сортувальним процесом (КСАК СП) на базі підсистем мікропроцесорної гіркової автоматизації [62, 140, 38, 170]. Підсистема ГАЦ з контролем маневрів і накопичення вагонів у сортувальному парку (ГАЦ МН) автоматично контролює показання сигналів обладнання для реалізації функцій управління маршрутами відчепів і контролю їх накопичення на підгіркових коліях. Підсистема АРШ (АРШ-МП) забезпечує розрахунок моделей скочування та режими

гальмування відчепів до заданої швидкості виходу, реалізуючи їх адаптивне регулювання.

На залізницях РФ для розв'язання задачі автоматизованого регулювання швидкостей скочування відчепів на сповільнювачах I, II і III ГП [155, 179] у системі АРШ і управління прицільним гальмуванням (АРШ-УПГ) моделюється рух відчепів на спускній частині СГ і на коліях сортувального парку (СП) в зоні дії апаратури КЗК. Вага вагона вимірюється пристроями вимірювальних ділянок, які знаходяться на кожній колії розпуску, а швидкості відчепів на ГП – вимірювачами швидкості РІС-ВЗМ. Між ГП швидкості розраховуються з використанням моделі (з урахуванням ваги та характеристик відчепів) і коригуються в момент проходження відчепами датчиків підрахунку осей. Для обліку впливу на скочування відчепів навколишнього середовища на СГ встановлена метеостанція. Крім прямого вимірювання параметрів відчепів, розраховуються їх ходові властивості на основі результатів руху по контрольних ділянках гірки, які використовуються під час моделювання та у розрахунку швидкостей виходу з ГП.

До складу автоматизованого пристрою механізації СГ малої потужності на станціях РФ [65], крім автоматизованого робочого місця гіркового оператора, входять секції сповільнювачів типу ПГЗ, розташовані на ГП, радіолокаційний вимірювач швидкості РІС-ВЗ і лічильники осей УСО, які дозволяють реалізувати ручний і директивний режим управління, а у разі додаткового обладнання гірки вимірювачем ваги та КЗК – автоматичний режим управління гальмуванням.

На станції Мінськ-Сортувальний (Республіка Білорусь) прийнято до впровадження [83] систему АРШ ГТСС, яка відповідає таким вимогам: необхідність і достатність для рішення поставлених завдань, можливість нарощування функціональної потужності, надійність, низькі витрати на освоєння, короткі строки впровадження, можливість адаптації системи у разі зміни устаткування, ремонтпридатність і технічний супровід, наявність розвинених засобів діагностики тощо.

Системи гіркової автоматики, які впроваджено на СГ ряду станцій Європи та Америки [198, 193, 197, 194, 138], мають функції автоматизованого управління

процесом розпуску составів, аналогічні тим, що використовуються на вітчизняних СГ.

Виконаний аналіз свідчить про те, що до теперішнього часу задача створення автоматизованої системи управління технологічними процесами на СГ, яка б забезпечувала необхідну якість процесу розформовування, до кінця не вирішена.

1.1.3 Проблеми якості регулювання швидкості скочування відчепів

Однією з причин низької якості регулювання є похибки швидкості виходу відчепів з ГП [1]. Загальна похибка швидкості виходу $\Delta v_{\text{вих}}$ складається з похибки завдання Δv_z і похибки реалізації завдання Δv_p .

$$\Delta v_{\text{вих}} = \Delta v_z + \Delta v_p.$$

Похибка реалізації може бути отримана безпосередньо з експериментальних даних – $\Delta v_p = v_{\text{ф}} - v_z$, де $v_{\text{ф}}$, v_z – відповідно фактична та задана швидкості виходу відчепів з ГП. Величину похибки завдання швидкості можна визначити як $\Delta v_z = v_z - v'_z$, де v'_z – необхідна швидкість виходу з ГП, за якої відчеп мав би швидкість у точці прицілювання 1,4 м/с (5 км/год). Причинами даної похибки є помилки в оцінці ходових властивостей відчепів, яка виконується за їх ваговою категорією, а також недостатньо точна інформація про ухили сортувальних колій, дальність скочування відчепів тощо.

Якість прицільного регулювання можуть характеризувати [1] швидкості зіткнення вагонів на сортувальних коліях і довжини «вікон» між окремими відчепами.

Вся множина швидкостей зіткнення відчепів у будь-якому місці сортувальної колії [162] враховується величиною середнього значення швидкостей, якому відповідає центр тяжіння площини, що обмежена кривою розподілу швидкостей та додатними напрямками координат квадратів швидкостей і шляху. Закон розподілу

квадратів швидкостей у розрахунковій точці є нормальним, математичному очікуванню якого відповідає квадрат розрахункової швидкості зіткнення.

У роботі [133] встановлено, що результуюча похибка квадрата швидкості підходу відчепів до розрахункової точки Δv^2 у модернізованій системі АРШ ЦНП складає $9,0 (\text{м/с})^2$. Встановлено, що за ухилу сортувальних колій 1 ‰ довжина «вікна» у розрахунку на один чотиривісний вагон складатиме 9,6 м, а середня швидкість зіткнення досягатиме 1,7 м/с (6,1 км/год).

Властивості сповільнювачів [134] у комплексі з властивостями системи їх управління впливають не лише на точність реалізації швидкості виходу відчепів з ГП, але й на швидкості зіткнення відчепів і довжину «вікон» на підгіркових коліях. Одним з основних факторів, що впливає на показники сортувальної роботи, є величина відхилення фактичної швидкості виходу відчепів від потрібної, яка залежить від характеристик сповільнювачів, алгоритму управління ними та точності його реалізації.

У роботі [118] зазначено, що відсоток відчепів, результати керування якими на ПГП не відповідають заданим нормам, наближається до 80 %, і зроблено припущення, що навіть за самих досконалих методів вимірювання й обчислень результат керування ПГП буде хоча й кращим, ніж зараз, але бажаного результату щодо якісного гальмування відчепів досягнуто не буде.

На сортувальних гірках [120] пошкоджується приблизно 5 вагонів з тисячі розформованих. Під час сортування [146] одночасно з вагоном пошкоджується й вантаж, тому загальні матеріальні збитки є досить суттєвими. Як встановлено дослідженнями, пошкодження під час розформування составів відбуваються, в основному, внаслідок зіткнення вагонів з перевищенням нормованої швидкості (5 км/год). Майже 75 % загальної кількості пошкоджень вагонів відбувається за високих швидкостей зіткнення через зсув вантажів і порушення його кріплення.

На залізницях України у 2010 р. [187] для виконання поточного ремонту внаслідок перевищення швидкості зіткнення на сортувальних коліях було направлено біля 29 тис. вагонів. На залізницях РФ у 2011 р. [77] зіткнення на підгіркових коліях зі швидкістю понад 5 км/год. призвело майже у 7 тис. вагонів не

лише до передчасного виходу з ладу автозчіпного пристрою, але й до більш серйозних наслідків. Також після розпуску вагонів на сортувальних гірках [77] виявлено 9,2 тис. вагонів з однобічними повзунами.

1.1.4 Проблеми визначення ефективності функціонування сортувальних гірок

Визначення раціональної конструкції СГ, її технічних параметрів і технології роботи є одним зі шляхів підвищення ефективності її функціонування. При цьому, у наукових роботах за критерій ефективності використано різні показники.

У якості показників, що характеризують ефективність функціонування СГ, у роботах [148, 87, 94, 133, 91, 145, 27, 20, 19, 112] розглянуто швидкість зіткнення відчепів на коліях СП та «вікна», які утворюються між вагонами, що знаходяться на них. Зазначені показники залежать від висоти СГ, ухилу сортувальних колій, точності реалізації заданих швидкостей виходу відчепів з ПГП, а також відповідності вихідних даних, на підставі яких визначається дальність скочування відчепів. У роботах [127, 1] запропоновано додатково використовувати середню швидкість розпуску, ймовірність того, що швидкість зіткнення відчепів на сортувальних коліях не перевищить допустиме значення, і ймовірність нерозділення відчепів на стрілках спускної частини СГ.

У роботі [110] у якості критерію оптимізації поздовжнього профілю спускної частини СГ запропоновано прийняти потужність ПГП, тому що якість управління її роботою суттєво впливає на неперервність і темп процесу розформовування, величину швидкостей зіткнення відчепів і «вікон» на сортувальних коліях.

У роботах [28, 29, 117] у якості критерію оптимізації профілю головної частини СГ використано максимальну розрахункову швидкість розпуску. Умовою оптимізації є однакові розрахункові швидкості розпуску для обмежуючих розділових елементів – першої розділової стрілки та сповільнювачів І ГП.

У роботах [13, 14, 100] головними критеріями ефективності для СГ обрано енерго- та матеріалоємність, а також інтегральний мультиплікативний показник, що визначає витрати енергії та матеріальних ресурсів на один перероблений вагон. Оптимізацію параметрів СГ запропоновано проводити на підставі енергоентропійного підходу з представленням СГ як будівельного об'єкту, а системи управління – з позиції логістичних систем. Як основний критерій оптимізації параметрів СГ і управління процесом розформовування прийнято економічну ефективність, яка залежить від технічного оснащення, типу СГ, принципу регулювання швидкості та способу апроксимації поздовжнього профілю.

Процес розформування составів на СГ у роботі [121] запропоновано характеризувати ймовірністю: входу відцепів на ГП зі швидкістю, що не перевищує допустиму; зупинки відцепів наприкінці пучкової ГП за повного використання потужності II ГП і розрахункової потужності I ГП; успішного поділу відцепів на розділових стрілках; докочування відцепів до розрахункової точки або до вагонів, які стоять на підгіркових коліях; зіткнення відцепів із вагонами на підгіркових коліях зі швидкістю, що не перевищує допустиму; рушання відцепів з місця після розгальмування та звільнення ними ГП у випадку їх зупинки на сповільнювачах. Одиницею [118], якою можна оцінити вплив даних показників на роботу СГ, можуть бути прийняті експлуатаційні витрати або швидкість розпуску составів. Основні положення комплексного методу розрахунку з використанням вказаних показників наведено в роботах [122, 18, 16, 123, 17, 119, 12].

У роботі [108] запропоновано для оцінки конструкції гіркових горловин використовувати комплексний показник, який враховує зведені витрати, а також показники надійності та безпеки функціонування СГ.

У роботі [39] вибір раціональної конструкції поздовжнього профілю спускної частини СГ зводиться до визначення числових значень конструктивних параметрів, що забезпечують за сприятливих метеорологічних умов і оптимального режиму регулювання швидкості скочування дуже хорошого бігуна (ДХБ) на ГП спускної частини вільне скочування дуже поганого бігуна (ДПБ), допустиму швидкість входу

ДХБ на II ГП за вимикання одного з уповільнювачів I ГП, а також ресурсозбереження – мінімальних витрат на гальмування ДХБ на ПГП.

Виконаний аналіз свідчить про відсутність загальноприйнятого критерію ефективності функціонування сортувальних гірок, що пов'язано з великою кількістю чинників, яка робить комплексне розв'язання задачі оптимізації з урахуванням усіх параметрів дуже складним.

1.2 Аналіз методів нормування тривалості осаджування вагонів на сортувальних коліях

Параметри сортувальних гірок, що розраховані за методикою, викладеною в [61, 124], не відповідають вимогам достатньої надійності. Дотепер не вдалося створити систему, яка б забезпечувала повне та якісне автоматичне керування ГП, особливо парковою. Внаслідок цього відчепи не докочуються до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях, що призводить до утворення між ними «вікон» і виконання маневрової роботи для їх ліквідації шляхом осаджування з боку СГ або підтягування з боку хвостової горловини СП.

На підставі узагальнення досвіду функціонування сортувальних гірок СРСР у роботах [111, 56] середню тривалість осаджування вагонів на сортувальних коліях у розрахунку на один состав запропоновано приймати на рівні 2-3 хв.

У роботі [171] середню тривалість осаджування вагонів локомотивом з боку СГ під час розрахунку гіркового технологічного інтервалу запропоновано визначати за формулою

$$t = a_{\Gamma} + b_{\Gamma} L_{\text{ос}},$$

де a_{Γ} – тривалість заїзду локомотива на сортувальну колію для осаджування;

b_{Γ} – тривалість осаджування та повернення локомотива після осаджування;

L_{oc} – довжина колії осаджування, яка залежить від довжини групи вагонів, що осаджується, та середньої довжини сортувальних колій.

У більш пізніх роботах під час нормування технологічних операцій процесу розформування составів на СГ середня тривалість осаджування вагонів на сортувальних коліях у розрахунку на один состав визначалася в залежності від кількості вагонів у составі поїзда m_c за виразом $t_{oc} = 0,04m_c$ [152] або $t_{oc} = 0,03m_c$ [161, 116], який надалі [135, 72] було замінено на вираз

$$t_{oc} = 0,06m_c. \quad (1.1)$$

Але, починаючи з 90-х років ХХ століття відбулися зміни у вагонопотоці, що переробляється на СГ – збільшилося середнє осьове навантаження та диференціація вагонів у відчепі за вагою, з'явилася значна кількість довгих відчепів, вагонний парк практично повністю перейшов на роликові підшипники. Крім того, вираз (1.1) не враховує особливостей конструкції та технології роботи конкретних станцій. Так, для станції:

– Дарниця Південно-Західної залізниці при $\bar{m}_c = 57$ вагонів середня тривалість осаджування вагонів у розрахунку на один состав за виразом (1.1) мала б становити $t_{oc} = 0,06 \cdot 57 = 3,42$ хв, але фактично становить: у парній системі – 7,5 хв (перевищення у 2,2 рази), у непарній – 9 хв (перевищення у 2,6 рази);

– Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці при $\bar{m}_c = 51$ вагон середня тривалість осаджування вагонів у розрахунку на один состав за виразом (1.1) мала б становити $t_{oc} = 0,06 \cdot 51 = 3,06$ хв, але фактично становить: у парній системі – 4,11 хв (перевищення у 1,3 рази), у непарній – 4,36 хв (перевищення у 1,4 рази).

Слід зазначити, що згідно нормативних документів тривалість осаджування на конкретних станціях може уточнюватися на підставі результатів хронометражних спостережень. Але далеко не на всіх станціях це виконується, і для нормування роботи СГ використовується вираз (1.1). Цим виразом користуються і зараз під час перевірки працездатності станцій [80] або наукових досліджень [78].

У роботі [104] визначено залежність тривалості переформування від складності составу та кількості рейсів переформування у разі виконання маневрів осаджуванням.

У роботі [69] для визначення тривалості осаджування вагонів запропоновано використовувати вираз

$$t = a + bm,$$

де a, b – нормативи часу на виконання півреїсів перестановки, які визначаються згідно з [135] у залежності від їх довжини;

m – кількість вагонів у маневровому составі.

Але і цей вираз, який було отримано проф. А. Н. Фроловим на підставі проведених у 1899-1901 р. досліджень [111], у певній мірі не відповідає сучасним умовам функціонування СГ.

Наведені вище методи не враховують якість прицільного регулювання швидкості скочування відчепів та параметри вагонопотоку, який переробляється на СГ, що викликає певні похибки у розрахунках. Хронометражні ж спостереження на існуючих гірках потребують певного часу, а для СГ, що проектується, взагалі неможливі.

Найбільш точно тривалість осаджування вагонів у розрахунку на один состав можна визначити з виразу [117]:

$$t_{oc} = m_c \left[2P_{oc}t_1 + 0,06l_{в\dot{и}к} \left(\frac{1}{v_{oc}} + \frac{1}{v_{л}} \right) \right], \quad (1.2)$$

де m_c – середня кількість вагонів у составі поїзда;

P_{oc} – середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон;

t_1 – тривалість півреїса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива, хв, яка визначається згідно [80];

$l_{в\dot{и}к}$ – середня довжина «вікна» на один перероблений вагон, м;

v_{oc} – швидкість осаджування, прийнято 5 км/год [64];

$v_{л}$ – швидкість руху поодинокого локомотива сортувальною колією, яка обмежується вимогами [64], км/год.

При цьому значення P_{oc} і $l_{в\dot{и}к}$ отримують за результатами імітаційного моделювання процесу розформування составів на СГ. Але таке моделювання

потребує як певних умінь та часу, так і наявності самої імітаційної моделі, що в умовах роботи технічних відділів реальних станцій є досить проблематичним.

Тому вбачається доцільним для спрощення та прискорення нормування тривалості осаджування вагонів на сортувальних коліях використання регресійних моделей або отриманих на їх підставі нормувальних таблиць.

1.3 Аналіз методів моделювання процесів розформування-формування составів на сортувальних гірках

Удосконалення управління розпуском составів повинно забезпечити вирішення різноманітних задач: недопущення пошкодження вагонів, підвищення продуктивності СГ, зменшення обсягів маневрової роботи з ліквідації «вікон», скорочення енергетичних витрат на роботу сповільнювачів, покращення умов праці робітників тощо. Під час розформування составів на СГ слід забезпечити керування швидкістю скочування відчепів. Її регулювання в більшості випадків здійснюється шляхом зосередженого гальмування на ГП. Метою керування є: 1) забезпечення необхідного інтервалу між відчепами, що скочуються, щоб запобігти нагону наступним відчепом попереднього; 2) забезпечення докочування відчепа до вагонів, які знаходяться на колії накопичення, та зіткнення з ними зі швидкістю, яка не перевищує допустиму.

Керування сповільнювачами виконується або оператором ГП (механізовані СГ), або спеціальною системою автоматичного керування сповільнювачами з можливістю втручання оператора в процес керування (автоматизовані СГ). Дослідження в області систем керування [180, 174, 60, 41, 186, 24] показують, що завдання вибору алгоритму керування не знайшло свого остаточного рішення до теперішнього часу.

У відповідності до [124] конкуруючі варіанти конструкції СГ повинні бути оцінені за допомогою імітаційного моделювання процесу розформування составів.

У роботі [106] акад. В. Н. Образцовим вперше була отримана система аналітичних виразів виду $\Delta s = f(v)$, кожен з яких є точним рішенням диференційного рівняння руху відчепа у разі певного сполучення факторів, які впливають на процес скочування. Для спрощення розрахунків у роботі [156] розроблено наближений аналітичний метод рішення рівняння руху, заснований на допущенні про постійність опору руху на деякій ділянці шляху. Загальну аналітичну модель процесу скочування відчепів було отримано у роботі [181].

Подальший розвиток аналітичні методи дослідження моделей процесу скочування отримали у зв'язку з початком використання для цих цілей ЕОМ.

Моделювання скочування окремих відчепів з СГ [93, 92, 143, 85] дало можливість отримати для них залежності $v = f(S)$ і $t = f(S)$, але використання принципу почергового моделювання скочування окремих відчепів під час імітації розпуску составу не дозволяє адекватно моделювати одночасний рух декількох відчепів, рух відчепів після їх об'єднання, проштовхування відчепів на сортувальних коліях тощо.

Принцип моделювання, який полягає у тому, що одночасно розглядається рух составу, який насувається, і всіх відчепів, які скочуються з СГ, запропоновано у [96]. Стан сортувального комплексу (СГ і СП) в кожний момент часу T характеризується n -мірними векторами координат S положень составу та відчепів, що скочуються, відносно вершини СГ і їх швидкостей v . У процесі моделювання v і тривалість скочування t кожного відчепа розглядалися як функція шляху. Безперервний процес зміни стану СГ і СП представляється у вигляді множини дискретних його станів, віддалених один від одного на достатньо малий інтервал часу Δt . Під час переходу комплексу від попереднього стану до наступного здійснюється почергове моделювання руху составу та всіх відчепів, що скочуються. Недоліком розробленого методу слід визнати недостатню точність синхронізації руху окремих відчепів.

Принцип моделювання скочування окремого відчепа, за якого швидкість відчепа та пройдений шлях розглядаються як функція тривалості його руху, тобто $v = f(t)$ і $S = f(t)$, було запропоновано в [22]. Такий підхід дозволив природним чином моделювати одночасний рух всіх відчепів, що скочуються. Під час

моделювання зроблено допущення, що ухил $i(t)$, по якому рухається центр тяжіння відчепа, та опір середовища і вітру $w_{\text{св}}(t)$ є постійними на протязі деякого інтервалу часу Δt . Процес скочування представляється як множина послідовних дискретних переміщень відчепа, які здійснюється за рівні проміжки часу Δt .

Методику імітаційного стохастичного моделювання процесу прицільного гальмування відчепів на одній сортувальній колії розроблено у роботі [141]. У моделі імітується: надходження відчепа з випадковими параметрами та швидкістю входу на ПГП; гальмування відчепа на ПГП; вільне скочування сортувальною колією; зіткнення та проштовхування відчепів на цій колії; робота регулятора ПГП; функціонування пристрою КЗК. До недоліків моделі можна віднести такі: потік відчепів складається з однотипних вагонів; довжина ГП дорівнює 0, сповільнювачі реалізують швидкість, яку задано регулятором, без помилки; ухил сортувальної колії приймається як усереднений; під час визначення швидкості входу відчепа на ПГП не враховані результати інтервального регулювання.

Модель функціонування АСУ РСГ [136] імітує роботу системи в автоматичному режимі у разі відсутності відмовлень, а також у стані відмовлення окремих модулів обчислювального комплексу, забезпечує накопичення статистичних даних для визначення показників якості та ефективності розпуску. У моделі імітується: контроль розчеплення; вимірювання ходових властивостей відчепа; управління швидкістю руху відчепа на I, II і парковій ГП; контроль виходу відчепа з ГП; управління стрілочними переводами на спускній частині СГ; вільне скочування по сортувальній колії; зіткнення та проштовхування відчепів на ній; КЗК. До недоліків моделі можна віднести такі: питомий опір руху відчепа від повітряного середовища та вітру визначається при куті обдуву $\alpha = 0^\circ$; ухил сортувальної колії приймається як усереднений; поява відчепів різних вагових категорій прийнята рівномірною.

Методика оцінки ефективності використання різних алгоритмів управління маршрутами та напільними пристроями на підставі моделювання процесу скочування відчепів по спускній частині СГ у стохастичній постановці розглядається у [183]. Функціонування алгоритму моделі здійснюється в два етапи:

1) детермінований режим – розраховуються швидкості розпуску для кожного з відчепів составу, що моделюється, а також визначаються значення швидкості виходу відчепів з I, II і III ГП (розрахунок виконується методом ітерацій до повного виключення нагонів вагонів на розділових елементах спускної частини СГ); 2) стохастичний режим – у відповідності до заданих законів розподілу генеруються випадкові значення помилки швидкостей розпуску составу, виходу відчепів з ГП, основного питомого опору руху (у зв'язку з введенням помилок у кожній реалізації розпуску виникають нагони відчепів на ізольованих ділянках розділових елементів). Недоліком моделі можна вважати відсутність розгляду руху відчепів сортувальними коліями.

На підставі накопиченого досвіду щодо функціонування автоматизованих СГ в роботі [142] виконано формалізований опис процесу розпуску составів. На його підставі побудовано імітаційну модель сортувального процесу [159, 158], у якій імітуються всі його елементи, а також робота напільного устаткування, вимірювальної апаратури та пристроїв управління розпуском. При цьому враховується стохастичний характер потоку відчепів, а також погрішності вимірювання параметрів і величин управляючих дій в процесі розпуску. В моделі використовується синхронний принцип моделювання, який передбачає використання часу як незалежної змінної. При цьому, на кожному кроці імітуються всі зміни, що відбуваються як на СГ, так і в системі управління розпуском. До недоліків моделі слід віднести такі: представлення відчепів у вигляді однорідної структури, без розділення на окремі вагони, які можуть мати різні параметри; виключення для подальшого розгляду відчепів, які зупинилися, що не дозволяє імітувати процес проштовхування вагонів на сортувальних коліях.

В імітаційній моделі, яку розглянуто у роботі [86], СГ і відчеп, що скочується, являють собою динамічну систему, яку характеризують координати стану відчепа – його положення відносно вершини СГ S , швидкість у цей момент v і тривалість його руху t . Відчеп розглядається як жорстка система, всі точки якої рухаються з однаковою швидкістю. Під час розв'язання диференційного рівняння руху відчепа прийняті наступні допущення: відчеп розглядається як система шарнірно з'єднаних

матеріальних точок, відстані між якими дорівнюють відстаням між відповідними осями (колісними парами), а маса, яка зосереджена у кожній точці, дорівнює навантаженню на відповідну вісь відчепа; результуючу силу, що безперервно змінюється, замінено на постійну величину на елементарному кроці переміщення ΔS ; поздовжній профіль представлено лінійною апроксимацією (довжина елемента – ухил елемента). Виконана у роботі перевірка дозволила встановити адекватність моделі та можливість її використання у гіркових розрахунках.

Достатньо точне аналітичне розв’язання диференційного рівняння вільного скочування відчепа з СГ наведено в [44]. Дане розв’язання отримано для руху відчепа на прямій ділянці з постійним ухилом. Розглянуто два випадки руху відчепа – за відсутності вітру та за його наявності. Для обох випадків отримано аналітичні рішення рівнянь $v(S)$, $v(t)$, $S(t)$ при $i > w_0$ і $i \leq w_0$. Як недолік наведених рівнянь можна відзначити те, що в них не враховується опір стрілок і кривих.

В імітаційній моделі, що представлена в [42], використовується часовий принцип моделювання – процес руху відчепа розглядається як процес, що складається з множини однакових часових дискрет. У процесі моделювання прийнято допущення: гальмова характеристика сповільнювача є випадковою величиною, яка розподілена за нормальним законом; у межах однієї реалізації гальмова характеристика не випадкова; протягом дискрети часу моделювання кількість осей, що гальмуються, є постійною; для управління сповільнювачем використовують виміряні значення параметрів відчепа; помилка вимірювання розподілена за нормальним законом з нульовим математичним очікуванням. Як початкові дані прийнято: тип і кількість сповільнювачів ГП; тип, маса та кількість вагонів у відчепі, що гальмується; статистичні параметри швидкості входу відчепа в ГП; задана швидкість виходу відчепа з ГП; статистичні характеристики помилки вимірювача швидкості; алгоритм управління, що використовується; необхідна кількість реалізацій. Встановлено, що найякісніше моделювання руху відчепа в ГП за різних режимів роботи сповільнювачів може бути проведено при постійному кроці квантування за часом Δt .

Математична модель руху відчепа в сповільнювачі детально описана в [45, 46], де розглянуто типову технічну структуру системи керування гальмуванням відчепа сповільнювачами ГП з ЕОМ у контурі керування. Встановлено, що система керування сповільнювачами ГП є нелінійною системою зі змінною структурою, у якій не можна зневажати стохастичністю гальмової характеристики. Дослідження таких систем є досить важким без прийняття ряду припущень. У якості одного з них [45] прийнято, що протягом часу переходу сповільнювача від одного рівня гальмування до іншого на нього не будуть подаватися керуючі впливи. За такого припущення сповільнювач можна представити у вигляді кінцевого автомата. Стан такого автомата представляє рівень гальмування. Перехід з одного стану в інший відбувається під впливом керуючого сигналу. Встановлено [46], що істотна нелінійність і стохастичність системи керування сповільнювачами ГП робить задачу забезпечення заданої точності гальмування досить складною. У сучасних системах АРШ ця задача належним чином не вирішена. Одна з причин цього полягає в спрощених алгоритмах керування сповільнювачами. Застосування ЕОМ у контурі керування дозволяє значно вдосконалити ці алгоритми й підвищити точність роботи системи керування.

Структурна оптимізація таких систем без істотних спрощень їх математичних моделей є досить складним завданням, тому у роботі [47] була виконана параметрична оптимізація при заданій структурі системи. За критерій оптимізації була обрана точність керування (мінімум середньоквадратичного відхилення σ_{vF} фактичної швидкості v_F виходу відчепа з ГП від заданої $v_{\text{зад}}$), а в якості параметрів, що оптимізуються, – параметри так званих ліній перемикання (набір коефіцієнтів для всіх значень рівнів гальмування сповільнювачів ГП). Стан об'єкта у будь-який момент часу є випадковим внаслідок недетермінованості гальмової характеристики сповільнювача та швидкості входу відчепа в ГП, тому оптимальне керування слід шукати для всіх точок допустимої області Ω простору станів. Для оптимізації параметрів налаштування даної АСК обрано дискретний варіант методу динамічного програмування. Оптимізацію виконано по кроках – квантах шляху – у напрямку, що є зворотнім до природного руху відчепа. Результати моделювання

показали, що точність роботи системи при використанні запропонованого алгоритму керування є істотно вищою, ніж при використанні відомих алгоритмів.

Метод оптимізації, що описано у [47], дозволяє визначити оптимальні значення параметрів для гальмування відчепа конкретного типу. Тим часом, на СГ гальмуванню підлягають відчепа різних типів. Параметри налаштування регулятора можна розраховувати в системі в реальному масштабі часу, але цей метод вимагає надзвичайно потужного обчислювального пристрою. Тому у [48] розроблено методику позасистемних розрахунків налаштування регулятора для відчепів різних типів. З використанням імітаційної моделі знайдені коефіцієнти поліномів, які зв'язують параметри налаштування регулятора з показником класу об'єкта (його масою).

У більшості відомих систем прицільного гальмування колії накопичення розділяються на ділянки фіксованої довжини (25-50 м) і за точку прицілювання задається номер такої ділянки [174, 167]. Для того, щоб швидкість зіткнення була в допустимих межах, необхідно забезпечити виконання наступних умов: 1) найгірший бігун (з $W_{\Sigma} = W_{\max}$) має добігти до найдалшої точки $l_{\text{п}} = l_{\max}$ з діапазону довжин пробігу, де W_{Σ} – загальний опір руху відчепа; 2) найкращий бігун (з $W_{\Sigma} = W_{\min}$) має добігти до найближчої точки $l_{\text{п}} = l_{\min}$ з діапазону довжин пробігу зі швидкістю $v_{\text{п}}$, що не перевищує максимально допустиму швидкість зіткнення $v_{\text{п. доп.}}$. Оцінкою можливості спільного виконання цих умов є залежність ймовірності утворення «вікон» і перевищення швидкості зіткнення від швидкості v_0 при заданих діапазонах W_{Σ} і $l_{\text{п}}$ та заданому профілі сортувальних колій i . Визначити ймовірність утворення «вікна» і ймовірність перевищення швидкості безпечного зіткнення можна за наведеним у роботі [43] законом розподілу.

У роботі [26] розглядається імітаційна модель процесу розпуску составів, яка призначена для використання в ергатичних моделях СГ. Розпуск состава являє собою складний динамічний процес із безперервним часом. У зазначеному процесі беруть участь СГ, состав, що розформовується, та відчепа, що скочуються, стан яких описується диференціальними рівняннями й алгебраїчними виразами. Для

імітації процесу розпуску розроблено моделі СГ, состава та відчепа, а також методика визначення стану системи в дискретні моменти часу $t_0, t_1, \dots, t_i = t_{i-1} + \Delta t$.

Розроблений на підставі паливно-енергетичної моделі СГ програмний продукт TEMSorting [30] дозволяє перед розпуском составів обрати оптимальний режим роботи локомотива (з найменшими витратами часу та енергоресурсів), а потім надати рекомендації машиністу. TEMSorting надає можливість проводити вибір гіркового локомотива як за енергозберігаючими факторами, так і за необхідною потужністю для кожної СГ. У роботі [164] отримано залежності витрат палива маневровим локомотивом від довжини та композиції составів за різних варіантів поздовжнього профілю насувної частини з використанням математичної моделі насуву та розпуску составів, як моделі динамічного програмування [37].

У роботах [31, 132] формалізовано математичну модель для реалізації ресурсозберігаючої технології при проведенні маневрів.

Виконані у [68] експерименти дозволили зробити такі висновки: 1) основним фактором, який впливає на величину інтервалів на розділових стрілках, є довжина відчепу; 2) суттєвий вплив на величину розділових інтервалів здійснює співвідношення стрілок розділення у суміжних парах відчепів. На підставі імітаційного моделювання роботи СГ побудовано статистичну модель інтервалів між відчепами на розділових стрілках, виділено суттєві фактори та проаналізовано їх вплив на величину інтервалів.

Для дослідження процесу розпуску составів в умовах дії випадкових факторів у роботі [70] удосконалено базову модель [86] скочування відчепів з СГ. Але отримати адекватні статистичні моделі для швидкості та часу скочування відчепів в умовах гальмування не вдалося. Тому зроблено висновок, що під час розв'язання задачі оптимізації режимів гальмування відчепів необхідно або виконувати серію скочувань, або розробити спеціальні таблиці. Таким чином, вплив випадкових факторів суттєво ускладнює визначення режимів гальмування відчепів.

Математичну модель керованого скочування відчепа з СГ для розв'язання задачі управління сповільнювачами ГП спускної частини наведено у [23], також наведені результати дослідження впливу режимів гальмування на якість

інтервального регулювання швидкості відчепів. У роботі [21] удосконалено модель процесу скочування відчепів з регульованою зоною гальмування та досліджено вплив параметрів режиму гальмування на тривалість їх скочування.

Загальним недоліком проаналізованих вище моделей є відсутність врахування особливих умов розпуску составів за наявності вагонів, що заборонено спускати з гірки без локомотива, які суттєво впливають на тривалість розпуску.

1.4 Особливості розпуску составів за наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива

У багатьох випадках розформування составів на СГ ускладнюється наявністю вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива (ЗСГ). В першу чергу, це вагони з людьми, цистерни для перевезення скраплених газів, рефрижераторні секції, вагони з вантажами, які потребують особливої обережності під час маневрів, тощо. Частка небезпечних вантажів на залізницях РФ [189] складає понад 25 % загального обсягу вантажів, що відправляються. Під час перевезення багатьох таких вантажів в перевізних документах робиться відмітка «З гірки не спускати».

Маневри з вагонами ЗСГ [64, 80] виконуються двома способами:

- 1) осаджуванням составу, який розпускається, гірковим локомотивом на спеціальну або сортувальну колію;
- 2) «зйомом» вагонів додатковим маневровим локомотивом з боку підгіркового парку з подальшою їх перестановкою на колію призначення.

Втрати переробної спроможності сортувальних гірок внаслідок розформування составів з вагонами ЗСГ складають 15-30 % [40]. Урахування вказаних втрат дозволяє суттєво підвищити обґрунтованість проектних рішень.

Тривалість виконання маневрів з вагонами ЗСГ [80] залежить від кількості таких вагонів та їх взаємного розташування у составі, що характеризується кількістю груп ($K_{ЗСГ}$). До однієї групи належать вагони ЗСГ, що стоять у составі

поїзда поряд, незалежно від їх призначення. Середня кількість груп ($K_{ЗСТ}$) визначається по спостереженнях за 30 складами.

Але осаджування вагонів на сортувальну колію не за призначенням викликає в подальшому додаткову маневрову роботу з їх перестановки, що не враховано у [80].

Тривалість виконання маневрів з вагонами ЗСТ [80] визначається табличним способом у залежності від кількості груп $K_{ЗСТ}$, яка варіюється від 1 до 5 з кроком в 1 групу, довжини гіркової горловини, яка не перевищує 350 м, і тривалості розпуску складу, яка варіюється від 6 до 10 хв з кроком в 1 хв.

Так, за тривалості розпуску складу з гірки 6 хв, довжини гіркової горловини 300 м і $K_{ЗСТ} = 2$, тривалість виконання осаджування на сортувальну колію вагонів ЗСТ, що приходить на один склад становить 8 хв [80].

Але при цьому не враховується кількість вагонів у кожній окремій групі, взаємне розташування груп у складі, положення вагонів, які знаходяться на сортувальній колії, довжина піврейсу осаджування та інші особливості.

Однією з таких особливостей є те, що згідно з [64] вагони ЗСТ після постановки на сортувальну колію огорожуються з боку гірки двома охоронними гальмовими башмаками, що укладаються на обидві рейки через 25 м один від одного таким чином, щоб відстань від цих вагонів до гальмового башмака, який розташований першим від гірки, була не меншою ніж 50 м. Якщо відстань від таких вагонів до кінця ПГП з боку гірки є меншою за 50 м, то наступні відчепи на цю колію направляються тільки осаджуванням.

Наступні відчепи, що прямують на цю колію, мають бути зупинені до місця розташування охоронних гальмових башмаків з накопиченням групи з безпечними вантажами не менше ніж 10 вагонів [64]. Нормальний режим розпуску відновлюється тільки у тому випадку, коли вагони ЗСТ прикриті цією групою, що попередньо з'єднана з ними.

Для прикладу розглянуто процес направлення на сортувальну колію відчепів з вагонами ЗСТ, коли вони не є замикаючою групою та після постановки на колію, на якій відсутні вагони, що огорожені з боку гірки, потребують огороження гальмовими башмаками.

Вагони ЗСГ розташовані за порядком від гіркового локомотива наступним чином:

- 1) № 26-30 – 5 критих вагонів (довжина відчепа $l_{\text{від}} = 5 \cdot 14,73 = 73,65$ м);
- 2) № 11-12 – 2 критих вагона (довжина відчепа $l_{\text{від}} = 2 \cdot 14,73 = 29,46$ м).

Таким чином, $K_{\text{ЗСГ}} = 2$. Довжина гіркової горловини 300 м.

Вагони направляються на сортувальні колії за призначенням, які мають вільні ділянки з боку сортувальної гірки для розміщення даних вагонів і вагонів прикриття.

Направлення першого відчепа з п'яти вагонів на сортувальну колію виконується за наступним алгоритмом:

1. Розпорядження чергового по сортувальній гірці (ДСПГ) про виконання осаджування тривалістю 22,2 с (0,37 хв.) [80].

2. Осаджування маневрового составу на сортувальну колію до точки зустрічі його регулювальником швидкості руху вагонів.

Якщо регулювальник швидкості зустрічає состав наприкінці ПГП, яка складається з трьох вагонних уповільнювачів типу РНЗ-2М (довжина ПГП 16,1 м) і розміщена на відстані 25 м від граничного стовпчика, то довжина піврейсу осаджування за довжини горловини 300 м становить

$$l_{\text{ос}} = 300 + 25 + 16,1 = 341,1 \text{ м.}$$

Згідно з [80] при середній швидкості руху $v = 25$ км/год і кількості вагонів у маневровому составі $m = 30$ вагонів – $t_{\text{ос}} = 1,80$ хв.

3. Отримання складачем гальмових башмаків у кількості $n_{\text{гб}} = 3$ від регулювальника швидкості тривалістю [80] $t_{\text{огб}} = 3,6 \cdot 3 = 10,8$ с (0,18 хв.).

4. Осаджування маневрового составу на колію СП до місця зупинки.

Згідно з [64] мінімальна відстань від вагонів ЗСГ до гальмового башмака, який розташований першим від гірки, становить 50 м, мінімальна кількість вагонів прикриття з безпечними вантажами $n_{\text{пр}} = 10$.

Тоді довжина піврейсу осаджування

$$l_{\text{ос}} = l_{\text{від}} + 50 + 10l_{\text{ваг}}.$$

Якщо, наприклад, група прикриття буде складатися з п'яти піввагонів ($l_{\text{ваг}} = 13,92$) і п'яти критих вагонів ($l_{\text{ваг}} = 14,73$), то

$$l_{\text{ос}} = 73,65 + 50 + (5 \cdot 13,92 + 5 \cdot 14,73) = 266,9 \text{ м.}$$

Згідно з [80] при $v = 25$ км/год і $m = 30$ вагонів – $t_{oc} = 1,68$ хв.

5. Закріплення головного відчепа з боку, протилежного гірці, тривалістю 3,6 с (0,06 хв.).

6. Проходження складачем відстані $l_{прох}$ для відчеплення головного відчепа.

Згідно з [80] при $l_{прох} = l_{від} = 5 \cdot 14,73 = 73,65$ м – $t_{прох} = 0,6 \cdot 73,65 = 44,2$ с (0,74 хв.).

7. Відчеплення головного відчепа від маневрового составу тривалістю 4,8 с (0,08 хв.) [80].

8. Розпорядження машиністу маневрового локомотива на відтягування маневрового составу тривалістю 22,2 с (0,37 хв.) [80].

9. Відтягування маневрового составу у бік гірки ($t_{від}$) та огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками ($t_{ог}$) тривалістю $t_{во} = t_{від} + t_{ог}$.

Під час відтягування составу на відстань 50 м складач пересувається на підніжжі крайнього вагону на відстань 25 м і залишає состав на ходу. Після цього він встановлює перший башмак, проходить відстань $l_{прох} = 25$ м і встановлює другий башмак.

Згідно з [80] при $v = 5$ км/год, $m = 25$ вагонів і $l_{від} = 25$ м – $t_{від} = 0,40$ хв.

Значення $t_{ог}$ розраховується за допомогою виразу $t_{ог} = 3,6 \cdot n_{гб} + t_{прох}$.

Тоді при $n_{гб} = 2$ башмака і $l_{прох} = 25$ м

$$t_{ог} = 3,6 \cdot 2 + 0,6 \cdot 25 = 22,2 \text{ с (0,37 хв.)}.$$

Отже $t_{во} = 0,40 + 0,37 = 0,77$ хв.

10 Доповідь ДСПГ про огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками та його розпорядження на витягування составу тривалістю 22,2 с (0,37 хв.) [80].

11 Витягування маневрового составу на насувну частину гірки.

Згідно з [80] при $v = 25$ км/год, $m = 25$ вагонів і $l_{вит} = 484,35$ м – $t_{вит} = 2,10$ хв.

Тривалість виконання операцій з направлення першої групи вагонів ЗСГ на сортувальну колію становить

$$t'_{ман} = 0,37 + 1,80 + 0,18 + 1,68 + 0,06 + 0,74 + 0,08 + 0,37 + 0,77 + 0,37 + 2,10 = 8,52 \text{ хв.}$$

Направлення другого відчепа з двох вагонів на сортувальну колію виконується за аналогічним алгоритмом. Тривалість виконання операцій становить

$$t''_{\text{ман}} = 0,37 + 1,59 + 0,18 + 1,35 + 0,06 + 0,29 + 0,08 + 0,37 + 0,56 + 0,37 + 2,10 = 7,32 \text{ хв.}$$

Отже, тривалість виконання операцій з направлення двох груп вагонів ЗСГ на сортувальні колії становить

$$t_{\text{рЗСГ}} = 8,52 + 7,32 = 15,84 \text{ хв.}$$

і перевищує визначену за таблицею [80] (8 хв) у майже у два рази.

Виконане порівняння дозволяє зробити висновок про суттєвий вплив наявності вагонів ЗСГ на тривалість розформування состава та невідповідність існуючої методики врахування цього впливу реальним умовам розформування составів.

1.5 Висновки до розділу 1

1. Аналіз досвіду використання технічних засобів сортувальних гірок дозволив встановити наступне:

- технічні засоби, які використовуються на СГ, не вирішують у повній мірі проблему якісного регулювання швидкості скочування відчепів;

- точність прицільного гальмування відчепів суттєво впливає на довжину «вікон» на коліях СП і швидкість їх підходу до вагонів, що знаходяться на цих коліях, перевищення нормованої величини якої може викликати пошкодження вагонів і вантажів;

- для підвищення якості проектування сортувальних гірок і систем управління розформуванням составів необхідно досліджувати закономірності та вплив структур потоків вагонів і відчепів на параметри технологічних процесів гірок;

- одним з основних критеріїв для визначення раціональної конструкції СГ, її технічних параметрів і технології роботи є економічна ефективність функціонування гірки.

2. Аналіз методів нормування тривалості осаджування вагонів на сортувальних коліях дозволив встановити, що існуючі методи не враховують усіх

чинників, які впливають на цю тривалість, або потребують виконання імітаційного моделювання, що створює певну проблему для працівників станцій. Тому для спрощення та прискорення такого нормування доцільно використовувати регресійні моделі або отримані на їх підставі нормувальні таблиці.

3. Аналіз методів моделювання процесів розформування-формування составів на сортувальних гірках дозволив встановити, що існуючі моделі не враховують особливих умов розпуску составів за наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива, що погіршує адекватність цих моделей.

4. Аналіз особливостей розпуску составів за наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива, дозволив встановити невідповідність існуючої методики врахування впливу таких вагонів реальним умовам розформування составів.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ-ФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

2.1 Загальна характеристика об'єкту дослідження

Для забезпечення процесу розформування-формування составів поїздів станції мають відповідні технічні засоби: 1) сортувальні пристрої, які різняться висотою СГ, профілем її спускної частини та сортувальних колій; 2) пристрої регулювання швидкості скочування відчепів; 3) системи управління процесом розпуску составів; 4) маневрові локомотиви.

Процес розформування-формування составів на СГ складається з наступних елементів:

- заїзд гіркового локомотива під состав, що знаходиться на колії приймального парку;
- витягування составу на витяжну колію у випадку паралельного розташування приймального та сортувального парків;
- насув составу до вершини СГ;
- розпуск составу з СГ;
- ліквідація нерозділень відчепів на розділових елементах спускної частини СГ, які виникли внаслідок нагонів одних відчепів іншими через похибки у інтервальному регулюванні швидкості їх скочування;
- осаджування вагонів на коліях СП для ліквідації «вікон», які утворилися між групами вагонів внаслідок похибок у прицільному регулюванні швидкості скочування відчепів.

У дисертаційній роботі розглядаються останні три елементи, тривалість виконання яких залежить від конструкції СГ у плані та профілі, а також її технічного оснащення.

Технологічний процес розпуску составів з СГ характеризується наступними особливостями:

- значна складність устаткування, що використовується;
- різноманіття допустимих режимів його функціонування;
- швидка зміна інформації, що характеризує хід процесу;
- наявність великої кількості зовнішніх неконтрольованих факторів із широкою межею зміни їхніх значень.

Тобто, даний процес відбувається в умовах невизначеності й недоліку або неповноти апріорної інформації про об'єкт керування.

СГ переробляють різноманітний за структурою вагонопотік, який відрізняється масою та типами вагонів, кількістю вагонів у відчепі, потужністю окремого призначення плану формування поїздів тощо. При цьому потік відчепів має стохастичний характер. Для забезпечення ефективності функціонування СГ, її параметри повинні визначатися з урахуванням даних факторів.

Під час розпуску можливі помилки визначення ходових якостей відчепів і їх гальмування (і у визначенні необхідної швидкості виходу відчепу з ГП, і у реалізації цієї швидкості з причини неправильної роботи оператора або системи автоматики). Наслідками цих помилок є нерозділення відчепів на розділових елементах, пошкодження вагонів внаслідок високої швидкості їх зіткнення, «вікна» на коліях СП. На величину «вікон» також впливає помилка у визначенні необхідної дальності проходу відчепів до вагонів, що знаходяться на сортувальних коліях, і ухил цих колій. Все це призводить до необхідності виконання на сортувальних станціях додаткового обсягу маневрової роботи, а також знижує ефективність роботи СГ, збільшує тривалість знаходження вагонів на станціях і термін доставки вантажів.

На тривалість осаджування вагонів на коліях СП для ліквідації «вікон» впливає довжина «вікон» і піврейса заїзду на сортувальну колію гіркового локомотива, а також швидкість осаджування та руху локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба СГ після виконання осаджування.

2.2 Структура, послідовність та методи проведення досліджень

З метою підвищення ефективності функціонування СГ необхідно розв'язати наступні задачі дослідження:

1. Аналіз показників роботи СГ і дослідження вагонопотоків, що підлягають переробці на них.

2. Удосконалення імітаційної моделі процесу розформування составів поїздів на СГ з метою урахування особливих умов сортування вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива.

3. Визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів:

- середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП;
- середньої довжини «вікна» на один перероблений вагон;
- середньої кількості операцій осаджування на один перероблений вагон.

4. Встановлення зв'язку між параметрами якості прицільного регулювання швидкості відчепів і наступними факторами:

- середньоквадратичною помилкою розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій (похибкою гальмування відчепів);
- ваговою категорією вагонів у потоці, що підлягає розформуванню;
- кількістю вагонів у відчепі;
- ухилом сортувальних колій.

Внаслідок практичної неможливості проведення експериментів на реальних СГ, основним методом дослідження є імітаційне моделювання процесу розформування составів.

5. Отримання залежностей, факторами яких є похибка гальмування відчепів та ухил сортувальних колій, які з урахуванням параметрів вагонопотоку дозволяють нормувати якісні показники прицільного регулювання швидкості відчепів на СГ.

6. Отримання залежностей для нормування середньої тривалості осаджування на коліях СП у розрахунку на один вагон.

7. Удосконалення методу визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості відчепів, які дозволяють мінімізувати витрати на розформування составів на СГ.

Структуру задач та використаних для їх розв'язання методів дослідження наведено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Задачі дослідження та методи їх розв'язання

2.3 Аналіз показників роботи сортувальних гірок і параметрів вагонопотоків, що підлягають переробці на них

У роботах [1, 63, 5, 3, 6, 154] виконано статистичні дослідження величини похибки реалізації Δv_p заданої швидкості виходу відчепів з ГП для існуючих СГ (табл. Б.1, Б.2 додатку Б). Аналіз цих даних показав, що значення Δv_p мають значний розкид – від 0,04 м/с (0,14 км/год) до 0,86 м/с (3,10 км/год). Середньоквадратичне відхилення похибки реалізації коливається в діапазоні від 0,26 м/с (0,94 км/год) до 0,8 м/с (2,9 км/год). Нормована величина відхилення швидкості виходу відчепів з ГП для систем КГМ РПЖТ і АСК РСГ становить $\pm 0,25$ м/с. Такий діапазон відповідає величині середньоквадратичного відхилення похибки реалізації 0,125 м/с.

У роботі [32] наведено оцінку точності розрахунку та реалізації швидкості виходу відчепів з ГП (див. табл. Б.3 додатку Б). Таким чином, на автоматизованих і механізованих СГ середня похибка розрахунку та реалізації швидкості виходу відчепів з ГП $\Delta v_{\text{вих}}$ становить: 0,85 м/с – для І ГП, 0,9 м/с – для ІІ ГП, 0,82 м/с – для ІІІ ГП.

У роботах [1, 63, 5, 3, 6, 154, 32, 33, 160, 190] виконано статистичні дослідження показників прицільного регулювання швидкості відчепів (див. табл. Б.1, Б.2 додатку Б). Аналіз цих даних показав наступне:

1. Середня швидкість підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП розглянутих станцій, коливається в діапазоні від 1,47 м/с (5,3 км/год) до 2,19 м/с (7,9 км/год), що не відповідає нормативній швидкості 5 км/год [126]. Середньоквадратичне відхилення швидкості підходу відчепів теж має значний розкид від 0,35 м/с (1,3 км/год) до 0,7 м/с (2,5 км/год).

2. Ймовірність перевищення допустимої швидкості підходу відчепів коливається в діапазоні від 0,48 до 0,85, що не відповідає одній з вимог до якості прицільного регулювання, коли ймовірність забезпечення допустимої швидкості підходу відчепів на підгіркових коліях повинна бути не менш 0,9 [6].

3. Лише на двох з дев'яти сортувальних гірок (22 %), про які є відповідні дані, рівень заповнення сортувальних колій відповідає іншій вимозі до якості прицільного регулювання, коли цей рівень має бути не менш 85 % [6]. При цьому, середня довжина «вікна» на 1 перероблений вагон має значний розкид і знаходиться у межах від 2,5 до 13,2 м/вагон.

У роботі [154] виконано статистичні дослідження основних показників прицільного регулювання швидкості відчепів в умовах ручного дистанційного і автоматизованого управління сповільнювачами ГП (див. табл. Б.4 додатку Б). Аналіз даних показує, що показники роботи у разі ручного дистанційного і автоматизованого управління сповільнювачами є практично однаковими.

У роботах [5, 3, 6, 154, 32, 33, 160, 190, 175, 76] виконано статистичні дослідження структури вагонопотоків, які переробляються на сортувальних гірках (див. табл. Б.5–Б.8 додатку Б). Також виконано дослідження цих параметрів для СГ сортувальних станцій НДВ (парна система) та 3. Аналіз даних показав наступне:

1. У вагонопотоках, які переробляються на гірках, переважають одновагонні відчепи (рис. 2.2), але їх кількість має значний розкид – від 32,6 % до 70,0 %. Частота появи відчепів з більшою кількістю вагонів є меншою: двовагонних – 15,3-21,3 %, трьохвагонних – 5,0-15,4 %, чотирьохвагонних – 3,0-10,0 %, з п'яти та більше вагонів – 5,0-32,1 %. Середня кількість вагонів у відчепі при цьому становить від 1,72 до 3,84.

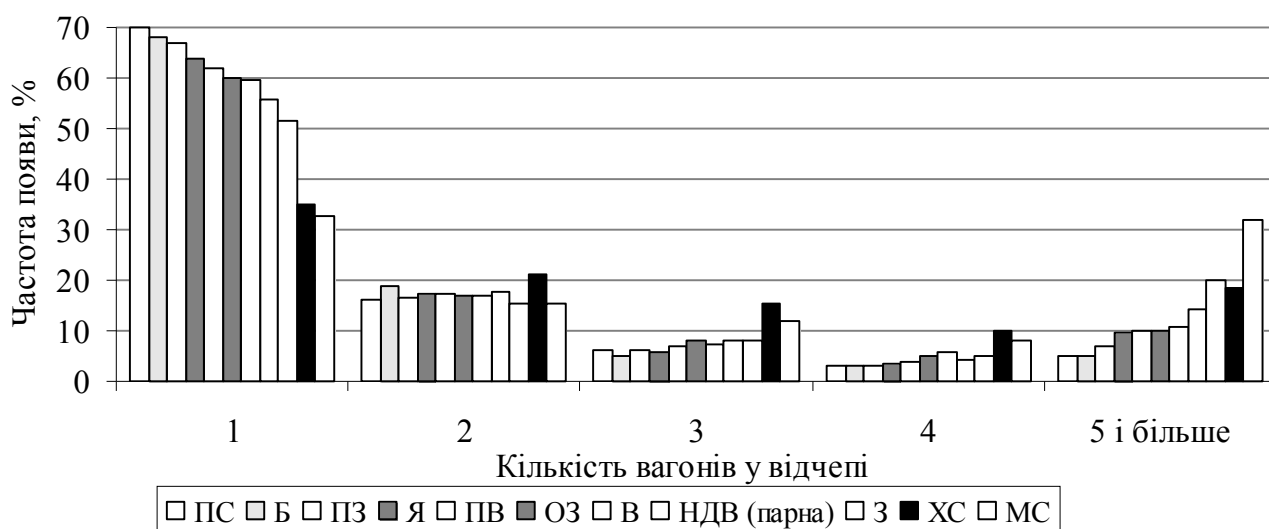


Рисунок 2.2 – Гістограма розподілу вагонопотоків у розформування за кількістю вагонів у відчепі

2. У структурі вагонопотоку спостерігається значне коливання за ваговою категорією (рис. 2.3). Так, частка вагонів легкої (Л) категорії змінюється у межах від 7,0 % до 60,7 %, легко-середньої (ЛС) – від 0,9 % до 30,0 %, середньої (С) – від 0,9 % до 29,0 %, середньо-важкої (СВ) – від 6,2 % до 18,0 %, важкої (В) – від 14,0 % до 68,8 %.

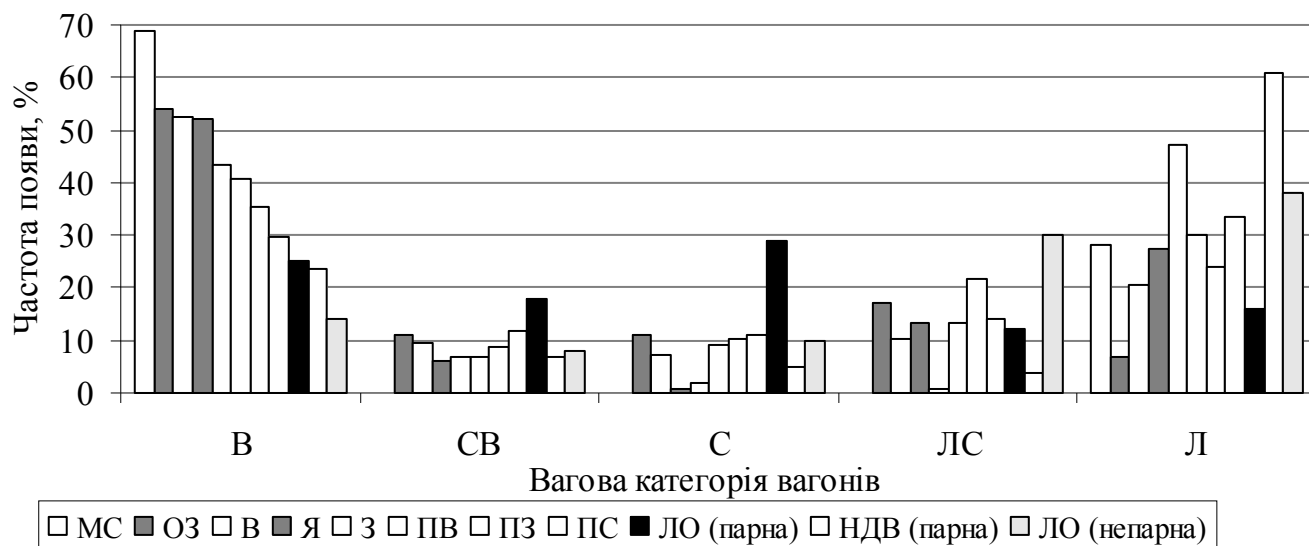


Рисунок 2.3 – Гістограма розподілу вагонопотоків у розформування за ваговими категоріями

Дослідження, які виконано у [11], показали, що на СГ станцій Кл, Яс (східна система), НДВ (непарна система) основна частка вагонів, які розформовуються на СГ, припадає на вагони важкої вагової категорії та порожні, частки яких складають в середньому 60 % та 23 % відповідно. Частки вагонів легкої та легко-середньої вагових категорій не перевищують 3 %. Частки вагонів середньої та важко-середньої вагових категорій становлять – до 7 % та 16 % відповідно.

3. У вагонопотоках, які переробляються на СГ (крім станції ПВ), переважають піввагони. При цьому спостерігається розкид частоти появи вагонів певного типу: піввагонів – від 21,9 % до 84,0 %, критих – від 2,0 % до 20,0 %, платформ – від 1,1 % до 12,1 %, цистерн – від 2,0 % до 17,9 %, інших – від 5,0 % до 33,0 %.

4. На СГ спостерігається значна кількість вагонів ЗСГ. Частота появи таких вагонів (див. табл. Б.9 додатку Б) коливається в діапазоні від 14,0 % до 29,0 %.

2.4 Удосконалення імітаційної моделі процесу розформування составів на сортувальній гірці з метою урахування особливих умов сортування вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива

Базова імітаційна модель (рис. 2.4) включає в себе:

1. Модель СГ, яка містить дані про план, поздовжній профіль, розділові стрілки, сповільнювачі та сортувальні колії, що дозволяють моделювати рух состава та відчепів, які скочуються, використовуючи чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь. Крім того, зазначена модель дозволяє імітувати роботу сповільнювачів, переведення розділових стрілок, роботу рейкових кіл, контролювати нагін відчепів, їх зіткнення та проштовхування на сортувальних коліях. У дисертаційній роботі використано базову модель [85].

**Імітаційна модель процесу
розформування составів на
сортувальній гірці**

1. Модель сортувальної гірки

2. Модель состава

3. Модель параметрів потоку відчепів

4. Модель відчепа

5. Модель заповнення сортувальних колій
перед розпуском

6. Модель процесу розпуску составів

7. Модель гальмування відчепів на
гальмових позиціях

Рисунок 2.4 – Структура базової імітаційної моделі
процесу розформування составів на СГ

2. Модель состава, яка являє собою нерозтяжний, гнучкий стрижень з рівномірно розподіленою по довжині масою і включає параметри: маса, довжина, кількість відчепів, питомий основний опір руху. Зазначені величини визначаються за результатами моделювання відповідних параметрів відчепів состава. Параметри состава змінюються в процесі розпуску дискретно після відриву кожного з відчепів. У дисертаційній роботі використано базову модель [85].

3. Модель параметрів потоку відчепів на основі заданих статистичних характеристик. Методика моделювання випадкових параметрів відчепів наведена в [87]. Кількість вагонів у відчепі n моделюється як дискретна випадкова величина, закон розподілу якої заданий статистичним рядом $(P_1, P_2, \dots, P_n)$. Потім для кожного вагону відчепа виконується моделювання його типу та кількості осей, для чого використовуються статистичні дані про частоту появи вагонів різного типу. У залежності від типу та кількості осей визначається довжина кожного вагону та відчепа в цілому. Далі моделюється вагова категорія вагону – легка (Л), легко-середня (ЛС), середня (С), середньо-важка (СВ), важка (В) – по заданих частотах появи вагонів відповідної вагової категорії $(P_L, P_{ЛС}, P_C, P_{СВ}, P_V)$. Для визначення ваги вагону моделюється навантаження на вісь як випадкова величина, що рівномірно розподілена в діапазоні навантажень, які відповідають даній ваговій категорії $[q_{\min}; q_{\max}]$. Останнім моделюється основний питомий опір руху вагону w_0 як випадкова величина [124], що має гама-розподіл з параметрами a і b , які залежать від вагової категорії вагону

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

де R_i – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі $[0; 1]$.

Питомий опір багатовагонного відчепа ($n > 1$) визначається як середньозважене значення опорів окремих вагонів.

Прямування відчепа на j -ту колію СП розглядається як одна з випадкових подій, що утворюють повну групу несумісних подій. Ймовірність надходження відчепів на j -ту колію вводиться в табличній формі.

4. Модель відчепа, що побудована на основі осьової моделі та являє собою сукупність даних, які необхідні для імітації регульованого скочування. У дисертаційній роботі використано базову модель [85], яку частково змінено відповідно до вимог [124] і суттєво доповнено [25].

5. Модель заповнення сортувальних колій перед розпуском. У процесі моделювання состава ведеться облік розподілу вагонів по коліях СП. Ці дані використовуються під час моделювання довжини вільної частини колій перед розпуском згідно з методикою, яку наведено в [88].

6. Модель процесу розпуску составів, яка представляється послідовністю елементарних кроків Δt , на кожному з яких одночасно розглядається рух состава, що насувається, і усіх відчепів, які скочуються. Для синхронізації паралельних процесів у моделі введено системний час $T_{\text{сист}}$, який збільшується на Δt на початку кожного кроку. Для імітації переміщення состава та відчепів на кожному кроці Δt використовуються диференціальні рівняння руху. У дисертаційній роботі використано базову модель [86] скочування відчепів з СГ.

Після кожного кроку переміщення усіх відчепів, що скочуються, в інтервалі Δt здійснюється перевірка можливих нагонів і об'єднань суміжних відчепів. У разі виявлення нагону моделюється зіткнення та з'єднання відчепів. Зіткнення відчепів у разі нагону розглядається як непружне центральне лобове зіткнення. У цьому випадку, відповідно до закону збереження імпульсу, швидкість об'єднаного відчепа після зіткнення

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

де m_1, m_2 – маса першого та другого відчепів;

v_1, v_2 – швидкості першого та другого відчепів до зіткнення, причому $v_2 > v_1$.

Параметри відчепа, який рухався попереду, замінюються параметрами об'єднаного відчепа (вага, довжина, кількість вагонів тощо).

В окремому випадку перший із двох відчепів, які з'єднуються, може стояти, тоді $v_1 = 0$. У цьому випадку після зіткнення об'єднаний відчеп може почати рух зі швидкістю v' . У цьому зв'язку для моделювання проштовхування відчепів, які зупинилися, останні не виключаються з моделі і після зупинки. В усіх випадках, коли відбувається зіткнення відчепів, фіксується швидкість зіткнення, яка є одним з показників якості регулювання швидкості скочування відчепів

$$v_3 = v_2 - v_1.$$

7. Модель гальмування відчепів на гальмових позиціях. У дисертаційній роботі використано базову модель [25]. У даній моделі питомий гальмовий опір w_T розглянуто як суму питомих гальмових сил уповільнювачів різного типу, які можуть одночасно діяти на довгий відчеп

$$w_T = w_T^H + w_T^B + w_T^{BH},$$

де w_T^H, w_T^B, w_T^{BH} – питомі гальмові опори відповідно натискних, вагових і важільно-натискних сповільнювачів (РНЗ).

У процесі розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій виникають помилки, які впливають на якість роботи гірки [1, 90]. Таким чином, фактична швидкість виходу i -го відчепа визначається як

$$v_i^\Phi = v_i^H \pm \delta v_i,$$

де v_i^H – необхідна швидкість виходу i -го відчепа з гальмової позиції за умови розмежування відчепів на розділових елементах спускної частини гірки або зіткнення відчепів на сортувальних коліях з допустимою швидкістю;

δv_i – випадкове значення похибки розрахунку та реалізації швидкості v_i^H .

Експериментальні дослідження на автоматизованих гірках [1] показали, що похибка δv_i розподілена за нормальним законом з параметром $M[\delta v_i] = 0$. Тоді

$$\delta v_i = M[\delta v_i] + z_i \sigma_v$$

де $M[\delta v_i], \sigma_v$ – відповідно математичне очікування та середньоквадратичне відхилення випадкової величини похибки розрахунку та реалізації необхідної швидкості виходу, яку розподілено за нормальним законом;

z_i – випадкова величина з нормальним законом розподілу, $M[Z]=0, \sigma_z=1$.

У випадку, якщо фактична швидкість відчепа у точці прицілювання виявиться меншою, ніж допустима (у т. ч. і у разі передчасної його зупинки), за необхідну швидкість виходу приймається швидкість у разі вільного скочування.

Вибір значення параметра σ_v дозволяє встановити необхідний рівень точності розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій на гірці.

В імітаційній моделі розформування составів загальна енергія кожного відчепа, яка погашається на ГП, визначається за умови забезпечення заданої швидкості в точці прицілювання. Значення швидкості виходу з ПГП визначається з урахуванням характеристик самого відчепа, дальності пробігу сортувальною колією та всіх інших факторів. У цих умовах отримані показники відображують потенційні (граничні) можливості прицільного регулювання на відповідній гірці, які визначаються висотою гірки та наявністю стрілок і кривих, характеристиками вагонопотоку, потужністю гальмових засобів і метеорологічними даними.

Для виконання оцінки якості регулювання швидкості скочування відчепів встановлюються наступні параметри управління:

- розрахунковий режим (алгоритм) управління швидкістю скочування відчепів;
- точність розрахунку та реалізації швидкості виходу відчепів з гальмових позицій (середньоквадратичне відхилення похибки розрахунку та реалізації необхідної швидкості виходу).

У даній моделі в розрахунках прийнято алгоритм регулювання, за якого швидкості виходу відчепів з верхньої та пучкової ГП обираються таким чином, щоб швидкості підходу цих відчепів відповідно до пучкової та паркової ГП були однаковими для всіх відчепів, які гальмуються.

Результати скочування за умовами розділення відчепів на ізольованих ділянках, швидкістю їх зіткнення на сортувальних коліях, величиною «вікна» тощо виводяться у «Модуль результатів».

Аналіз роботи існуючих СГ (табл. Б.9 додатку Б) показав, що вагони ЗСГ складають 14-29 % вагонопотоку, що підлягає розпуску. Наявність таких вагонів значною мірою впливає на процес розформування составів і його тривалість.

Тому базову модель удосконалено та доповнено блоком імітації роботи з вагонами ЗСГ (рис. 2.5). В процесі моделювання виконуються наступні операції:

1. Визначення наявності у складі вагонів ЗСГ, як випадкової події з заданою ймовірністю P' :

$$s = 1 \text{ (є такі вагони), якщо } R < P',$$

$$s = 0 \text{ (відсутні такі вагони), якщо } R \geq P',$$

де R – випадкове число рівномірно розподілене в інтервалі $[0, 1]$.

Ймовірність P' можна отримати у результаті аналізу сортувальних листків.

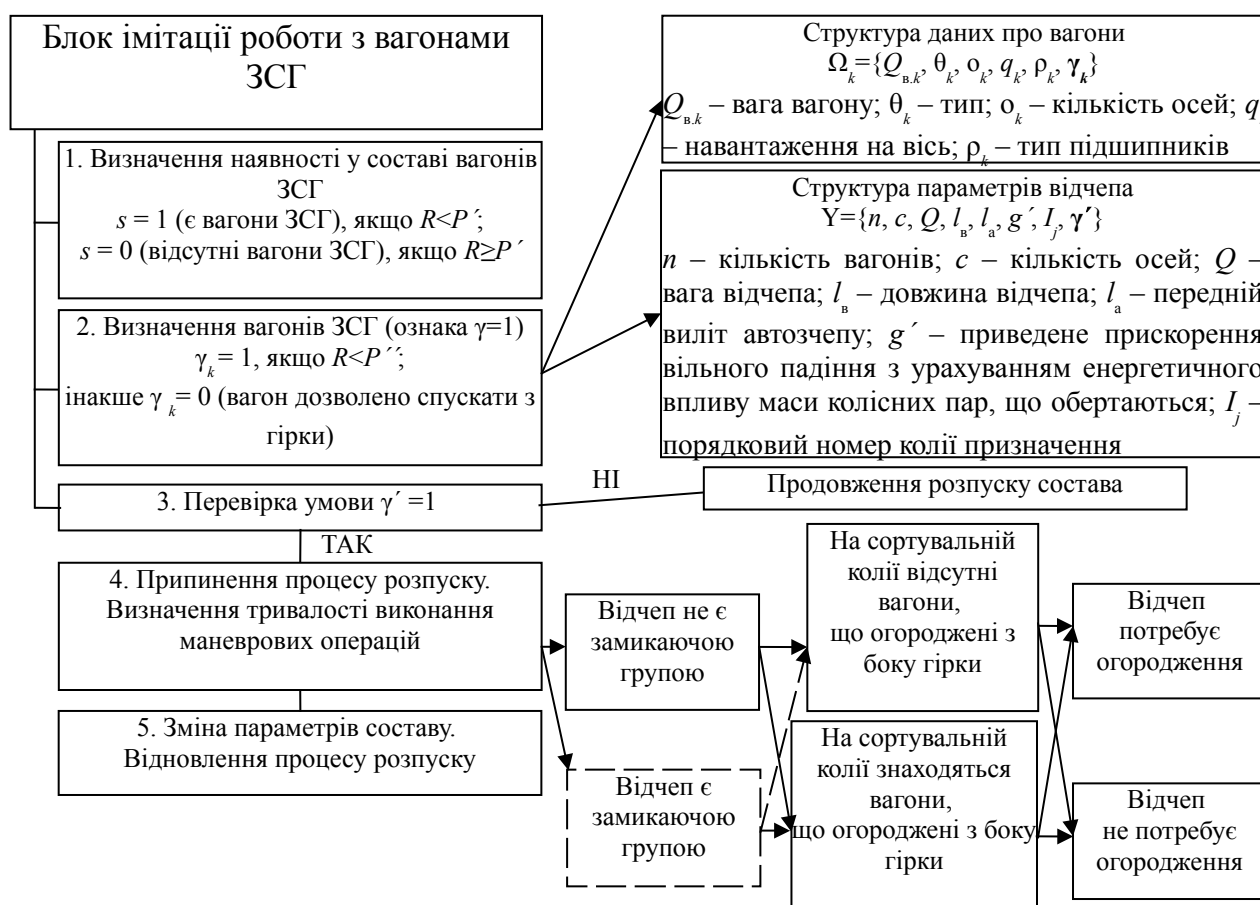


Рисунок 2.5 – Блок імітації роботи з вагонами ЗСГ

2. Визначення вагонів ЗСГ (ознака $\gamma=1$), як випадкової події з заданою ймовірністю P'' :

$$\gamma_k = 1, \text{ якщо } R < P'',$$

інакше $\gamma_k = 0$ (вагон дозволено спускати з гірки).

Ймовірність P'' можна отримати у результаті аналізу сортувальних листків.

На відміну від базової моделі дані про вагони відчепа Ω_k доповнено параметром γ і представлено структурою

$$\Omega_k = \{Q_{в.к}, \theta_k, o_k, q_k, \rho_k, \gamma_k\}, \quad k = 1, \dots, n$$

де $Q_{в.к}$ – вага вагону; θ_k – тип вагону; o_k – кількість осей; q_k – навантаження на вісь; ρ_k – тип підшипників; n – кількість вагонів у відчепі.

При цьому на відміну від базової моделі вектор параметрів відчепа Y доповнено параметром γ' ($\gamma' = 1$, якщо для поодинокого відчепа або хоча б для одного вагону багатовагонного відчепа $\gamma_k = 1$, інакше $\gamma' = 0$) і представлено структурою

$$Y = [n, c, Q, l_{в}, l_{а}, g', I_j, \gamma']$$

де n – кількість вагонів; c – кількість осей; Q – вага; $l_{в}$ – довжина; $l_{а}$ – передній виліт автозчепу; g' – приведене прискорення вільного падіння з урахуванням енергетичного впливу маси колісних пар, що обертаються; I_j – порядковий номер колії призначення.

3. Перевірка умови $\gamma' = 1$ для кожного головного відчепа складу, який знаходиться на насувній частині гірки.

4. У випадку виконання даної умови процес розпуску припиняється і визначається тривалість виконання маневрових операцій з направлення вагонів на j -ту колію СП згідно з призначенням відчепа, яка додається до тривалості розпуску складу (див. додаток В).

У дисертаційній роботі процес направлення відчепа на колію СП формалізовано для шести варіантів (див. рис. 2.5):

– головний відчеп не є замикаючою групою та після постановки на колію, на якій відсутні вагони, що огорожені з боку СГ, потребує огороження з боку гірки гальмовими башмаками (табл. В.1);

– головний відчеп не є замикаючою групою та після постановки на колію, на якій відсутні вагони, що огорожені з боку СГ, не потребує огороження (табл. В.2);

– головний відчеп, що не є замикаючою групою, прямує на колію, на якій знаходяться вагони, що огорожені з боку СГ, та потребує огороження (табл. В.3);

– головний відцеп, що не є замикаючою групою, прямує на колію, на якій знаходяться вагони, що огорожені з боку СГ, та не потребує огороження (табл. В.4);

– головний відцеп є замикаючою групою та прямує на колію, на якій відсутні вагони, що огорожені з боку СГ (табл. В.5);

– головний відцеп є замикаючою групою та прямує на колію, на якій знаходяться вагони, що огорожені з боку СГ (табл. В.6).

5. Зміна параметрів складу та відновлення процесу розпуску, під час якого у разі огороження вагонів на j -ій сортувальній колії з боку гірки охоронними гальмовими башмаками:

– наступні відчепи направляються на дану колію лише осаджуванням [64], тривалість якого визначається аналогічно додатку В (варіанти 4, 6) і додається до тривалості розпуску, – у разі виконання умови $S'_в - S_{вих}^{ПП} < 50$ м (де $S'_в$ – координата положення на даній колії крайнього з боку гірки вагона відчепа, у складі якого є вагони ЗСГ; $S_{вих}^{ПП}$ – координата кінця ПП). У іншому випадку за координату точки прицілювання $S_{прц}$ для першого відчепа, який прямує на дану колію, приймається координата положення першого з боку гірки охоронного гальмового башмака $S_{гб}$;

– фіксується кількість вагонів прикриття $\sum n''_{пр}$ з безпечними вантажами, які надійшли на колію після відновлення розпуску;

– здійснюється перевірка умови $\sum n'_{пр} + \sum n''_{пр} \geq 10$ при $\sum l_{с. j} < L_c$ (де $\sum n'_{пр}$ – кількість вагонів прикриття, які знаходяться у відцепі, в складі якого є вагони ЗСГ; $\sum l_{с. j}$ – довжина вагонів, які знаходяться на j -ій сортувальній колії; L_c – довжина складу). У разі її виконання або у випадку закінчення накопичення складу ($\sum l_{с. j} = L_c$) після закінчення розпуску відбувається осаджування групи прикриття у складі $\sum n''_{пр}$ вагонів для з'єднання з огороженою групою (додаток В).

Вихідні дані для імітаційного моделювання містять наступні характеристики:

– обсяг моделювання (кількість складів, що розформовуються на СГ);

– дані про план і профіль СГ і сортувальних колій (приклад – див. табл. В.8 додатку В);

- дані про ізольовані ділянки на спускній частині СГ (приклад – див. табл. В.9);
- дані про стрілки розділення відчепів на спускній частині СГ (приклад – див. табл. В.10), які прийнято згідно рис. В.10;
- дані про параметри роботи ГП (середня потужність, коефіцієнт варіації гальмової потужності), середньоквадратична помилка розрахунку та реалізації швидкостей виходу для кожної ГП, швидкість прицілювання (приклад – див. табл. В.11);
- дані про статистичні характеристики вагонопотоку – частоти появи вагонів різного типу (табл. В.12), відчепів з різною кількістю вагонів (табл. В.13), вагонів різної вагової категорії (табл. В.14), середня кількість вагонів у составі;
- частоти надходження відчепів на сортувальні колії (табл. В.15);
- дані про умови розпуску – температура навколишнього середовища, швидкість вітру, швидкість розпуску составів, мінімальний інтервал на ізольованих ділянках;
- ймовірність появи состава, у якому є вагони ЗСГ;
- ймовірність появи у составі вагону ЗСГ.

Вихідні дані можуть бути введені безпосередньо з програми в табличній формі.

В якості результатів імітаційного моделювання фіксуються наступні величини:

- кількість составів, відчепів, вагонів, що розформовується;
- кількість составів, що формується;
- середня швидкість розпуску

$$v_p = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} l_{c_i}}{\sum_{i=1}^{N_p} t_{p_i}},$$

де N_p – кількість составів, які розформовано протягом періоду моделювання;

l_{c_i} – довжина i -го состава, м;

t_{p_i} – тривалість розпуску i -го состава, с;

- середня кількість нагонів відчепів на один перероблений вагон;

$$P_{\text{н}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{р}}} P_{\text{н}i}}{n_{\text{мод}}},$$

де $P_{\text{н}i}$ – кількість нагонів відчепів, які зафіксовано під час розпуску i -го состава;

$n_{\text{мод}}$ – кількість вагонів, які перероблено протягом періоду моделювання;

– середня робота з гальмування відчепів на кожній гальмівній позиції та в цілому на відчеп (м ен. в.);

– частота зіткнення відчепів на коліях СП

$$P_{\text{з}} = \frac{K_{\text{сп}}}{N_{\text{від}}},$$

де $K_{\text{сп}}$ – кількість зіткнень відчепів на коліях СП;

$N_{\text{від}}$ – кількість відчепів за період моделювання;

– частота зіткнення відчепів зі швидкістю, більшою за допустиму

$$P_{\text{г}} = \frac{K_{\text{г}}}{N_{\text{від}}},$$

де $K_{\text{г}}$ – кількість зіткнень відчепів на коліях СП зі швидкістю більшою за 5 км/год;

– середня швидкість зіткнення відчепів (м/с)

$$\bar{v}_3 = \frac{\sum_{i=1}^{K_3} v_3}{K_3},$$

де K_3 – кількість зіткнень відчепів за період моделювання;

– середньоквадратичне відхилення швидкості зіткнення;

– можлива кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених, яка згідно [117] становить

$$n_{\text{пошк}} = 0,00143 \bar{v}_3^{3,865}, \quad (2.1)$$

де $\bar{v}_3$ – середня швидкість зіткнення відчепів, км/год;

– частота виникнення «вікон»;

– середня довжина «вікна»;

– середньоквадратичне відхилення довжини «вікна»;

- частота виникнення проштовхування;
- середня довжина «вікна» на один перероблений вагон

$$l_{\text{вік}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} \sum_{j=1}^{m_{\text{сп}}} l_{\text{в}ij}}{n_{\text{мод}}},$$

де $m_{\text{сп}}$ – кількість колій у СП;

$l_{\text{в}ij}$ – сумарна довжина «вікон» після розпуску i -го состава на j -й сортувальній колії, м;

- середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон

$$P_{\text{ос}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} P_{\text{ос}i}}{n_{\text{мод}}},$$

де $P_{\text{ос}i}$ – кількість сортувальних колій, на яких виконується осаджування після розпуску i -го состава;

- середній рівень заповнення сортувальних колій (%)

$$\bar{\xi}_3 = \frac{\sum_{j=1}^{m_{\text{сп}}} \xi_{3j}}{m_{\text{сп}}},$$

де ξ_{3j} – рівень заповнення j -ої сортувальної колії, %, який визначається за формулою:

$$\xi_3 = \frac{\sum_{s=1}^{N_{\text{нак}}} l_{\text{від}_s}}{\sum_{s=1}^{N_{\text{нак}}} l_{\text{зап}_s}} \cdot 100,$$

де $l_{\text{від}_s}$ – сумарна довжина відчепів, які надійшли на сортувальну колію в період накопичення від моменту його початку до осаджування, між осаджуваннями або до виставки состава у парк відправлення, м;

$l_{\text{зап}_s}$ – довжина сортувальної колії, яка заповнена цими відчепами, м;

$N_{\text{нак}}$ – кількість таких періодів накопичення.

- кількість вагонів ЗСГ, у т. ч на один розформований состав;
- середня тривалість виконання додаткової маневрової роботи, що пов'язана з вагонами ЗСГ.

Приклад результатів імітаційного моделювання наведено в табл. В.16 додатку В.

2.5 Оцінка адекватності моделі

З метою оцінки адекватності моделі був виконаний статистичний аналіз випадкових величин швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, та довжини «вікон», що утворюються між ними, які отримано на реальній станції та методом моделювання.

Для статистичного аналізу використовувалася вибірка значень швидкості, яка отримана в результаті спостережень на СГ однієї зі станцій і наведена в табл. В.17 додатку В (обсяг вибірки $n = 150$ значень). За даними вибірки побудовано статистичний ряд розподілу (табл. 2.1), а також визначено статистичні оцінки [137] математичного очікування $\bar{x}$ і середнього квадратичного відхилення s_x .

При цьому, інтервал групування приймається однаковим для усіх розрядів і визначається за формулою [137]:

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,2 \lg n}, \quad (2.2)$$

де $x_{\max}$, $x_{\min}$ – відповідно найбільше та найменше значення випадкової величини X .

Для вибірки, що розглядається, $x_{\max} = 2,91$ м/с, $x_{\min} = 0,52$ м/с.

Таблиця 2.1 – Розрахунок параметрів розподілу випадкової величини X

Розряд	x_i	κ_i	b_i	$x_i b_i$	$x_i^2 b_i$	h_i	$f(x)$	p_i
0,52-0,82	0,67	6	0,0400	0,026800	0,017956	0,1333	0,1431	0,0502
0,82-1,12	0,97	20	0,1333	0,129301	0,125422	0,4443	0,3559	0,1160
1,12-1,42	1,27	29	0,1933	0,245491	0,311774	0,6443	0,6264	0,1942
1,42-1,72	1,57	39	0,2600	0,408200	0,640874	0,8667	0,7798	0,2281
1,72-2,02	1,87	24	0,1600	0,299200	0,559504	0,5333	0,6869	0,1987
2,02-2,32	2,17	17	0,1133	0,245861	0,533518	0,3777	0,4281	0,1214
2,32-2,62	2,47	10	0,0667	0,164749	0,406930	0,2223	0,1887	0,0527
2,62-2,92	2,77	5	0,0333	0,092241	0,255508	0,1110	0,0589	0,0161
Всього		150	1,0	1,61	2,85			

Для кожного розряду визначено середні значення x_i , кількість влучань випадкової величини $\hat{e}_i$, частоту (статистичну ймовірність) влучання випадкової величини b_i .

Згідно з табл. 2.1 $\bar{x} = 1,61$ м/с, $s_x = 0,51$ м/с.

Статистичний ряд подано у графічному вигляді (рис. 2.6), для чого розраховано та наведено у табл. 2.1 статистичні щільності ймовірності [137]

$$h_i = \frac{b_i}{\Delta x}. \quad (2.3)$$

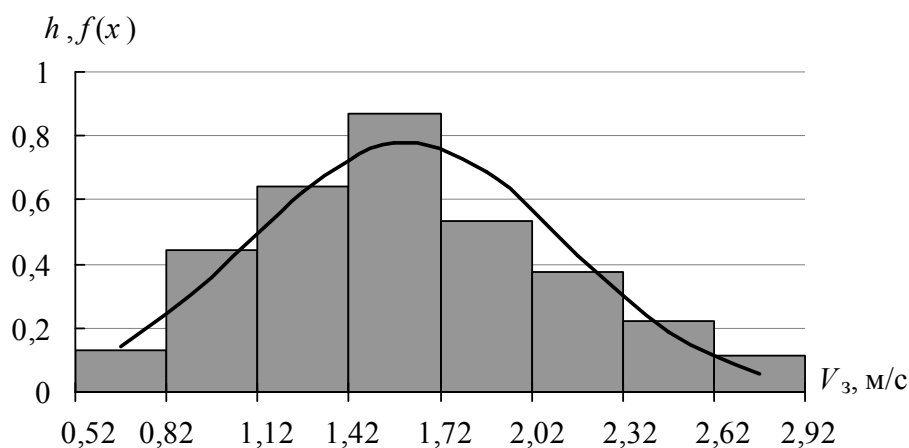


Рисунок 2.6 – Гістограма та графік щільності ймовірності нормального розподілу для випадкової величини швидкості підходу відчепів до вагонів (натурні дані)

Проаналізувавши результати статистичної обробки натурних даних, висунуто гіпотезу про те, що випадкова величина X має нормальний розподіл $H_0: F(x) = \Phi(x; \mu; \sigma^2)$, де Φ – функція розподілу нормального закону з параметрами μ і σ^2 .

Щільність ймовірності для нормального закону [137] визначено за формулою:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.4)$$

при $\mu = \bar{x} = 1,61$ м/с, $\sigma = s_x = 0,51$ м/с і наведено в табл. 2.1, а графік – на рис. 2.6.

Для перевірки гіпотези H_0 використаний критерій згоди Пірсона χ^2

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^c \frac{(b_i - p_i)^2}{p_i}, \quad (2.5)$$

де c – кількість розрядів статистичного ряду;

p_i – теоретична ймовірність влучання випадкової величини в окремий розряд з межами γ_i та β_i , окремі значення якої [4] в табл. 2.1 обчислювалися як

$$p_i = \Phi\left(\frac{\beta_i - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\gamma_i - \mu}{\sigma}\right). \quad (2.6)$$

За кількості розрядів статистичного ряду $c = 8$ (див. табл. 2.1) $\chi^2 = 5,89$.

За рівня значущості $\alpha = 0,05$ і кількості ступенів свободи $\nu = (8 - 1) - 2 = 5$ граничне значення $\chi_{\max}^2 = 11,10$ [137]. Оскільки $\chi^2 = 5,89 < 11,10$, то можна зробити висновок про те, що результати спостережень не суперечать основній гіпотезі H_0 . Таким чином, можна визнати, що випадкова величина X (швидкість підходу відцепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП) має нормальний закон розподілу.

У результаті моделювання процесу розформування составів на СГ була отримана вибірка значень швидкості обсягом $n = 300$ значень, яка наведена в табл. В.18 додатку В. За даними вибірки побудовано статистичний ряд розподілу (див. табл. 2.2), а також визначено статистичні оцінки математичного очікування $\bar{y}$ і середнього квадратичного відхилення s_y . Інтервал групування визначено за формулою (2.2) при $y_{\max} = 2,95$ м/с, $y_{\min} = 0,10$ м/с.

Згідно з табл. 2.2 $\bar{y} = 1,63$ м/с, $s_y = 0,57$ м/с.

Статистичні щільності ймовірності h_i у табл. 2.2 розраховано за формулою (2.3).

Таблиця 2.2 – Розрахунок параметрів розподілу випадкової величини Y

Розряд	y_i	κ_i	b_i	$y_i b_i$	$y_i^2 b_i$	h_i	$f(y)$	p_i
0,10-0,42	0,26	4	0,0133	0,003458	0,000899	0,0443	0,0390	0,0144
0,42-0,74	0,58	12	0,0400	0,023200	0,013456	0,1333	0,1283	0,0502
0,74-1,06	0,9	33	0,1100	0,099000	0,089100	0,3667	0,3082	0,1133
1,06-1,38	1,22	53	0,1767	0,215574	0,263000	0,5890	0,5404	0,1893
1,38-1,70	1,54	64	0,2133	0,328482	0,505862	0,7110	0,6912	0,2280
1,70-2,02	1,86	52	0,1733	0,322338	0,599549	0,5777	0,6452	0,2008
2,02-2,34	2,18	49	0,1633	0,355994	0,776067	0,5443	0,4394	0,1227
2,34-2,66	2,5	25	0,0833	0,20825	0,520625	0,2777	0,2184	0,0550
2,66-2,98	2,82	8	0,0268	0,075294	0,212329	0,0890	0,0792	0,0181
Всього		300	1,0	1,63	2,98			

Проаналізувавши результати статистичної обробки даних (рис. 2.7), висунуто гіпотезу про те, що випадкова величина Y має нормальний розподіл $H_0: F(y) = \Phi(y; \mu; \sigma^2)$, де Φ – функція розподілу нормального закону з параметрами μ і σ^2 .

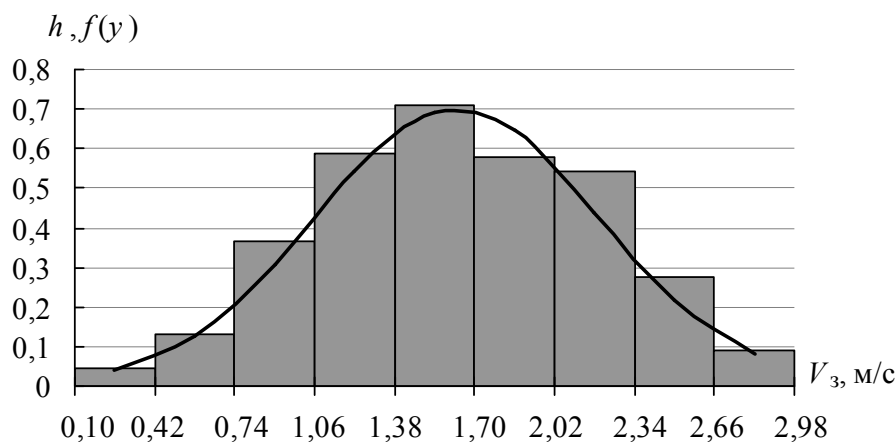


Рисунок 2.7 – Гістограма та графік щільності ймовірності нормального розподілу для випадкової величини швидкості підходу відчепів (за результатами моделювання)

Щільність ймовірності для нормального закону $f(y)$ у табл. 2.2 визначено за формулою (2.4) при $\mu = \bar{y} = 1,63$ м/с, $\sigma = s_y = 0,57$ м/с, а графік наведено на рис. 2.7.

Для перевірки гіпотези H_0 використаний критерій згоди Пірсона χ^2 , значення якого розраховується за формулою (2.5). Окремі значення p_i в табл. 2.2 визначено за формулою (2.6).

За кількості розрядів статистичного ряду $c = 9$ (див. табл. 2.2) $\chi^2 = 11,97$.

За рівня значущості $\alpha = 0,05$ і кількості ступенів свободи $\nu = (9 - 1) - 2 = 6$ граничне значення $\chi^2_{\max} = 12,60$ [137]. Оскільки $\chi^2 = 11,97 < 12,60$, то можна зробити висновок про те, що результати моделювання не суперечать основній гіпотезі H_0 . Таким чином, можна визнати, що випадкова величина Y швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, окремі значення якої отримані за результатами моделювання, також розподілена за нормальним законом.

Таким чином, у результаті статистичного аналізу встановлено, що випадкові величини X і Y мають нормальний закон розподілу з достатньо близькими параметрами. Для вибірок даних про швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, які отримані на СГ станції та за допомогою моделі, оцінки математичного очікування відповідно дорівнюють $\bar{x} = 1,61$ м/с і $\bar{y} = 1,63$ м/с,

оцінки середнього квадратичного відхилення – $s_x = 0,51$ м/с і $s_y = 0,57$ м/с. Отримані статистичні параметри свідчать про близькість результатів моделювання дослідним даним.

Для підвищення достовірності твердження про адекватність розробленої моделі за даними вказаних вибірок (див. табл. В.17 і В.18 додатку В) була виконана перевірка гіпотези про їх приналежність до однієї генеральної сукупності. Для перевірки гіпотези про однорідність двох вибірок обсягом, відповідно, $n_x = 150$ і $n_y = 300$ значень використаний U -критерій Уїлкоксона (Манна – Уїтні) [137]. Даний критерій призначений для перевірки гіпотези H_0 про те, що функції розподілу $F(x)$ і $F(y)$ двох генеральних сукупностей однакові ($H_0 : F(x) = F(y)$); конкуруюча гіпотеза $H_1 : F(x) \neq F(y)$.

Значення критерію Уїлкоксона визначаються за допомогою виразів:

$$u_x = R_x - \frac{n_x(n_x + 1)}{2}, \quad u_y = R_y - \frac{n_y(n_y + 1)}{2}, \quad (2.7)$$

де R_x, R_y – сума рангових чисел, які відповідають елементам вибірок x_i ($i = 1, \dots, n_x$) і y_j ($j = 1, \dots, n_y$).

Рангові числа r_i (r_j) є номерами елементів обох вибірок, що розташовані в порядку зростання ($r \in [1, n_x + n_y]$). У результаті розрахунку вказаних статистик для вибірок x_i і y_j були отримані значення $R_x = 33216$, $u_x = 21891$ і $R_y = 68259$, $u_y = 23109$.

Під час перевірки гіпотези $H_0 : F(x) = F(y)$ проти конкуруючої гіпотези $H_1 : F(x) \neq F(y)$ приймається двостороння критична область; при цьому гіпотеза H_0 приймається, якщо

$$\min(u_x, u_y) > U_{n_x, n_y, \alpha}. \quad (2.8)$$

У разі великих значень $n = n_x + n_y$ наближене значення критичного значення $U_{n_x, n_y, \alpha}$ [137] можна визначити як

$$U_{n_x, n_y, \alpha} \approx \frac{1}{2} n_x n_y - \lambda_q \sqrt{\frac{1}{12} n_x n_y (n_x + n_y + 1)}, \quad (2.9)$$

де λ_q – квантіль порядку q нормального розподілу $N(0,1)$.

Квантіль q визначається за прийнятим рівнем значущості

$$q = 1 - \frac{\alpha}{2},$$

де α – рівень значущості (прийнято $\alpha = 0,05$).

Для вибірок x_i і y_j , що розглядаються, $n = 150 + 300 = 450$, $q = 1 - 0,05/2 = 0,975$, $\lambda_{0,975} = 1,960$ [137]. Тоді відповідно до виразу (2.9) $U_{n_x, n_y, \alpha} = 19951,06$. Оскільки $\min(u_x, u_y) = 21891 > 19951,06$, то основна гіпотеза H_0 про приналежність вибірок x_i і y_j до однієї генеральної сукупності не суперечить експериментальним даним і може бути прийнятою.

Також для статистичного аналізу використовувалася вибірка значень довжини «вікон», яка отримана в результаті спостережень на СГ однієї зі станцій і наведена в табл. В.19 додатку В (обсяг вибірки $n = 150$ значень). За даними вибірки побудовано статистичний ряд розподілу (табл. 2.3), а також визначено статистичні оцінки математичного очікування $\bar{x}$ і середнього квадратичного відхилення s_x . Інтервал групування визначено за формулою (2.2) при $x_{\max} = 640,3$ м, $x_{\min} = 0,0$ м.

Згідно з табл. 2.3 $\bar{x} = 124,33$ м, $s_x = 124,65$ м.

Таблиця 2.3 – Розрахунок параметрів розподілу випадкової величини X

Розряд	x_i	κ_i	b_i	$x_i b_i$	$x_i^2 b_i$	h_i	$f(x)$	p_i
0,0-80,4	40,2	76	0,5067	20,36934	818,848	0,0063	0,0058211	0,4762
80,4-160,8	120,6	39	0,26	31,35600	3781,534	0,0032	0,0030490	0,2494
160,8-241,2	201,0	13	0,0867	17,42670	3502,767	0,0011	0,0015970	0,1307
241,2-321,6	281,4	12	0,08	22,51200	6334,877	0,0010	0,0008365	0,0684
321,6-402,0	361,8	2	0,0133	4,81194	1740,960	0,0002	0,0004382	0,0358
402,0-482,4	442,2	3	0,02	8,84400	3910,817	0,0002	0,0002295	0,0188
482,4-562,8	522,6	2	0,0133	6,95058	3632,373	0,0002	0,0001202	0,0098
562,8-643,2	603,0	3	0,02	12,06000	7272,180	0,0002	0,0000630	0,0052
Всього		150	1,0000	124,33060	30994,350			

Статистичні щільності ймовірності h_i у табл. 2.3 розраховано за формулою (2.3).

Проаналізувавши результати статистичної обробки натурних даних (див. рис. 2.8), висунуто гіпотезу про те, що випадкова величина X має показниковий розподіл $H_0: F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$ (при $x \geq 0$), де $\lambda = 1/\bar{x}$.

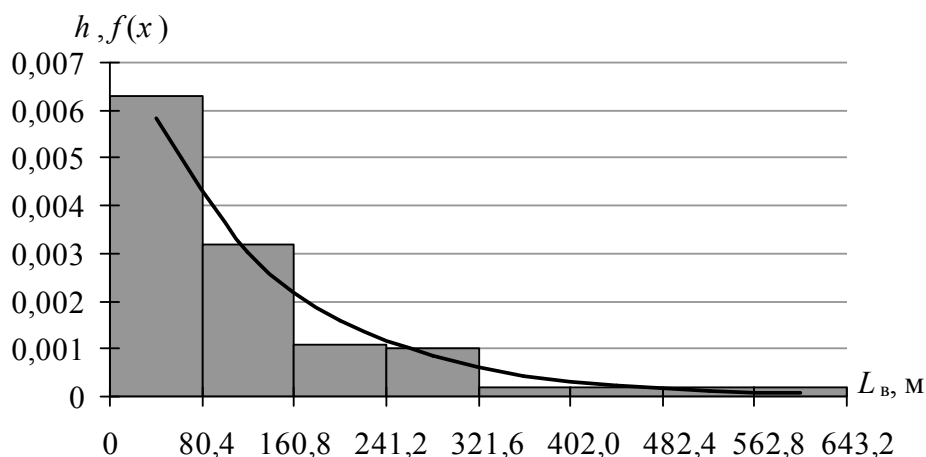


Рисунок 2.8 – Гістограма та графік щільності ймовірності показникового розподілу для випадкової величини довжини «вікон» на сортувальних коліях (натурні дані)

Щільність розподілу для показникового закону [137] визначено за формулою

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (\text{при } x \geq 0) \quad (2.10)$$

при $\bar{x} = 124,33$ м і наведено в табл. 2.3, а графік – на рис. 2.8.

Для перевірки гіпотези H_0 використаний критерій згоди Пірсона χ^2 , значення якого розраховується за формулою (2.5). Окремі значення p_i [4] в табл. 2.3 обчислювалися як

$$p_i = e^{-\lambda y_i} - e^{-\lambda \beta_i}. \quad (2.11)$$

При кількості розрядів статистичного ряду $c = 8$ (див. табл. 2.3) $\chi^2 = 11,52$.

При рівні значущості $\alpha = 0,05$ і кількості ступенів свободи $\nu = (8 - 1) - 1 = 6$ граничне значення $\chi^2_{\max} = 12,60$ [137]. Оскільки $\chi^2 = 11,52 < 12,60$, то можна зробити висновок про те, що результати спостережень не суперечать основній гіпотезі H_0 . Таким чином, можна визнати, що випадкова величина X (довжина «вікон» між відчепами на коліях СП) має показниковий закон розподілу.

У результаті моделювання процесу розформування составів на сортувальній гірці була отримана вибірка значень довжини «вікон» обсягом $n = 300$ значень, яка наведена в табл. В.20 додатку В. За даними вибірки побудовано статистичний ряд розподілу (табл. 2.4), а також визначено статистичні оцінки математичного

очікування $\bar{y}$ і середнього квадратичного відхилення s_y . Інтервал групування визначено за формулою (2.2) при $y_{\max} = 614,3$ м, $y_{\min} = 0,0$ м.

Таблиця 2.4 – Розрахунок параметрів розподілу випадкової величини Y

Розряд	y_i	κ_i	b_i	$y_i b_i$	$y_i^2 b_i$	h_i	$f(y)$	p_i
0-68,8	34,4	148	0,4933	16,96952	583,752	0,0061	0,0060402	0,4737
68,8-137,6	103,2	77	0,2567	26,49144	2733,917	0,0032	0,0031787	0,2493
137,6-206,4	172,0	35	0,1167	20,07240	3452,453	0,0015	0,0016728	0,1312
206,4-275,2	240,8	17	0,0567	13,65336	3287,729	0,0007	0,0008803	0,0690
275,2-344,0	309,6	11	0,0367	11,36232	3517,774	0,0005	0,0004633	0,0363
344,0-412,8	378,4	5	0,0167	6,31928	2391,216	0,0002	0,0002438	0,0191
412,8-481,6	447,2	2	0,0067	2,99624	1339,919	0,0001	0,0001283	0,0101
481,6-550,4	516,0	2	0,0067	3,45720	1783,915	0,0001	0,0000675	0,0053
550,4-619,2	584,8	3	0,0100	5,84800	3419,910	0,0001	0,0000355	0,0028
Всього		300	1,0	107,17	22510,58			

Згідно з табл. 2.4 $\bar{y} = 107,17$ м, $s_y = 105,00$ м.

Статистичні щільності ймовірності h_i у табл. 2.4 розраховано за формулою (2.3).

Проаналізувавши результати статистичної обробки даних (рис. 2.9), висунуто гіпотезу про те, що випадкова величина Y має показниковий розподіл H_0 : $F(y) = 1 - e^{-\lambda y}$ (при $y \geq 0$), де $\lambda = 1/\bar{y}$.

Щільність розподілу для показникового закону $f(y)$ у табл. 2.4 визначено за формулою (2.10) при $\bar{y} = 107,17$ м, а графік наведено на рис. 2.9.

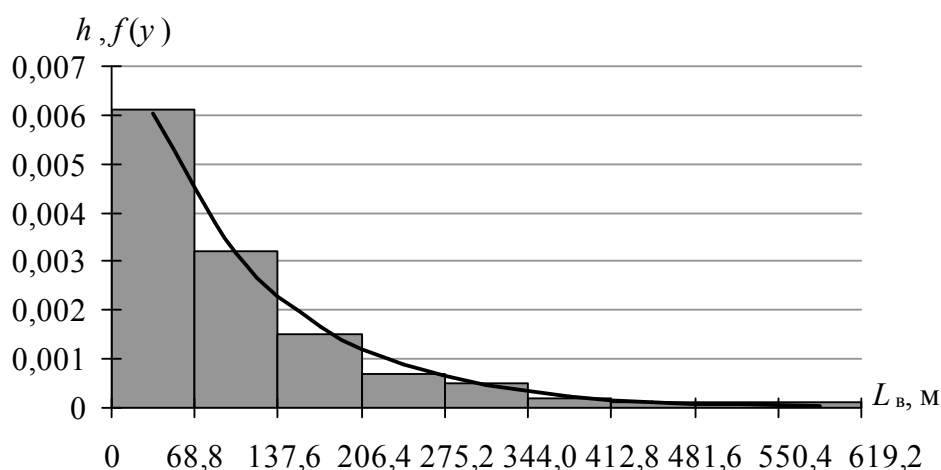


Рисунок 2.9 – Гістограма та графік щільності ймовірності показникового розподілу для випадкової величини довжини «вікон» на сортувальних коліях (за результатами моделювання)

Для перевірки гіпотези H_0 використаний критерій згоди Пірсона χ^2 , значення якого розраховується за формулою (2.5). Окремі значення p_i в табл. 2.4 визначено за формулою (2.11).

За кількості розрядів статистичного ряду $c = 9$ (див. табл. 2.4) $\chi^2 = 3,77$.

За рівня значущості $\alpha = 0,05$ і кількості ступенів свободи $\nu = (9 - 1) - 1 = 7$ граничне значення $\chi^2_{\max} = 14,10$ [137]. Оскільки $\chi^2 = 3,77 < 14,10$, то можна зробити висновок про те, що результати моделювання не суперечать основній гіпотезі H_0 . Таким чином, можна визнати, що випадкова величина Y довжини «вікон» між відчепами на коліях СП, окремі значення якої отримані за результатами моделювання, також розподілена за показниковим законом.

Таким чином, у результаті статистичного аналізу встановлено, що випадкові величини X і Y мають показниковий закон розподілу з достатньо близькими параметрами. Для вибірок даних про довжину «вікон» між відчепами на коліях СП, які отримані на СГ станції та за допомогою моделі, оцінки математичного очікування відповідно дорівнюють $\bar{x} = 120,10$ м і $\bar{y} = 107,17$ м, оцінки середнього квадратичного відхилення – $s_x = 113,16$ м і $s_y = 105,00$ м. Отримані статистичні параметри свідчать про близькість результатів моделювання дослідним даним.

Для підвищення достовірності твердження про адекватність розробленої моделі за даними вказаних вибірок обсягом, відповідно, $n_x = 150$ і $n_y = 300$ значень (див. табл. В.19 і В.20 додатку В) була виконана перевірка гіпотези про їх приналежність до однієї генеральної сукупності з використанням U -критерію Уїлкоксона.

У результаті розрахунку для вибірок x_i і y_j були отримані значення $R_x = 34978$, $u_x = 23653$ і $R_y = 66497$, $u_y = 21347$.

Для вибірок x_i і y_j , що розглядаються, $n = 150 + 300 = 450$, $q = 1 - 0,05/2 = 0,975$, $\lambda_{0,975} = 1,960$ [137]. Тоді відповідно до виразу (2.9) $U_{n_x, n_y, \alpha} = 19951,06$. Оскільки умова (2.8) $\min(u_x, u_y) = 21347 > 19951,06$ виконується, то основна гіпотеза H_0 про приналежність вибірок x_i і y_j до однієї генеральної сукупності не суперечить експериментальним даним і може бути прийнятою.

Таким чином, можна вважати, що модель процесу розформування составів на сортувальній гірці є адекватною реальній станції та може бути використана для розв'язання практичних задач.

2.6 Аналіз впливу основних факторів на параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальній гірці

У дисертаційній роботі використана типова гіркова горловина [71], яка наведена на рис. 2.10 і характеризується наступними параметрами: 1) кількість колій насуву – 2; 2) кількість спускних колій – 2; 3) кількість обхідних колій – 2; 4) кількість сортувальних колій – 32; 5) кількість пучків – 4, кількість колій у кожному пучку – 8; 6) характеристика гальмових позицій – I ГП – 2 сповільнювача НК-114, II ГП – 2 сповільнювача НК-114, ПГП – 3 сповільнювача РНЗ-2М.

Параметри сортувальної гірки великої потужності наведено у п. В.4 додатку В.

У дисертаційній роботі розглянуто наступні параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів:

1) середню швидкість підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП $\bar{v}_3$

;

2) середню довжину «вікна» на один перероблений вагон $l_{\text{вік}}$;

3) середню кількість операцій осаджування на один перероблений вагон $P_{\text{ос}}$,

та досліджено вплив на них (рис. 2.11) наступних факторів:

– похибки гальмування відчепів (середньоквадратичної помилки розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з ГП) σ_v ;

– вагової категорії вагонів у потоці, що підлягає розформуванню;

– кількості вагонів у відчепі;

– ухилу сортувальних колій i .

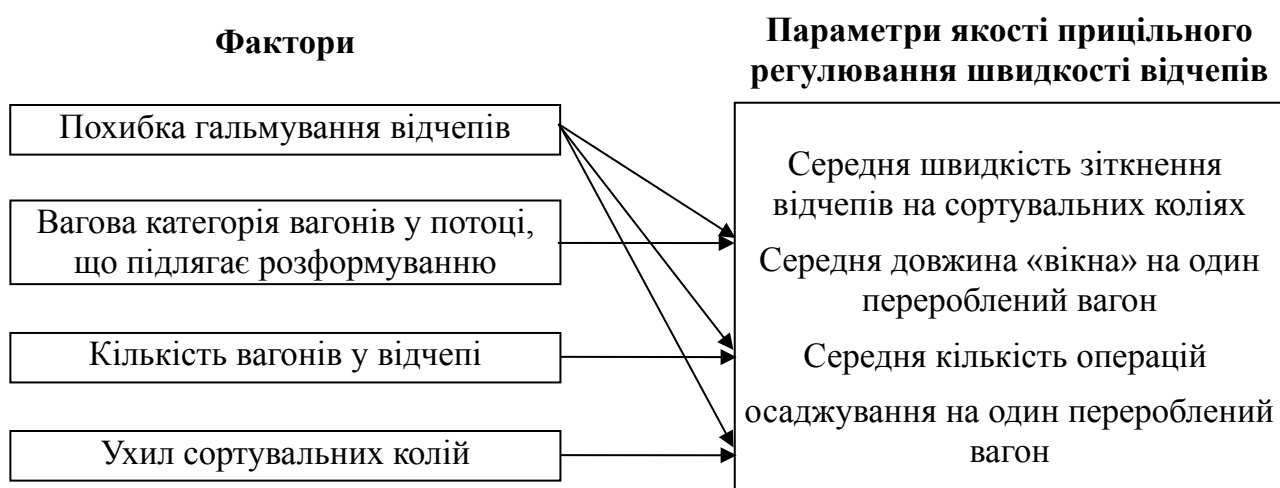


Рисунок 2.11 – План проведення досліджень із визначення впливу факторів на параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів

Вихідні дані для імітаційного моделювання наведено у п. 2.4 і п. В.2 додатку В. Обсяг моделювання становить 1000 составів. Похибка гальмування (середньоквадратична помилка розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів для кожної ГП) σ_v під час досліджень варіюється в межах від 0,1 м/с до 1,0 м/с з кроком 0,1 м/с. Швидкість розпуску составів – 1,7 м/с.

Для визначення впливу вагової категорії вагонів на параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів у дисертаційній роботі розглянуто вісім варіантів,

що відрізняються частотою появи вагонів різної вагової категорії, характеристики яких наведено в табл. 2.5. Інші вихідні дані прийнято згідно п. В.2. додатку В.

Таблиця 2.5 – Частоти появи вагонів різної вагової категорії, %

Вагова категорія вагонів	Діапазон ваги вагонів, тс	Варіант							
		1	2	3	4	5	6	7	8
легка	до 28	5	15	25	35	45	55	65	75
легко-середня	28–44	5	5	5	5	5	5	5	5
середня	44–60	5	5	5	5	5	5	5	5
середньо-важка	60–72	5	5	5	5	5	5	5	5
важка	більш 72	80	70	60	50	40	30	20	10

Параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів, що отримано в результаті імітаційного моделювання її роботи, наведено в табл. Г.1-Г.3 додатку Г.

Середня швидкість підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП $\bar{v}_3$ (див. рис. Г.1) зі збільшенням похибки гальмування від 0,1 до 1,0 м/с збільшується в цілому від 1,37-1,34 м/с (4,9-4,8 км/год) до 1,75-1,68 м/с (6,3-6,1 км/год), тобто на 28-25 %. Таким чином, похибка гальмування чинить певний вплив на даний параметр. Зі збільшенням частоти появи у потоці, що підлягає переробці, вагонів легкої вагової категорії середня швидкість підходу відчепів зменшується на 2-6 %. Варто відмітити, що при $\sigma_v \leq 0,3$ м/с вплив похибки гальмування становить 1-2 % і є меншим, ніж вплив вагової категорії вагонів (2-3 %).

Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон $l_{\text{вік}}$ (див. рис. Г.2) зі збільшенням похибки гальмування від 0,1 до 1,0 м/с збільшується в цілому від 6,44-16,21 м/ваг до 24,93-33,69 м/ваг, тобто у 3,9-2,1 рази. Зі збільшенням частоти появи у потоці, що підлягає переробці, вагонів легкої вагової категорії даний параметр зростає у 2,5-1,4 рази. Таким чином, вплив похибки гальмування та вагової категорії вагонів у потоці, що підлягає переробці, на даний параметр є суттєвим. Варто відмітити, що при $\sigma_v \leq 0,5$ м/с вплив похибки гальмування становить 1,6-1,3 рази і є меншим, ніж вплив вагової категорії вагонів (2,5-2,1 рази). Слід зазначити, що під час збільшення похибки гальмування суттєво зменшується вплив вагової категорії вагонів.

Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон $P_{\text{ос}}$ (див. рис. Г.3) зі збільшенням похибки гальмування від 0,1 до 1,0 м/с зростає в цілому від

0,0175-0,0368 операцій/ваг до 0,0485-0,0658 операцій/ваг, тобто у 3,1-1,9 рази. Зі збільшенням частоти появи у потоці, що підлягає переробці, вагонів легкої вагової категорії даний параметр зростає у 2,2-1,4 рази. Таким чином, вплив похибки гальмування та вагової категорії вагонів у потоці, що підлягає переробці, на даний параметр є суттєвим. Варто відмітити, що при $\sigma_v \leq 0,5$ м/с вплив похибки гальмування становить 1,5-1,2 рази і є меншим, ніж вплив вагової категорії вагонів (1,3-1,9 рази). Слід зазначити, що під час збільшення похибки гальмування суттєво зменшується вплив вагової категорії вагонів.

Для визначення впливу кількості вагонів у відчепі на параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів у дисертаційній роботі розглянуто вісім варіантів, що відрізняються частотою появи у потоці, що переробляється, відчепів з різною кількістю вагонів, характеристики яких наведено в табл. 2.6. Інші вихідні дані прийнято згідно п. В.2. додатку В.

Таблиця 2.6 – Частоти появи відчепів з різною кількістю вагонів, %

Кількість вагонів у відчепі	Варіант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	80	70	60	50	40	30	20	10
2	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	5	5	5
5 і більше	5	15	25	35	45	55	65	75

Параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів, що отримано в результаті імітаційного моделювання її роботи, наведено в табл. Г.4-Г.6 додатку Г.

Середня швидкість підходу відчепів до вагонів на коліях СП $\bar{v}_z$ (див. рис. Г.4) зі збільшенням похибки гальмування від 0,1 до 1,0 м/с збільшується в цілому від 1,36-1,35 м/с (4,9-4,8 км/год) до 1,73-1,67 м/с (6,2-6,0 км/год), тобто на 27,2-23,7 %. Зі збільшенням частоти появи у потоці, що підлягає переробці, відчепів з 5 і більше вагонів середня швидкість підходу відчепів зменшується на 0,7-4,5 %.

Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон $l_{\text{вік}}$ (див. рис. Г.5) зі збільшенням похибки гальмування від 0,1 до 1,0 м/с збільшується в цілому від 6,33-12,65 м/ваг до 15,15-34,51 м/ваг, тобто у 2,3-2,7 рази. Зі збільшенням частоти появи у потоці, що підлягає переробці, відчепів з 5 і більше вагонів даний параметр

зменшується у 2,0-2,3 рази. Таким чином, вплив похибки гальмування та кількості вагонів у відчепі на даний параметр є суттєвим.

Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон P_{oc} (див. рис. Г.6) зі збільшенням похибки гальмування від 0,1 до 1,0 м/с зростає в цілому від 0,0277-0,0141 операцій/ваг до 0,0642-0,0319 операцій/ваг, тобто у 2,0-2,4 рази. Зі збільшенням частоти появи у потоці, що підлягає переробці, відчепів з 5 і більше вагонів даний параметр зменшується у 1,6-2,0 рази. Таким чином, вплив похибки гальмування та кількості вагонів у відчепі на даний параметр є суттєвим.

Для визначення впливу ухилу сортувальних колій на параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів у дисертаційній роботі розглянуто вісім варіантів, що відрізняються значеннями цього ухилу (від розрахункової точки до протиухилу, який дорівнює 2 ‰ і приймається згідно [124] на відстані 100 м від граничного стовпчика вихідної горловини СП), характеристики яких наведено в табл. 2.7. Інші вихідні дані прийнято згідно п. В.2. додатку В.

Таблиця 2.7 – Ухил сортувальних колій

Фактор	Варіант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ухил сортувальних колій, ‰	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

Параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів, що отримано в результаті імітаційного моделювання її роботи наведено в табл. Г.7-Г.9 додатку Г.

Середня швидкість підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, $\bar{v}_3$ (див. рис. Г.7) зі збільшенням похибки гальмування від 0,1 до 1,0 м/с збільшується в цілому від 1,39-1,64 м/с (5,0-5,9 км/год) до 1,71-1,96 м/с (6,2-7,1 км/год), тобто на 23-19,5 %. Зі збільшенням ухилу сортувальних колій від 0,6 ‰ до 2,0 ‰ середня швидкість підходу відчепів збільшується на 13,9-18,4 %. Таким чином, похибка гальмування та ухил сортувальних колій чинять певний вплив на даний параметр.

Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон l_{vik} (див. рис. Г.8) зі збільшенням похибки гальмування від 0,1 до 1,0 м/с збільшується в цілому від 11,98-5,78 м/ваг до 35,48-21,93 м/ваг, тобто у 3,0-3,8 рази. Зі збільшенням ухилу сортувальних колій від 0,6 ‰ до 2,0 ‰ даний параметр зменшується у 1,3-2,1 рази.

Таким чином, вплив похибки гальмування та ухилу сортувальних колій на даний параметр є суттєвим.

Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон P_{oc} (див. рис. Г.9) зі збільшенням похибки гальмування від 0,1 до 1,0 м/с зростає в цілому від 0,0256-0,0144 операцій/ваг до 0,0680-0,0436 операцій/ваг, тобто у 2,7-3,1 рази. Зі збільшенням ухилу сортувальних колій від 0,6 ‰ до 2,0 ‰ даний параметр зменшується у 1,8-1,3 рази. Таким чином, вплив похибки гальмування та ухилу сортувальних колій на даний параметр є суттєвим.

2.7 Встановлення зв'язку між основними факторами та параметрами якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальній гірці

Якщо кожному значенню величини X відповідає статистичний ряд можливих значень величини Y , то такого роду зв'язок між величинами є статистичним (кореляційним) [4]. Вивчення такого зв'язку між величинами X і Y передбачає розгляд розподілу величини Y для кожного x .

Для оцінки тісноти нелінійного кореляційного зв'язку [4] використовується кореляційне відношення Y та X

$$\eta_{y/x} = \frac{\sigma_{y_x}}{\sigma_y}, \quad (2.12)$$

де σ_y – середньоквадратичне відхилення величини Y від загальної середньої $\bar{Y}$;

σ_{y_x} – середньоквадратичне відхилення умовних середніх y_x від їх середньої $\bar{y}_x$.

Значення σ_y згідно [4]

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_y n_y (y - \bar{y})^2}, \quad (2.13)$$

де N – кількість дослідів (значень величини Y);

$n_y = \sum_x m_{xy}$, де m_{xy} – частоти, які показують скільки разів за даних значень x зустрічалися вказані значення y .

Значення σ_{y_x} згідно [4]

$$\sigma_{y_x} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_x m_x (y_x - \bar{y}_x)^2}, \quad (2.14)$$

де $m_x = \sum_y m_{xy}$.

Умовне середнє y по x згідно [4]

$$y_x = \frac{\sum_y m_{xy} y}{m_x}. \quad (2.15)$$

Наявність статистичного зв'язку між X і Y [4] відповідає умові $0 < \eta_{y/x} < 1$, причому $\eta_{y/x}$ тим ближче до 1, чим тіснішим є кореляційний зв'язок Y з X .

Якісну оцінку тісноти зв'язку [144] можна дати за шкалою Чеддока (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Шкала Чеддока

Показник тісноти зв'язку, $\eta_{y/x}$	0,10-0,30	0,30-0,50	0,50-0,70	0,70-0,90	0,90-0,99
Характеристика тісноти зв'язку	слабкий	помірний	помітний	значний	дуже значний

Аналізуючи дані, які наведено на рис. Г.1-Г.3 додатку Г, можна зробити висновок, що між похибкою гальмування відчепів і параметрами якості прицільного регулювання швидкості відчепів, а також між ваговою категорією вагонів і цими параметрами є певний кореляційний нелінійний зв'язок.

Розрахунок відповідних кореляційних відношень $\eta_{y/x}$ наведено у табл. 2.9, 2.10.

Таблиця 2.9 – Визначення кореляційних відношень для оцінки зв'язку між похибкою гальмування відчепів і параметрами якості прицільного регулювання

Параметр	$\bar{y}$	$\sum_y n_y (y - \bar{y})^2$	σ_y	$\bar{y}_x$	$\sum_x m_x (y_x - \bar{y}_x)^2$	σ_{y_x}	$\eta_{y/x}$
$\bar{v}_z$	1,5450	1,49662	0,137	1,50063	1,29775	0,127	0,93
$l_{\text{вк}}$	20,0900	3680,82000	6,783	18,92000	2749,97000	5,863	0,86
$P_{\text{ос}}$	0,0407	0,01296	0,0127	0,03854	0,00983	0,01109	0,87

Таблиця 2.10 – Визначення кореляційних відношень для оцінки зв'язку між частотою появи у потоці вагонів різної вагової категорії та параметрами якості прицільного регулювання

Параметр	$\bar{y}$	$\sum_y n_y (y - \bar{y})^2$	σ_y	$\bar{y}_x$	$\sum_x m_x (y_x - \bar{y}_x)^2$	σ_{y_x}	$\eta_{y/x}$
$\bar{v}_3$	1,5450	1,49662	0,137	1,50063	0,03454	0,021	0,15
$l_{\text{бік}}$	20,0900	3680,82000	6,783	18,92000	723,99600	3,008	0,44
$P_{\text{ос}}$	0,0407	0,01296	0,0127	0,03854	0,00227	0,005	0,42

Аналіз отриманих результатів з використанням шкали Чеддока (табл. 2.8) дозволив встановити наступне:

1. Вплив похибки гальмування відчепів σ_v на середню швидкість їх підходу до вагонів, що знаходяться на коліях СП, є дуже значним ($\eta_{v/x}=0,93$), а вплив вагової категорії вагонів у потоці, що підлягає розформуванню, є слабким ($\eta_{v/x}=0,15$).

2. Вплив похибки гальмування відчепів є значним, а вплив вагової категорії вагонів є помірним на такі параметри:

- середню довжину «вікна» на один перероблений вагон ($\eta_{v/x}=0,86$ і $\eta_{v/x}=0,44$ відповідно);
- середню кількість операцій осаджування на один перероблений вагон ($\eta_{v/x}=0,87$ і $\eta_{v/x}=0,42$ відповідно).

Аналізуючи дані, які наведено на рис. Г.4-Г.6 додатку Г, можна зробити висновок, що між похибкою гальмування відчепів і параметрами якості прицільного регулювання швидкості відчепів, а також між кількістю вагонів у відчепі та цими параметрами є певний кореляційний нелінійний зв'язок.

Розрахунок відповідних кореляційних відношень $\eta_{v/x}$ наведено у табл. 2.11, 2.12.

Таблиця 2.11 – Визначення кореляційних відношень для оцінки зв'язку між похибкою гальмування відчепів і параметрами якості прицільного регулювання

Параметр	$\bar{y}$	$\sum_y n_y (y - \bar{y})^2$	σ_y	$\bar{y}_x$	$\sum_x m_x (y_x - \bar{y}_x)^2$	σ_{y_x}	$\eta_{y/x}$
$\bar{v}_3$	1,5425	1,34008	0,129	1,49919	1,16847	0,121	0,93
$l_{\text{бік}}$	20,4350	5879,21000	8,573	14,18900	1519,34000	4,358	0,51
$P_{\text{ос}}$	0,0393	0,01630	0,014	0,02980	0,00515	0,008	0,56

Таблиця 2.12 – Визначення кореляційних відношень для оцінки зв'язку між частотою появи у потоці відчепів з різною кількістю вагонів і параметрами якості прицільного регулювання

Параметр	$\bar{y}$	$\sum_y n_y (y - \bar{y})^2$	σ_y	$\bar{y}_x$	$\sum_x m_x (y_x - \bar{y}_x)^2$	σ_{y_x}	$\eta_{y/x}$
$\bar{v}_3$	1,5425	1,34008	0,129	1,49919	0,00632	0,009	0,10
$l_{\text{бік}}$	20,4350	5879,21000	8,573	14,18900	993,94300	3,525	0,41
$P_{\text{ос}}$	0,0393	0,01708	0,015	0,03007	0,00353	0,007	0,45

Аналіз отриманих результатів дозволив встановити наступне:

1. Вплив похибки гальмування відчепів на середню швидкість їх підходу до вагонів, що знаходяться на коліях СП, є дуже значним ($\eta_{y/x} = 0,93$), а вплив кількості вагонів у відчепі, є слабким ($\eta_{y/x} = 0,10$).

2. Вплив похибки гальмування відчепів є помітним, а вплив кількості вагонів у відчепі, є помірним на такі параметри:

– середню довжину «вікна» на один перероблений вагон ($\eta_{y/x} = 0,51$ і $\eta_{y/x} = 41$ відповідно);

– середню кількість операцій осаджування на один перероблений вагон ($\eta_{y/x} = 0,56$ і $\eta_{y/x} = 0,45$ відповідно).

Аналізуючи дані, які наведено на рис. Г.7-Г.9 додатку Г, можна зробити висновок, що між похибкою гальмування відчепів і параметрами якості прицільного регулювання швидкості відчепів, а також між ухилом сортувальних колій та цими параметрами є певний кореляційний нелінійний зв'язок.

Розрахунок відповідних кореляційних відношень $\eta_{y/x}$ наведено у табл. 2.13, 2.14.

Таблиця 2.13 – Визначення кореляційних відношень для оцінки зв'язку між похибкою гальмування відчепів і параметрами якості прицільного регулювання

Параметр	$\bar{y}$	$\sum_y n_y (y - \bar{y})^2$	σ_y	$\bar{y}_x$	$\sum_x m_x (y_x - \bar{y}_x)^2$	σ_{y_x}	$\eta_{y/x}$
$\bar{v}_3$	1,6700	2,07360	0,1610	1,58800	1,02366	0,1130	0,70
$l_{\text{бік}}$	20,6600	5256,19000	8,1100	16,67000	3433,00400	6,5500	0,81
$P_{\text{ос}}$	0,0413	0,01725	0,0147	0,03408	0,01127	0,0119	0,81

Таблиця 2.14 – Визначення кореляційних відношень для оцінки зв'язку між ухилом сортувальних колій і параметрами якості прицільного регулювання

Параметр	$\bar{y}$	$\sum_y n_y (y - \bar{y})^2$	σ_y	$\bar{y}_x$	$\sum_x m_x (y_x - \bar{y}_x)^2$	σ_{y_x}	$\eta_{y/x}$
----------	-----------	------------------------------	------------	-------------	----------------------------------	----------------	--------------

$\bar{v}_3$	1,6700	2,07360	0,1610	1,58800	0,48224	0,0780	0,48
$l_{\text{вк}}$	20,6600	5256,19000	8,1100	16,67000	393,54000	2,2200	0,27
$P_{\text{ос}}$	0,0413	0,01725	0,0147	0,03408	0,00129	0,0040	0,27

Аналіз отриманих результатів дозволив встановити наступне:

1. Вплив похибки гальмування відчепів на середню швидкість їх підходу до вагонів, що знаходяться на коліях СП, є значним ($\eta_{y/x}=0,70$), а вплив ухилу сортувальних колій є помірним ($\eta_{y/x}=0,48$).

2. Вплив похибки гальмування відчепів є значним, а вплив ухилу сортувальних колій є слабким на такі параметри:

– середню довжину «вікна» на один перероблений вагон ($\eta_{y/x}=0,81$ і $\eta_{y/x}=0,27$ відповідно);

– середню кількість операцій осаджування на один перероблений вагон ($\eta_{y/x}=0,81$ і $\eta_{y/x}=0,27$ відповідно).

2.8 Висновки до розділу 2

1. Аналіз показників роботи сортувальних гірок і параметрів вагонопотоків, що підлягають переробці на них, дозволив встановити наступне:

– під час регулювання швидкості скочування відчепів з СГ мають місце похибки швидкості виходу відчепів з ГП, які складаються з похибки завдання та похибки його реалізації. Похибка реалізації заданої швидкості виходу відчепів з ГП перевищує нормативне значення для систем АРШ;

– середня швидкість підходу відчепів до вагонів, які знаходяться на коліях СП, перевищує нормативну (5 км/год), що може призводити до пошкодження вагонів і вантажів;

– у структурі вагонопотоку, який переробляється на СГ, спостерігається значне коливання за кількістю вагонів у відчепі та ваговою категорією вагонів;

– вагони, які заборонено спускати з гірки без локомотива, складають значну частку загального вагонопотоку, якій підлягає переробці на СГ.

2. Удосконалено математичну модель процесу розформування составів поїздів на сортувальній гірці з метою урахування особливих умов сортування вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива. Дана модель є адекватною та може бути використана для розв'язання прикладних задач.

3. Досліджено вплив похибки гальмування відчепів (середньоквадратичної помилки розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з ГП), вагової категорії вагонів, кількості вагонів у відчепі, ухилу сортувальних колій на основні параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів на СГ: 1) середню швидкість підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП; 2) середню довжину «вікна» на один перероблений вагон; 3) середню кількість операцій осаджування на один перероблений вагон.

4. Аналіз отриманих даних дозволив встановити, що між основними факторами та параметрами якості прицільного регулювання швидкості відчепів на СГ має місце певний кореляційний нелінійний зв'язок, для оцінки тісноти якого використано кореляційне відношення. Якісну оцінку тісноти зв'язку надано за шкалою Чеддока.

5. Наявність кореляційного зв'язку між основними факторами та параметрами якості прицільного регулювання дає можливість встановити регресійні моделі для їх нормування.

РОЗДІЛ 3

НОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПРИЦІЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

У п. 2.7 дисертаційної роботи встановлено наявність нелінійного кореляційного зв'язку між похибкою гальмування відчепів (середньоквадратичною помилкою розрахунку та реалізації швидкостей виходу з ГП) σ_v і параметрами якості прицільного регулювання швидкості відчепів на СГ. Вагова категорія вагонів, кількість вагонів у відчепі та ухил сортувальних колій теж мають на них певний вплив. Наявність такого зв'язку дає можливість встановити вид регресійних моделей для нормування цих параметрів.

У дисертаційній роботі отримано нові залежності, факторами яких є похибка гальмування відчепів та ухил сортувальних колій, які з урахуванням параметрів вагонопотоку, що переробляється на СГ, дозволяють нормувати:

- параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів на СГ ($\bar{v}_3$, $l_{\text{вік}}$, $P_{\text{ос}}$);
- середню тривалість осаджування на коліях СП у розрахунку на один перероблений вагон з урахуванням впливу швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією.

Для перевірки можливості отримання цих залежностей визначено однофакторні регресійні моделі (фактором є похибка гальмування відчепів), за якими з урахуванням вагової категорії вагонів у потоці, що переробляється, або кількості вагонів у відчепі можна нормувати: середню швидкість $\bar{v}_3$ підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, середню довжину «вікна» на один перероблений вагон $l_{\text{вік}}$, середню кількість операцій осаджування на один перероблений вагон $P_{\text{ос}}$.

Крім того, отримано двофакторні регресійні моделі для нормування вказаних параметрів, факторами яких є похибка гальмування та ухил сортувальних колій.

3.1 Загальні принципи побудови регресійних моделей

Аналізуючи природу залежності, слід встановити характер функції, яка виражає зміну значень певного параметра якості прицільного регулювання швидкості відчепів на СГ y_x в залежності від похибки гальмування відчепів x у разі однофакторної регресійної моделі або від похибки гальмування відчепів x_1 і ухилу сортувальних колій x_2 у разі двофакторної моделі.

Коефіцієнти регресійної моделі $y_x = f(x)$ визначаються за методом найменших квадратів, згідно з яким [4] найкращими коефіцієнтами $b_0, b_1, \dots, b_k$ вважаються ті, для яких сума квадратів відхилень є мінімальною (принцип Лежандра)

$$S(b_0, b_1, \dots, b_k) = \sum_{i=1}^N [f(x_i; b_0, b_1, \dots, b_k) - y_i]^2 = \min, \quad (3.1)$$

де y_i – значення величини Y , що отримано в результаті дослідів для відповідних x_i .

Для визначення мінімуму виразу (3.1) необхідно знайти окремі похідні за всіма невідомими b_j ($j = 0, 1, \dots, k$) і прирівняти їх до 0. Отримані рівняння утворюють систему нормальних рівнянь для визначення коефіцієнтів b_j . Якщо рішення системи є єдиним, то воно буде тим, що відшукувалося.

В якості оцінки дисперсії випадкової величини Y використовується залишкова дисперсія (або дисперсія відносно лінії регресії), яка у разі:

– однофакторної регресійної моделі [137] визначається як

$$D_3 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{S}; \quad (3.2)$$

– двофакторної регресійної моделі [79] визначається як

$$D_3 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - p - 1}, \quad (3.3)$$

де y_i – дійсні значення величини Y , що відповідають певним x_i ;

$\hat{y}_i$ – значення, які розраховано за рівнянням регресії для відповідних x_i ;

p – кількість факторів (у дисертаційній роботі факторами, що впливають на значення певного параметра якості прицільного регулювання швидкості відчепів, є похибка гальмування відчепів σ_v і ухил сортувальних колій i , тобто $p = 2$);

$S = N - 2$ (де N – кількість значень величини Y), що призводить до того, що D_3 стає незміщеною оцінкою дисперсії теоретичного розподілу.

Якщо опис залежності y_x від x або y_x від x_1 і x_2 є можливим кількома рівняннями регресії $y_x = f(x)$, то їх слід обирати таким чином, щоб D_3 була мінімальною.

Для перевірки значимості регресійної моделі доцільно скористатися F -критерієм Фішера [79]. Якість регресійної моделі визначають, порівнюючи емпіричну дисперсію з залишковою. F -критерій Фішера показує у скільки разів регресійна модель описує результати дослідів краще, ніж середнє значення $\bar{y}$, і згідно [79] визначається за формулою:

$$F = \frac{D_y}{D_3}, \quad (3.4)$$

де D_y – емпірична дисперсія

$$D_y = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{S}, \quad (3.5)$$

де $S = N - 1$, що призводить до того, що D_y стає незміщеною оцінкою дисперсії теоретичного розподілу.

Емпіричне середнє значення величини Y згідно [137]

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}. \quad (3.6)$$

Регресійна модель адекватно описує результати експериментів [79], якщо виконується умова

$$F > F_{(\alpha; m_1; m_2)}^T, \quad (3.7)$$

де $F_{(\alpha; m_1; m_2)}^T$ – межа (табличне значення) F -критерію у разі визначених: ймовірності помилки (рівня значимості) α , ступеня свободи емпіричної дисперсії m_1 і ступеня свободи залишкової дисперсії m_2 . У дисертаційній роботі прийнято, що $\alpha = 5\%$.

Ступінь свободи емпіричної дисперсії згідно [79]

$$m_1 = N - 1. \quad (3.8)$$

Ступінь свободи залишкової дисперсії згідно [79] у разі:

– однофакторної регресійної моделі визначається як

$$m_2 = N - 2; \quad (3.9)$$

– двофакторної регресійної моделі визначається як

$$m_2 = N - p - 1. \quad (3.10)$$

Значення $F_{(\alpha; m_1; m_2)}^T$ визначається згідно [137].

Додатково перевірити адекватність регресійної моделі [103] також можна, якщо визначити відносне відхилення дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ (%)

$$v = \frac{\Delta \bar{y}_i}{\bar{Y}} 100, \quad (3.11)$$

де $\bar{Y}$ – середнє значення величини $\hat{Y}$, що розраховано за регресійною моделлю;

$\Delta \bar{y}_i$ – середнє відхилення значень величини Y від значень величини $\hat{Y}$, яке розраховується за формулою:

$$\Delta \bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|}{N}. \quad (3.12)$$

У дисертаційній роботі прийнято, що регресійна модель адекватно описує результати експериментів, якщо виконується умова

$$v \leq 10\%. \quad (3.13)$$

Мірою тісноти зв'язку у разі нелінійної залежності [79] є множинне кореляційне відношення

$$R' = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (3.14)$$

Воно використовується [79] також для оцінки якості прогнозу (отриманої двофакторної регресійної моделі). Множинне кореляційне відношення завжди додатне та змінюється від 0 до 1. Чим більше значення R' , тим кращою є якість прогнозування даною моделлю дослідних даних. Прийнято, що двофакторна регресійна модель адекватно описує результати експериментів, якщо виконується умова

$$R' \geq 0,95. \quad (3.15)$$

У дисертаційній роботі розглянуто 40 видів можливих однофакторних регресійних моделей та 58 видів двофакторних (див. п. Д.1 додатку Д). Коефіцієнти моделей отримано за методом найменших квадратів з використанням програми «РЕГРЕСІЯ», яку розроблено на кафедрі «Станції та вузли» ДНУЗТу.

3.2 Регресійні моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів з урахуванням окремих факторів

3.2.1 Моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів з урахуванням вагової категорії вагонів

Кореляційне відношення $\eta_{v/x} = 0,93$ (див. табл. 2.9) свідчить про наявність дуже значного нелінійного кореляційного зв'язку між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою швидкістю їх підходу до вагонів, що знаходяться на коліях СП. Вплив вагової категорії вагонів (див. табл. 2.10) є слабким ($\eta_{v/x} = 0,15$).

З усієї розглянутої сукупності однофакторних регресійних моделей за принципом найменшої залишкової дисперсії D_3 обрано три (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Параметри регресійних моделей

Тип моделі	Вид моделі	Коефіцієнти моделі			D_3
		b_0	b_1	b_2	
1	$\bar{v}_3 = b_0 + b_1 e^{-\alpha v} + b_2 e^{-\alpha^2 v}$	1,927	0,300	-0,850	0,000836
2	$\bar{v}_3 = b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 \sigma_v$	1,515	-0,828	1,044	0,000884
3	$\bar{v}_3 = b_0 + b_1 \sigma_v^2$	1,349	0,394	–	0,001000

Емпіричне середнє значення $\bar{y}$ величини Y (табл. 3.2) розраховано за формулою (3.6) з використанням даних табл. Г.1 додатку Г.

Таблиця 3.2 – Дані для перевірки адекватності регресійних моделей

Тип моделі	N	$\bar{y}$	$\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$	D_y	$\bar{Y}$	$\sum_{i=1}^N y_i - \hat{y}_i $	$\Delta \bar{y}_i$
1	80	1,501	1,3392	0,0167	1,501	1,59	0,0199
2					1,500	1,63	0,0204
3					1,499	1,65	0,0206

Емпіричну дисперсію середньої швидкості підходу відчепів (див. табл. 3.2) розраховано за формулою (3.5). Значення $(y_i - \bar{y})^2$, для прикладу, наведено у табл. Д.1 додатку Д. За регресійною моделлю для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (див. табл. Д.2). За цими даними розраховано середні значення $\bar{Y}$ величини $\hat{Y}$ у формулі (3.11), які наведено у табл. 3.2. Середнє відхилення $\Delta \bar{y}_i$ значень величини Y від значень величини $\hat{Y}$ (див. табл. 3.2) розраховано за формулою (3.12). Значення $|y_i - \hat{y}_i|$, для прикладу, наведено у табл. Д.3. За даними, що наведено у табл. Д.2, побудовано криві регресії (рис. 3.1). Дослідні дані прийнято згідно табл. Г.1 додатку Г.

За даними табл. 3.1 і 3.2 за формулою (3.4) визначено F -критерій Фішера (табл. 3.3), за формулою (3.11) – відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$.

Таблиця 3.3 – Перевірка адекватності регресійних моделей

Тип моделі	D_3	F	$F_{(5\%; 79; 38)}$	$v, \%$
1	0,000836	19,88	1,63	1,3
2	0,000884	18,89		1,4
3	0,001000	16,70		1,4

Дані, що наведено у табл. 3.3, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7) і (3.13) виконуються для всіх типів регресійних моделей.

Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої швидкості підходу відцепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, є модель типу 3 – $\bar{v}_3 = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, яка є найпростішою з розглянутих. Коефіцієнти моделі наведено у табл. 3.1.

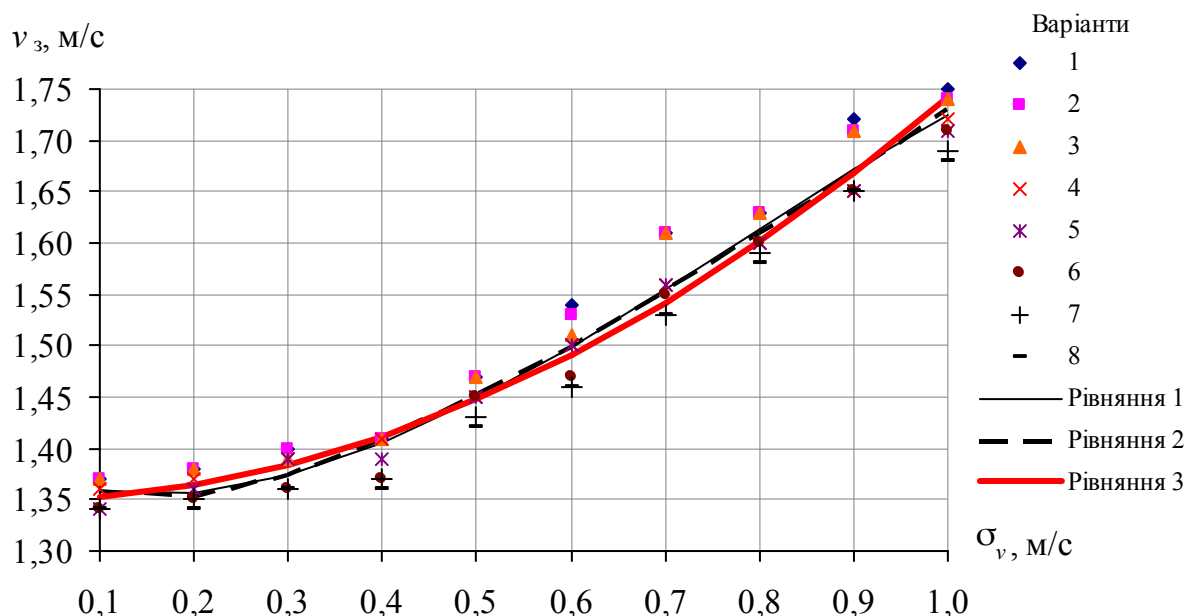


Рисунок 3.1 – Криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відцепів σ_v і середньою швидкістю їх підходу до вагонів на коліях СП $\bar{v}_3$

Перевірку адекватності регресійних моделей в усіх інших випадках виконано аналогічно.

Кореляційні відношення $\eta_{y/x} = 0,86$ і $\eta_{y/x} = 0,87$ (див. табл. 2.9) свідчать про наявність значного нелінійного кореляційного зв'язку між похибкою гальмування відцепів σ_v і середньою довжиною «вікна» $l_{\text{вік}}$ та середньою кількістю операцій осаджування $P_{\text{ос}}$ на один перероблений вагон. Вплив на даний параметр вагової категорії вагонів (див. табл. 2.10) є помірним ($\eta_{y/x} = 0,44$ і $\eta_{y/x} = 0,42$ відповідно).

З усієї розглянутої сукупності однофакторних регресійних моделей за принципом найменшої D_3 обрано по дві (табл. 3.4). Емпіричне середнє значення $\bar{v}$ розраховано з використанням даних табл. Г.2 додатку Г для середньої довжини «вікна» $l_{\text{вік}}$ і табл. Г.3 для середньої кількості операцій осаджування $P_{\text{ос}}$. За регресійними моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (табл. Д.4 додатку Д). F -критерій

Фішера і відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ наведено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Параметри регресійних моделей

Тип моделі	Вид моделі	Коефіцієнти моделі			D_3	F	$F_{(5\%; 79; 38)}^T$	$v, \%$
		b_0	b_1	b_2				
Моделі для визначення $l_{\text{вк}}$								
1	$l_{\text{вк}} = b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 \sigma_v^2$	12,507	0,224	16,724	11,541054	3,95	1,63	14,2
2	$l_{\text{вк}} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$	12,556	16,917	—	11,541262			
Моделі для визначення $P_{\text{ос}}$								
1	$P_{\text{ос}} = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-\sigma_v^2}$	0,076	0,029	-0,076	0,000043	3,58	1,63	12,6
2	$P_{\text{ос}} = b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 \sigma_v$	0,042	-0,076	0,093				

Дані, що наведено у табл. 3.4, дозволяють зробити висновок, що умова (3.7) виконується для обох типів моделей, а умова (3.13) – не виконується, що очевидно пов'язано з наявністю помірного впливу вагової категорії вагонів на $l_{\text{вк}}$ та $P_{\text{ос}}$.

Таким чином, жодна з розглянутих моделей не описує адекватно всю сукупність значень середньої довжини «вікна» та кількості операцій осаджування на один перероблений вагон.

Дані, що наведено на рис. Г.2 і Г.3 додатку Г, свідчать про певне тяжіння одне до одного значень $l_{\text{вк}}$ і $P_{\text{ос}}$ у варіантах 1-3 (коли частота появи у потоці, що переробляється, вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає 65 % і більше) і у варіантах 4-8 (коли частота появи таких вагонів є меншою за 65 %).

Тому, врахувати вплив вагової категорії вагонів можна шляхом отримання регресійних моделей (табл. 3.5) для двох випадків: 1) варіанти 1-3; 2) варіанти 4-8.

Емпіричне середнє значення $\bar{y}$ розраховано з використанням даних табл. Г.2 додатку Г для $l_{\text{вк}}$ і табл. Г.3 для $P_{\text{ос}}$. За регресійними моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (див. табл. Д.4 додатку Д). F -критерій Фішера (табличне значення у випадку 1 – $F_{(5\%; 29; 28)}^T$, у випадку 2 – $F_{(5\%; 49; 48)}^T$) і відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Параметри регресійних моделей

Тип моделі	Вид моделі	Коефіцієнти моделі			D_3	F	$F_{(5\%; m_1; n)}^T$	$v, \%$
		b_0	b_1	b_2				
Моделі для визначення $l_{\text{вк}}$								
Випадок 1 (варіанти 1-3)								
1	$l_{\text{вк}} = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-\sigma_v^2}$	36,288	16,180	-42,691	2,272266	18,23	1,87	8,3

2	$l_{\text{BİK}}=b_0+b_1\sigma_v^{0,5}+b_2\sigma_v$	16,837	-42,447	52,415	2,318979	17,69		8,4
3	$l_{\text{BİK}}=b_0+b_1\sigma_v+b_2\sigma_v^2$	7,656	1,898	17,678	2,420176	17,21		8,7
4	$l_{\text{BİK}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	8,069	19,317	—	2,435106	17,10		8,7
Випадок 2 (варіанти 4-8)								
1	$l_{\text{BİK}}=b_0+b_1\sigma_v+b_2\sigma_v^2$	13,621	2,892	15,373	2,519056	14,34	1,69	6,4
2	$l_{\text{BİK}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	14,250	17,870	—	2,553720	14,14		6,5
Варіанти 1-2								
1	$l_{\text{BİK}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	7,046	19,792	—	1,383645	30,76	2,19	7,2
Варіанти 2-4								
1	$l_{\text{BİK}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	10,055	18,740	—	2,225551	17,59	1,87	7,1
Моделі для визначення P_{oc}								
Випадок 1 (варіанти 1-3)								
1	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v^{0,5}+b_2\sigma_v$	0,035	-0,078	0,097	0,000009	16,2	1,87	7,9
2	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v+b_2\sigma_v^2$	0,0176	0,005	0,032	0,000010	14,6		8,2
3	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	0,019	0,036	—		14,6		8,1
Випадок 2 (варіанти 4-8)								
1	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v+b_2\sigma_v^2$	0,030	0,001	0,031	0,000009	13,20	1,69	6,0
2	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	0,030	0,032	—				
Варіанти 1-2								
1	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	0,017	0,037	—	0,000007	21,86	2,19	7,4
Варіанти 2-4								
1	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	0,022	0,035	—	0,000007	19,71	1,87	5,9

Дані, що наведено у табл. 3.5, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7) і (3.13) виконуються для всіх типів регресійних моделей.

Під час досліджень виявлено, що якість опису статистичних даних регресійними моделями покращується, якщо розглянути не два, а три випадки: 1) варіанти 1-2, 2) варіанти 2-4, 3) варіанти 4-8.

З розглянутої сукупності однофакторних регресійних моделей обрано по одній (див. табл. 3.5). За цими моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (див. табл. Д.4 додатку Д). F -критерій Фішера (табличне значення для варіантів 1-2 – $F_{(5\%; 19; 18)}$, для варіантів 2-4 – $F_{(5\%; 29; 28)}$) і відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ наведено у табл. 3.5.

Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон у разі розгляду трьох випадків (1 – варіанти 1-2, 2 – варіанти 2-4, 3 – варіанти 4-8) є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v^2$, коефіцієнти якої наведено у табл. 3.5.

За даними, що наведено у табл. Д.4 додатку Д, побудовано криві регресії (рис. 3.2, 3.3). Дослідні дані прийнято згідно табл. Г.2, Г.3 додатку Г.

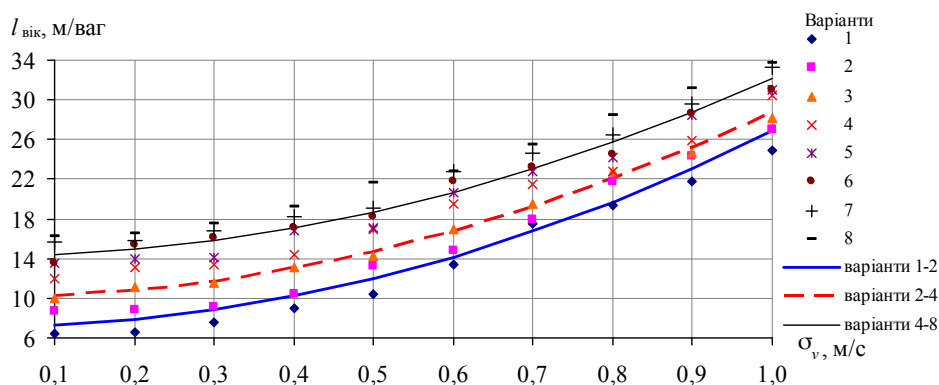


Рисунок 3.2 – Криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою довжиною «вікна» на один перероблений вагон $l_{\text{вік}}$

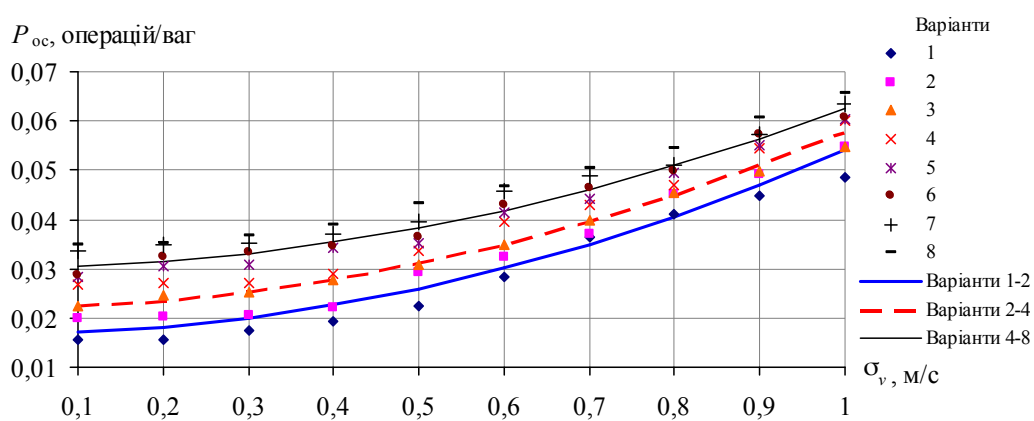


Рисунок 3.3 – Криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон $P_{\text{ос}}$

$$P_{\text{ос}}$$

Виконані дослідження дозволили встановити наступне:

1. Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, у залежності від похибки гальмування відчепів σ_v є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-\sigma_v^2}$, що є досить складною, або виду $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, яка є найпростішою з розглянутих. При цьому точність розрахунків суттєво не погіршується.

2. Жодна з розглянутих моделей не описує адекватно всю сукупність значень середньої довжини «вікна» та середньої кількості операцій осаджування на один перероблений вагон. Це пов'язано з наявністю помірного впливу вагової категорії вагонів на дані параметри.

3 Урахувати вплив вагової категорії вагонів вдалося шляхом отримання регресійних моделей для трьох випадків: 1) варіанти 1-2, 2) варіанти 2-4, 3) варіанти 4-8.

4. Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон з урахуванням впливу вагової категорії вагонів є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, яка є найпростішою з розглянутих. При цьому точність розрахунків суттєво не погіршується.

3.2.2 Моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів з урахуванням кількості вагонів у відчепі

Кореляційне відношення $\eta_{y/x} = 0,93$ (див. табл. 2.11) свідчить про наявність дуже значного нелінійного кореляційного зв'язку між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою швидкістю їх підходу до вагонів, що знаходяться на коліях СП. Вплив кількості вагонів у відчепі (див. табл. 2.12) є слабким ($\eta_{y/x} = 0,10$).

З усієї розглянутої сукупності однофакторних регресійних моделей за принципом найменшої залишкової дисперсії D_3 обрано три (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Параметри регресійних моделей

Тип моделі	Вид моделі	Коефіцієнти моделі			D_3	F	$F_{(5\%; 79; 38)}$	$v, \%$
		b_0	b_1	b_2				
1	$\bar{v}_3 = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-\sigma_v^2}$	1,898	0,273	-0,794	0,000544	27,57	1,63	1,0
2	$\bar{v}_3 = b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 \sigma_v$	1,503	-0,764	0,972	0,000603	24,88		1,1
3	$\bar{v}_3 = b_0 + b_1 \sigma_v^2$	1,352	0,372	—	0,000731	20,52		1,1

Емпіричне середнє значення $\bar{y}$ розраховано з використанням даних табл. Г.4 додатку Г. За регресійними моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (див. табл. Д.5 додатку Д). F -критерій Фішера і відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ наведено у табл. 3.6.

За даними, що наведено у табл. Д.5, побудовано криві регресії (рис. 3.4). Дослідні дані прийнято згідно з табл. Г.4 додатку Г.

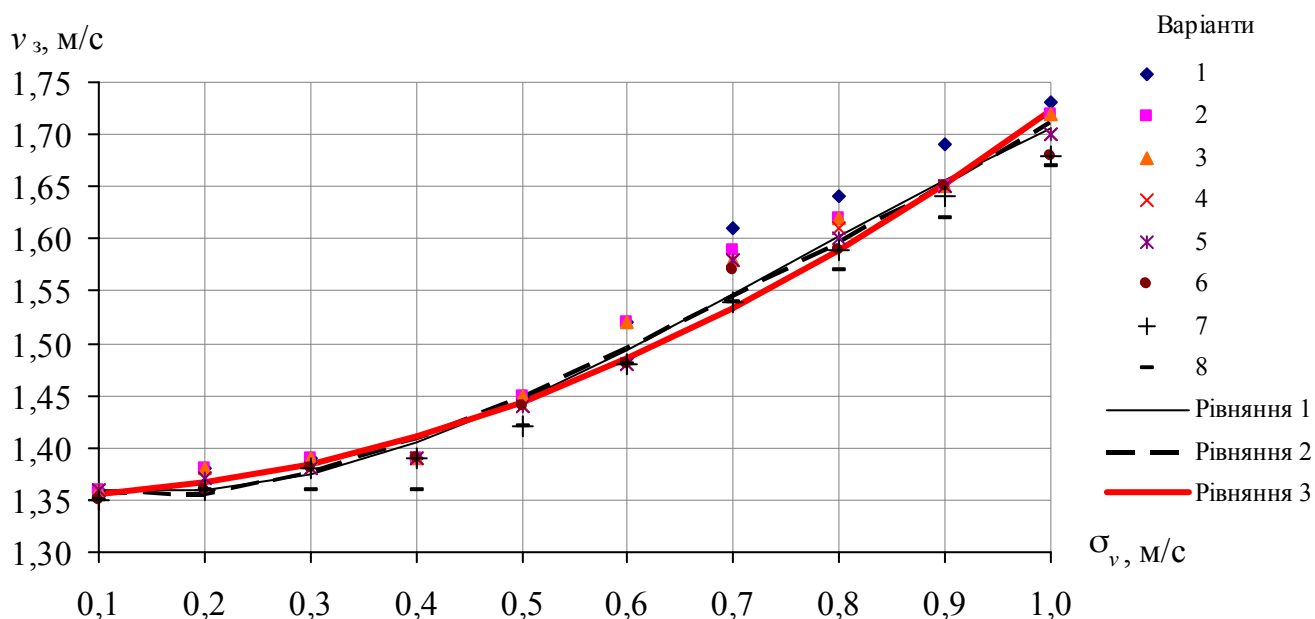


Рисунок 3.4 – Криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відцепів σ_v і середньою швидкістю їх підходу до вагонів на коліях СП $\bar{v}_z$

Дані, що наведено у табл. 3.6, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7) і (3.13) виконуються для всіх типів моделей. Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої швидкості підходу відцепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, є модель виду $\bar{v}_z = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, яка є найпростішою з розглянутих. Коефіцієнти моделі наведено у табл. 3.6.

Кореляційні відношення $\eta_{y/x} = 0,51$ і $\eta_{y/x} = 0,56$ (див. табл. 2.11) свідчать про наявність помітного нелінійного кореляційного зв'язку між похибкою гальмування відцепів σ_v і середньою довжиною «вікна» $l_{\text{вік}}$ та середньою кількістю операцій осаджування $P_{\text{ос}}$ на один перероблений вагон. Вплив на даний параметр кількості вагонів у відцепі (див. табл. 2.12) є помірним ($\eta_{y/x} = 0,41$ і $\eta_{y/x} = 0,45$ відповідно).

З розглянутої сукупності однофакторних регресійних моделей за принципом найменшої залишкової дисперсії D_z обрано по дві (табл. 3.7).

Емпіричне середнє значення $\bar{y}$ розраховано з використанням даних табл. Г.5 додатку Г для $l_{\text{вік}}$ і табл. Г.6 для $P_{\text{ос}}$. За регресійними моделями для відповідних x_i

Випадок 1 (варіанти 1-3)								
1	$l_{\text{БІК}}=b_0+b_1\sigma_v+b_2\sigma_v^2$	11,351	-1,947	20,255	4,56908	8,94	1,87	9,7
2	$l_{\text{БІК}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	10,927	18,574	—	4,58479	8,91		9,8
Випадок 2 (варіанти 4-8)								
1	$l_{\text{БІК}}=b_0+b_1\sigma_v+b_2\sigma_v^2$	7,399	-0,119	10,926	2,72754	5,51	1,69	9,9
2	$l_{\text{БІК}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	7,373	10,823	—	2,72760			
Варіанти 1-2								
1	$l_{\text{БІК}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	11,698	19,511	—	2,65845	16,05	2,19	7,3
Варіанти 2-3								
1	$l_{\text{БІК}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	10,219	17,115	—	1,24689	25,69	2,19	5,9
Варіанти 3-4								
1	$l_{\text{БІК}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	9,169	14,654	—	1,62153	14,92	2,19	6,8
Варіанти 4-6								
1	$l_{\text{БІК}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	8,066	11,954	—	0,93079	17,14	1,87	6,5
Варіанти 6-8								
1	$l_{\text{БІК}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	6,626	9,930	—	0,97586	11,62	1,87	7,9
Моделі для визначення P_{oc}								
Випадок 1 (варіанти 1-3)								
1	$P_{\text{oc}}=\ln(b_0+b_1\sigma_v+b_2\sigma_v^2)$	1,026	-0,001	0,040	0,000012	10,92	1,87	7,8
2	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	0,024	0,034	—				
Випадок 2 (варіанти 4-8)								
1	$P_{\text{oc}}=\ln(b_0+b_1\sigma_v+b_2\sigma_v^2)$	1,017	0,003	0,019	0,000009	5,89	1,69	9,8
2	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	0,018	0,021	—				
Варіанти 1-2								
1	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	0,026	0,035	—	0,000006	22,64	2,19	5,6
Варіанти 2-3								
1	$P_{\text{oc}}=b_0+b_1\sigma_v^2$	0,023	0,031	—	0,000004	27,07	2,19	5,1

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Варіанти 3-4								
1	$P_{oc} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$	0,021	0,027	–	0,000006	13,83	2,19	6,4
Варіанти 4-6								
1	$P_{oc} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$	0,019	0,022	–	0,000003	18,33	1,87	5,5
Варіанти 6-8								
1	$P_{oc} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$	0,016	0,019	–	0,000003	14,33	1,87	6,1

За регресійними моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (див. табл. Д.5 додатку Д). F -критерій Фішера (табличне значення у випадку 1 – $F_{(5\%; 29; 28)}^T$, у випадку 2 – $F_{(5\%; 49; 48)}^T$) і відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ наведено у табл. 3.8.

Дані, що наведено у табл. 3.8, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7) і (3.13) виконуються для всіх типів моделей.

Під час досліджень виявлено, що якість опису статистичних даних регресійними моделями покращується, якщо розглянути не два, а п'ять випадків: 1) варіанти 1-2, 2) варіанти 2-3, 3) варіанти 3-4, 4) варіанти 4-6, 5) варіанти 6-8.

З розглянутої сукупності однофакторних регресійних обрано по одній (див. табл. 3.8). За цими моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (див. табл. Д.5 додатку Д). F -критерій Фішера (табличне значення для варіантів 1-2, 2-3, 3-4 – $F_{(5\%; 19; 18)}^T$, для варіантів 4-6, 6-8 – $F_{(5\%; 29; 28)}^T$) і відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ наведено у табл. 3.8.

Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон у разі розгляду п'яти випадків (1 – варіанти 1-2, 2 – варіанти 2-3, 3 – варіанти 3-4, 4 – варіанти 4-6, 5 – варіанти 6-8) є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, коефіцієнти якої наведено у табл. 3.8.

За даними, що наведено у табл. Д.5 додатку Д, побудовано криві регресії (рис. 3.5, 3.6). Дослідні дані прийнято згідно з табл. Г.5, Г.6 додатку Г.

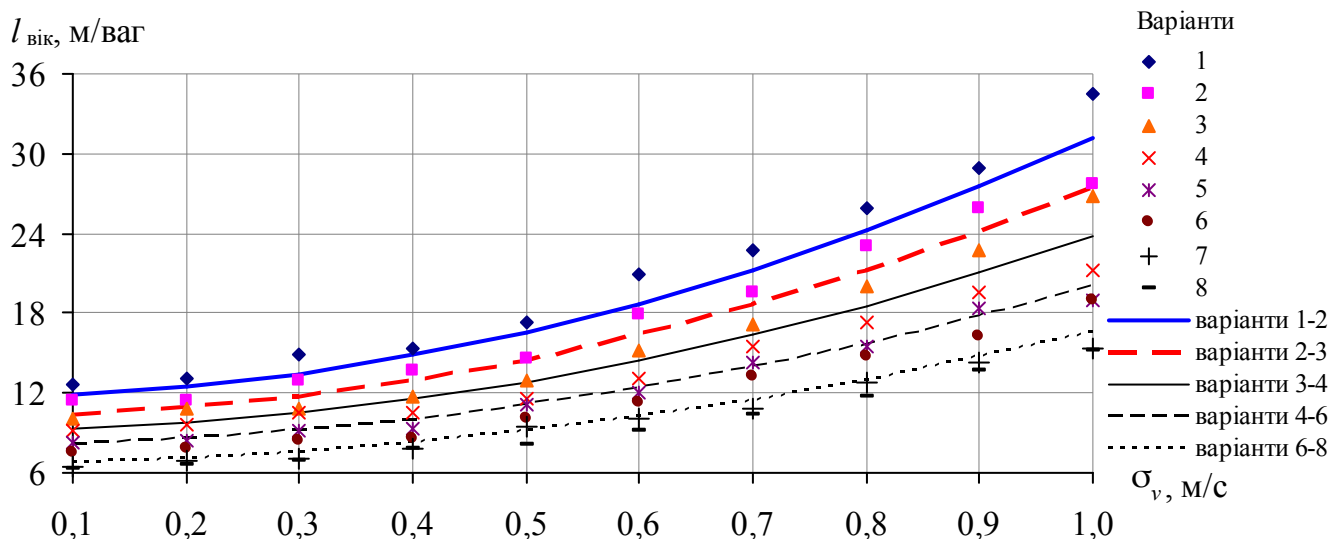


Рисунок 3.5 – Криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою довжиною «вікна» на один перероблений вагон $l_{\text{вік}}$

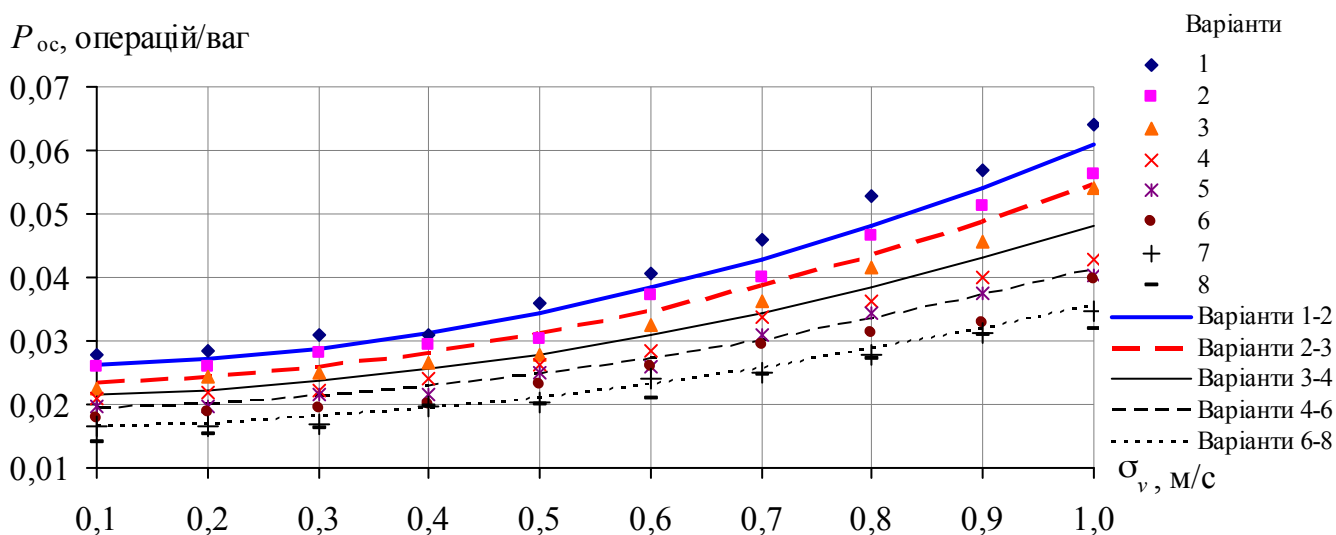


Рисунок 3.6 – Криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон $P_{\text{ос}}$

Виконані дослідження дозволили встановити наступне:

1. Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, у залежності від похибки гальмування відчепів σ_v є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-\sigma_v^2}$, що є досить складною, або виду $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, яка є найпростішою з розглянутих. При цьому точність розрахунків суттєво не погіршується.

2. Жодна з розглянутих моделей не описує адекватно всю сукупність значень середньої довжини «вікна» та середньої кількості операцій осаджування на один

перероблений вагон. Це пов'язано з тим, що кореляційні відношення похибки гальмування відчепів і відповідних параметрів є досить далеким від 1, а також з наявністю помірного впливу кількості вагонів у відчепі.

3. Урахувати вплив кількості вагонів у відчепі вдалося шляхом отримання регресійних моделей для п'яти випадків: 1) варіанти 1-2, 2) варіанти 2-3, 3) варіанти 3-4, 4) варіанти 4-6, 5) варіанти 6-8.

4. Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої довжини «вікна» та кількості операцій осаджування на один перероблений вагон з урахуванням впливу кількості вагонів у відчепі є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$.

3.2.3 Моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів з урахуванням ухилу сортувальних колій

Кореляційні відношення $\eta_{v/x} = 0,70$, $\eta_{v/x} = 0,81$ і $\eta_{v/x} = 0,81$ (див. табл. 2.13) свідчать про наявність значного нелінійного кореляційного зв'язку між похибкою гальмування відчепів σ_v і середньою швидкістю їх підходу до вагонів, що знаходяться на коліях СП, середньою довжиною «вікна» та кількістю операцій осаджування на один перероблений вагон. Вплив ухилу сортувальних колій i (див. табл. 2.14) на $\bar{v}_3$ є помірним ($\eta_{v/x} = 0,48$), на $l_{\text{вік}}$ і $P_{\text{ос}}$ – слабким ($\eta_{v/x} = 0,27$).

З усієї розглянутої сукупності двофакторних регресійних моделей за принципом найменшої залишкової дисперсії D_3 обрано три:

$$1 - \hat{y} = b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i} + b_{11} e^{\sigma_v^2} + b_{22} e^{i^2};$$

$$2 - \hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i + b_{11} \sigma_v^2 + b_{22} i^2;$$

$$3 - \hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2 + b_2 i^2,$$

коефіцієнти яких наведено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Коефіцієнти регресійних моделей

Тип	Коефіцієнти моделі		F		v, %	R'
-----	--------------------	--	---	--	------	----

моделі	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}	D_3		$F_{(5\%; 79; 77)}^T$		
Моделі для визначення $\bar{v}_3$											
1	1,125	0,141	0,010	0,0003	0,070	0,004	0,000468	41,07	1,45	1,1	0,988
2	1,494	-0,011	-0,270	0,004	0,346	0,164	0,000784	24,24		1,4	0,980
3	1,343	0,341	0,063	—	—	—	0,001768	10,86		2,1	0,954
Моделі для визначення $l_{\text{вік}}$											
1	-4,035	10,506	-1,084	-1,691	6,056	0,050	0,855355	64,26	1,45	4,3	0,992
2	9,948	7,218	-0,085	-6,007	22,095	-0,679	0,897996	61,21		4,4	0,992
3	12,137	21,895	-1,948	—	—	—	1,760688	31,22		5,8	0,984
Моделі для визначення $P_{\text{ос}}$											
1	-0,0033	0,0190	-0,0020	-0,0031	0,0109	0,0001	0,0000028	64,00	1,45	3,8	0,992
2	0,0220	0,0130	-0,0001	-0,0108	0,0399	-0,0013	0,0000029	61,04		3,9	0,992
3	0,0259	0,0395	-0,0035	—	—	—	0,0000058	31,13		5,2	0,984

Емпіричне середнє значення $\bar{v}$ розраховано з використанням даних табл. Г.7 додатку Г для $\bar{v}_3$, табл. Г.8 для $l_{\text{вік}}$ і табл. Г.9 для $P_{\text{ос}}$. За регресійними моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (табл. Д.6 додатку Д). F -критерій Фішера, відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ та множинне кореляційне відношення R' наведено у табл. 3.9.

Дані, що наведено у табл. 3.9, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7), (3.13) і (3.15) виконуються для всіх типів моделей.

Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, середньої довжини «вікна» та кількості операцій осаджування на один перероблений вагон є модель $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2 + b_2 i^2$, яка є найпростішою з розглянутих. Коефіцієнти моделі наведено у табл. 3.9.

Дослідні дані (рис. Д.1, Д.2, Д.3 додатку Д) прийнято згідно з табл. Г.7, Г.8, Г.9 додатку Г.

Значення функції відгуку, що отримано за регресійними моделями, (рис. 3.7-3.9) прийнято згідно з табл. Д.6 додатку Д.

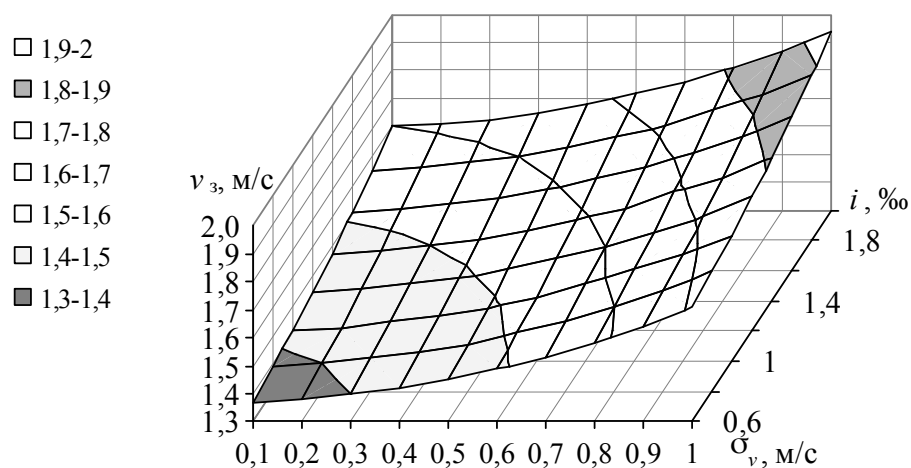


Рисунок 3.7 – Середня швидкість підходу відцепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, яка отримана за регресійною моделлю типу 3

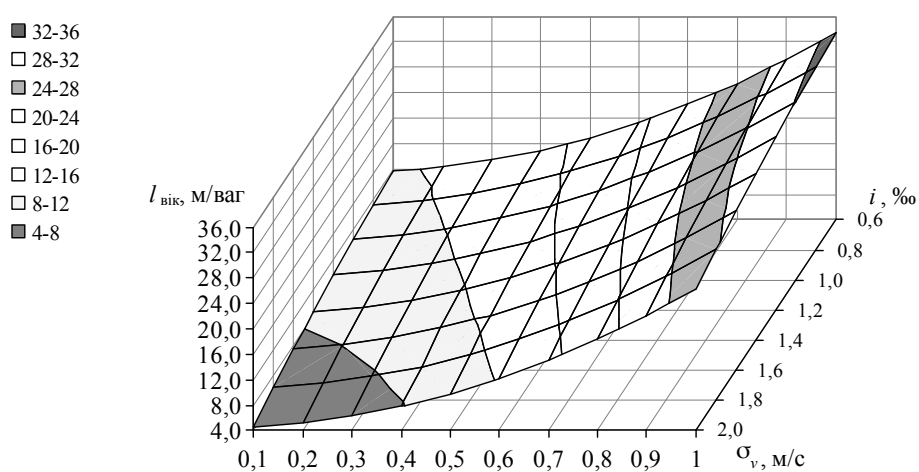


Рисунок 3.8 – Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон, яка отримана за рівнянням регресії типу 3

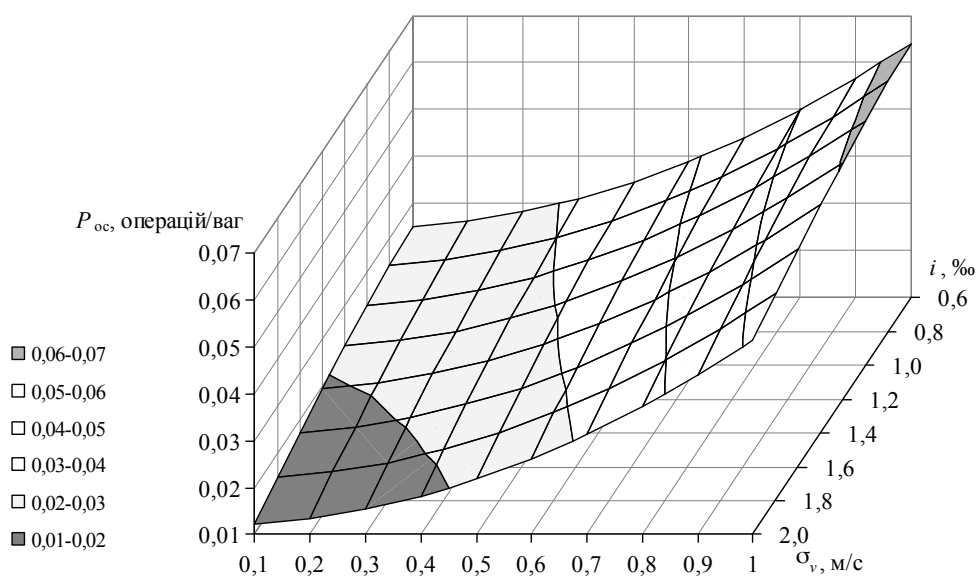


Рисунок 3.9 – Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон, яка отримана за регресійною моделлю типу 3

Виконані дослідження дозволили встановити наступне:

1. Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, середньої довжини «вікна» та кількості операцій осаджування на один перероблений вагон у залежності від похибки гальмування відчепів σ_v та ухилу сортувальних колій i є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i} + b_{11} e^{\sigma_v^2} + b_{22} e^{i^2}$, що є досить складною.

2. Більш простою моделлю для визначення даних параметрів є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2 + b_2 i^2$. При цьому точність розрахунків суттєво не погіршується.

3.2.4 Аналіз отриманих регресійних моделей

Виконані дослідження дозволили встановити наступне:

1. Отримано однофакторні регресійні моделі для визначення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, середньої довжини «вікна» на один перероблений вагон і середньої кількості операцій осаджування на один перероблений вагон, фактором яких є похибка гальмування відчепів σ_v . Також отримано двофакторні регресійні моделі для визначення даних параметрів, факторами яких є похибка гальмування відчепів та ухил сортувальних колій.

2. Адекватною регресійною моделлю для визначення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, у залежності від похибки гальмування відчепів σ_v з урахуванням впливу вагової категорії вагонів або кількості вагонів у відчепі є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-\sigma_v^2}$, що є досить складною, або виду $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, яка є найпростішою з розглянутих. При цьому точність розрахунків суттєво не погіршується.

3. Жодна з розглянутих однофакторних моделей не описує адекватно всю сукупність значень середньої довжини «вікна» та середньої кількості операцій

осаджування на один перероблений вагон. Це пов'язано з наявністю певного впливу вагової категорії вагонів і кількості вагонів у відчепі на дані параметри.

4. Урахування впливу вагової категорії вагонів є можливим шляхом отримання моделей для трьох випадків: 1) варіанти 1-2 (коли вагони важкої та середньо-важкої вагової категорії складають 75 % і більше); 2) варіанти 2-4 (коли вагони важкої та середньо-важкої вагової категорії складають 55-75 %); 3) варіанти 4-8 (коли вагони цих категорій складають менше ніж 55 %).

5. Урахування впливу кількості вагонів у відчепі є можливим шляхом отримання моделей для п'яти випадків: 1) варіанти 1-2 (коли частота появи у потоці, що переробляється, відчепів з 1 вагону складає 70-80 %); 2) варіанти 2-3 (коли частота появи у потоці, що переробляється, відчепів з 1 вагону складає 60-70 %); 3) варіанти 3-4 (коли частота появи у потоці, що переробляється, відчепів з 1 вагону складає 50-60 %); 4) варіанти 4-6 (коли частота появи у потоці, що переробляється, відчепів з 1 вагону складає 30-50 %); 5) варіанти 6-8 (коли частота появи у потоці, що переробляється, відчепів з 1 вагону складає 10-30 %).

6. Адекватною однофакторною регресійною моделлю для визначення середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон у залежності від похибки гальмування відчепів σ_v з урахуванням впливу вагової категорії вагонів або кількості вагонів у відчепі є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2$, яка є найпростішою з розглянутих. При цьому точність розрахунків суттєво не погіршується.

7. Адекватною двофакторною регресійною моделлю для визначення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, середньої довжини «вікна» та кількості операцій осаджування на один перероблений вагон у залежності від похибки гальмування відчепів σ_v та ухилу сортувальних колій i ($i = 0,6-2,0$ ‰) є модель виду $\hat{y} = b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i} + b_{11} e^{\sigma_v^2} + b_{22} e^{i^2}$, що є досить складною, або виду $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2 + b_2 i^2$, яка є найпростішою з розглянутих. При цьому точність розрахунків суттєво не погіршується.

3.3 Нормування параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальній гірці

У дисертаційній роботі (див. п. 3.2) встановлено можливість отримання однофакторної регресійної моделі виду $\hat{y} = f(\sigma_v; b_0, b_1)$ для визначення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, у залежності від похибки гальмування відчепів σ_v з урахуванням параметрів вагонопотоку (вагової категорії вагонів і кількості вагонів у відчепі), що переробляється на СГ, а також двофакторної регресійної моделі виду $\hat{y} = f(\sigma_v, i; b_0, b_1, \dots, b_k)$ для визначення даного параметра у залежності від σ_v та ухилу сортувальних колій i .

Таким чином, залежність середньої швидкості підходу відчепів від похибки їх гальмування σ_v та ухилу i з урахуванням параметрів вагонопотоку, який переробляється на СГ, можна описати шляхом отримання двофакторної регресійної моделі виду $\hat{y} = f(\sigma_v, i; b_0, b_1, \dots, b_k)$ для двох співвідношень (табл. 3.10), що відрізняються параметрами цього вагонопотоку (табл. 3.11).

Таблиця 3.10 – Співвідношення, що розглядаються, під час експерименту

Співвідношення	Вагова категорія вагонів	Кількість вагонів у відчепі
1	Варіанти 1-3	Варіанти 1-8
2	Варіанти 3-8	Варіанти 1-8

Таблиця 3.11 – Характеристика варіантів

Параметр	Варіант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вагова категорія вагонів	Частоти появи вагонів різної вагової категорії, %							
легка	5	15	25	35	45	55	65	75
легко-середня	5	5	5	5	5	5	5	5
середня	5	5	5	5	5	5	5	5
середньо-важка	5	5	5	5	5	5	5	5
важка	80	70	60	50	40	30	20	10
Кількість вагонів у відчепі	Частоти появи відчепів з різною кількістю вагонів, %							
1	80	70	60	50	40	30	20	10
2	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	5	5	5
5 і більше	5	15	25	35	45	55	65	75

У дисертаційній роботі (див. п. 3.2) встановлено можливість отримання однофакторної регресійної моделі виду $\hat{y} = f(\sigma_v; b_0, b_1)$ для визначення середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон у залежності від похибки гальмування σ_v з урахуванням вагової категорії вагонів (якщо розглянути три випадки) або кількості вагонів у відчепі (якщо розглянути п'ять випадків), а також двофакторної регресійної моделі виду $\hat{y} = f(\sigma_v, i; b_0, b_1, \dots, b_k)$ для визначення даних параметрів у залежності від σ_v та ухилу сортувальних колій i .

Таким чином, залежність цих параметрів від похибки гальмування σ_v та ухилу i з урахуванням параметрів вагонопотоку, який переробляється на СГ, можна описати шляхом отримання двофакторної регресійної моделі виду $\hat{y} = f(\sigma_v, i; b_0, b_1, \dots, b_k)$ для п'ятнадцяти співвідношень (табл. 3.12), що відрізняються параметрами цього вагонопотоку (див. табл. 3.11).

Таблиця 3.12 – Співвідношення, що розглядаються, під час експерименту

Співвідношення	Вагова категорія вагонів	Кількість вагонів у відчепі
	Випадок	
1	1 (варіанти 1-2)	1 (варіанти 1-2)
2		2 (варіанти 2-3)
3		3 (варіанти 3-4)
4		4 (варіанти 4-6)
5		5 (варіанти 6-8)
6	2 (варіанти 2-4)	1 (варіанти 1-2)
7		2 (варіанти 2-3)
8		3 (варіанти 3-4)
9		4 (варіанти 4-6)
10		5 (варіанти 6-8)
11	3 (варіанти 4-8)	1 (варіанти 1-2)
12		2 (варіанти 2-3)
13		3 (варіанти 3-4)
14		4 (варіанти 4-6)
15		5 (варіанти 6-8)

Для визначення регресійної моделі $\hat{y} = f(\sigma_v, i; b_0, b_1, \dots, b_k)$ виконано активний регресійний експеримент з програмним управлінням [9] за планом, який розроблено для середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, (див. табл. Д.7 додатку Д) і середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон (див. табл. Д.8) окремо.

Під час проведення експерименту частота появи вагонів різної вагової категорії та частота появи відчепів з різною кількістю вагонів для кожного випадку варіюється на верхньому (ВР) проміжному (ПР) і нижньому (НР) рівнях, що дозволило зменшити кількість дослідів, не погіршуючи при цьому адекватності експерименту. Похибка гальмування варіюється у межах від 0,1 м/с до 1 м/с з кроком 0,1 м/с. Ухил сортувальних колій варіюється у межах від 0,6 ‰ до 2,0 ‰ з кроком 0,2 ‰.

У результаті імітаційного моделювання роботи СГ відповідно до плану експерименту отримано значення середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП (приклад для співвідношення 1 – див. табл. Д.9 додатку Д).

З розглянутої сукупності двофакторних регресійних моделей за принципом найменшої залишкової дисперсії D_3 обрано поліноми другого ступеня:

$$- \text{для співвідношення 1 } \bar{v}_3 = 1,455 + 0,139\sigma_v - 0,319i - 0,047\sigma_v i + 0,298\sigma_v^2 + 0,215i^2,$$

$$- \text{для співвідношення 2 } \bar{v}_3 = 1,363 + 0,115\sigma_v - 0,127i - 0,026\sigma_v i + 0,262\sigma_v^2 + 0,103i^2,$$

коефіцієнти яких визначено за методом найменших квадратів.

За регресійними моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (табл. Д.10 додатку Д). F -критерій Фішера, відносне відхилення V дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ та за множинне кореляційне відношення R' наведено у табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Перевірка адекватності регресійних моделей

Співвідношення	D_3	F	$F_{(5\%; 639; 637)}^T$	$v, \%$	R'
Поліноми другого ступеня					
1	0,002191	12,52	1,00	2,0	0,96
2	0,003724	10,17		3,1	0,95
Поліноми третього ступеня					
1	0,002066	13,26	1,00	1,8	0,96
2	0,003622	10,45		3,1	0,95

Дані, які наведено у табл. 3.13, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7), (3.13) і (3.15) виконуються в обох співвідношеннях.

У дисертаційній роботі для можливості покращення адекватності моделі розглянуто поліном третього ступеня

$$\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2 + b_{111}\sigma_v^3 + b_{222}i^3,$$

коефіцієнти якого (табл. 3.14) визначено за методом Чебишева [82, 35].

Таблиця 3.14 – Коефіцієнти регресійних моделей

Співвідношення	Коефіцієнти моделі							D_3
	b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{111}	b_{222}	
1	1,309	-0,274	0,255	1,062	-0,283	-0,463	0,128	0,002066
2	1,247	-0,279	0,336	1,043	-0,294	-0,473	0,102	0,003622

За регресійними моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (див. табл. Д.10 додатку Д). F -критерій Фішера, відносне відхилення v та множинне кореляційне відношення R' наведено у табл. 3.13.

Дані, які наведено у табл. 3.13, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7), (3.13) і (3.15) виконуються в обох співвідношеннях.

Порівнюючи отримані результати, можна зробити висновок, що суттєвого покращення критеріїв адекватності у разі використання поліному третього ступеня не спостерігається.

Таким чином, адекватною двофакторною регресійною моделлю для нормування середньої швидкості підходу відцепів до вагонів на коліях СП, у залежності від похибки гальмування відцепів та ухилу сортувальних колій з урахуванням параметрів вагонопотоку, що переробляється, є модель у вигляді поліному другого ступеня.

У результаті імітаційного моделювання роботи СГ відповідно до плану експерименту отримано значення середньої довжини «вікна» на один перероблений вагон, приклад яких для співвідношення 1 (табл. 3.12) наведено у табл. Д.11 додатку Д.

З усієї розглянутої сукупності двофакторних регресійних моделей за принципом найменшої залишкової дисперсії D_3 обрано поліном другого ступеня

$$l_{\text{вік}} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2,$$

коефіцієнти якого (табл. 3.15) визначено за методом найменших квадратів.

Таблиця 3.15 – Параметри регресійних моделей

Співвідн ошення	Коефіцієнти моделі						D_3	F	$F_{(5\%; 319; 317)}$	$v, \%$	R'
	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8,441	4,960	-3,766	-1,154	16,949	0,676	2,696325	17,17	1,26	9,8	0,97
2	8,375	1,777	-4,408	-0,076	15,596	0,847	1,749758	19,13		9,7	0,97
3	7,856	0,238	-4,411	0,251	14,753	0,877	1,147173	23,09		9,2	0,98
4	7,056	-0,604	-4,507	0,577	13,657	0,969	1,279920	17,40		9,8	0,97
5	6,256	-2,371	-4,784	0,817	13,631	1,134	0,806690	22,34		9,5	0,98

6	12,944	2,998	-5,582	0,041	15,826	0,689	2,991301	14,02		9,4	0,96
---	--------	-------	--------	-------	--------	-------	----------	-------	--	-----	------

Продовження таблиці 3.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	11,667	2,133	-5,371	0,414	13,855	0,701	2,193246	14,63	1,26	9,6	0,97
8	10,543	-0,086	-5,020	0,784	14,158	0,674	1,786856	15,17		9,5	0,97
9	9,708	-2,067	-5,318	1,288	13,476	0,896	1,509377	14,01		9,8	0,96
10	8,590	-2,914	-5,480	1,406	12,446	1,112	0,871071	17,97		9,6	0,97
11	17,464	1,618	-7,651	0,428	15,163	1,038	2,669815	14,24		8,3	0,96
12	15,973	2,048	-7,315	0,583	12,801	0,978	2,142357	14,38		7,8	0,96
13	13,899	0,802	-6,516	0,762	12,651	0,841	2,403956	11,20		9,7	0,96
14	12,340	-1,371	-6,360	1,343	12,199	0,928	2,214852	10,89		9,7	0,95
15	10,985	-1,501	-6,341	1,675	10,216	1,055	1,299762	11,68		9,9	0,96

За регресійними моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (приклад для співвідношення 1 наведено у табл. Д.12 додатку Д). F -критерій Фішера, відносне відхилення v і множинне кореляційне відношення R' наведено у табл. 3.15.

Дані, які наведено у табл. 3.15, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7), (3.13) і (3.15) виконуються в усіх співвідношеннях.

Таким чином, адекватною двофакторною регресійною моделлю для нормування середньої довжини «вікна» на один перероблений вагон у залежності від похибки гальмування відчепів та ухилу сортувальних колій з урахуванням параметрів вагонопотоку, що переробляється, є модель у вигляді поліному другого ступеня, коефіцієнти якого наведено у табл. 3.15.

У результаті імітаційного моделювання роботи СГ відповідно до плану експерименту отримано значення середньої кількості операцій осаджування на один перероблений вагон, приклад яких для співвідношення 1 (табл. 3.12) наведено у табл. Д.13 додатку Д.

З усієї розглянутої сукупності двофакторних регресійних моделей за принципом найменшої залишкової дисперсії D_z обрано поліном другого ступеня

$$P_{oc} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2,$$

коефіцієнти якого (табл. 3.16) визначено за методом найменших квадратів.

За регресійними моделями для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (приклад для співвідношення 1 наведено у табл. Д.14 додатку Д). F -критерій Фішера, відносне відхилення v і множинне кореляційне відношення R' наведено у табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Параметри регресійних моделей

Співвідношення	Коефіцієнти моделі						D_3	F	$F_{(5\%; 319; 317)}$	$v, \%$	R'
	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}					
1	0,0194	0,0104	-0,0079	-0,0011	0,0291	0,0015	0,000011	14,00	1,26	9,5	0,96
2	0,0190	0,0055	-0,0086	-0,0012	0,0283	0,0018	0,000006	18,41		8,2	0,97
3	0,0190	0,0002	-0,0092	0,0009	0,0280	0,0017	0,000004	25,47		7,4	0,98
4	0,0180	0,0003	-0,0104	0,0015	0,0243	0,0021	0,000006	14,45		9,7	0,96
5	0,0160	0,0018	-0,0118	0,0016	0,0204	0,0028	0,000004	17,19		9,8	0,97
6	0,0275	0,0098	-0,0118	0,0020	0,0244	0,0017	0,000012	12,64		9,2	0,96
7	0,0254	0,0038	-0,0106	0,0017	0,0257	0,0015	0,000008	14,50		8,4	0,97
8	0,0239	0,0006	-0,0103	0,0023	0,0248	0,0015	0,000006	15,12		8,3	0,97
9	0,0217	0,0015	-0,0103	0,0018	0,0214	0,0017	0,000007	10,88		9,8	0,95
10	0,0202	0,0004	-0,0119	0,0019	0,0195	0,0025	0,000005	11,88		9,6	0,96
11	0,0356	0,0134	-0,0153	0,0025	0,0180	0,0020	0,000014	10,40		8,5	0,95
12	0,0335	0,0076	-0,0146	0,0032	0,0189	0,0018	0,000009	13,06		7,6	0,96
13	0,0305	0,0046	-0,0136	0,0031	0,0192	0,0019	0,000009	10,99		8,1	0,95
14	0,0272	0,0018	-0,0124	0,0020	0,0193	0,0019	0,000009	8,31		9,7	0,95
15	0,0247	0,0004	-0,0126	0,0019	0,0180	0,0022	0,000004	14,84		7,3	0,97

Дані, які наведено у табл. 3.16, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7), (3.13) і (3.15) виконуються в усіх співвідношеннях.

Таким чином, адекватною двофакторною регресійною моделлю для нормування середньої кількості операцій осаджування на один перероблений вагон у залежності від похибки гальмування відчепів та ухилу сортувальних колій з урахуванням параметрів вагонопотоку, що переробляється, є модель у вигляді поліному другого ступеня, коефіцієнти якого наведено у табл. 3.16.

3.4 Тривалість осаджування вагонів на коліях сортувального парку та їх пошкодження під час зіткнень

3.4.1 Середня тривалість осаджування вагонів на коліях сортувального парку

Тривалість осаджування у розрахунку на один состав можна визначити за виразом (1.2), елемент якого у дужках являє собою середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон

$$t'_{oc} = 2P_{oc}t_1 + 0,06l_{vik} \left(\frac{1}{v_{oc}} + \frac{1}{v_{л}} \right). \quad (3.16)$$

Тоді формулу (1.2) можна представити у вигляді

$$t_{oc} = m_c t'_{oc}. \quad (3.17)$$

У дисертаційній роботі для P_{oc} і l_{vik} , які отримано за результатами імітаційного моделювання процесу розформування составів на гірці і за регресійними моделями за виразом (3.16) визначено t'_{oc} для п'ятнадцяти співвідношень, що розглянуто під час досліджень (див. табл. 3.12). При цьому:

– середня довжина піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива $l_1 = 360$ м. Згідно [153] у випадку, якщо $l_1 = 321 - 380$ м, то $t_1 = 1,21$ хв.;

– швидкість руху поодинокого локомотива сортувальною колією $v_{л} = 15$ км/год.

Для прикладу значення t'_{oc} для співвідношення 1 наведено у табл. Д.15 і Д.16 додатку Д.

З метою оцінки адекватності значень t'_{oc} у разі використання P_{oc} і l_{vik} , які отримано за результатами імітаційного моделювання і за регресійною моделлю, (обсяг вибірок, відповідно, $n_x = 320$ і $n_y = 80$ значень) була виконана перевірка гіпотези про їх приналежність до однієї генеральної сукупності.

Насамперед, перевірено гіпотезу H_0 про рівність середніх значень за допомогою подвійного t -критерію Стюдента (табл. 3.17), який визначається за виразом [137]

$$\hat{t} = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{(n_x - 1)D_x + (n_y - 1)D_y}{n_x + n_y - 2}}} \sqrt{\frac{n_x n_y}{n_x + n_y}},$$

де $\bar{x}, \bar{y}$ – емпіричні середні значення вибірок, які визначаються за формулою (3.6);

D_x, D_y – емпіричні дисперсії, які визначаються за формулою (3.5).

Гіпотеза H_0 приймається [137], якщо

$$|\hat{t}| < t_{\alpha; m}. \quad (3.18)$$

де $t_{\alpha; m}$ – межа (табличне значення) t -критерію, у разі ймовірності помилки $\alpha = 0,05$ і ступеня свободи $m = n_x + n_y - 2$ ($m = 320 + 80 - 2 = 398$). Згідно [137] $t_{0,05; 398} = 1,96$.

Крім того, перевірено гіпотезу H_0 про рівність дисперсій за допомогою F -критерію Фішера (табл. 3.17), який визначається за виразом [137]

$$\hat{F} = \frac{D_1}{D_2},$$

де D_1, D_2 – більша та менша з дисперсій D_x і D_y відповідно.

Гіпотеза H_0 приймається [137], якщо

$$\hat{F} < F_{\alpha; m_1, m_2}, \quad (3.19)$$

У разі ймовірності помилки $\alpha = 0,05$ і ступенів свободи $m_1 = 319$ і $m_2 = 79$, які визначаються за формулою (3.8), $F_{0,05;319;79} = 1,36$.

Для підвищення достовірності твердження про адекватність одержаних даних використаний U -критерій Уїлкоксона, за допомогою якого перевірено гіпотезу H_0 про те, що функції розподілу $F(x)$ і $F(y)$ двох генеральних сукупностей однакові. Значення критерію (табл. 3.17) визначено за виразом (2.7). При цьому гіпотеза H_0 приймається, якщо виконується умова (2.8). У разі рівня значущості $\alpha = 0,05$ відповідно до виразу (2.9) критичне значення $U_{320,80,0,05} = 10987,17$.

Таблиця 3.17 – Результати оцінки адекватності одержаних даних

Співвідношення	$\bar{x}$	$\bar{y}$	D_x	D_y	$\hat{t}$	$\hat{F}$	U_1	U_2	$U_{\min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,2803	0,2803	0,0194	0,0184	-0,00092	1,06	12703	12897	12703
2	0,2380	0,2380	0,0141	0,0135	-0,00093	1,04	12694	12906	12694
3	0,2093	0,2093	0,0113	0,0109	-0,00025	1,03	12720	12880	12720
4	0,1800	0,1800	0,0095	0,0089	0,00047	1,07	12667	12933	12667
5	0,1458	0,1458	0,0077	0,0073	0,00005	1,05	12725	12875	12725
6	0,3126	0,3126	0,0177	0,0167	0,00001	1,07	12722	12878	12722
7	0,2723	0,2723	0,0136	0,0128	-0,00014	1,06	12745	12855	12745
8	0,2405	0,2405	0,0114	0,0108	0,00019	1,06	12693	12907	12693
9	0,2040	0,2045	0,0089	0,0083	-0,04906	1,07	12670	12930	12670
10	0,1691	0,1691	0,0067	0,0064	-0,00165	1,05	12728	12872	12728
11	0,3506	0,3506	0,0161	0,0151	-0,00033	1,07	12735	12865	12735
12	0,3135	0,3135	0,0131	0,0123	0,00023	1,06	12753	12847	12753

Продовження таблиці 3.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	0,2751	0,2751	0,0113	0,0104	0,00004	1,08	12743	12854	12743
14	0,2311	0,2311	0,0088	0,0080	0,00162	1,11	12679	12921	12679
15	0,1958	0,1958	0,0064	0,0060	0,00013	1,07	12714	12886	12714

Дані, що наведено у табл. 3.17, свідчать про те, що умови (3.18), (3.19) і (2.8) виконуються для всіх розглянутих співвідношень. Таким чином, значення t'_{oc} у разі використання значень середньої кількості операцій осаджування та довжини «вікна» на один перероблений вагон, які отримано за результатами імітаційного моделювання і за регресійними моделями, належать до однієї генеральної сукупності і є адекватними.

3.4.2 Регресійна модель середньої тривалості осаджування у розрахунку на один вагон

Факторами, що впливають на тривалість t'_{oc} за виразом (1.2), є:

- 1) середня кількість операцій осаджування P_{oc} на один перероблений вагон;
- 2) середня довжина «вікна» $l_{вік}$ на один перероблений вагон;
- 3) тривалість піврейса заїзду на сортувальну колію (та повернення з сортувальної колії) поодинокого локомотива t_1 ;
- 4) швидкість руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування $v_{л}$.

Перші два фактори залежать від похибки гальмування відчепів σ_v , ухилу сортувальних колій i та параметрів вагонопотоку, що переробляється на СГ.

Для визначення впливу останніх двох факторів:

– довжина піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива l_1 варіюється в межах від 201 м до 460 м, а саме: 1) 201-260 м ($t_1 = 1,00$ хв.), 2) 261-320 м ($t_1 = 1,10$ хв.), 3) 321-380 м ($t_1 = 1,21$ хв.), 4) 381-460 м ($t_1 = 1,32$ хв.);

– значення $v_{л}$ варіюється в межах від 5 до 40 км/год, а саме: 1) 5 км/год, 2) 7 км/год, 3) 10 км/год, 4) 15 км/год, 5) 40 км/год. Верхня межа обумовлюється

тим, що згідно з [105] допустима швидкість руху кривими радіусом 200 м, які застосовуються у гірковій горловині, становить 40 км/год.

Значення P_{oc} і $l_{вк}$ прийнято за регресійними моделями.

У дисертаційній роботі розглянуто (табл. 3.18) п'ятнадцять співвідношень, які відрізняються параметрами вагонопотоку, що переробляється на гірці.

Таблиця 3.18 – Співвідношення, що розглядаються під час досліджень

Співвідношення	Частота появи (%) у потоці, що переробляється	
	вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії	відчепів з 1 вагону
1	75 % і більше	70-80
2		60-70
3		50-60
4		30-50
5		10-30
6	55-75 %	70-80
7		60-70
8		50-60
9		30-50
10		10-30
11	менш ніж 55 %	70-80
12		60-70
13		50-60
14		30-50
15		10-30

Для цих співвідношень за виразом (3.16) визначено t'_{oc} для чотирьох випадків довжини піврейсу заїзду l_1 і п'яти випадків швидкості $v_{л}$.

Під час досліджень виявилось можливим отримати двофакторну регресійну модель для нормування тривалості осаджування у розрахунку на один вагон

$$t'_{oc} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2, \quad (3.20)$$

якщо розглянути варіанти швидкостей руху поодинокого локомотива сортувальною колією $v_{л}$ – 1) 5-7 км/год, 2) 7-10 км/год, 3) 10-15 км/год, 4) 15-40 км/год – для шести випадків (1, 2, 4, 5, 7, 8) і 1) 5-7 км/год, 2) 7-15 км/год, 3) 15-40 км/год – для трьох випадків (3, 6, 9), які відрізняються параметрами вагонопотоку (табл. 3.19). При цьому довжина піврейсу заїзду на сортувальну колію (та повернення з сортувальної колії) поодинокого локомотива l_1 знаходиться у межах 201-460 м.

Таблиця 3.19 – Випадки, для яких отримано регресійну модель для нормування тривалості осаджування у розрахунку на один вагон

Випадок	Частота появи (%) у потоці, що переробляється		Співвідношення, які об'єднуються
	вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії	відчепів з 1 вагону	
1	75 і більше	60-80	1+2
2		30-60	3+4
3		10-30	5
4	55-75	60-80	6+7
5		30-60	8+9
6		10-30	10
7	менш, ніж 55	60-80	11+12
8		30-60	13+14
9		10-30	15

Коефіцієнти поліному другого ступеня (табл. 3.20) визначено за методом найменших квадратів. При цьому для їх розрахунку у кожному варіанті швидкостей $v_{\text{л}}$ використано вибірку, яка складається зі значень $t'_{\text{ос}}$, що відповідають чотирьом випадкам довжини піврейсу заїзду l_1 для нижньої та верхньої межі $v_{\text{л}}$ у співвідношеннях, які об'єднуються (див. табл. 3.19).

Таблиця 3.20 – Коефіцієнти поліному

Випадок	$v_{\text{л}}$, км/год	Коефіцієнти поліному					
		b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	5-7	0,165	-0,013	-0,084	0,013	0,100	0,008
	7-10	0,147	-0,020	-0,088	0,021	0,092	0,014
	10-15	0,135	-0,019	-0,080	0,022	0,090	0,013
	15-40	0,129	-0,022	-0,084	0,012	0,106	0,016
2	5-7	0,159	0,045	-0,120	0,013	0,051	0,025
	7-10	0,143	0,024	-0,109	0,010	0,068	0,023
	10-15	0,127	0,015	-0,093	0,009	0,070	0,019
	15-40	0,118	0,045	-0,089	0,013	0,040	0,018
3	5-7	0,170	-0,016	-0,137	0,024	0,100	0,031
	7-15	0,146	-0,019	-0,116	0,014	0,100	0,027
	15-40	0,130	-0,034	-0,103	0,018	0,106	0,023
4	5-7	0,146	0,092	-0,045	-0,010	0,041	-0,006
	7-10	0,140	0,040	-0,041	0,004	0,060	-0,006
	10-15	0,132	0,017	-0,041	0,010	0,070	-0,004
	15-40	0,123	0,045	-0,050	0,002	0,055	0,002
5	5-7	0,141	0,048	-0,048	-0,001	0,068	-0,004
	7-10	0,139	0,077	-0,060	-0,007	0,045	0,002
	10-15	0,131	0,055	-0,056	-0,001	0,060	0,002
	15-40	0,113	0,025	-0,050	0,006	0,065	0,004

Продовження таблиці 3.20

1	2	3	4	5	6	7	8
6	5-7	0,185	0,013	-0,139	0,033	0,065	0,028
	7-15	0,147	-0,020	-0,116	0,029	0,089	0,026
	15-40	0,132	-0,004	-0,100	0,026	0,078	0,021
7	5-7	0,166	0,042	-0,067	-0,002	0,082	0,002
	7-10	0,152	0,080	-0,063	-0,005	0,050	0,002
	10-15	0,143	0,055	-0,057	0,003	0,055	0,001
	15-40	0,136	0,051	-0,055	0,010	0,045	0,001
8	5-7	0,157	0,090	-0,064	-0,015	0,049	0,002
	7-10	0,142	0,082	-0,057	-0,019	0,061	0,002
	10-15	0,137	0,083	-0,055	-0,012	0,050	0,001
	15-40	0,135	0,071	-0,075	-0,002	0,041	0,011
9	5-7	0,152	0,055	-0,065	-0,006	0,070	0,002
	7-15	0,142	0,048	-0,069	0,001	0,065	0,006
	15-40	0,122	0,032	-0,060	0,001	0,070	0,007

Для перевірки адекватності отриманої моделі використано F -критерій Фішера, відносне відхилення ν дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ і множинне кореляційне відношення R' .

З використанням поліному другого ступеня для відповідних x_i розраховано значення $\hat{y}_i$, приклад яких для випадків 3, 5 і 7 наведено у табл. Д.15 додатку Д. F -критерій Фішера, відносне відхилення ν та множинне кореляційне відношення R' наведено у табл. 3.21.

Таблиця 3.21 – Перевірка адекватності моделі

Випадок	$\nu_{\text{Л}}$, км/год	D_3	F	$F^T_{(5\%; m_1; m_2)}$	ν , %	R'
1	2	3	4	5	6	7
1	5-7	0,00152	18,31	1,00	8,4	0,97
	7-10	0,00108	20,15		8,3	0,97
	10-15	0,00083	21,47		8,2	0,98
	15-40	0,00081	17,64		8,6	0,97
2	5-7	0,00074	22,99	1,00	8,1	0,98
	7-10	0,00052	25,67		7,8	0,98
	10-15	0,00040	27,62		7,7	0,98
	15-40	0,00040	21,88		8,3	0,98
3	5-7	0,00020	60,93	1,16	6,2	0,99
	7-15	0,00024	37,67	1,08	7,2	0,99
	15-40	0,00012	54,80	1,16	6,2	0,99
4	5-7	0,00151	17,13	1,00	7,5	0,97
	7-10	0,00105	19,25		7,2	0,97
	10-15	0,00079	20,81		7,1	0,98
	15-40	0,00082	16,35		7,8	0,97

Продовження таблиці 3.21

1	2	3	4	5	6	7
5	5-7	0,00104	16,11	1,00	8,4	0,97
	7-10	0,00074	17,76		8,3	0,97
	10-15	0,00056	18,93		8,2	0,97
	15-40	0,00056	15,57		8,6	0,97
6	5-7	0,00025	44,07	1,16	6,2	0,99
	7-15	0,00029	27,37	1,08	7,1	0,98
	15-40	0,00014	39,47	1,16	6,2	0,99
7	5-7	0,00152	15,90	1,00	6,8	0,97
	7-10	0,00103	18,31		6,4	0,97
	10-15	0,00076	20,17		6,2	0,97
	15-40	0,00084	14,93		7,1	0,97
8	5-7	0,00141	11,77	1,00	8,9	0,96
	7-10	0,00101	12,82		8,8	0,96
	10-15	0,00078	13,57		8,7	0,96
	15-40	0,00075	11,35		9,0	0,96
9	5-7	0,00031	32,87	1,16	6,2	0,98
	7-15	0,00037	20,47	1,08	7,2	0,98
	15-40	0,00018	29,67	1,16	6,2	0,98

Примітки:

1. Для випадків 1, 2, 4, 6, 8, 9 – $F_{(5\%; 1279; 1277)}^T$.
2. Для випадків 3, 6, 9 у разі $v_{л} = 5 - 7$ км/год і $v_{л} = 15 - 40$ км/год – $F_{(5\%; 639; 637)}^T$.
3. Для випадків 3, 6, 9 у разі $v_{л} = 7 - 15$ км/год – $F_{(5\%; 959; 957)}^T$.

Дані, що наведено у табл. 3.21, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7), (3.13) і (3.15) виконуються в усіх випадках.

Таким чином, адекватною двофакторною регресійною моделлю для нормування середньої тривалості осаджування у розрахунку на один вагон у залежності від похибки гальмування відцепів та ухилу сортувальних колій з урахуванням параметрів вагонопотоку, що переробляється, та швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування є модель у вигляді поліному другого ступеня, коефіцієнти якого наведено у табл. 3.20. При цьому довжина піврейса заїзду на сортувальну колію (та повернення з неї) поодинокого локомотива знаходиться у межах 201-460 м. Швидкість осаджування становить 5 км/год.

Приклад значень $t'_{ос}$, які розраховано за залежністю виду (3.20), для випадку 3 у разі швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування 15-40 км/год. наведено на рис. 3.10.

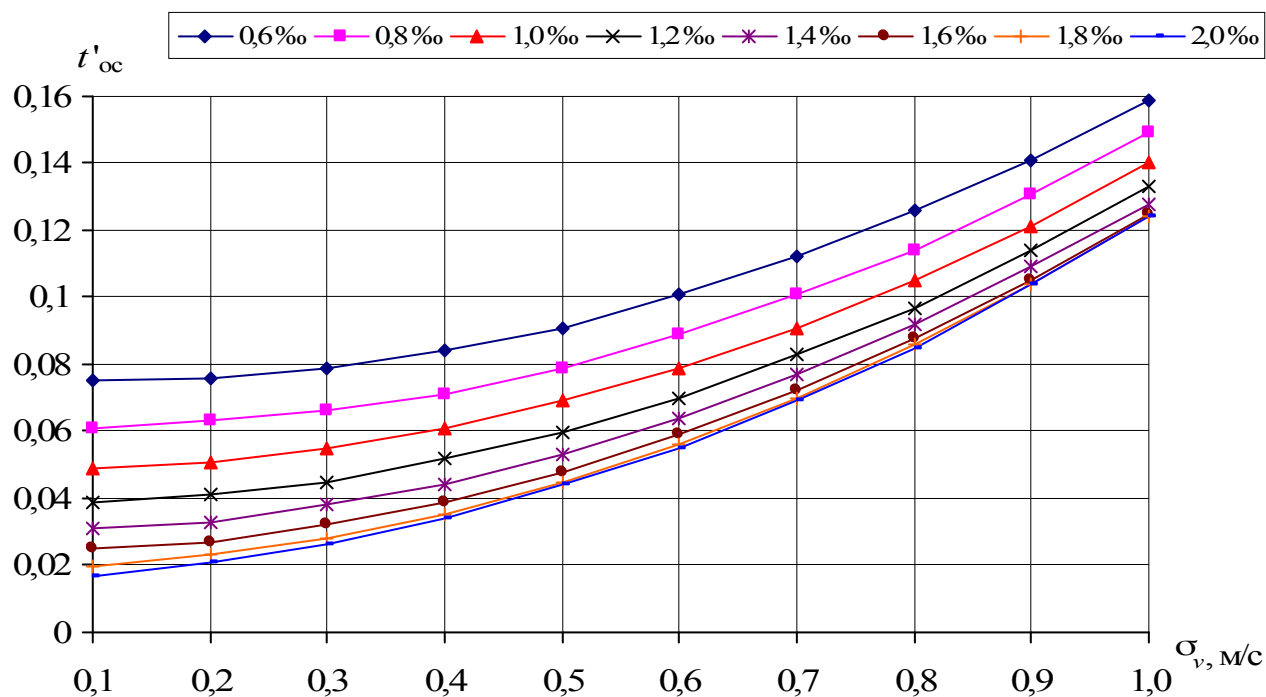


Рисунок 3.10 – Середня тривалість осаджування у розрахунку на один вагон

Аналіз значень $t'_{ос}$, отриманих для усіх випадків, які наведено у табл. 3.19, показав, що:

- зі збільшенням похибки гальмування відчепів σ_v від 0,1 м/с до 1,0 м/с середня тривалість осаджування $t'_{ос}$ зростає в цілому у 1,7-6,2 рази. При цьому, дана різниця збільшується зі збільшенням ухилу сортувальних колій;

- зі збільшенням ухилу сортувальних колій i від 0,6 ‰ до 2 ‰ середня тривалість осаджування $t'_{ос}$ зменшується в цілому у 1,2-4,4 рази. При цьому, дана різниця зменшується зі збільшенням σ_v ;

- зі збільшенням швидкості руху поодинокого локомотива $v_{л}$ від 5-7 км/год. до 15-40 км/год. середня тривалість осаджування $t'_{ос}$ може зменшуватися в середньому на 40 %.

3.4.3 Можлива кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених

Даний показник ($n_{\text{пошк}}$) залежить від середньої швидкості $\bar{v}_3$ підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, на значення якої впливають похибка гальмування відчепів σ_v і ухил цих колій.

У дисертаційній роботі за формулою (2.1) визначено $n_{\text{пошк}}$ (приклад див. у табл. Д.16 і Д.17 додатку Д) для $\bar{v}_3$, яку отримано за результатами імітаційного моделювання процесу розформування составів на гірці і за регресійними моделями у вигляді поліномів другого ступеня, для двох випадків – коли частота появи у потоці, що переробляється, вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає: 1) 65 % і більше; 2) менш, ніж 65 % (див. табл. 3.10).

З метою оцінки адекватності значень $n_{\text{пошк}}$ у разі використання $\bar{v}_3$, яку отримано за результатами імітаційного моделювання і за регресійними моделями (обсяг вибірок, відповідно, $n_x = 320$ і $n_y = 80$ значень), була виконана перевірка гіпотези про їх приналежність до однієї генеральної сукупності. У кожному з двох випадків вибірка n_x сформована зі значень, що відповідають наступним співвідношенням рівнів – ВР-ВР, ВР-НР, НР-ВР і НР-НР (див. табл. Д.16).

У дисертаційній роботі (табл. 3.22) перевірено гіпотези: 1) про рівність середніх значень – за допомогою подвійного t -критерію Стьюдента ($t_{0,05;398} = 1,96$), 2) про рівність дисперсій – за допомогою F -критерію Фішера ($F_{0,05;319;79} = 1,36$), 3) про однаковість функцій розподілу $F(x)$ і $F(y)$ двох генеральних сукупностей – за допомогою U -критерію Уїлкоксона ($U_{320,80,0,05} = 10987,17$).

Таблиця 3.22 – Результати оцінки адекватності одержаних даних

Випадок	$\bar{x}$	$\bar{y}$	D_x	D_y	$\hat{t}$	$\hat{F}$	U_1	U_2	$U_{\min}$
1	1,35	1,33	0,3471	0,2771	0,31833	1,25	12785	12815	12785
2	1,13	1,11	0,1604	0,1258	0,38246	1,28	12729	12871	12729

Дані, що наведено у табл. 3.22, свідчать про те, що умови (3.18), (3.19) і (2.8) виконуються для обох випадків. Таким чином, значення $n_{\text{пошк}}$ у разі використання значень середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях

СП, які отримано за результатами імітаційного моделювання та за регресійними моделями, належать до однієї генеральної сукупності і є адекватними.

3.4.4 Рівняння регресії, яке описує зв'язок між похибкою гальмування відчепів, ухилом сортувальних колій і можливою кількістю пошкоджених вагонів на 1000 перероблених

Для встановлення виду такого рівняння використано значення $n_{\text{пошк}}$ (див. табл. Д.19 додатку Д), що розраховані для середньої швидкості підходу відчепів, яку отримано за результатами імітаційного моделювання процесу розформування составів на гірці, для двох випадків – коли частота появи вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає: 1) 65 % і більше; 2) менш ніж 65 %.

Для опису зв'язку з усієї розглянутої сукупності двофакторних рівнянь регресії за принципом найменшої залишкової дисперсії D_3 для обох випадків обрано

$$n_{\text{пошк}} = b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i} + b_{11} e^{\sigma_v^2} + b_{22} e^{i^2}, \quad (3.21)$$

коефіцієнти якого (табл. 3.23) визначено за методом найменших квадратів.

Таблиця 3.23 – Коефіцієнти рівнянь регресії

Випадок	Частота появи у потоці вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії	Коефіцієнти рівняння						D_3
		b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}	
1	65 % і більше	-0,173	0,277	0,038	0,086	0,296	0,014	0,036549
2	менш, ніж 65 %	-0,059	0,286	0,032	0,043	0,224	0,006	0,030393

За рівняннями регресії для відповідних x_i визначено значення $\hat{y}_i$ (табл. Д.18 додатку Д). F -критерій Фішера, відносне відхилення v дійсних значень y_i від прогнозних $\hat{y}_i$ та множинне кореляційне відношення R' наведено у табл. 3.24.

Дані, що наведено у табл. 3.24, дозволяють зробити висновок, що умови (3.7), (3.13) і (3.15) виконуються в обох випадках.

Таблиця 3.24 – Перевірка адекватності рівнянь регресії

Випадок	D_3	F	$F_{(5\%; 639; 637)}^T$	$v, \%$	R'
1	0,036549	8,66	1,26	8,5	0,95
2	0,030393	10,20		9,6	0,95

Таким чином, зв'язок між похибкою гальмування відчепів, ухилом сортувальних колій і можливою кількістю пошкоджених вагонів на 1000 перероблених з урахуванням впливу параметрів вагонопотоку, що переробляється, адекватно описується рівняннями регресії (3.21), коефіцієнти якого наведено у табл. 3.23.

3.5 Висновки до розділу 3

1. Отримано [регресійні моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів з урахуванням окремих факторів.](#)

2. Урахування впливу вагової категорії вагонів на середню довжину «вікна» або кількість операцій осаджування на один перероблений вагон є можливим шляхом отримання залежностей для трьох випадків – коли частота появи у потоці, що переробляється, вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає: 1) 75 % і більше; 2) 55-75 %; 3) менше ніж 55 %.

3. Урахування впливу кількості вагонів у відчепі на середню довжину «вікна» або кількість операцій осаджування на один перероблений вагон є можливим шляхом отримання залежностей для п'яти випадків – коли частота появи відчепів з 1 вагону складає: 1) 70-80 %; 2) 60-70 %; 3) 50-60 %; 4) 30-50; 5) 10-30 %.

4. Отримано нову залежність виду $\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2$ для нормування середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, факторами якої є похибка гальмування відчепів σ_v та ухил сортувальних колій i . Урахування параметрів вагонопотоку можливе шляхом отримання

коефіцієнтів моделі для двох випадків – коли частота появи у потоці вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає: 1) 65 % і більше; 2) менше за 65 %.

5. Отримано нову залежність виду $\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2$ для нормування середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон, факторами якої є похибка гальмування відчепів σ_v та ухил сортувальних колій i . Урахування параметрів вагонопотоку, що переробляється, можливе шляхом отримання коефіцієнтів моделі для п'ятнадцяти співвідношень, у яких сполучаються три випадки щодо вагової категорії вагонів і п'ять випадків щодо кількості вагонів у відчепі (див. табл. 3.12).

6. Значення середньої тривалості осаджування у розрахунку на один вагон у разі використання значень середньої кількості операцій осаджування та довжини «вікна» на один перероблений вагон, які отримано за результатами імітаційного моделювання і за рівняннями регресії, належать до однієї генеральної сукупності та є адекватними.

7. Отримано нову залежність виду $t'_{oc} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2i + b_{12}\sigma_v i + b_{11}\sigma_v^2 + b_{22}i^2$ для нормування середньої тривалості осаджування у розрахунку на один вагон, факторами якої є похибка гальмування відчепів σ_v і ухил сортувальних колій i . При цьому враховано вплив параметрів вагонопотоку та швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування. Довжина піврейса заїзду на сортувальну колію поодинокого локомотива знаходиться у межах 201-460 м. Швидкість осаджування становить 5 км/год.

Збільшення похибки гальмування відчепів σ_v від 0,1 м/с до 1,0 м/с викликає зростання t'_{oc} в цілому у 1,7-6,2 рази. Збільшення ухилу сортувальних колій i від 0,6 ‰ до 2 ‰ викликає зменшення t'_{oc} в цілому у 1,2-4,4 рази. Збільшення швидкості руху поодинокого локомотива v_n від 5-7 км/год. до 15-40 км/год. викликає зменшення t'_{oc} в середньому на 40 %.

8. Отримано рівняння регресії $\hat{y} = b_0 + b_1e^{\sigma_v} + b_2e^i + b_{12}e^{\sigma_v i} + b_{11}e^{\sigma_v^2} + b_{22}e^{i^2}$, яке адекватно описує зв'язок між похибкою гальмування відчепів σ_v , ухилом сортувальних колій i та можливою кількістю пошкоджених вагонів на 1000 перероблених з урахуванням впливу параметрів вагонопотоку, що переробляється.

РОЗДІЛ 4

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК ЗА РАХУНОК ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНІКО- ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИЦІЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІДЧЕПІВ

4.1 Аналіз витрат, які впливають на ефективність функціонування сортувальних гірок

Ефективність функціонування СГ досягається за рахунок:

- скорочення гіркового інтервалу, що призводить до збільшення її переробної спроможності, а також можливого зменшення тривалості знаходження вагонів на станції, тривалості доставки вантажів, обігу вагонів та їх робочого парку;
- зменшення маневрової роботи з осаджування та підтягування вагонів на коліях СП;
- зменшення витрат палива на маневрові пересування та можливого зменшення кількості гіркових локомотивів;
- зниження витрат, що пов'язані з ремонтом пошкоджених вагонів після їх зіткнень з високими швидкостями;
- скорочення випадків пошкодження вантажів і пов'язаних з цим витрат на відшкодування збитків вантажовласникам;
- збільшення ресурсів роботи напільного устаткування та маневрових локомотивів;
- скорочення експлуатаційного персоналу та фонду заробітної платні.

Ефективність функціонування СГ у дисертаційній роботі визначається за мінімальними загальними витратами, які для кожного варіанта, що розглядається, розраховуються за формулою:

$$E_{\text{загал}} = Z_{\text{авт}} + E_{\text{оп}}, \quad (4.1)$$

де $Z_{\text{авт}}$ – зведені витрати, які пов’язані з автоматизацією ПГП, тис. грн.;

$E_{\text{оп}}$ – річні експлуатаційні витрати, які пов’язані з осаджуванням вагонів на коліях СП та з їх пошкодженням під час сортування, тис. грн.

4.1.1 Аналіз витрат, які пов’язані з автоматизацією паркової гальмової позиції

Вони складаються з капітальних вкладень (вартість упровадження АСК) та річних експлуатаційних витрат.

Капітальні вкладення до свого складу включають:

- вартість обладнання керуючого обчислювального комплексу й автоматизованих робочих місць;
- вартість додаткового напільного обладнання (радіолокаційних вимірювачів швидкості, лічильників осей, пристроїв КЗК, пристроїв комплексної системи автоматизованого керування компресорною станцією тощо);
- вартість проектно-дослідницьких робіт, розробки технічної документації, адаптації програмного забезпечення;
- вартість будівельно-монтажних і пуско-налагоджувальних робіт;
- вартість робіт, що пов’язані з приведенням фактичного (існуючого) поздовжнього профілю сортувальних колій до необхідного;
- вартість введення АСК в експлуатацію.

Річні експлуатаційні витрати до свого складу включають:

- технічне обслуговування та поточний ремонт постового та напільного обладнання АСК;
- додаткові витрати на електропостачання пристроїв автоматики.

На підставі капітальних вкладень та експлуатаційних витрат визначаються зведені витрати. У дисертаційній роботі розглянуто три варіанти (табл. Д.19 додатку Д), які відрізняються значенням зведених витрат $Z_{\text{авт}}$, що пов’язані з автоматизацією ПГП. Прийнято, що ці витрати зростають (див. рис. 4.1) зі збільшенням точності

прицільного регулювання швидкості відчепів на СГ (зменшення похибки їх гальмування).

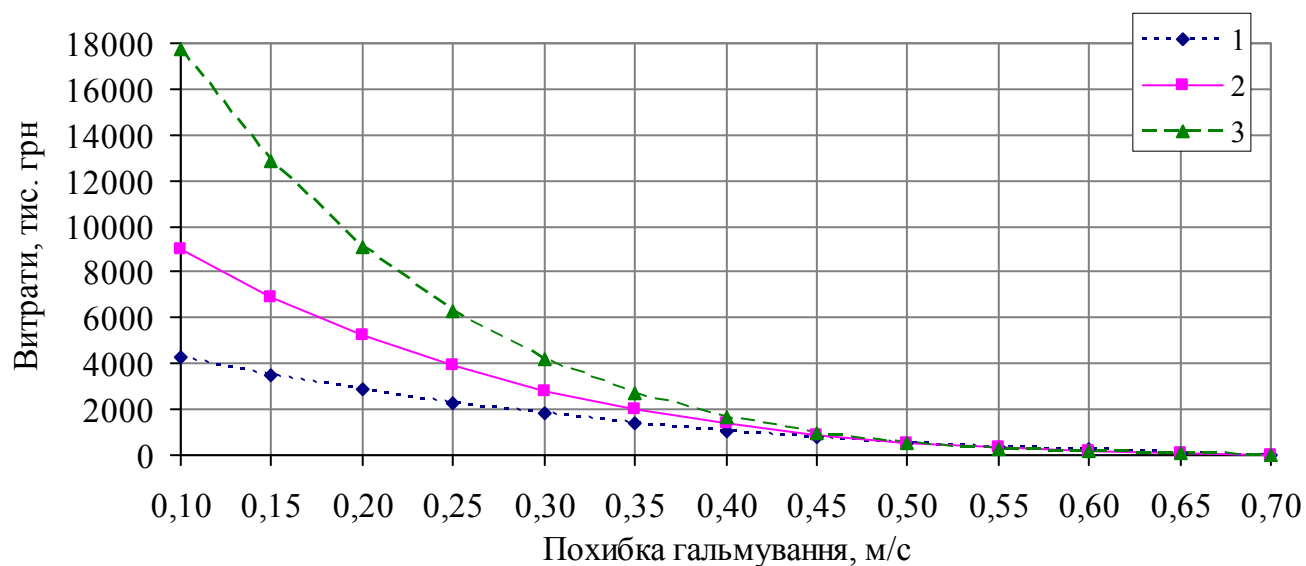


Рисунок 4.1 – Криві витрат $Z_{\text{авт}}$ за варіантами

4.1.2 Аналіз витрат, які пов'язані з осаджуванням вагонів на коліях сортувального парку та їх пошкодженням під час сортування

Річні експлуатаційні витрати, що пов'язані з осаджуванням вагонів, на підставі положень [134] визначаються за формулою:

$$E_{\text{ос}} = E_{\text{л}} + E_{\text{в}}, \quad (4.2)$$

де $E_{\text{л}}$ – річні витрати, що пов'язані з роботою маневрових локомотивів, тис. грн;

$E_{\text{в}}$ – річні витрати, що пов'язані з простоем вагонів, тис. грн.

Значення $E_{\text{л}}$ [134] розраховується за формулою:

$$E_{\text{л}} = 0,365 N_{\text{р}} \frac{t_{\text{ос}}}{60} e_{\text{лг}}, \quad (4.3)$$

де $N_{\text{р}}$ – середня кількість составів, що розформовуються на СГ протягом доби;

$t_{\text{ос}}$ – середня тривалість осаджування у розрахунку на один состав, хв., яка визначається за формулою (3.17);

$e_{\text{лг}}$ – вартість однієї локомотиво-години маневрової роботи (тепловозна тяга).

Значення $E_{\text{в}}$ [134] розраховується за формулою:

$$E_{\text{в}} = 0,365 N_{\text{р}} \frac{t_{\text{ос}}}{60} m_{\text{с}} e_{\text{вг}}, \quad (4.4)$$

де $m_{\text{с}}$ – середня кількість вагонів у составі поїзда;

$e_{\text{вг}}$ – вартість однієї вагоно-години простою вагона.

Річні експлуатаційні витрати, які пов'язані з пошкодженням вагонів, на підставі положень [117] визначаються за формулою:

$$E_{\text{пошк}} = E_{\text{р}} + K_{\text{в}} + E_{\text{вант}}, \quad (4.5)$$

де $E_{\text{р}}$ – витрати на ремонт вагонів, тис. грн;

$K_{\text{в}}$ – додаткові витрати на вагонний парк, тис. грн;

$E_{\text{вант}}$ – витрати на відшкодування вантажовласникам за пошкодження та втрати вантажу (у т. ч. штраф за несвоєчасне доставлення вантажу у разі його наявності), а також на перевантаження залізницею вантажу з пошкодженого вагона та ліквідацію його зсуву, тис. грн.

Річні витрати на ремонт вагонів [117] визначаються за формулою:

$$E_{\text{р}} = N_{\text{пошк}} C_{\text{р}}, \quad (4.6)$$

де $C_{\text{р}}$ – середня вартість ремонту пошкодженого вагона з урахуванням вартості втрачених та (або) пошкоджених частин, тис. грн.;

$N_{\text{пошк}}$ – річна кількість пошкоджених вагонів у разі добової переробки N вагонів, яка визначається за формулою [117]:

$$N_{\text{пошк}} = 0,365 N n_{\text{пошк}}. \quad (4.7)$$

Додаткові витрати на вагонний парк [117] визначаються за формулою:

$$K_{\text{в}} = \Delta B \Pi_{\text{в}}, \quad (4.8)$$

де $\Pi_{\text{в}}$ – середньозважена вартість одного вагона;

ΔB – втрати перевізних ресурсів внаслідок направлення вагонів у ремонт, які визначаються за формулою [117]:

$$\Delta B = \frac{N_{\text{пошк}} t_p}{0,95 \cdot 8760}, \quad (4.9)$$

де $0,95 \cdot 8760$ – річний фонд робочого часу вагона [117];

t_p – тривалість виконання операцій з пошкодженим вагоном, год.;

Дані операції до свого складу включають:

– технічне обслуговування вантажних вагонів з відчепленням від состава (ТОВ-2) з граничними нормами часу на усунення можливих пошкоджень, які в залежності від типу вагона [58] коливаються в межах 11-14 год.;

– вивантаження вантажу з пошкодженого вагона, якщо його неможливо відремонтувати в навантаженому стані, з граничними нормами часу, які (з урахуванням додаткових операцій) в залежності від типу вагона, виду вантажу та засобів механізації [125] коливаються в межах 0,46-1,67 год.;

– маневрові операції з подачі та прибирання вагонів для виконання їх технічного обслуговування та перевантаження вантажу.

Витрати на відшкодування вантажовласникам за пошкодження та втрати вантажу, а також на перевантаження вантажу з пошкодженого вагона та ліквідацію його зсуву визначаються за формулою:

$$E_{\text{вант}} = N_{\text{пошк}} C_{\text{вант}}, \quad (4.10)$$

де $C_{\text{вант}}$ – середні витрати на відшкодування вантажовласникам, перевантаження та ліквідацію зсуву вантажу у розрахунку на один пошкоджений вагон, тис. грн.

Річні експлуатаційні витрати, які пов'язані з осаджуванням вагонів на коліях СП та з їх пошкодженням під час сортування, визначаються за формулою:

$$E_{\text{оп}} = E_{\text{ос}} + E_{\text{пошк}}. \quad (4.11)$$

Для визначення $t_{\text{ос}}$ за формулою (3.17) у дисертаційній роботі використано середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон $t'_{\text{ос}}$, яку отримано за регресійними моделями (див. табл. Д.15 додатку Д). Значення можливої кількості пошкоджених вагонів на 1000 перероблених $n_{\text{пошк}}$ прийнято за табл. Д.18.

Під час досліджень:

– середня кількість вагонів у составі поїзда $m_c = 55$ вагонів;

- середня кількість составів N_p дорівнює 55 і 95 составів (відповідний добовий обсяг переробки $N = m_c N_p$ становить 3025 і 5225 вагонів);
- вартість однієї локомотиво-години маневрової роботи $e_{лг} = 201,24$ грн.;
- вартість однієї вагоно-години простою вагона $e_{вг} = 1,19$ грн.;
- середньозважена вартість одного вагона $Ц_v$ становить 795 тис. грн;
- тривалість виконання операцій з пошкодженим вагоном t_p становить 8 і 16 год;
- значення C_p і $C_{вант}$ (табл. 4.1) варіюється у межах 0,5-4,5 тис. грн.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для дослідження

C_p , тис. грн.	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
$C_{вант}$, тис. грн.	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5

Річні експлуатаційні витрати, які пов'язані з осаджуванням вагонів на коліях СП та з їх пошкодженням під час сортування, визначено для трьох випадків (табл. 4.2), які характеризуються:

- 1) найменшою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон $t'_{ос}$ (див. табл. 3.19 – випадок 3) і найбільшою можливою кількістю пошкоджених вагонів на 1000 перероблених $n_{пошк}$ (див. табл. 3.23 – випадок 1);
- 2) найбільшими значеннями $t'_{ос}$ (див. табл. 3.19 – випадок 7) і найменшими значеннями $n_{пошк}$ (див. табл. 3.23 – випадок 2);
- 3) середніми значеннями $t'_{ос}$ (див. табл. 3.19 – випадок 5) і найменшими значеннями $n_{пошк}$ (див. табл. 3.23 – випадок 2).

Таблиця 4.2 – Характеристика випадків, що розглядаються

Випадок	Частота появи (%) у потоці, що переробляється		$v_{л}$, км/год
	вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії	відцепів з 1 вагону	
1	75 і більше	10-30	15-40
2	менш, ніж 55	60-80	5-7
3	55-75	30-60	10-15

У випадках 1 і 3 (рис. 4.2, 4.3) спостерігається постійне перевищення річних експлуатаційних витрат, які пов'язані з пошкодженням вагонів, ($E_{пошк}$) над витратами, що пов'язані з їх осаджуванням на коліях СП, ($E_{ос}$).

У випадку 2 за мінімальних значень C_p , $C_{вант}$, t_p і ухилу сортувальних колій витрати $E_{ос}$ перевищують $E_{пошк}$, а у разі збільшення ухилу спостерігається суттєве

зростання значень $E_{\text{пошк}}$ і їх перевищення над $E_{\text{ос}}$ (рис. 4.4). Збільшення C_p , $C_{\text{вант}}$ і t_p призводить до перевищення $E_{\text{пошк}}$ над $E_{\text{ос}}$ (рис. 4.5).

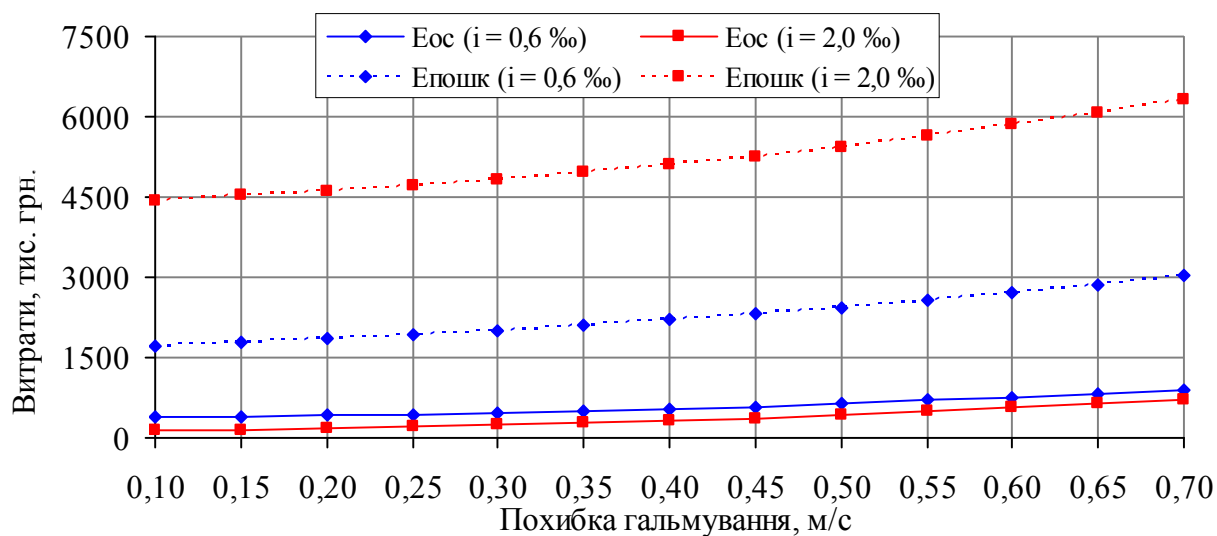


Рисунок 4.2 – Витрати у випадку 1 за $C_p = C_{\text{вант}} = 0,5$ тис. грн., $t_p = 16$ год, $N_p = 55$ составів

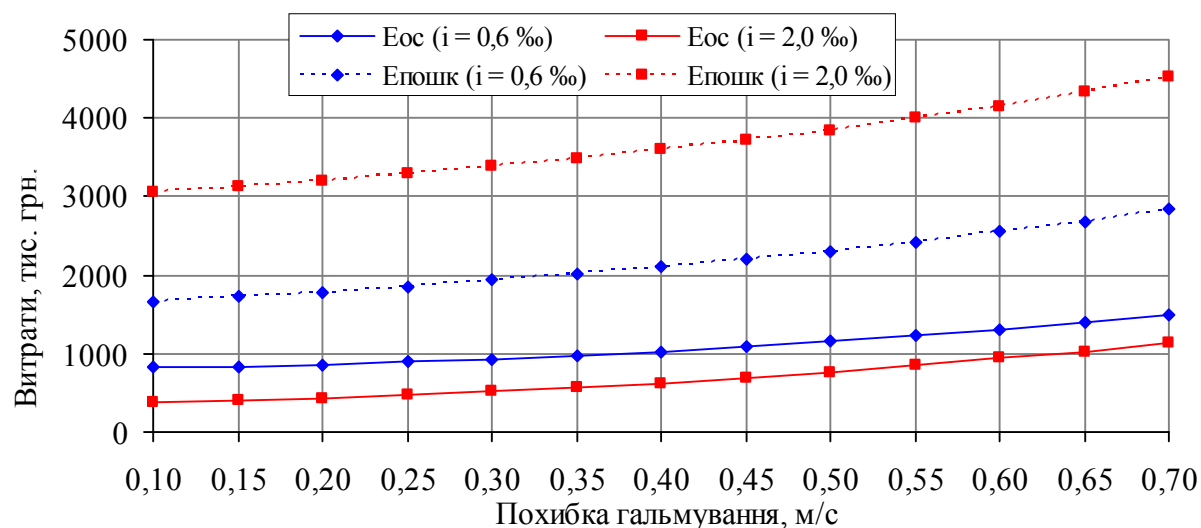


Рисунок 4.3 – Витрати у випадку 3 за $C_p = C_{\text{вант}} = 0,5$ тис. грн., $t_p = 16$ год, $N_p = 55$ составів

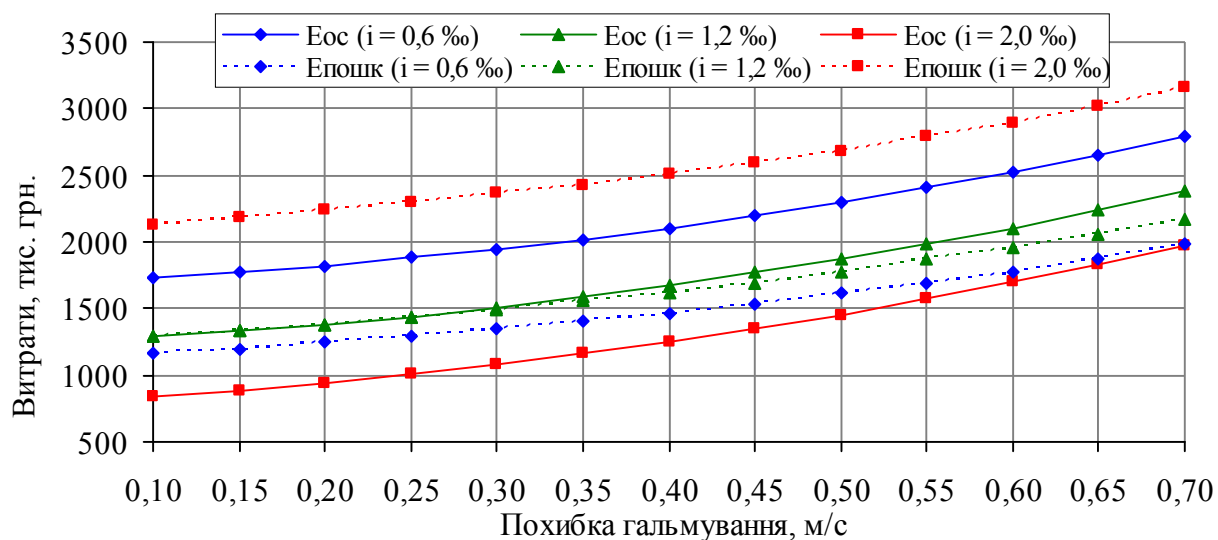


Рисунок 4.4 – Витрати у випадку 2 за $C_p = C_{\text{вант}} = 0,5$ тис. грн., $t_p = 8$ год, $N_p = 55$ составів

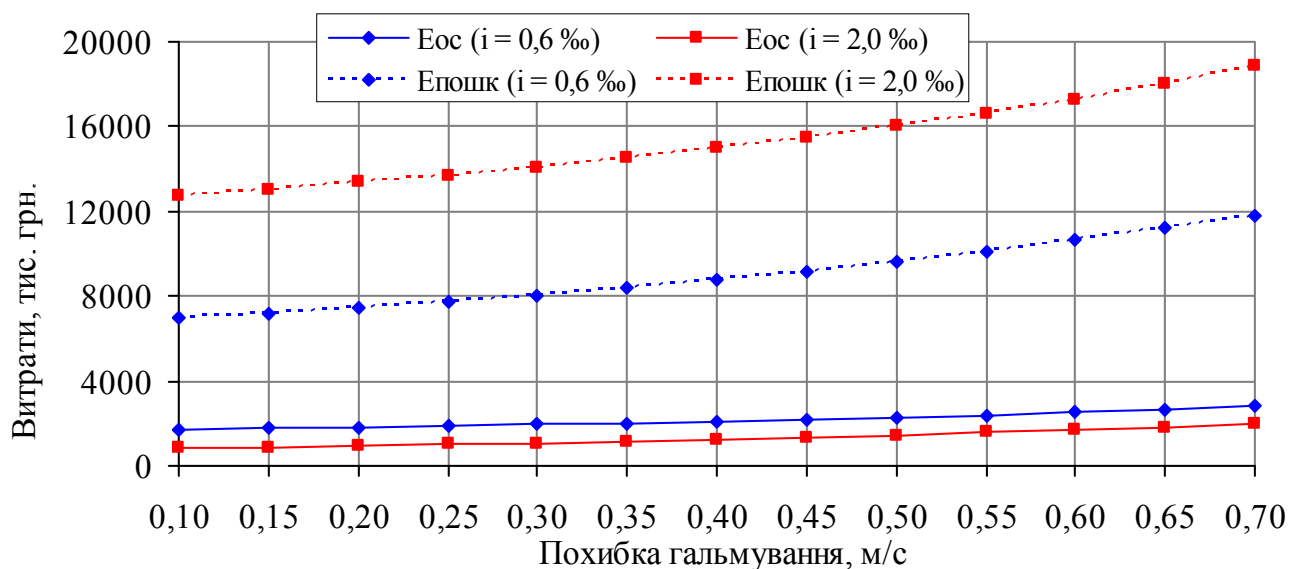


Рисунок 4.5 – Витрати у випадку 2 за $C_p = C_{\text{вант}} = 4,5$ тис. грн., $t_p = 16$ год, $N_p = 55$ составів

4.2 Визначення раціональної точності прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках

Під час визначення раціональної точності прицільного регулювання розглянуто дев'ять сполучень C_p і $C_{\text{вант}}$ (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Сполучення C_p і $C_{\text{вант}}$, що розглядаються під час досліджень

C_p , тис. грн.	0,5	1,5	1,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,5	4,5
$C_{\text{вант}}$, тис. грн.	0,5	0,5	1,5	1,5	2,5	2,5	3,5	3,5	4,5
$C_p + C_{\text{вант}}$, тис. грн.	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

Виходячи з формул (4.6) і (4.10), будь-яке інше сполучення C_p і $C_{\text{вант}}$, що відповідає наведеному у табл. 4.3 $C_p + C_{\text{вант}}$, буде призводити до таких самих результатів.

Результати досліджень (табл. 4.4) дозволили встановити, що у випадках 1-3 (табл. 4.2) для трьох варіантів (рис. 4.1), які відрізняються значенням зведених витрат $Z_{\text{авт}}$, які пов'язані з автоматизацією ГП, мінімум загальних витрат на розформування составів на СГ забезпечується за похибки гальмування відцепів (середньоквадратичної помилки розрахунку та реалізації швидкостей їх виходу з ГП) $\sigma_v^{\text{рац}}$, що (рис. 4.6) знаходиться у межах 0,30-0,55 м/с за середньодобової кількості составів, які розформовуються на СГ, $N_p = 55$ составів (добовий обсяг переробки $N = 3025$ вагонів) і 0,20-0,55 м/с у разі $N_p = 95$ составів ($N = 5225$ вагонів).

Таблиця 4.4 – Похибка гальмування відцепів, за якої забезпечуються мінімальні витрати на розформування составів на СГ

Випадок	C _р + C _{вант} , тис. грн.	Середня кількість составів, що розформовуються протягом доби															
		55						95									
		Варіанти зведених витрат, що пов'язані з автоматизацією ГП															
		1		2		3		1		2		3					
		Тривалість виконання операцій з пошкодженням вагоном, год.															
		8	16	8	16	8	16	8	16	8	16	8	16				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
1	1	0,55	0,50	0,55				0,45		0,5		0,55	0,50				
	2	0,50		0,55	0,50	0,55		0,40		0,50	0,45	0,50					
	3	0,45		0,50		0,55	0,50	0,40	0,35	0,45		0,50	0,45				
	4	0,45	0,40	0,50				0,35		0,45	0,40	0,45					
	5	0,40		0,50	0,45	0,50		0,30		0,40		0,45					
	6			0,45		0,50		0,25		0,40	0,35	0,45	0,40				
	7	0,35				0,45		0,25		0,35		0,40					
	8					0,45				0,35		0,40					
	9	0,40		0,40		0,45		0,25	0,20	0,35		0,40					
2	1	0,50		0,55	0,50	0,55		0,40		0,50	0,45	0,50					
	2	0,45		0,50		0,55	0,50	0,40	0,35	0,45		0,50	0,45				
	3					0,50		0,35		0,45	0,40	0,45					
	4	0,40						0,35	0,30	0,40							
	5	0,45						0,30						0,40			
	6	0,40	0,35	0,50		0,30	0,25	0,40									
	7	0,35										0,25		0,40	0,35	0,45	0,40

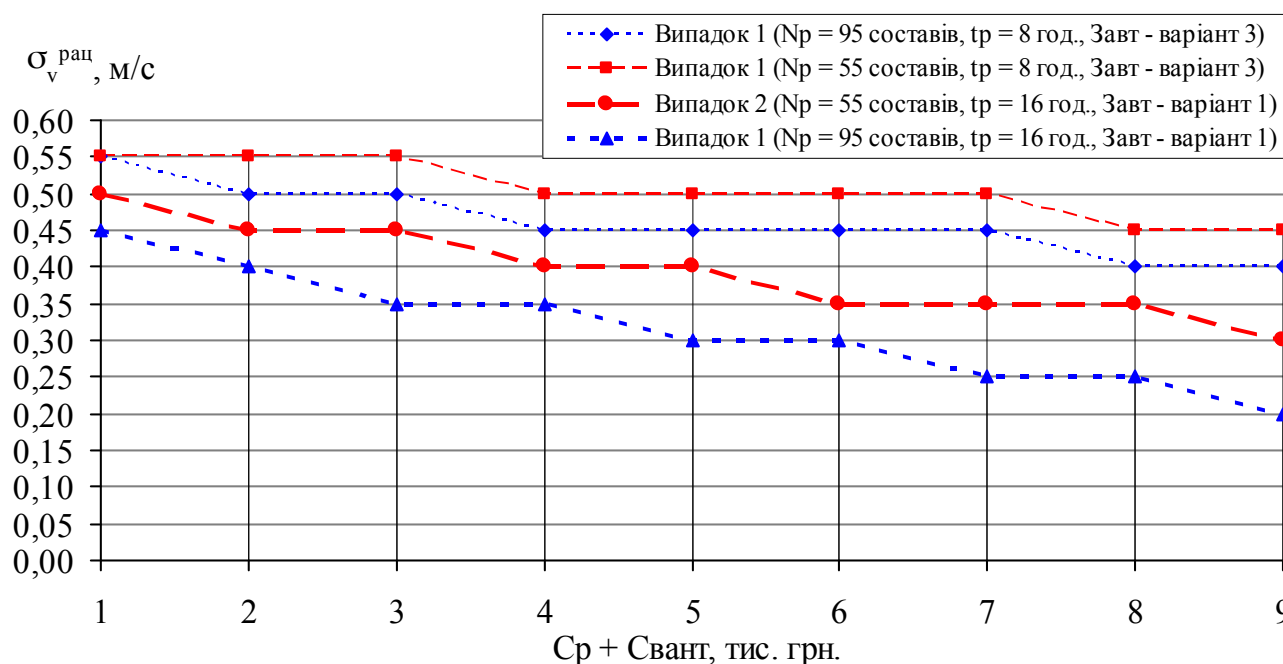
	8				0,45			
	9	0,35	0,30	0,40			0,35	0,40

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	1	0,55	0,50	0,55				0,45	0,40	0,50			
	2	0,50		0,55	0,50	0,55		0,40		0,50	0,45	0,50	
	3	0,50	0,45	0,50		0,55	0,50	0,40	0,35	0,45	0,45	0,50	0,45
	4	0,45				0,50		0,35		0,45	0,40	0,45	
	5	0,40		0,50	0,45			0,35	0,30	0,40			
	6			0,45				0,30					
	7	0,40	0,35					0,25		0,30	0,25		
	8	0,35		0,50	0,45	0,40	0,35			0,45	0,40		
	9			0,45		0,25				0,35		0,40	

Незалежно від варіанту витрат $Z_{\text{авт}}$ найбільші значення $\sigma_v^{\text{рац}}$ можливі за $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн. (рис. 4.7). Збільшення значень N_p , $C_p + C_{\text{вант}}$ і тривалості виконання операцій з пошкодженим вагоном t_p (рис. 4.8) в цілому призводить до збільшення витрат $E_{\text{ос}}$ і $E_{\text{пошк}}$ та зменшення можливого значення $\sigma_v^{\text{рац}}$.

Найменші можливі значення $\sigma_v^{\text{рац}}$ (див. табл. 4.4) відповідають варіанту 1 $Z_{\text{авт}}$, що пояснюється значно меншими витратами на автоматизацію у порівнянні з варіантами 2 і 3 за значення $\sigma_v \leq 0,4$ м/с (див. рис. 4.1).

Рисунок 4.6 – Приклад значень $\sigma_v^{\text{рац}}$

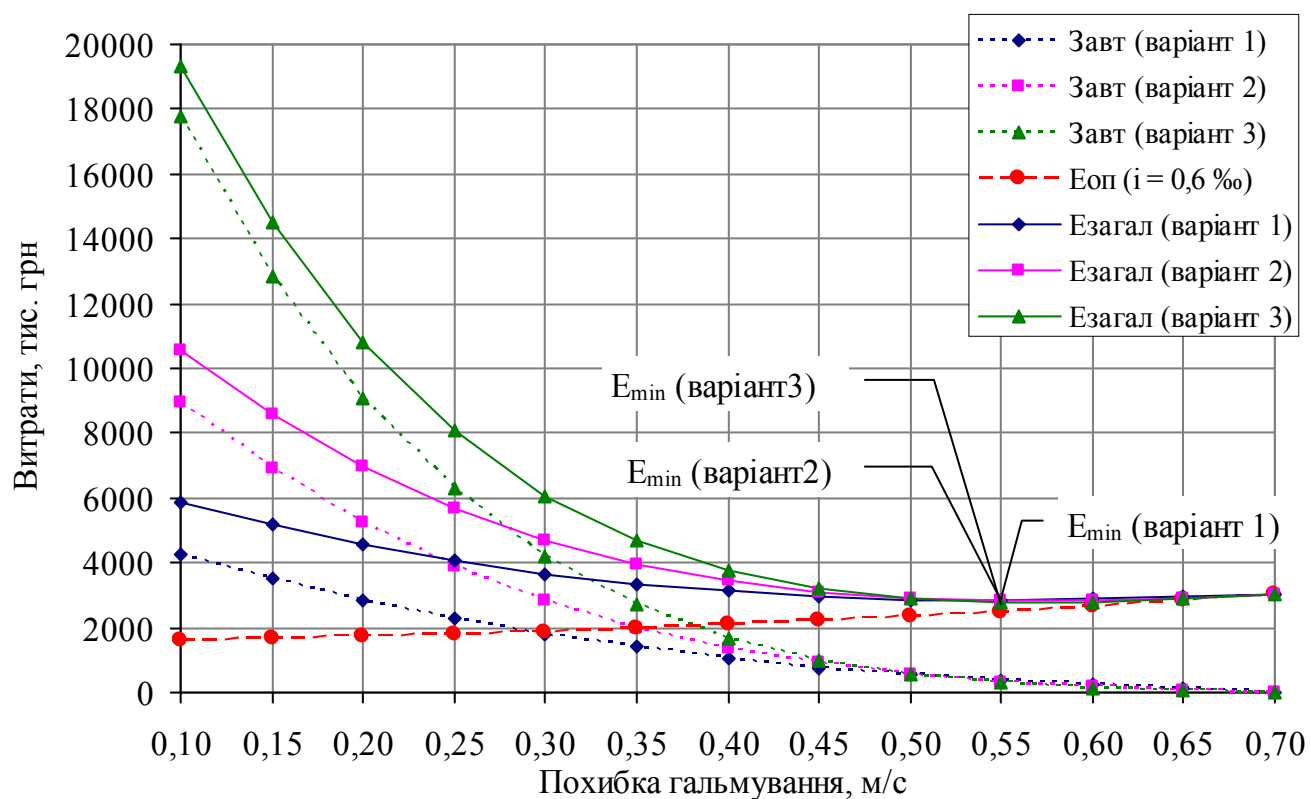


Рисунок 4.7 – Витрати у випадку 1 за $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн., $t_p = 8$ год, $N_p = 55$ составів

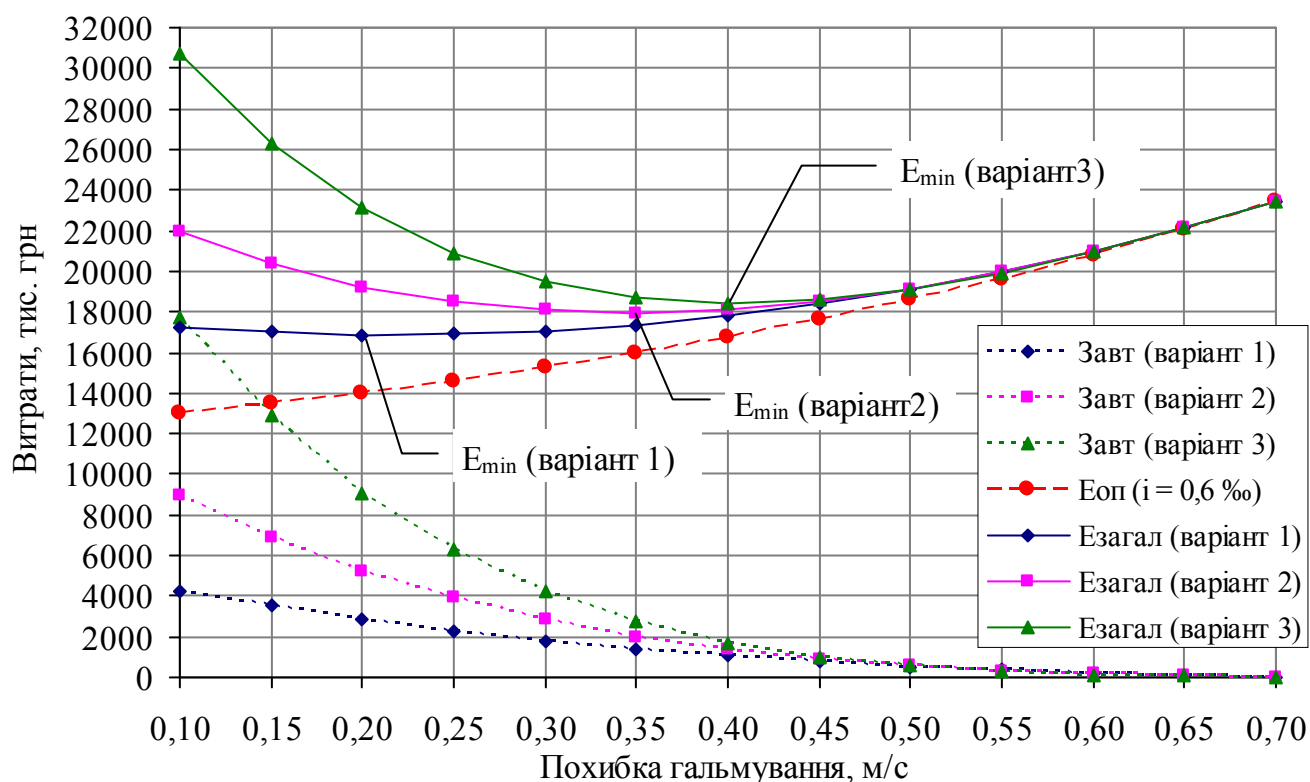


Рисунок 4.8 – Витрати у випадку 1 за $C_p + C_{\text{вант}} = 9$ тис. грн., $t_p = 16$ год, $N_p = 95$ составів

У випадку 1 ухил сортувальних колій $i_{\text{рац}}$, за якого забезпечується мінімум загальних витрат на розформування составів на СГ, завжди дорівнює 0,6 ‰, що пояснюється значним перевищенням витрат $E_{\text{пошк}}$ над витратами $E_{\text{ос}}$.

У випадку 2 має місце суттєвий розкид значень $i_{\text{рац}}$ (табл. 4.5). Так, наприклад, за $N_p = 55$ составів, $t_p = 8$ год. і $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн. (рис. 4.9) цей ухил дорівнює 1,4 ‰, а за $C_p + C_{\text{вант}} = 9$ тис. грн. (рис. 4.10) – 0,6 ‰.

Таблиця 4.5 – Ухил сортувальних колій, за якого забезпечуються мінімальні витрати на розформування составів на СГ

Випа док	C _р + C _{вант} , тис. грн.	Середня кількість составів, що розформовуються протягом доби											
		55						95					
		Тривалість виконання операцій з пошкодженням вагоном, год.											
		8			16			8			16		
		Варіанти зведених витрат, що пов'язані з автоматизацією ГП											
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	1	1,4			1,2			1,4			1,3	1,2	
	2	1,2		1,1	1,1			1,2			1,1		
	3	1,1	1,0		0,9			1,1			1,0	0,9	
	4	0,9			0,8	0,7		1,0	0,9		0,9	0,8	
	5	0,8			0,7			0,8			0,8	0,7	
	6	0,7			0,7	0,6		0,8	0,7		0,7	0,6	
	7	0,7	0,6		0,6			0,7	0,6		0,6		
	8, 9	0,6											
3	1	1,1			0,7			1,1			0,8	0,7	
	2	0,8	0,7		0,7		0,6	0,8			0,7		
	3-9	0,6											

Суттєвий вплив на значення $i_{\text{рац}}$ чинить сума $C_p + C_{\text{вант}}$, збільшення якої призводить до зменшення ухилу. Це пояснюється наступним. За $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн. і малих ухилів витрати $E_{\text{ос}}$ перевищують витрати $E_{\text{пошк}}$. Тому раціональний варіант функціонування СГ досягається за великих ухилів $i_{\text{рац}}$ (1,4 ‰ у разі $t_p = 8$ год., 1,3 ‰ або 1,2 ‰ у разі $t_p = 16$ год.), які забезпечують зменшення $E_{\text{ос}}$ і мінімізують загальні витрати

$E_{\text{загал}}$. Збільшення значень $C_p + C_{\text{вант}}$ призводить до збільшення витрат E_p , $E_{\text{вант}}$ і $E_{\text{пошк}}$ в цілому, а зменшення ухилу викликає зменшення можливої кількості пошкоджених вагонів на 1000 перероблених $n_{\text{пошк}}$ і витрат $E_{\text{пошк}}$. Тому раціональні варіанти функціонування СГ (з $E_{\text{загал}} = \min$) забезпечуються за менших значень $i_{\text{рац}}$. Варто

відмітити, що у разі $C_p + C_{\text{вант}} = 8-9$ тис. грн., $t_p = 8-16$ год., $N_p = 55-95$ составів ухил $i_{\text{рац}} = 0,6 \text{ ‰}$.

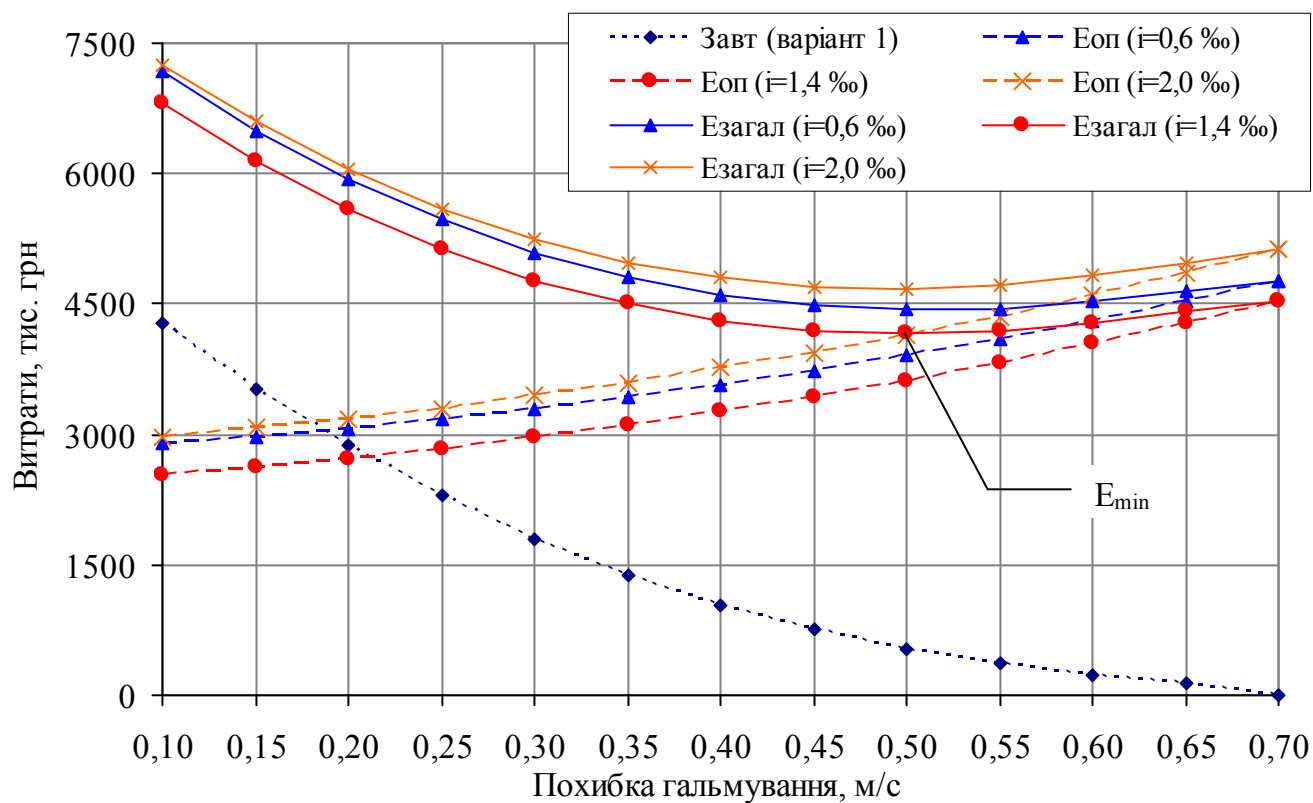


Рисунок 4.9 – Витрати у випадку 2 за $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн., $t_p = 8$ год, $N_p = 55$ составів

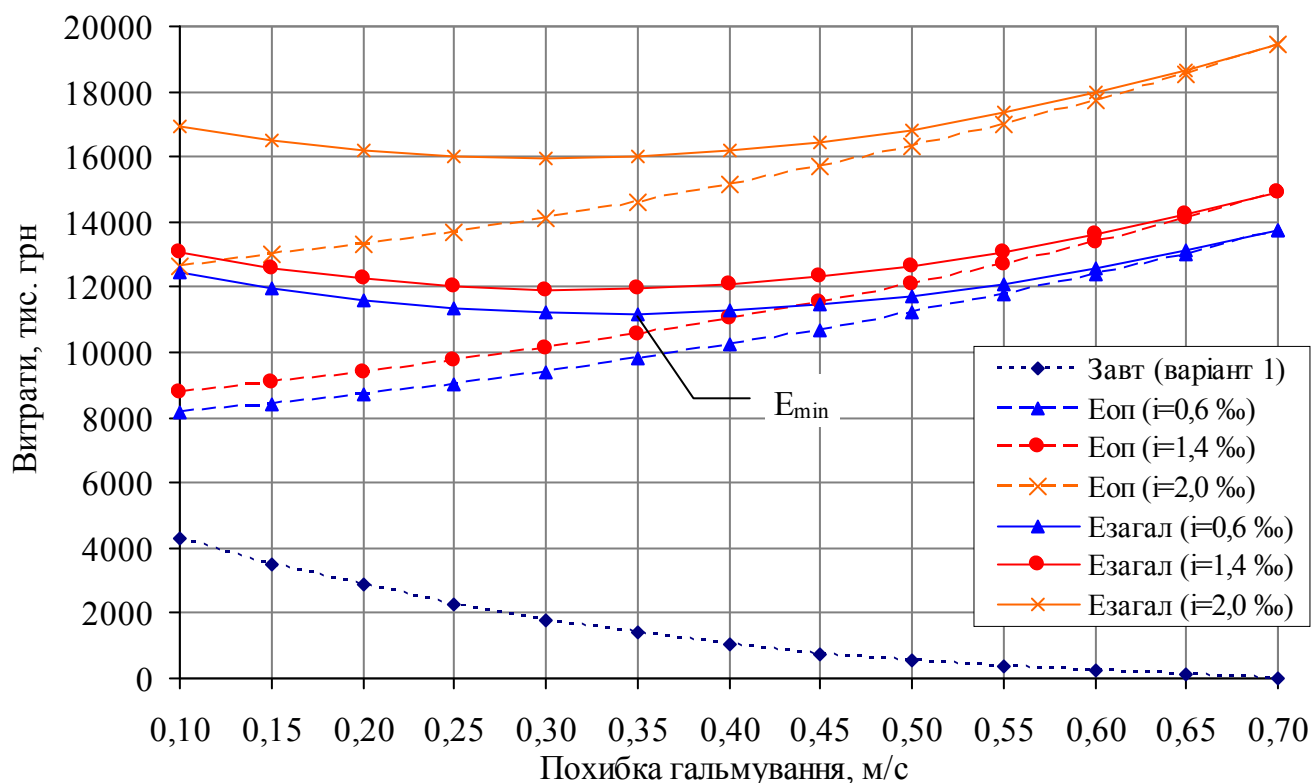


Рисунок 4.10 – Витрати у випадку 2 за $C_p + C_{\text{вант}} = 9$ тис. грн., $t_p = 8$ год, $N_p = 55$ составів

У випадку 3 також має місце розкид значень ухилу сортувальних колій $i_{\text{рац}}$ у діапазоні 1,1-0,6 ‰ (див. табл. 4.5). Але перевищення $E_{\text{пошк}}$ над $E_{\text{ос}}$ призводить до того, що раціональний варіант функціонування СГ у більшості дослідів забезпечується за $i_{\text{рац}} = 0,6$ ‰ (у разі $C_p + C_{\text{вант}} = 3-9$ тис. грн. завжди).

У меншій мірі значення $i_{\text{рац}}$ залежать від тривалості виконання операцій з пошкодженим вагоном t_p . Загалом збільшення t_p призводить до зменшення $i_{\text{рац}}$ для відповідного значення $C_p + C_{\text{вант}}$. Це пояснюється тим, що збільшення t_p викликає збільшення втрат перевізних ресурсів внаслідок направлення вагонів у ремонт ДВ, витрат K_v і $E_{\text{пошк}}$ в цілому, а зменшення ухилу викликає зменшення $n_{\text{пошк}}$ і витрат $E_{\text{пошк}}$. Слід зазначити, що вплив t_p на $i_{\text{рац}}$ зменшується зі збільшенням значень $C_p + C_{\text{вант}}$.

Вплив середньодобової кількості составів N_p на $i_{\text{рац}}$ є незначним.

У випадку 1 загальні річні витрати (див. табл. Д.20 додатку Д) для раціональних варіантів функціонування СГ ($E_{\text{загал}}^{\text{рац}}$) у разі $N_p = 55$ составів становлять 2840,437-11209,298 тис. грн., у разі $N_p = 95$ составів – 4558,648-18449,904 тис. грн.

У випадку 2 (див. табл. Д.20) вони становлять 4158,367-12351,458 тис. грн. у разі $N_p = 55$ составів, 6679,535-20439,193 тис. грн. у разі $N_p = 95$ составів і перевищують відповідні витрати для випадку 1 на 10-49 %.

У випадку 3 (див. табл. Д.20) вони становлять 3234,042-11242,329 тис. грн. у разі $N_p = 55$ составів і 5195,920-18583,532 тис. грн. у разі $N_p = 95$ составів. При цьому, максимальне перевищення відповідних витрат для випадку 1 становить 15 %.

4.3 Рекомендації щодо практичного впровадження результатів дослідження

Варіанти функціонування СГ, для яких $\sigma_v > \sigma_v^{\text{рац}}$, є економічно неефективними. У більшості з них, навіть за відсутності витрат, що пов'язані з автоматизацією, $E_{\text{загал}} > E_{\text{загал}}^{\text{рац}}$. Але для варіантів, коли $\sigma_v < \sigma_v^{\text{рац}}$, існують граничні зведені витрати $Z'_{\text{авт}}$, що пов'язані з автоматизацією ПГП, за яких ці варіанти будуть економічно ефективними. Такі варіанти (рис. 4.11) відповідають умові

$$E'_{\text{загал}} = E_{\text{загал}}^{\text{рац}}, \quad (4.12)$$

де $E'_{\text{загал}}$ – загальні витрати у варіантах з $\sigma_v < \sigma_v^{\text{рац}}$, тис. грн.

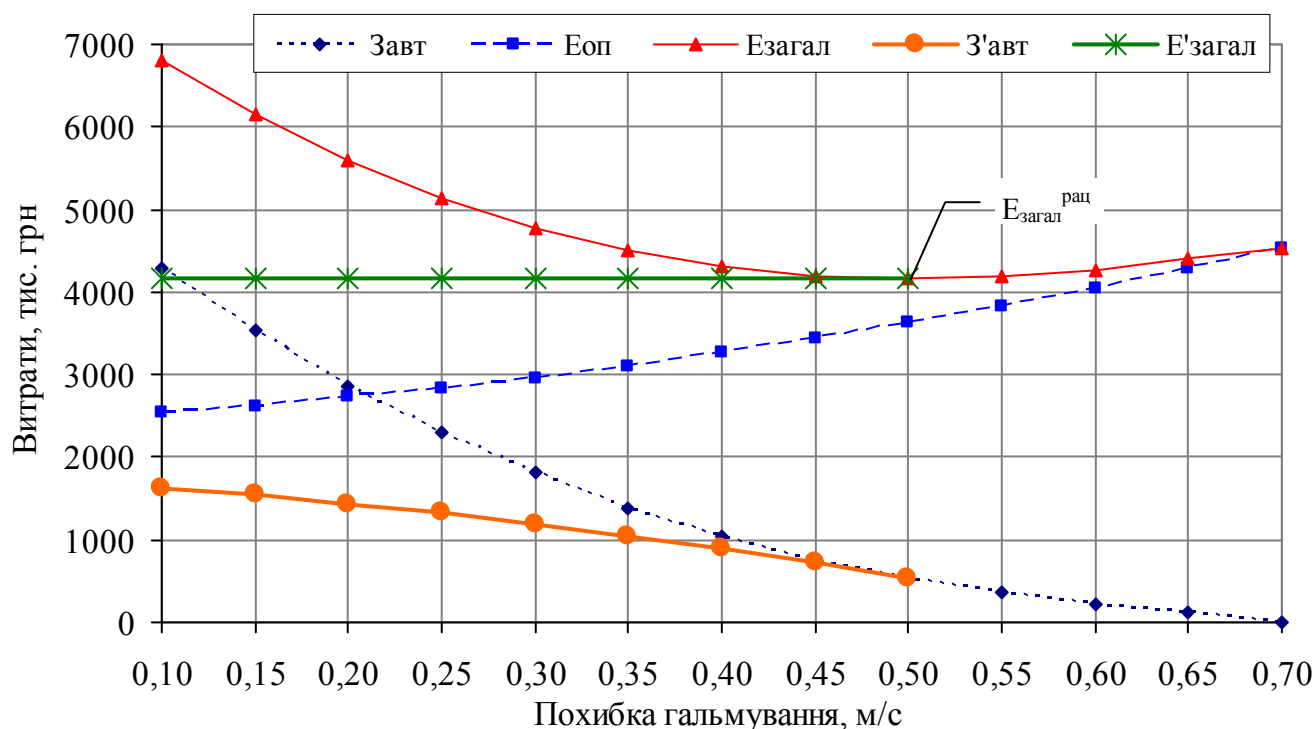


Рисунок 4.11 – Витрати у випадку 2 за $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн., $t_p = 8$ год, $N_p = 55$ составів, $Z_{\text{авт}}$ – варіант 1, $i_{\text{рац}} = 1,4 \text{ ‰}$

При цьому, для кожного варіанту з $\sigma_v < \sigma_v^{\text{рац}}$ витрати $E'_{\text{загал}}$ будуть досягнуті за ухилів сортувальних колій i , які забезпечують виконання умови $E_{\text{загал}} = \min$.

Виходячи з виразу (4.1), граничні зведені витрати, які пов'язані з автоматизацією ПГП, для кожного варіанту з $\sigma_v < \sigma_v^{\text{рац}}$ визначаються за формулою:

$$Z'_{\text{авт}} = E'_{\text{загал}} - E_{\text{оп}}. \quad (4.13)$$

Якщо можливо реалізувати варіант з $\sigma_v < \sigma_v^{\text{рац}}$, для якого $Z_{\text{авт}} = Z'_{\text{авт}}$, то його слід прийняти до впровадження, тому що у даному варіанті будуть меншими $t'_{\text{ос}}$ і $n_{\text{пошк}}$ без збільшення $E_{\text{загал}} = E_{\text{загал}}^{\text{рац}}$.

У дисертаційній роботі визначено граничні зведені витрати $Z'_{\text{авт}}$ для варіанту 1 зведених витрат $Z_{\text{авт}}$, що пов'язані з автоматизацією ПГП (див. рис 4.1) для випадків 1-3 (див. табл. 4.2) у разі $N_p = 55$ і 95 составів, $t_p = 8$ і 16 год., $C_p + C_{\text{вант}} = 1-9$ тис. грн. (табл. Д.21 додатку Д), а також ухили сортувальних колій, за яких вони забезпечуються (табл. Д.22).

Граничні зведені витрати, які пов'язані з автоматизацією ПГП, за $\sigma_v = 0,1 \text{ м/с}$ ($Z'_{\text{авт}}$) значно перевищують зведені витрати для раціонального варіанта функціонування СГ (

$z_{\text{авт}}^{\text{рац}}$), при цьому для кожного окремого значення $C_p + C_{\text{вант}}$ величина перевищення є різною. Так, у випадку 3 за $t_p = 16$ год., $N_p = 55$ составів (рис. 4.12) найбільше перевищення (у 3,3 рази) спостерігається за $C_p + C_{\text{вант}} = 2$ тис. грн., а найменше (майже у 2 рази) – за $C_p + C_{\text{вант}} = 7$ тис. грн.

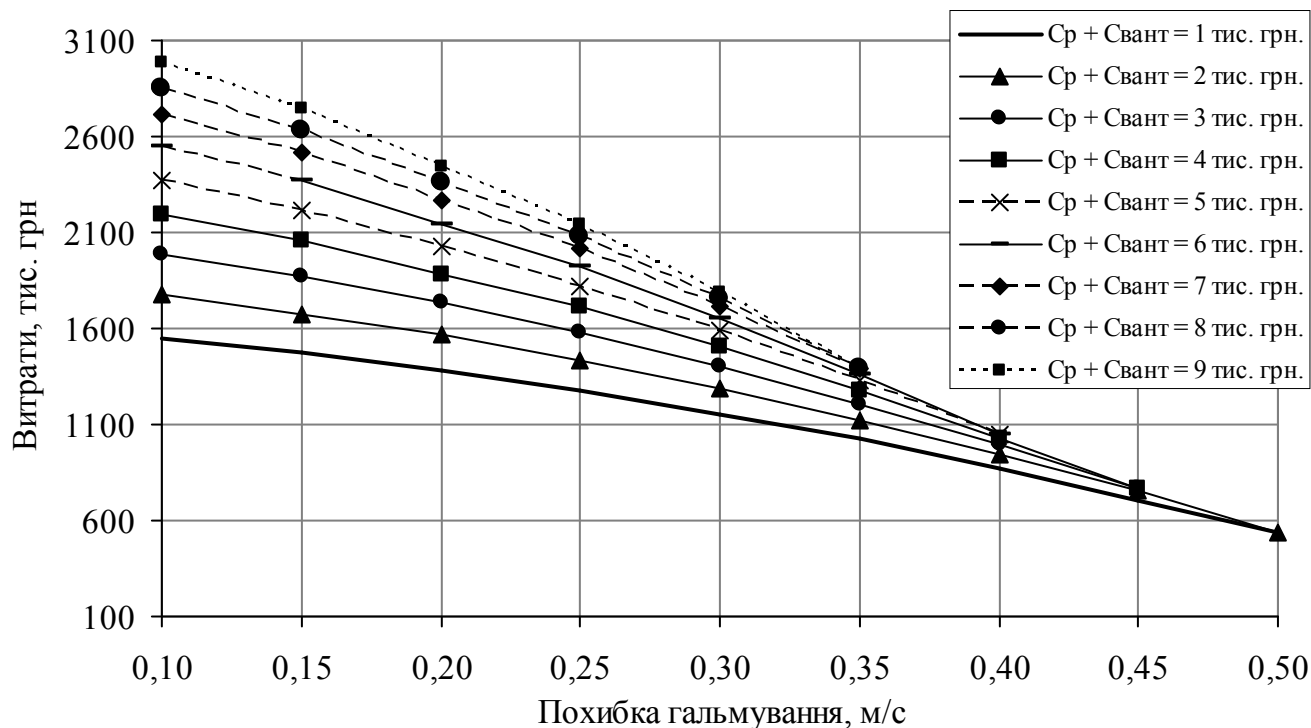


Рисунок 4.12 – Граничні зведені витрати, які пов'язані з автоматизацією ГП, у випадку 3 за $t_p = 16$ год., $N_p = 55$ составів

В цілому ж для випадків 1-3 перевищення $z_{\text{авт}}^{\text{рац}}$ над $z_{\text{авт}}^{\text{рац}}$ становить: 1,9-3,8 рази за $N_p = 55$ составів, $t_p = 8$ год.; 1,7-3,4 рази за $N_p = 55$ составів, $t_p = 16$ год.; 1,5-2,6 рази за $N_p = 95$ составів, $t_p = 8$ год.; 1,3-2,8 рази за $N_p = 95$ составів, $t_p = 16$ год.

Значення $z'_{\text{авт}}$ за $N_p = 95$ составів перевищують аналогічні за $N_p = 55$ составів на 42-46 % у разі $t_p = 8$ год. і на 39-42 % у разі $t_p = 16$ год.

Також спостерігається перевищення $z'_{\text{авт}}$ за $t_p = 16$ год. над аналогічними за $t_p = 8$ год. – на 12-18 % у разі $N_p = 55$ составів і на 10-15 % у разі $N_p = 95$ составів.

Величина ухилу сортувальних колій i' , за якого забезпечується $z'_{\text{авт}}$ для певного значення σ_v (рис. 4.13) має деякий розкид.

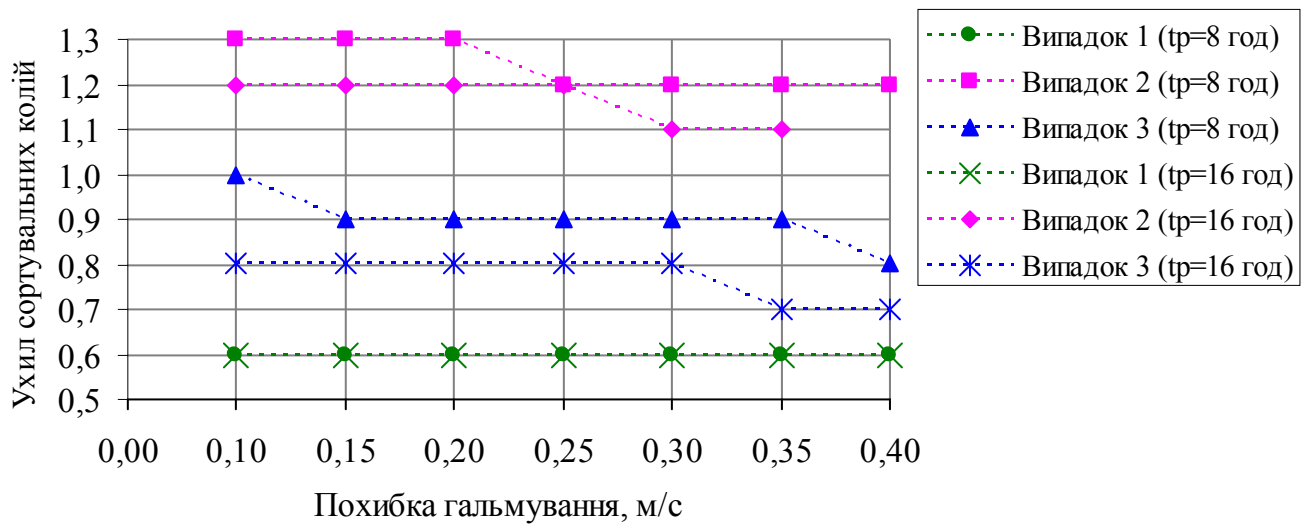


Рисунок 4.13 – Ухил сортувальних колій, за якого забезпечуються $3'_{\text{авт}}$,

за $C_p + C_{\text{вант}} = 2$ тис. грн., $N_p = 95$ составів

У випадку 1 (табл. Д.22 додатку Д) лише за $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн. і $t_p = 8$ год. у разі $\sigma_v = 0,10-0,35$ м/с значення i' коливаються у межах 0,8-0,7 ‰. За більших $C_p + C_{\text{вант}}$ і t_p значення $i' = 0,6$ ‰.

У випадку 2 (табл. Д.22) значення i' мають суттєвий розкид. Так, за $t_p = 8$ год. i' змінюється від 1,4 ‰ у разі $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн. до 0,6 ‰ у разі $C_p + C_{\text{вант}} = 9$ тис. грн., а за $t_p = 16$ год. – від 1,3-1,2 ‰ до 0,6 ‰.

Значення i' для відповідних $C_p + C_{\text{вант}}$ і σ_v у разі $t_p = 16$ год. на 0,1-0,2 ‰ менші, ніж у разі $t_p = 8$ год. Крім того, зі зменшенням σ_v спостерігається збільшення i' .

Варто відмітити, що значення i' у разі $N_p = 95$ і 55 составів є однаковими для відповідних $C_p + C_{\text{вант}}$, σ_v і t_p (якщо вони взагалі існують).

У випадку 3 (табл. Д.22) значення i' також мають певний розкид. Так, за $t_p = 8$ год. i' змінюється від 1,2-1,1 ‰ у разі $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн. до 0,6 ‰ у разі $C_p + C_{\text{вант}} = 9$ тис. грн., а за $t_p = 16$ год. – від 1,1-0,7 ‰ до 0,6 ‰. При цьому, i' дорівнює 0,6 ‰ у разі $t_p = 8$ год. за $C_p + C_{\text{вант}} = 5-9$ тис. грн., а у разі $t_p = 16$ год. за $C_p + C_{\text{вант}} = 4-9$ тис. грн. Інші залежності є аналогічними випадку 2.

Будь-який варіант автоматизації ПГП зі зведеними витратами $3''_{\text{авт}}$, що є меншими за $3'_{\text{авт}}$, призводить до появи річного економічного ефекту

$$\Delta E = 3'_{\text{авт}} - 3''_{\text{авт}}, \quad (4.14)$$

максимальне значення якого становить

$$\Delta E_{\max} = 3'_{\text{авт}}. \quad (4.15)$$

Будь-які значення річного економічного ефекту за певних $C_p + C_{\text{вант}}$, t_p і N_p знаходяться в області економічних ефектів (рис. 4.14), яка утворюється наступними обмеженнями:

$$0 \leq \Delta E \leq 3'_{\text{авт}},$$

$$3_{\text{авт}}^{\text{рац}} \leq \Delta E \leq 3'''_{\text{авт}}.$$

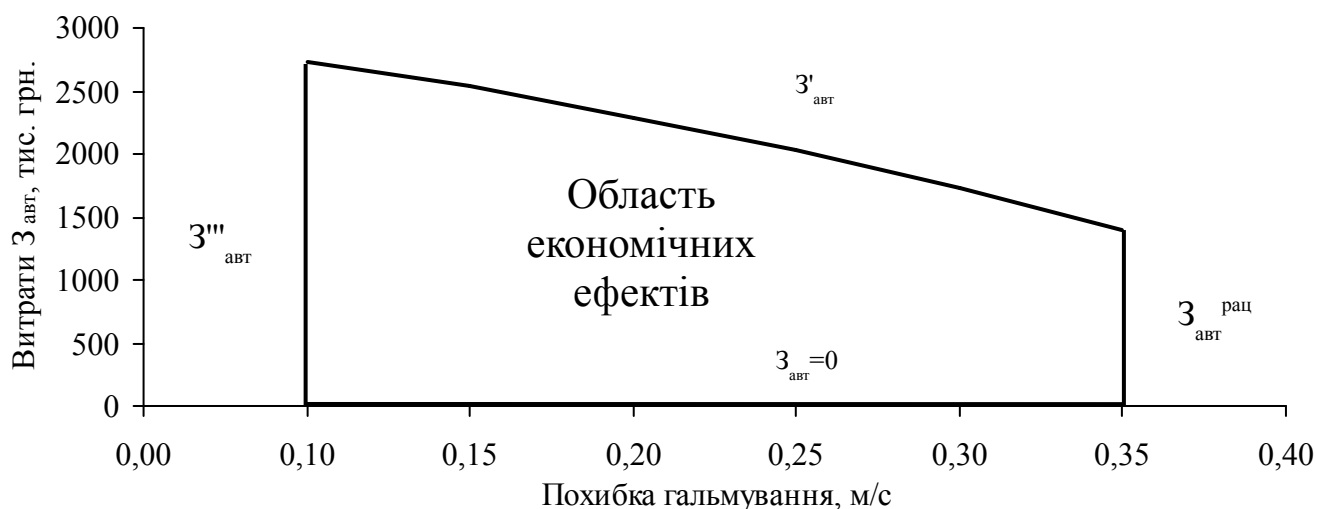


Рисунок 4.14 – Область економічних ефектів у випадку 3 за $C_p + C_{\text{вант}} = 3$ тис. грн.,

$$t_p = 16 \text{ год}, N_p = 95 \text{ составів}$$

Так, у випадку 3 за $C_p + C_{\text{вант}} = 3$ тис. грн., $t_p = 16$ год, $N_p = 95$ составів значення ΔE може знаходитися у межах від 0 (у разі $3''_{\text{авт}} = 3'_{\text{авт}}$) до 1390,762 тис. грн. за $\sigma_v = 0,35$ м/с або 2735,983 тис. грн. за $\sigma_v = 0,10$ м/с (у разі $3''_{\text{авт}} = 0$).

Таким чином, під час розробки та впровадження систем автоматизованого керування прицільним регулюванням швидкості відчепів на СГ слід визначити:

- середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон $t'_{\text{ос}} = f(\Theta, \sigma_v, i, v_{\text{д}})$, де Θ – параметри вагонопотоку, що переробляється;
- можливу кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених $n_{\text{пошк}} = f(\Theta, \sigma_v, i)$;

– річні експлуатаційні витрати, які пов'язані з осаджуванням вагонів на коліях СП та з їх пошкодженням під час сортування $E_{оп} = E_{ос} + E_{пошк}$, де $E_{ос} = f(t'_{ос}, m_c, N_p, e_{лг}, e_{вг})$, $E_{пошк} = f(n_{пошк}, m_c, N_p, t_p, Ц_v, C_p + C_{вант})$;

– зведені витрати, що пов'язані з автоматизацією ПГП $З_{авт} = f(\sigma_v)$;

– загальні витрати $E_{загал} = f(З_{авт}, E_{оп})$;

– раціональний варіант процесу функціонування СГ (похибку гальмування відчепів (середньоквадратичну помилку розрахунку та реалізації швидкостей їх виходу з ГП) $\sigma_v^{рац}$ і ухил сортувальних колій $i_{рац}$) з $E_{загал}^{рац}$, для якого виконується умова $E_{загал} = \min$;

– граничні зведені витрати, які пов'язані з автоматизацією ПГП, (для варіантів коли $\sigma_v < \sigma_v^{рац}$) $З'_{авт} = E'_{загал} - E_{оп}$, де $E'_{загал} = E_{загал}^{рац}$.

Якщо можливо реалізувати варіант з $\sigma_v < \sigma_v^{рац}$, для якого $З_{авт} = З'_{авт}$, то його слід прийняти до впровадження, тому що у даному варіанті будуть меншими тривалість осаджування вагонів на коліях СП та можлива кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених без збільшення загальних витрат, які дорівнюватимуть $E_{загал}^{рац}$. Якщо ж можливо реалізувати варіант зі зведеними витратами $З''_{авт} < З'_{авт}$, то буде досягнуто річний економічний ефект $\Delta E = З'_{авт} - З''_{авт}$.

4.4 Висновки до розділу 4

1. Удосконалено метод визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості відчепів, що дозволяє встановити точність прицільного регулювання та ухил сортувальних колій, за яких мінімізуються загальні витрати на розформування составів на гірках. Ефективність функціонування СГ визначається за мінімальними загальними витратами, які до свого складу включають зведені витрати $З_{авт}$, що пов'язані з автоматизацією ПГП і річні

експлуатаційні витрати $E_{оп}$, які пов'язані з осаджуванням вагонів на коліях СП та з їх пошкодженням під час сортування. Під час досліджень:

- розглянуто три варіанти, які відрізняються значенням $Z_{авт}$;
- розглянуто три випадки, які відрізняються параметрами вагонопотоку, що підлягає переробці (перший характеризується найменшими значеннями $t'_{ос}$ і найбільшими $n_{пошк}$, другий – найбільшими $t'_{ос}$ і найменшими $n_{пошк}$, третій – середніми $t'_{ос}$ і найменшими $n_{пошк}$);
- N_p дорівнює 55 і 95 составів (N становить 3025 і 5225 вагонів відповідно);
- t_p – 8 і 16 год.;
- значення C_p і $C_{вант}$ варіюється у межах 0,5-4,5 тис. грн., при цьому розглянуто дев'ять сполучень $C_p + C_{вант}$ (1-9 тис. грн.).

2. Раціональні варіанти функціонування СГ забезпечуються за похибки гальмування відчепів (середньоквадратичної помилки розрахунку та реалізації швидкостей їх виходу з ГП) $\sigma_v^{рац}$, яка коливається у межах 0,30-0,55 м/с у разі $N_p = 55$ составів і 0,20-0,55 м/с у разі $N_p = 95$ составів. Найбільші значення $\sigma_v^{рац}$ можливі за $C_p + C_{вант} = 1$ тис. грн. Збільшення значень N_p , $C_p + C_{вант}$ і t_p в цілому призводить до зменшення можливого значення $\sigma_v^{рац}$.

3. У випадку 1 (з найменшими значеннями $t'_{ос}$ і найбільшими $n_{пошк}$) ухил сортувальних колій $i_{рац}$, за якого забезпечується раціональний варіант функціонування СГ, завжди дорівнює 0,6 ‰. У випадку 2 (з найбільшими $t'_{ос}$ і найменшими $n_{пошк}$) має місце значний розкид значень $i_{рац}$ у діапазоні 1,4-0,6 ‰. Суттєвий вплив на значення $i_{рац}$ чинить сума $C_p + C_{вант}$, збільшення якої призводить до зменшення ухилу. У випадку 3 (з середніми $t'_{ос}$ і найменшими $n_{пошк}$) також має місце розкид значень $i_{рац}$ у діапазоні 1,1-0,6 ‰. Але раціональний варіант у більшості дослідів забезпечується за $i_{рац} = 0,6$ ‰. У меншій мірі значення $i_{рац}$ залежать від t_p . Загалом збільшення t_p призводить до зменшення $i_{рац}$ для відповідного значення $C_p + C_{вант}$. Вплив середньодобової кількості составів N_p на $i_{рац}$ є незначним.

4. У випадку 1 загальні річні витрати у раціональних варіантах функціонування СГ ($E_{загал}^{рац}$) у разі $N_p = 55$ составів становлять 2840,437-11209,298 тис. грн., у разі $N_p =$

95 составів – 4558,648-18449,904 тис. грн. У випадку 2 вони перевищують відповідні витрати для випадку 1 на 10-49 %. У випадку 3 максимальне перевищення відповідних витрат для випадку 1 становить 15 %.

5. Варіанти автоматизації ПГП, для яких $\sigma_v > \sigma_v^{\text{рац}}$ є економічно неефективними. Для варіантів, коли $\sigma_v < \sigma_v^{\text{рац}}$, існують граничні зведені витрати $З'_{\text{авт}}$, які пов'язані з автоматизацією ПГП, за яких ці варіанти будуть економічно ефективними. Такі варіанти відповідають умові $E'_{\text{загал}} = E_{\text{загал}}^{\text{рац}}$. Тоді, $З'_{\text{авт}} = E'_{\text{загал}} - E_{\text{оп}}$.

Якщо можливо реалізувати варіант з $\sigma_v < \sigma_v^{\text{рац}}$, для якого $З_{\text{авт}} = З'_{\text{авт}}$, то його слід прийняти до впровадження, тому що у даному варіанті будуть меншими $t'_{\text{ос}}$ і $n_{\text{пошк}}$ без збільшення $E_{\text{загал}} = E_{\text{загал}}^{\text{рац}}$.

6. Визначено граничні зведені витрати $З'_{\text{авт}}$ для варіанту 1 зведених витрат $З_{\text{авт}}$, для випадків 1-3 у разі $N_p - 55$ і 95 составів, $t_p - 8$ і 16 год., $C_p + C_{\text{вант}} = 1-9$ тис. грн., а також ухили сортувальних колій, за яких вони забезпечуються.

7. Величина ухилу сортувальних колій i' , за якого забезпечується $З'_{\text{авт}}$, для певного значення σ_v має деякий розкид. У випадку 1 лише за $C_p + C_{\text{вант}} = 1$ тис. грн. і $t_p = 8$ год. у разі $\sigma_v = 0,10-0,35$ м/с значення i' коливаються у межах 0,8-0,7 ‰. За більших $C_p + C_{\text{вант}}$ і t_p значення $i' = 0,6$ ‰. У випадку 2 значення i' мають суттєвий розкид у межах від 1,4 ‰ до 0,6 ‰. Крім того, зі зменшенням σ_v спостерігається збільшення i' . Варто відмітити, що значення i' у разі $N_p = 95$ і 55 составів є однаковими для відповідних $C_p + C_{\text{вант}}$, σ_v і t_p (якщо вони взагалі існують). У випадку 3 значення i' також мають певний розкид у межах від 1,2 ‰ до 0,6 ‰. При цьому, для більшості сполучень $C_p + C_{\text{вант}}$ значення $i' = 0,6$ ‰.

8. Будь-який варіант автоматизації ПГП зі зведеними витратами $З''_{\text{авт}}$, що є меншими за $З'_{\text{авт}}$, призводить до появи річного економічного ефекту $\Delta E = З'_{\text{авт}} - З''_{\text{авт}}$, максимальне значення якого становить $\Delta E_{\text{max}} = З'_{\text{авт}}$. Будь-які значення річного економічного ефекту за певних $C_p + C_{\text{вант}}$, t_p і N_p знаходяться в області економічних ефектів, яка утворюється обмеженнями $0 \leq \Delta E \leq З'_{\text{авт}}$ і $З_{\text{авт}}^{\text{рац}} \leq \Delta E \leq З''_{\text{авт}}$.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують науково-прикладне завдання підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок шляхом визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості відчепів на основі науково обґрунтованих методів їх комплексної оцінки. Основні наукові результати та висновки дисертації полягають у наступному:

1. Виконаний аналіз наукових робіт щодо проблеми підвищення ефективності функціонування СГ дозволив встановити, що точність прицільного регулювання швидкості відчепів суттєво впливає на довжину «вікон» на підгіркових коліях та швидкість підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на цих коліях, існуючі моделі розформування составів на СГ не враховують особливих умов розпуску за наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки без локомотива, існуючі методи нормування тривалості осаджування вагонів на сортувальних коліях не враховують усіх чинників, які на неї впливають, або потребують виконання імітаційного моделювання, що створює певну проблему для працівників станцій, одним з основних критеріїв для визначення раціональної конструкції гірки, її технічних параметрів і технології роботи є економічна ефективність функціонування гірки.

2. Аналіз показників роботи СГ і параметрів вагонопотоків, що підлягають переробці на них, дозволив встановити, що під час регулювання швидкості відчепів мають місце похибки швидкості їх виходу з ГП, середня швидкість підходу відчепів до вагонів, які знаходяться на коліях СП, перевищує нормативну, у структурі вагонопотоку спостерігається значне коливання за кількістю вагонів у відчепі та ваговою категорією вагонів, вагони, які заборонено спускати з гірки без локомотива, складають значну частку загального вагонопотоку, якій підлягає переробці на СГ.

3. Удосконалено імітаційну модель процесу розформування составів поїздів на сортувальній гірці з метою урахування особливих умов сортування вагонів, які

заборонено спускати з гірки без локомотива. Дана модель є адекватною та може бути використана для розв'язання прикладних задач.

4. Дослідження впливу похибки гальмування відчепів (середньоквадратичної помилки розрахунку та реалізації швидкостей виходу відчепів з ГП), вагової категорії вагонів, кількості вагонів у відчепі, ухилу сортувальних колій на основні параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів на СГ (середню швидкість підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, середню довжину «вікна» на один перероблений вагон і середню кількість операцій осаджування на один перероблений вагон) дозволило встановити наявність певного кореляційного нелінійного зв'язку між факторами та основними параметрами, для оцінки тісноти якого використано кореляційне відношення.

5. Отримано нову залежність у вигляді поліному другого ступеню, факторами якої є похибка гальмування відчепів та ухил сортувальних колій, для нормування:

- середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, які знаходяться на коліях СП. Коефіцієнти поліному для урахування параметрів вагонопотоку отримано для двох випадків – коли частота появи у потоці вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає: 1) 65 % і більше; 2) менше ніж 65 %;

- середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон. Коефіцієнти поліному для урахування параметрів вагонопотоку отримано для п'ятнадцяти співвідношень, у яких сполучаються три випадки щодо вагової категорії вагонів (коли частота появи у потоці, що переробляється, вагонів важкої та середньо-важкої вагової категорії складає: 1) 75 % і більше; 2) 55-75 %; 3) менше ніж 55 %) і п'ять випадків щодо кількості вагонів у відчепі (коли частота появи у потоці, що переробляється, відчепів з 1 вагону складає: 1) 70-80 %; 2) 60-70 %;

3) 50-60 %; 4) 30-50 %; 5) 10-30 %).

6. Отримано нову залежність у вигляді поліному другого ступеню для нормування середньої тривалості осаджування на коліях СП у розрахунку на один вагон, факторами якої є похибка гальмування відчепів та ухил сортувальних колій. При цьому враховано вплив параметрів вагонопотоку, що переробляється на гірці,

та швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією під час його повернення в бік горба гірки після виконання осаджування, яка змінюється у межах 5-40 км/год. Швидкість осаджування – 5 км/год.

Збільшення похибки гальмування відчепів від 0,1 м/с до 1,0 м/с викликає зростання тривалості осаджування в цілому у 1,7-6,2 рази. Збільшення ухилу сортувальних колій від 0,6 ‰ до 2 ‰ викликає її зменшення в цілому у 1,2-4,4 рази. Збільшення швидкості руху поодинокого локомотива від 5-7 км/год. до 15-40 км/год. викликає зменшення тривалості осаджування в середньому до 40 %.

7. Удосконалено метод визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості відчепів, що дозволяє встановити точність прицільного регулювання та ухил сортувальних колій, за яких мінімізуються загальні витрати на розформування составів на гірках. Ефективність функціонування СГ визначається за мінімальними витратами, які до свого складу включають зведені витрати, що пов'язані з автоматизацією ПГП, і річні експлуатаційні витрати, що пов'язані з осаджуванням вагонів на коліях сортувального парку та з їх пошкодженням під час сортування. Раціональні варіанти функціонування гірки забезпечуються за похибки гальмування відчепів, яка знаходиться у межах 0,20-0,55 м/с.

8. Варіанти автоматизації паркової гальмової позиції, у яких похибка гальмування відчепів перевищує похибку для раціонального варіанту функціонування гірки, є економічно неефективними. Для варіантів з похибкою гальмування відчепів меншою за похибку у раціональному варіанті існують граничні зведені витрати, що пов'язані з автоматизацією ПГП, за яких ці варіанти будуть економічно ефективними. У разі можливості реалізації такого варіанту, його слід прийняти до впровадження, тому що у ньому будуть меншими тривалість осаджування вагонів і кількість пошкоджених вагонів без збільшення загальних витрат.

9. Варіант автоматизації ПГП зі зведеними витратами, які є меншими за граничні, призводить до появи річного економічного ефекту, максимальне значення якого

дорівнює граничним зведеним витратам. Будь-які значення річного економічного ефекту знаходяться в області економічних ефектів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст] / [Муха Ю. А., Харланович И. В., Шейкин В. П. и др.]. – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.
2. 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.
3. Автоматизированная система управления расформированием составов на горках сортировочных станций (АСУ РСГ) [Текст]: отчет о науч.-исслед. работе № 48.03 / ДИИТ. – Д.: ДИИТ, 1987. – 63 с.
4. Акулиничев В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. М. Акулиничев, В. А. Кудрявцев, А. Н. Корешков – М.: Транспорт, 1981. – 223 с.
5. Анализ и оценка эксплуатационных характеристик и возможностей сортировочной горки станции Перово Московской железной дороги по темпу расформирования: отчет о науч.-исслед. работе [Текст] / ДИИТ. – Д.: ДИИТ, 1991. – 41 с.
6. Анализ функционирования системы автоматизированного управления (КГМ-РИИЖТ) на Южной горке горки станций Батайск [Текст]: отчет о науч.-исслед. работе № 21/І/48.05 / ДИИТ. – Д.: ДИИТ, 1988. – 95 с.
7. Аркатов В. С. Улучшение использования сортировочных путей при автоматизации роспуска [Текст] / В. С. Аркатов, В. И. Бобровский, Ю. А. Муха, А. А. Муратов // Ж.-д. трансп. – 1983. – № 11. – С. 20–22.
8. А. с. 1230897 СССР, МКИ В 61 К 13/02. Ускоритель вагонов / А. П. Гарбузов (СРСР); опубл. 15.05.86, Бюл № 19.
9. Барабашук В. И. Планирование эксперимента в технике [Текст] / В. И. Барабашук, Б. П. Креденцер, В. И. Мирошниченко; Под ред. Б. П. Креденцера. – К.: Техніка, 1984, – 200 с.

10. Березовий М. І. Аналіз технічного забезпечення сортувальних станцій України [Текст] / М. І. Березовий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Вып. 6/3 (42). – С. 60–66.

11. Березовий М. І. Підвищення ефективності роботи залізничних станцій шляхом удосконалення спеціалізації сортувальних колій [Текст]: дис. ...кандидата техн. наук: 05.22.20 / Березовий Микола Іванович. – Д., 2010. – 198 с.

12. Берестов І. В. Аналіз існуючих методів та методик розрахунку сортувальних пристроїв [Текст] / І. В. Берестов, М. Ю. Куценко // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2007. – № 2. – С. 34–37.

13. 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

14. 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.

15. Берндт Т. Сортировочные горки на железных дорогах мира [Текст] / Т. Берндт, С. В. Власенко // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 6. – С. 45–48.

16. Бессоненко С. А. Комплексный расчёт уклонов продольного профиля спускной части и высоты сортировочной горки по вероятностным показателям [Текст] / С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2006. – № 7. – С. 12–19.

17. Бессоненко С. А. Оптимизация параметров сортировочной горки по времени расформирования составов [Текст] / С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2007. – № 9. – С. 30–34.

18. Бессоненко С. А. Расчет скорости отцепов и мощности тормозных позиций сортировочной горки с использованием вероятностных показателей [Текст] / С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2006. – № 5. – С. 11–16.

19. Бледный А. М. Исследование влияния типов вагонных замедлителей и схемы их расстановки на точность вытормаживания заданных скоростей движения

отцепов [Текст] / А. М. Бледный, Н. П. Божко, В. В. Очколас // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1983. – Вып. 229/15. – С. 60–66.

20. Бледный А. М. Экспериментальная оценка качества интервального и прицельного регулирования скорости в движении отцепов на сортировочной горке, оборудованной системой АРС ГТСС [Текст] / А. М. Бледный, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1983. – Вып. 229/15. – С. 48–59.

21. Бобровский В. І. Вплив режимів гальмування на тривалість скочування відчепів з гірки [Текст] / В. І. Бобровский, А. В. Кудряшов, Л. О. Сльникова // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ. – Х., 2009. – Вип. 102. – С. 147–156.

22. 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. – Д., 1978. – Вып. 197/12. – С. 50–58.

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

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

25. Бобровский В. И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций [Текст]: дис. ...доктора техн. наук: 05.22.20 / Бобровский Владимир Ильич. – Д., 2002. – 396 с.

26. Бобровский В. И. Эргатические модели сортировочных горок [Текст] / В. И. Бобровский // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2001. – № 5. – С. 7–11.

27. Божко Н. П. Вопросы автоматизации прицельного регулирования скорости движения отцепов [Текст] / Н. П. Божко // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1981. – Вып. 216/4. – С. 47–60.

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

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

30. Бутько Т. В. Прогнозування паливно-енергетичних витрат при розформуванні составів на сортувальних гірках [Текст] / Т. В. Бутько, В. Ф. Чеклов // Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України: Зб. наук. праць / УкрДАЗТ. – Х., 2004. – Вип. 62. – С. 60–66.

31. Варакута Є. О. Формалізація математичної моделі для реалізації ресурсозберігаючої технології при проведенні маневрів [Текст] / Є. О. Варакута, А. С. Роговий, О. М. Чекерда // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2011. –

№ 1 (155), ч. 2. – С. 40–42.

32. Выполнение инструментальной оценки конструкции сортировочной горки станции Верховцево и анализа ее характеристик [Текст]: отчет о науч.-исслед. работе № 43.34.91.91 / ДИИТ. – Д.: ДИИТ, 1991. – 28 с.

33. Выполнение оценки конструкции горки станции Орехово-Зуево и разработка требований к внедряемой системе АРС, обусловленных особенностями сортировочного процесса [Текст]: отчет о науч.-исслед. работе № 43.26.90.90 (№ государственной регистрации – 01900016143) / ДИИТ. – Д.: ДИИТ, 1990. – 72 с.

34. Ганжело Л. И. Техничко-експлуатаційна ефективність використання ускорителів вагонів на путях сортировочного парка [Текст] / Л. И. Ганжело, А. А. Муратов // Механізація і автоматизація сортировочного процесу на станціях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1990. – Вып.277/17. – С. 20–29.

35. Гутер Р. С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта [Текст] / Р. С. Гутер, Б. В. Овчинский. – М.: Наука, 1970, – 203 с.

36. Данько М. І. Дослідження ефективності застосування нових гіркових горловин [Текст] / М. І. Данько, І. В. Берестов, О. М. Огар, О. В. Розсоха // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 1. – С. 18–21.

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

38. Елисеев С. Ю. Повышение эффективности эксплуатационной работы сортировочных станций за счет внедрения новых автоматизированных систем и информационно-управляющих технологий [Текст] / С. Ю. Елисеев // Ж.-д. трансп. – 2005. – № 1. – С. 25–30.

39. Єскевич А. Л. Обґрунтування критерію вибору раціональних параметрів поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок в умовах ресурсозбереження [Текст] / А. Л. Єскевич, О. О. Чекарьова // Зб. наук. праць студентів та магістрів / УкрДАЗТ. – Х., 2007. – Вип. 83. – С. 96–98.

40. Железнодорожные станции и узлы: учеб. для вузов ж.-д. трансп. [Текст] / [Акулиничев В. М., Правдин Н. В., Болотный В. Я., Савченко И. Е.]; под ред. В. М. Акулиничева. – М.: Транспорт, 1992. – 480 с.

41. Жуковицкий И. В. Использование управляющей ЭВМ в цифровой системе управления замедлителями тормозных позиций / И. В. Жуковицкий // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 1997. – № 1. – С. 54–59.

42. Жуковицкий И. В. Разработка стохастической имитационной модели цифровой системы управления замедлителями тормозной позиции [Текст] / И. В. Жуковицкий // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 1999. – № 2. – С. 9–12.

43. Жуковицкий И. В. Расчет скорости выхода отцепов с прицельной тормозной позиции сортировочной горки в системах АРС [Текст] / И. В. Жуковицкий // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2001. – № 4. – С. 62–66.

44. Жуковицкий И. В. Решение дифференциального уравнения свободного скатывания отцепа с горки [Текст] / И. В. Жуковицкий // Информ.-управляющие системы на ж.-д. трансп. – 1997. – № 4. – С. 14–17.

45. Жуковицкий И. В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 1. Модель системы [Текст] / И. В. Жуковицкий, Г. И. Загарий, Н. И. Луханин // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2000. – № 5. – С. 10–15.

46. Жуковицкий И. В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 2. [Текст] / И. В. Жуковицкий // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2002. – № 4. – С. 17–20.

47. Жуковицкий И. В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 3. Оптимальный алгоритм управления [Текст] / И. В. Жуковицкий // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2003. – № 4. – С. 32–37.

48. Жуковицкий И. В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 4. Оптимальная настройка регулятора для неоднородной последовательности отцепов [Текст] / И. В. Жуковицкий // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2005. – № 6. – С. 9–12.

49. Журавель В. В. Визначення раціональних варіантів процесу розформування-формування составів на сортувальних гірках [Текст] / В. В. Журавель // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/3 (57). – С. 24–30.

50. Журавель В. В. Вплив наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки, на процес розпуску составів [Текст] / В. В. Журавель // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/3 (58). – С. 38–44.

51. Журавель В. В. Показники роботи сортувальної гірки та фактори, що на них впливають [Текст] / В. В. Журавель // Вісник ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна. – Вип. 32. – Д: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – С. 237–241.

52. Журавель В. В. Точність гальмування, вага вагонів і показники роботи сортувальної гірки [Текст] / В. В. Журавель, Г. І. Музикіна, І. Л. Журавель // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 5. – С. 46–48.

53. Журавель В. В. Точність гальмування, кількість вагонів у відчепі та показники роботи сортувальної гірки [Текст] / В. В. Журавель // Вісник ДНУЗТ ім.

академіка В. Лазаряна. – Вип. 28. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – С. 133–136.

54. Журавель В. В. Тривалість осаджування вагонів і фактори, що на неї впливають [Текст] / В. В. Журавель // Вісник ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна. – Вип. 25. – Д: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. – С. 155–158.

55. Журавель В. В. Тривалість осаджування вагонів та їх пошкодження під час сортування на гірках [Текст] / В. В. Журавель, П. О. Яновський // Залізн. трансп. України. – 2012. – № 2. – С. 32–36.

56. Земблинов С. В. Станции и узлы [Текст] / С. В. Земблинов, И. И. Страковский. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 348 с.

57. 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.

58. Зміни до Правил користування вагонами і контейнерами: затв. наказом Міністерства транспорту та зв'язку України 16. 04. 2008 р. № 443, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 12. 05. 2008 р. за № 395/15086 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1150.405.0>.

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

60. Иванченко В. Н. Микропроцессорная информационно-управляющая система автоматизации сортировочной горки [Текст] / В. Н. Иванченко // Автоматика, телемеханика и связь. – 1987. – № 9. – С. 31–34.

61. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР [Текст]: ВСН 56-78 (Минтрансстрой СССР, МПС СССР) – М.: Транспорт, 1978. – 176 с.

62. Интегрированная система АСТРА–СС [Текст] / [Елисеев С. Ю., Соснов Д. А., Савицкий А. Г., Москалев А. А.] // Ж.-д. трансп. – 2002. – № 8. – С.36–44.

63. Интенсификация станционных процессов на основе их механизации и автоматизации [Текст]: отчет о науч.-исслед. работе № Д-72 (№ государственной регистрации – 81072097) / МИИТ. – М.: МИИТ, 1981. – 46 с.

64. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України [Текст]. – К., 2005. – 464 с.

65. Кобзев В. А. Автоматизация работы малых сортировочных горок [Текст] / В. А. Кобзев // Ж.-д. трансп. – 2006. – № 3. – С. 54–56.

66. Кобзев В. А. О возможности применения точечных замедлителей на сортировочных горках [Текст] / В. А. Кобзев // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – № 6. – С. 25–26.

67. Кобзев В. А. Проблемы тормозной горочной техники [Текст] / В. А. Кобзев // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – № 1. – С. 11–12.

68. 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.

69. Козаченко Д. М. Дослідження впливу спеціалізації сортувальних колій на тривалість операцій по їх підготовці до розпуску [Текст] / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, М. І. Березовий // Вісник ДНУЗТ ім. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 24. – С. 34–37.

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

71. Конструкции и параметры стрелочных горловин автоматизированных и механизированных сортировочных горок [Текст]. – Ленинград: Гипротрансигнальсвязь, 1983. – 74 с.

72. Кочнев Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог [Текст]: учеб. пособие для вузов / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1990. – 424 с.

73. Куценко М. Ю. Пристрої регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках України: вчора, сьогодні, завтра [Текст] / М. Ю. Куценко, О. А. Горбачев // Зб. наук. праць студентів та магістрів / УкрДАЗТ. – Х., 2006. – Вип. 74, Ч. 1. – С. 152-156.

74. Лебединская Е. Н. Математическая модель программы роспуска составов с сортировочной горки [Текст] / Е. Н. Лебединская, Е. Г. Шепилова // Междунар. сб. науч. трудов / РГУПС. – Ростов н/Д., 1998. – С.31–37.

75. Лебединская Е. Н. Обеспечение условий безопасности роспуска вагонов на сортировочной горке за счет идентификации параметров отцепов при адаптивном управлении [Текст] / Е. Н. Лебединская, Е. Г. Шепилова // Транспорт: наука, техника, управление. – ВИНТИ. – 2002. – № 3. – с. 44–46.

76. Лісовий К. М. Аналіз роботи сортувальної гірки станції Харків-Сортувальний Південної залізниці та заходи щодо її поліпшення [Текст] / К. М. Лісовий // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ. – Х., 2004. – Вип. 59. – С. 77–81.

77. Лукьянов А. Н. Сохранность вагонного парка: актуальные проблемы [Текст] / А. Н. Лукьянов // Ж.-д. трансп. – 2012. – № 5. – С. 48–51.

78. Луханін М. І. Оптимізація процесу розформування составів на сортувальних станціях [Текст] / М. І. Луханін, В. Ф. Чеклов, С. П. Похилко // Зб. наук. праць / Донецький ін-т залізн. трансп. УДАЗТу. – Донецьк, 2006. – Вип. 5. – С. 54–61.

79. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст]: учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. школа, 1982. – 224 с.

80. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті [Текст]. Затв.: Наказ Укрзалізниці 25.03.03 № 72-ЦЗ / Державна Адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2003. – 82 с.

81. 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.

82. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений [Текст] / А. К. Митропольский. – М.: Физматгиз, 1961. – 480 с.

83. Михайлюк В. Б. Опыт внедрения систем автоматизации сортировочной станции [Текст] / В. Б. Михайлюк, В. В. Захаренко // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 5. – С. 39–40.

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

85. 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: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1977. – Вып. 194/11. – С. 53–102.

86. Муха Ю. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчётов [Текст] / Ю. А. Муха, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1990. – Вып. 277/17. – С. 11–20.

87. Муха Ю. А. Исследование влияния высоты сортировочной горки на качество прицельного регулирования [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Сб. науч. трудов ДИИТа / ДИИТ. – Д., 1975. – Вып. 168/9. – С. 39–54.

88. Муха Ю. А. Исследование распределения работы между тормозными позициями при регулировании скорости скатывания отцепов на автоматизированной сортировочной горке [Текст] / Ю. А. Муха, А. М. Бледный, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. – Д., 1978. – Вып. 197/12. – С. 15–24.

89. Муха Ю. А. Исследование режимов регулирования скорости и дальности скатывания отцепов при комплексном использовании на горке замедлителей и ускорителей (осаживателей) [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа. – Д., 1978. – Вып. 197/12. – С. 24–38.

90. Муха Ю. А. Исследование точности прицельного регулирования на сортировочных горках, оборудованных системами АРС [Текст] / Ю. А. Муха, В. И.

Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа. – Д.к, 1975. – Вып. 168/9. – С. 55–65.

91. Муха Ю. А. Комплексные экспериментальные исследования систем АЗСР и ТГЛ ЦНИИ и оценка их технико-эксплуатационных характеристик [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1978. – Вып. 197/12. – С. 3–15.

92. Муха Ю. А. Моделирование на ЭЦВМ «Проминь» процесса скатывания отцепов при расчете сортировочных устройств [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа / ДИИТ. – Д., 1971. – Вып. 125/7. – С. 15–33.

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

94. Муха Ю. А. Некоторые результаты экспериментальных исследований работы на горках систем автоматического регулирования скорости (АРС) [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Сб. науч. трудов МИИТа / МИИТ. – М., 1976. – Вып. 548. – С. 96–98.

95. Муха Ю. А. О способах повышения качества процесса заполнения сортировочных путей при расформировании составов [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа. – Д., 1978. – Вып. 197/12. – С. 38–50.

96. 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.

97. Нагорний Є. В. Гіркові технічні засоби [Текст] / Є. В. Нагорний, І. В. Берестов, В. О. Крючков // Х.: Регіон-інформ. – К.: Трансп. України, 1998. – С.38–41.

98. Нагорный Е. В. Методика анализа и синтеза систем полуавтоматического и автоматического управления сортировочными процессами на горках [Текст] / Е. В.

Нагорный, А. Я. Шейнин // Информ.-управляющие системы на ж.-д. трансп. – 1997. – № 1. – С. 47–49.

99. Нагорный Е. В. Научные основы и разработка комплексной технологии поточной и непрерывной переработки вагонов на сортировочных станциях [Текст] : дис. ... доктора техн. наук: 05.22.08 / Нагорный Евгений Васильевич. – Х., 1994. – 425 с.

100. 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.

101. 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.

102. Нагорный М. А. Электромагнитный замедлитель скорости движения железнодорожных вагонов [Текст] / М. А. Нагорный, А. П. Ковалев, Е. А. Левшова // Пром. энергетика. – 2007. – № 5. – С. 54–56.

103. Негрей Н. П. Прогнозирование размеров работы сортировочных станций с помощью статистических методов [Текст] / Проблемы проектирования станций и узлов: Межвузовский сборник научных статей // Под ред. Н. В. Правдина. – Гомель: БелИИЖТ, 1984. – с. 10–21.

104. Нечай Т. А. Исследование методики нормирования и планирования реформирования состава методом осаживания на железнодорожном транспорте [Текст] / Т. А. Нечай, А. С. Роговой, А. А. Ключев, С. А. Титаков, А. А. Овчаренко // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2010. – № 1 (143), ч. 2. – С. 137–141.

105. Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях Державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 (1524) мм [Текст]. – Київ, 2004. – 51 с.

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

107. Огар О. М. Аналіз і особливості конструкції гіркових горловин вітчизняних сортувальних пристроїв [Текст] / О. М. Огар, О. В. Розсоха // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ. – Х., 2007. – Вип. 85. – С. 57–64.

108. Огар О. М. Аналіз існуючих методів оцінки конструкцій гіркових горловин [Текст] / О. М. Огар, В. І. Мойсеєнко, О. В. Розсоха // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ. – Х., 2009. – Вип. 102. – С. 5–14.

109. Огар О. М. Напрямки удосконалення конструкцій гіркових горловин сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження [Текст] / О. М. Огар, О. В. Розсоха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – №5/2(29). – С. 54–58.

110. Огарь А. Н. Методика оптимизации значений уклонов элементов продольного профиля сортировочных горок [Текст] / А. Н. Огарь // Информ.-управляющие системы на ж.-д. трансп. – 2001. – № 3. – С. 18–22.

111. Организация движения на железнодорожном транспорте [Текст] / [Кочнев Ф. П., Максимович Б. М., Померанцев В. В. и др.]; под общ. ред. Ф. П. Кочнева. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 336 с.

112. Павловский А. И. Об оценке различия профиля путей сортировочного парка при разработке алгоритмов прицельного регулирования [Текст] / А. И. Павловский, И. А. Горбачева // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1983. – Вып. 229/15. – С. 75–86.

113. Панкратов Л. В. Адаптивные модели транспортных технологических процессов [Текст] / Панкратов Л. В. – М.: РГОТУПС, 2001. – 111 с.

114. Пат. 2418531 ФРГ, МКИ В 61 J 03/08. Стационарное устройство для подталкивания и перемещения вагонов; опубл. 23.04.81, «Auszuqe aus den Ausleqeschziften» № 17.

115. Пат. 3877385 США, МКИ В 61 В 13/00. Ускоритель для железнодорожного подвижного состава; опубл. 15.04.75, «Official Gazette» № 3.

116. Пермин Б. Ф. Расформирование-формирование поездов [Текст]: практическое руководство / Б. Ф. Пермин, С. Д. Рускин. – М.: Транспорт, 1973. – 208 с.

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

118. 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.

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

120. Правдин Н. В. Перспективы применения закрытых горок в Сибири и на Дальнем Востоке [Текст] / Н. В. Правдин, С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2004. – № 7. – С. 14–16.

121. 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.

122. Правдин Н. В. Расчёт закона распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов на сортировочной горке [Текст] / Н. В. Правдин, С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2006. – № 3. – С. 3–10.

123. Правдин Н. В. Расчет параметров сортировочной горки с учетом случайных ходовых свойств отцепов [Текст] / Н. В. Правдин, С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2007. – № 7. – С. 8–14.

124. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР [Текст]: ВСН 207-89 (МПС СССР) – М.: Транспорт, 1992. – 105 с.

125. Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України. Ч. 1 [Текст]. – К.: Транспорт України, 2004. – 432 с.

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

127. Проблема эффективности автоматизированного управления процессом расформирования на сортировочных горках станций [Текст] / [В. С. Аркатов, Ю. А. Муха,

В. В. Длоугий и др.] // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1983. – Вып. 229/15.. – С. 48–59.

128. Прогонний А. Н. Реалізація швидкості руху відчепів на підгіркових коліях сортувальних станцій при застосуванні електромагнітного сповільнювача-прискорювача [Текст] / А. Н. Прогонний, П. Я. Придубков, О. І. Семененко // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2004. – № 6. – С. 26–28.

129. 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.

130. 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.

131. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки [Текст] / [Е. Н. Лебединская, Н. Н. Новгородов, Л. В. Пальчик и др.] // Вестник ВНИИЖТ. – 1999. – № 3. – С.32–34.

132. Роговий А. С. Можливі шляхи удосконалення технології роботи сортувальної станції [Текст] / А. С. Роговий, Ю. М. Кравченко, І. Г. Хуснутдінов // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2010. – № 1 (143), ч. 2. – С. 165–170.

133. Рудановский В. М. Влияние погрешностей АРС на образование «окон» и скорость соударения отцепов в подгорочном парке [Текст] / В. М. Рудановский // Вестник ВНИИЖТ. – 1977. – № 3. – С.47–50.

134. Рудановский В. М. Оценка точности работы замедлителей на парковых тормозных позициях [Текст] / В. М. Рудановский, В. П. Шейкин // Вестник ВНИИЖТ. – 1978. – № 5. – С. 60–62.

135. Руководство по техническому нормированию маневровой работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1978. – 56 с.

136. Рыбцов В. Н. Методика исследования эффективности работы АСУ РСГ методом статистического моделирования с учетом надежности вычислительного комплекса [Текст] / В. Н. Рыбцов // Автоматизированные системы управления

технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. - Д., 1980. – Вып. 211/9. - С. 38–47.

137. Р. Шторм. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с.

138. Савицкий А. Г. Перспективы использования зарубежного опыта автоматизации сортировочных горок [Текст] / А. Г. Савицкий, В. Н. Иванченко, А. Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2001. – № 12. – С. 39–43.

139. Савицкий А. Г. Технологические средства на сортировочных станциях: вчера, сегодня, завтра [Текст] / А. Г. Савицкий // Ж.-д. трансп. – 2005. – № 10. – С. 33–37.

140. Савицкий А. Г. Управление движением составов и отцепов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / А. Г. Савицкий, В. И. Шелухин, В. Н. Соколов // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – № 7. – С. 15–19.

141. 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.

142. 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.

143. Сафрис Л. В. Моделирование скатывания отцепа (на автоматизированной сортировочной горке) [Текст] / Л. В. Сафрис, Т. И. Скабалланович // Автоматическое управление и вычислительная техника на железнодорожном транспорте: Труды ДИИТа / ДИИТ. – Д., 1975. – Вып. 172/2. – С. 11–18.

144. Сизова Т. М. Статистика [Текст]: учеб. пособие / Т. М. Сизова. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2005. – 80 с.

145. Скабалланович В. С. Комплексная механизация и автоматизация технологического процесса работы сортировочной станции [Текст] / В. С. Скабалланович // Вестник ВНИИЖТ. – 1981. – № 6, – С. 1–7.

146. Сендеров Г. К. Обеспечить сохранность вагонов на сортировочных станциях [Текст] / Г. К. Сендеров, А. Г. Нетеса // Ж.-д. трансп. – 1973. – № 9. – С. 55–57.

147. 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.

148. Скорости соударения отцепов и «окна», образующиеся на путях сортировочного парка [Текст] / [Муха Ю. А., Яневич В. З., Бобровский В. И., Бледный А. М.] // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа / ДИИТ. – Д., 1975. – Вып. 160/8. – С. 98–102.

149. Соболев Ю. В. Електромагнітний сповільнювач-прискорювач для систем автоматичного регулювання швидкості на сортувальних гірках [Текст] / Ю. В. Соболев, В. М. Соколов, О. М. Прогонний // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 1998. – № 1. – С.39–42.

150. Соколов В. М. Розрахунок потужності електромагнітного сповільнювача-прискорювача [Текст] / В. М. Соколов, О. М. Прогонний // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 1998. – № 2. – С.34–36.

151. Соловицкий И. А. Конкурентоспособность железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг [Текст] / И. А. Соловицкий, П. О. Яновский // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2003. – № 3. – С. 25–28.

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

153. Сотников И. Б. Эксплуатация железных дорог [Текст]: в примерах и задачах / И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.

154. Сравнительная оценка систем регулирования скорости движения и осаживания вагонов на сортировочных путях [Текст]: отчет о науч.-исслед. работе № 01.01.53.8 / ВНИИЖТ. – М.: ВНИИЖТ, 1992. – 58 с.

155. Средства горочной автоматизации [Текст] // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 11. – С. 57.

156. Станции и узлы [Текст] / [Образцов В. Н., Никитин В. Д., Шаульский Ф. Н., Бузанов С. П.]. – М.: Трансжелдориздат, 1949. – 540 с.

157. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р.: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16. 12. 2009 р. за № 1555-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://transloq.com.ua/rasporjazhenie_kmu_1555r_strategija_razvitija_zhd_transporta

158. 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.

159. Тененбаум Э. М. Организация имитационной модели управляемого роспуска составов [Текст] / Э. М. Тененбаум, Т. Е Москвичева // Автоматизированные системы управления технологическим процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. - Д., 1982. – Вып. 224/11. - С. 61–69.

160. Техничко-експлуатаційні характеристики роботи сортировочной горки станций Пенза-III, оборудованной системой КГМ-04 [Текст]: отчет о науч.-исслед. работе № 27/I 43.32.91.91 / ДИИТ. – Д.: ДИИТ, 1991. – 38 с.

161. Технология работы участковых и сортировочных станций [Текст] / [Тихомиров И. Г., Грунтов П. С., Сыцко П. А. и др.]; под ред. И. Г. Тихомирова. – М.: Транспорт, 1973. – 272 с.

162. Тишков Л. Б. Скорости отцепов в точках «прицеливания» и «окна» на путях автоматизированных горок [Текст] / Л. Б. Тишков // Вестник ВНИИЖТ. – 1963. – № 5. – С. 12–17.

163. Толмачев Н. И. Повышение перерабатывающей способности сортировочных станций [Текст] / Н. И. Толмачев // Ж.-д. трансп. – 1965. – № 10. – С. 9–14.

164. Топчиев Н. П. Совершенствование технологии работы технических средств сортировочных станций на основе ресурсосбережения [Текст] / Н. П. Топчиев // Новини науки Придніпров'я. Сер. «Інж. дисципліни». – 2004. – № 2. – С. 44–47.

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

166. 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.

167. Устенко А. Б. Оценка надежности и эффективности систем прицельного регулирования скорости движения вагонов на сортировочных горках [Текст] / А. Б. Устенко, В. М. Рудановский, Н. М. Фонарев // Повышение надежности технических средств на станциях: Сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – М., 1984. – С. 21–35.

168. 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.

169. 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.

170. Федорчук А. Е. Развитие средств системы микропроцессорной ГАЦ [Текст] / А. Е. Федорчук, А. А. Сепетый // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 5. – С. 10–14.

171. Федотов Н. И. Расчет времени осаживания вагонов в сортировочном парке [Текст] / Н. И. Федотов // Вопросы проектирования железнодорожных станций: Труды НИИЖТа / НИИЖТ. Новосибирск, 1962, – Вып. XXIX. – С. 18–27.

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

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

174. Фонарев Н. М. Автоматизация процесса расформирования составов на сортировочных горках [Текст] / Фонарев Н. М. – М.: Транспорт, 1985. – 271 с.

175. Чеклов В. Ф. Дослідження параметрів відцепів, що перероблюються на немеханізований гірці малої потужності [Текст] / В. Ф. Чеклов, Ю. Ю. Панченко, Є. В. Сушарін // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 3. – С. 37–38.

176. Чеклов В. Ф. Методология выбора технологии роспуска составов на сортировочных горках [Текст] / В. Ф. Чеклов // Информ.-управляющие системы на ж.-д. трансп. – 1999. – № 1. – С. 78–81.

177. Черей В. И. Технология работы станции в условиях функционирования комплексной системы автоматизированного управления [Текст] / В. И. Черей // Ж.-д. трансп. – 2005. – № 1. – С. 30–32.

178. Череповський Р. Г. Аналіз функцій існуючих систем керування процесом розпуску [Текст] / Р. Г. Череповський // Вдосконалення експлуатації залізниць та рухомого складу: Зб. наук. праць студентів та магістрів / УкрДАЗТ. – Х., 2005. – Вип. 65. – С. 122–126.

179. Шабельников А. Н. Комплексный подход к автоматизации сортировочных горок [Текст] / А. Н. Шабельников // Ж.-д. трансп. – 2008. – № 8. – С. 31–33.

180. 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.

181. 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.

182. 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.

183. Шафит Е. М. Оценка эффективности функционирования устройств горочной автоматики на основе стохастического моделирования [Текст] / Е. М. Шафит, Ю. А. Косорига // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1980. – Вып. 211/9. – С. 56–61.

184. Шафит Е. М. Современные принципы построения АСУ сортировочных станций [Текст] / Е. М. Шафит, И. В. Жуковичский // Залізн. трансп. України. – 2000. – № 3. – С. 22–26.

185. Шейкин В. П. Снижение расхода энергоресурсов для торможения вагонов на сортировочных горках [Текст] / В. П. Шейкин // Вестник ВНИИЖТ. – 1996. – № 3. – С. 24–27.

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

187. Шиш В. О. Автоматизація та механізація технологічних процесів на сортувальних станціях [Текст] / В. О. Шиш // Залізн. трансп. України. – 2011. – № 3. – С. 44–47.

188. Шумский А. В. Проблемы автоматизации управления вагонными замедлителями [Текст] / А. В. Шумский, С. А. Рогов // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – №11. – С. 17–20.

189. Щеглов П. П. Проблема безопасности при роспуске с сортировочных горок вагонов с легковоспламеняющимися жидкостями [Текст] / П. П. Щеглов, В. И. Жолобов, Т. И. Ложникова // Вестн. ВНИИЖТ. – 2005. – № 6. – С. 36–39.

190. Экспериментальные исследования по оценке технико-эксплуатационных и экономических показателей работы сортировочной горки станций Пермь

Свердловской железной дороги [Текст]: отчет о науч.-исслед. работе № 43.24.89.89 / ДИИТ. – Д.: ДИИТ, 1989. – 47 с.

191. Яневич В. З. Исследование основных параметров башмаконакладывателей системы инженера Н. И. Пачеса [Текст] / В. З. Яневич, Н. П. Божко // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа. – Д., 1975. – Вып. 168/9. – С. 74–81.

192. Яновський П. О. Результати аналізу існуючого стану та пропозиції з перспективи розвитку і розміщення на мережі залізниць сортувальних станцій для забезпечення прогнозних обсягів перевезень до 2020 року [Текст] / П. О. Яновський, А. А. Акуленко // Залізн. трансп. України. – 2010. – № 1. – С. 28–31.

193. Grolms R. Ablaufsteuerung in 32-bit Technik für den Rangierbahnhof München Nord [Текст] / R. Grolms, G. Mickler // Signal und Draht. – 1989. – № 10. – S. 207–214.

194. Höfer R. Neuer Hafenbahnhof für die Hamburger Hafenbahn [Текст] / R. Höfer, A. Fischer, M. Peschel // Signal und Draht. – 1996. – № 5. – S. 28–30, 32–37.

195. König H. Choosing hardware to automate marshalling yards [Текст] / H. König // Railway Gazette International. – 1980. – № 2. – Pg. 130–134.

196. Meulman J. J. H. Der neue Rangierbahnhof der Norwegischen Staatsbahnen in Trondheim [Текст] / J. J. H. Meulman, K. C. Halvorsen // Rangiertechnik und Gleisanschlusstechnik. – 1987. – № 46. – S. 3–7.

197. Mickler G. Die Prozeßsteuerung im Rangierbahnhof München Nord [Текст] / G. Mickler, S. Demharter // Rangiertechnik und Gleisanschlusstechnik. – 1991. – № 5. – S. 39–43.

198. Peschel M. Modernization of Antwerpen-Nord classification yard [Текст] / M. Peschel // Rail Engineering International. – 1988. – № 1. – P. 6–9.

Додаток А

Акти про впровадження результатів роботи



Затверджую:

Головний інженер
Придніпровської залізниці
Ю. Г. Тищенко



АКТ

25.12.2012

м. Дніпропетровськ

№ AM-05/147

про впровадження результатів дисертаційної роботи старшого викладача кафедри «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна Журавля В'ячеслава Вікторовича на тему «Удосконалення методів оцінки прицільного регулювання на сортувальних гірках з метою підвищення ефективності їх функціонування»

Ми, що нижче підписалися, розглянули запропоновані методи та моделі визначення раціональних техніко-експлуатаційних параметрів прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках, які розроблені в результаті виконання дисертаційної роботи старшого викладача кафедри «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна Журавля В. В., встановили:

1. Використання нових залежностей для визначення середньої тривалості осаджування вагонів на коліях сортувального парку дозволяє підвищити якість нормування елементів гіркової технології, оцінки технології роботи технічних станцій, прогнозування якісних показників використання вагонного парку та маневрових локомотивів.

2. Запропонований метод визначення раціональної точності прицільного регулювання швидкості відчепів дозволяє мінімізувати витрати на розформування составів на сортувальних гірках та встановити певні вимоги щодо автоматизації керування процесом розформування-формування составів на них.

3. Результати дисертаційної роботи Журавля В'ячеслава Вікторовича прийняті до впровадження в службі перевезень, відділах перевезень та на технічних станціях Придніпровської залізниці.

Начальник служби перевезень

О.М. Декарчук

Начальник технічного відділу служби перевезень

П.І. Стехін

Інженер-технолог служби перевезень

І.І. Криворотько



ЗАТВЕРДЖУЮ

Головний інженер – перший заступник
Одеської залізниціГ.А. Бойко
2012 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи
старшого викладача кафедри «Станції та вузли»
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна
Журавля В'ячеслава Вікторовича

У 2008р. ДНУЗТ на замовлення ДП «Одеська залізниця» виконав науково-дослідну роботу «Розробка технологічного процесу Одеської залізниці» (договір №ОД/НА-08-1108НЮ від 18.08.2008р., державний реєстраційний номер 0108U010418). При виконанні науково-дослідної роботи в якості автора звіту приймав участь старший викладач кафедри «Станції та Вузли» ДНУЗТ Журавель В.В.

У даній науково-дослідній роботі було використано елементи дисертаційної роботи Журавля В.В. на тему «Удосконалення методів оцінки прицільного регулювання на сортувальних гірках з метою підвищення ефективності їх функціонування».

Під час розгляду результатів дисертаційної роботи Журавля В.В. було прийнято рішення про їх впровадження на сортувальних станціях Одеської залізниці.

Головний інженер
служби перевезень

В.М. Церковнюк

Затверджую:

Начальник Головного управління
перевезень «Укрзалізниці»
В. С. Алейник

«23» січня 2013 р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук старшим викладачем кафедри «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ)
Журавлем Вячеславом Вікторовичем
на тему «Удосконалення методів оцінки прицільного регулювання на сортувальних гірках з метою підвищення ефективності їх функціонування»

Головним управлінням перевезень «Укрзалізниці» розглянуто методи та моделі, які розроблені в дисертаційній роботі старшого викладача кафедри «Станції та вузли» ДНУЗТу Журавля В. В.

У роботі:

- отримано нові залежності параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів на сортувальних гірках, факторами яких є похибка їх гальмування і ухил сортувальних колій, що дозволяють нормувати тривалість виконання маневрових операцій з осаджування вагонів у сортувальних парках станцій з урахуванням параметрів вагонопотоку та швидкості руху поодинокого локомотива сортувальною колією;
- розроблено метод визначення раціональної точності прицільного регулювання швидкості відчепів, що дозволяє мінімізувати витрати на розформування составів на сортувальних гірках;
- удосконалено модель процесу розформування составів на сортувальній гірці, яка враховує особливі умови їх розпуску за наявності вагонів, що заборонено спускати з гірки без локомотива.

Розроблені методи та моделі дозволяють адекватно оцінювати роботу технічних станцій, прогнозувати якісні показники використання вагонного парку та маневрових локомотивів, а також визначати раціональні технічні та технологічні параметри сортувальних гірок.

Результати дисертаційної роботи Журавля Вячеслава Вікторовича може бути рекомендовано до впровадження на мережі залізниць України з метою прискорення просування вагонопотоків і підвищення ефективності функціонування технічних станцій.

Заступник начальника

Головного управління перевезень «Укрзалізниці»

I. I. Тревогін

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



Б. Є. Боднар

20 грудня 2012 р.

АКТ

про використання результатів дисертації Журавля Вячеслава Вікторовича
«УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ПРИЦІЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ»

м.Дніпропетровськ

«20» грудня 2012 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 Журавля В. В., а саме:

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

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

Бобровський В. І.

Начальник НДЧ, завідувач кафедри
«Управління експлуатаційною роботою»,
д.т.н., професор

Козаченко Д. М.

Декан факультету УПП,
к.т.н., доцент

Вернигора Р. В.

ЗАТВЕРДЖУЮ

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



С. В. Мямлін

АКТ

про використання результатів дисертації Журавля Вячеслава Вікторовича
«УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ПРИЦІЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ»

м. Дніпропетровськ

«20» грудня 2012 р.

Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна виконано наступні науково-дослідні роботи, в яких використано результати дисертації Журавля В. В. «Удосконалення методів оцінки прицільного регулювання на сортувальних гірках з метою підвищення ефективності їх функціонування» у науково-дослідних роботах:

- «Автоматизація проектування залізничних станцій» (державний реєстраційний номер (№ держреєстрації) 0105U001800);
- «Удосконалення методики оперативного управління сортувальним процесом на станціях» (№ держреєстрації 0108U000642);
- «Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях» (№ держреєстрації 0109U000480);
- «Розробка технологічного процесу Одеської залізниці» (№ держреєстрації 0108U010418)

Начальник НДЧ

д.т.н., професор

Д. М. Козаченко

Додаток Б

**Показники процесу розформування составів на сортувальних гірках.
параметри вагонопотоків, що переробляються на них**

Таблиця Б.1 – Показники роботи сортувальних гірок

Показник	Станція					
	Я	О	Б	Л	К	ПЗ
Система регулювання швидкості	АСК РСГ	АРШ ЦНП	КГМ РПЖТ	АРШ ГТСС	КГМ РПЖТ	КГМ-04
Добовий обсяг переробки, вагонів	5000	-	4000	-	3000	2200
Кількість сортувальних колій	41	40	29	28	24	24
Середня швидкість зіткнення вагонів на сортувальних коліях, м/с	1,99	1,75	2,02	2,19	1,47	1,75
Ймовірність перевищення допустимої швидкості зіткнення	0,77*	0,69*	0,83	0,85*	0,48	0,64
Середня довжина «вікна» на 1 перероблений вагон, м/вагон	4,3	13,2	5,2	6,3	-	6,0
Рівень заповнення сортувальних колій, %	86	50	81	68	-	72
Похибка реалізації заданої швидкості виходу відчепів, м/с	I ГП	0,86	0,27	0,52	0,44	0,30
	II ГП		0,40	0,58	0,31	0,04
	ПГП	-	0,69	0,70	0,38	0,17
Середньоквадратичне відхилення похибки реалізації, м/с	I ГП	0,43	0,52	0,27	0,37	0,44
	II ГП		0,72	0,26	0,41	0,50
	ПГП	-	0,77	0,41	0,80	0,40

Примітка. * – допустимою вважалася швидкість 1,5 м/с (5,4 км/год).

Таблиця Б.2 – Показники роботи сортувальних гірок

Показник	Станція				
	ОЗ	ПС	ПВ	МСП	В
Добовий обсяг переробки, вагонів	7500	6200	3200	2700	1950
Кількість сортувальних колій	44	29	23	23	30
Середня швидкість зіткнення вагонів на сортувальних коліях, м/с	1,90	1,94	1,98	1,70	1,70
Ймовірність перевищення допустимої швидкості зіткнення	0,71	0,73	0,83	0,65	0,67
Середня довжина «вікна» на 1 перероблений вагон, м/вагон	5,8	2,5	5,3	-	-
Рівень заповнення сортувальних колій, %	72	85	75	79	-
Похибка реалізації заданої швидкості виходу відчепів, м/с	I ГП	0,05	-	0,50	-
	II ГП	0,05	-	0,50	-
	ПГП	0,10	-	0,54	-
Середньоквадратичне відхилення похибки реалізації, м/с	I ГП	0,51	-	-	-
	II ГП	0,47	-	-	-
	ПГП	0,62	-	-	-

Таблиця Б.3 – Похибка розрахунку та реалізації швидкості виходу відчепів з ГП, м/с

Станція	ГП		
	перша	друга	паркова
К	0,7	0,9	0,5
ПЗ	0,9	0,9	1,1
ОЗ	0,7	1,0	0,8
ПВ	1,0	0,9	1,0
МСР	0,8	0,8	-
В	1,0	0,9	0,7

Таблиця Б.4 – Показники прицільного регулювання швидкості відчепів у разі ручного дистанційного і автоматизованого управління сповільнювачами гальмових позицій

Показники	Станція					
	К		Б		ПЗ	
	дистанційне	автоматичне	дистанційне	автоматичне	дистанційне	автоматичне
Середня швидкість зіткнення вагонів на сортувальних коліях, м/с	1,43	1,47	2,02	2,02	2,07	1,75
Ймовірність перевищення допустимої швидкості зіткнення	0,44	0,48	0,83	0,83	0,80	0,64
Рівень заповнення сортувальних колій, %	-	-	86	81	81	72

Таблиця Б.5 – Частоти появи відчепів з різною кількістю вагонів, %

Кількість вагонів у відчепі	Станція										
	ПВ	В	ПС	ПЗ	ОЗ	Я	Б	МС	ХС	НДВ (парна)	З
1	61,9	59,5	70,0	67,1	60,0	63,7	68,0	32,6	35,0	55,7	51,6
2	17,3	16,8	16,0	16,7	17,0	17,5	19,0	15,3	21,3	17,7	15,4
3	6,9	7,4	6,0	6,3	8,0	5,8	5,0	11,8	15,4	8,0	8,0
4	4,0	5,7	3,0	3,0	5,0	3,4	3,0	8,2	10,0	4,4	5,0
5 і більше	9,9	10,6	5,0	6,9	10,0	9,6	5,0	32,1	18,3	14,2	20,0

Таблиця Б.6 – Середня кількість вагонів у відчепі

Станція										
ПВ	В	ПС	ПЗ	ОЗ	Я	Б	МС	ХС	НДВ (парна)	З
2,20	2,40	1,72	1,87	2,10	1,95	1,75	3,84	2,64	2,69	3,13

Таблиця Б.7 – Частоти появи вагонів різної вагової категорії, %

Вагова категорія вагонів	Діапазон ваги вагонів, тс	Станція										
		ПВ	В	ПС	ПЗ	ОЗ	Я	ЛО (парна)	ЛО (непарна)	МС	НДВ (парна)	З
легка	до 28	30,2	20,4	33,3	24,1	7,0	27,3	16,0	38,0	28,3	60,7	47,3
легко-середня	28–44	13,3	10,4	14,1	21,7	17,0	13,3	12,0	30,0	2,9	3,9	0,9
середня	44–60	9,0	7,2	10,9	10,1	11,0	0,9	29,0	10,0		4,9	1,9
середньо-важка	60–72	6,8	9,6	11,9	8,6	11,0	6,2	18,0	8,0		6,9	6,7
важка	більш 72	40,7	52,4	29,8	35,5	54,0	52,3	25,0	14,0	68,8	23,6	43,2

Таблиця Б.8 – Частоти появи вагонів різного типу, %

Тип вагона	Станція								
	ПВ	В	ПС	ПЗ	ОЗ	Я	МС	НДВ (парна)	З
піввагон	21,9	49,6	31,0	30,8	33,0	54,6	84,0	72,6	66,0
критий	19,9	8,8	18,0	19,9	20,0	11,1	2,0	8,1	8,6
платформа	8,3	6,0	9,0	12,1	10,0	7,4	7,0	2,1	1,1
цистерна	16,9	14,7	13,0	13,1	11,0	17,9	2,0	3,1	6,6
інші	33	20,9	29,0	24,1	26,0	9,0	5,0	14,1	17,7

Примітка. У рядок «інші» включено спеціальний рухомий склад (рефрижераторні секції, зерновози, думпкери, тощо).

Таблиця Б.9 – Частоти появи вагонів ЗСГ, %

Станція					
ПВ	ПС	ПЗ	ОЗ	Я	Б
22,0	22,0	28,6	18,0	29,0	14,0

Додаток В

Моделювання процесу розформування составів

В.1 Визначення тривалості виконання операцій з направлення вагонів ЗСТ на колію сортувального парку згідно з призначенням відчепа

Головний відчеп довжиною $l_{\text{ГВ}}$ не є замикаючою групою для составу довжиною $L_{\text{с}}$, який накопичується на j -й сортувальній колії, якщо виконується умова

$$\sum l_{\text{с},j} + l_{\text{ГВ}} < L_{\text{с}}.$$

де $\sum l_{\text{с},j}$ – довжина вагонів, які знаходяться на j -й сортувальній колії.

У іншому разі відчеп є замикаючою групою.

Якщо на колію надходить замикаюча група, то состав з боку СГ не огорожується охоронними гальмовими башмаками [64]. Безпека виконання маневрової роботи забезпечується встановленням охоронної стрілки в положення, яке унеможливорює направлення відчепа на дану колію.

Відчеп, що не є замикаючою групою, після постановки на сортувальну колію огорожується з боку СГ охоронними гальмовими башмаками, якщо виконується умова

$$\sum n'_{\text{пр},j} < 10,$$

де 10 – мінімальна кількість вагонів з безпечними вантажами у групі прикриття згідно з [64];

$\sum n'_{\text{пр},j}$ – кількість вагонів прикриття, які є у відчепі, визначається з виразу

$$\sum n'_{\text{пр},j} = n_{\text{ГВ}} - k_{\text{max}},$$

де $n_{\text{ГВ}}$ – кількість вагонів у головному відчепі;

k_{max} – найбільший порядковий номер вагона у головному відчепі, для якого виконується умова $y_k = 1$.

У іншому разі відчеп не огорожується.

У дисертаційній роботі процес направлення відчепа на колію СП формалізовано для шести варіантів, які наведено у табл. В.1-В.6.

Тривалість окремого піврейсу (с), виконаного під час переставлення вагонів і составів, [80] визначається за формулою:

$$t_{п/р} = \frac{(\alpha_{рг} + \beta_{рг} m)v}{2} + \frac{3,6l_{п/р}}{v}, \quad (B.1)$$

де $\alpha_{рг}$ – коефіцієнт, що враховує час, який необхідний для зміни швидкості руху локомотива на 1 км/год під час розгону, і час, який необхідний для зміни швидкості руху локомотива на 1 км/год під час гальмування, $\alpha_{рг} = 2,44$ с/км/год [80];

$\beta_{рг}$ – коефіцієнт, що враховує додатковий час на зміну швидкості руху кожного вагона в маневровому составі на 1 км/год під час розгону і додатковий час на зміну швидкості руху кожного вагона в маневровому составі на 1 км/год під час гальмування, $\beta_{рг} = 0,1$ с/км/год [80];

m – кількість вагонів у маневровому составі;

v – допустима швидкість руху під час маневрів, км/год;

$l_{п/р}$ – довжина піврейсу, м.

Таблиця В.1 – Формалізація процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 1)

№ п/п	Операція	Тривалість, с
1	2	3
1	Розпорядження чергового по сортувальній гірці про виконання осаджування тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
2	Осаджування маневрового составу на колію СП до точки зустрічі його регулювальником швидкості руху вагонів тривалістю $t'_{ос}$.	Формула (В.1)
3	Отримання складачем гальмових башмаків (у кількості $n_{гб}$) від регулювальника швидкості тривалістю $t_{огб}$ [80]. У разі осаджування до довільної точки – $n_{гб} = 3$. Інакше – $n_{гб} = 2$.	$t_{огб} = 3,6n_{гб}$.
4	Осаджування маневрового составу на колію СП до місця зупинки тривалістю $t''_{ос}$.	Формула (В.1)
5	Закріплення головного відчепа з боку, протилежного гірці, у разі осаджування до довільної точки тривалістю $t_{закр}$ [80] при $n_{гб} = 1$.	3,6
6	Проходження складачем відстані $l_{прох}$ (м) для відчеплення головного відчепа тривалістю $t_{прох}$ [80].	$t_{прох} = 0,6l_{прох}$

Продовження таблиці В.1

1	2	3
7	Відчеплення головного відчепа від маневрового составу тривалістю $t_{\text{вгв}}$ [80].	4,8
8	Розпорядження машиністу маневрового локомотива на відтягування маневрового составу тривалістю $t'_{\text{пер}}$ [80].	22,2
9	Відтягування маневрового составу у бік гірки та огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками тривалістю $t_{\text{во}}$.	формула (В.20)
10	Доповідь черговому по сортувальній гірці про огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками та його розпорядження на витягування составу тривалістю $t'_{\text{пер}}$ [80].	22,2
11	Витягування маневрового составу на насувну частину гірки тривалістю $t_{\text{вит}}$.	формула (В.1)

Таблиця В.2 – Формалізація процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 2)

№ п/п	Операція	Тривалість, с
1	Розпорядження чергового по сортувальній гірці про виконання осаджування тривалістю $t'_{\text{пер}}$ [80].	22,2
2	Осаджування маневрового составу на колію СП до місця зупинки тривалістю $t_{\text{ос}}$. У разі осаджування до довільної точки складач на ходу отримує від регулювальника швидкості один гальмовий башмак.	формула (В.1)
3	Закріплення головного відчепа з боку, протилежного гірці, у разі осаджування до довільної точки тривалістю $t_{\text{закр}}$ [80] при $n_{\text{тб}} = 1$.	3,6
4	Проходження складачем відстані $l_{\text{прох}}$ (м) для відчеплення головного відчепа тривалістю $t_{\text{прох}}$ [80].	$t_{\text{прох}} = 0,6l_{\text{прох}}$
5	Відчеплення головного відчепа від маневрового составу тривалістю $t_{\text{вгв}}$ [80].	4,8
6	Доповідь черговому по сортувальній гірці про виконану роботу та його розпорядження на витягування составу тривалістю $t'_{\text{пер}}$ [80].	22,2
7	Витягування маневрового составу на насувну частину гірки тривалістю $t_{\text{вит}}$.	формула (В.1)

Таблиця В.3 – Формалізація процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 3)

№ п/п	Операція	Тривалість, с
1	2	3
1	Розпорядження чергового по сортувальній гірці про виконання осаджування тривалістю $t'_{\text{пер}}$ [80].	22,2
2	Осаджування маневрового составу на колію СП до місця зупинки тривалістю $t_{\text{ос}}$.	Формула (В.1)
3	Прибирання охоронних гальмових башмаків тривалістю $t_{\text{пгб}}$.	Формула (В.22)
4	Розпорядження машиністу маневрового локомотива на осаджування маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на сортувальній колії, тривалістю $t'_{\text{пер}}$ [80].	22,2
5	Осаджування маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на сортувальній колії, та ліквідації «вікон» тривалістю $t_{\text{злв}}$.	Формула (В.33)
6	Проходження складачем відстані $l_{\text{прох}}$ (м) для відчеплення головного відчепа тривалістю $t_{\text{прох}}$ [80].	$t_{\text{прох}} = 0,6l_{\text{прох}}$

Продовження таблиці В.3

1	2	3
7	Відчеплення головного відчепа від маневрового составу тривалістю $t_{вгв}$ [80].	4,8
8	Розпорядження машиністу маневрового локомотива на відтягування маневрового составу тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
9	Відтягування маневрового составу у бік гірки та огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками тривалістю $t_{во}$.	формула (В.20)
10	Доповідь черговому по сортувальній гірці про огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками та його розпорядження на витягування составу тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
11	Витягування маневрового составу на насувну частину гірки тривалістю $t_{вит}$.	формула (В.1)

Таблиця В.4 – Формалізація процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 4)

№ п/п	Операція	Тривалість, с
1	Розпорядження чергового по сортувальній гірці про виконання осаджування тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
2	Осаджування маневрового составу на колію СП до місця зупинки тривалістю $t_{ос}$.	Формула (В.1)
3	Прибирання охоронних гальмових башмаків тривалістю $t_{пгб}$.	Формула (В.22)
4	Розпорядження машиністу маневрового локомотива на осаджування маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на сортувальній колії, тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
5	Осаджування маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на сортувальній колії, та ліквідації «вікон» тривалістю $t_{злв}$.	формула (В.33)
6	Проходження складачем відстані $l_{прох}$ (м) для відчеплення головного відчепа тривалістю $t_{прох}$ [80].	$t_{прох} = 0,6l_{прох}$
7	Відчеплення головного відчепа від маневрового составу тривалістю $t_{вгв}$ [80].	4,8
8	Доповідь черговому по сортувальній гірці про виконану роботу та його розпорядження на витягування составу тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
9	Витягування маневрового составу на насувну частину гірки тривалістю $t_{вит}$. Під час витягування складач у точці зустрічі з регулювальником швидкості руху вагонів передає йому гальмові башмаки на ходу.	формула (В.1)

Таблиця В.5 – Формалізація процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 5)

№ п/п	Операція	Тривалість, с
1	2	3
1	Розпорядження чергового по сортувальній гірці про виконання осаджування тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
2	Осаджування маневрового составу на колію СП до місця зупинки тривалістю $t_{ос}$.	формула (В.1)
3	Розпорядження машиністу маневрового локомотива на осаджування маневрового составу для ліквідації «вікон» (у разі їх наявності) тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2

Продовження таблиці В.5

1	2	3
4	Осаджування маневрового составу для ліквідації «вікон» (у разі їх наявності) тривалістю $t_{плв}$.	формула (В.34)
5	Пройдення складачем відстані $l_{прох}$ (м) для відчеплення головного відчепа тривалістю $t_{прох}$ [80].	$t_{прох} = 0,6l_{прох}$
6	Відчеплення головного відчепа від маневрового составу тривалістю $t_{вгв}$ [80].	4,8
7	Доповідь черговому по сортувальній гірці про виконану роботу та його розпорядження на витягування составу тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
8	Витягування маневрового составу на насувну частину гірки тривалістю $t_{вит}$. У разі необхідності під час витягування складач у точці зустрічі з регулювальником швидкості руху вагонів передає йому гальмовий башмак на ходу.	формула (В.1)

Таблиця В.6 – Формалізація процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 6)

№ п/п	Операція	Тривалість, с
1	Розпорядження чергового по сортувальній гірці про виконання осаджування тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
2	Осаджування маневрового составу на колію СП до місця зупинки тривалістю $t_{ос}$.	Формула (В.1)
3	Прибирання охоронних гальмових башмаків тривалістю $t_{пгб}$.	формула (В.22)
4	Розпорядження машиністу маневрового локомотива на осаджування маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на сортувальній колії, тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
5	Осаджування маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на сортувальній колії, та ліквідації «вікон» тривалістю $t_{злв}$.	формула (В.33)
6	Пройдення складачем відстані $l_{прох}$ (м) для відчеплення головного відчепа тривалістю $t_{прох}$ [80].	$t_{прох} = 0,6l_{прох}$
7	Відчеплення головного відчепа від маневрового составу тривалістю $t_{вгв}$ [80].	4,8
8	Доповідь черговому по сортувальній гірці про виконану роботу та його розпорядження на витягування составу тривалістю $t'_{пер}$ [80].	22,2
9	Витягування маневрового составу на насувну частину гірки тривалістю $t_{вит}$. Під час витягування складач у точці зустрічі з регулювальником швидкості руху вагонів передає йому гальмові башмаки на ходу.	формула (В.1)

В.1.1 Нормування операцій процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 1)

В.1.1.1 Тривалість осаджування $t'_{ос}$ маневрового составу на колію СП до точки зустрічі його регулювальником швидкості руху вагонів визначається за формулою (В.1).

Координата точки зустрічі $S_{зс.j}$ маневрового составу регулювальником швидкості руху вагонів на j -й сортувальній колії (рис. В.1) визначається з умов

$$S_{зс.j} = S_{вих.ж}^{ПГП}, \text{ якщо } S_{в.ж} > S_{вих.ж}^{ПГП}, \quad (B.2)$$

$$S_{зс.j} = S_{в.ж}, \text{ якщо } S_{в.ж} \leq S_{вих.ж}^{ПГП}, \quad (B.3)$$

де $S_{вих.ж}^{ПГП}$ – координата кінця ПГП на j -й сортувальній колії, м;

$S_{в.ж}$ – координата положення крайнього з боку гірки вагона на j -й сортувальній колії (м), граничне значення якої у разі осаджування на вільну колію дорівнює координаті місця розташування охоронного гальмового башмака $S_{огб.ж}$, відстань встановлення якого від граничного стовпчика у хвостовій горловині СП визначається Технічно-розпорядчим актом станції. Передбачено можливість вибору людиною-оператором (ЛО) іншого значення $S_{зс.j}$.

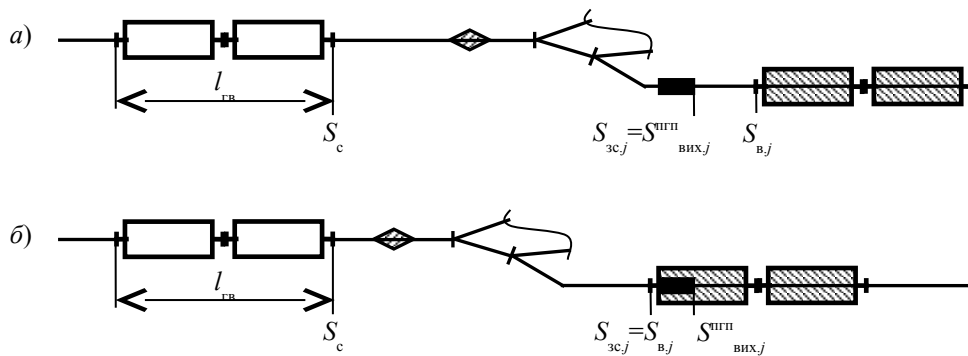


Рисунок В.1 – Визначення координати точки зустрічі маневрового составу регулювальником швидкості руху вагонів

Під час осаджування значення $m = m_0$ встановлюється згідно з моделлю состава, яка склалася на момент припинення розпуску. Значення v за умовчужанням приймається 5 км/год, але передбачено можливість вибору ЛО іншого значення, яке відповідає умові $v \leq 25$, де $v = 25$ км/год – максимальна швидкість виконання маневрів за умови руху вагонами вперед вільною колією, яка встановлюється [64]. Довжина піврейсу $l_{п/р} = l'_{ос}$.

Значення $l'_{ос}$ (рис. В.1) визначається як

$$l'_{ос.j} = S_{зс.j} - S_c,$$

де S_c – координата положення крайнього вагона состава на насунній частині гірки, м.

В.1.1.2 Тривалість осаджування $t''_{ос}$ маневрового составу на колію СП від точки зустрічі до місця зупинки визначається за формулою (В.1) при $l_{п/р} = l''_{ос}$.

В.1.1.2.1 У випадку виконання умови (В.2) значення $l''_{ос}$ визначається як

$$l''_{ос.j} = S_{в.j} - S_{вих.j}^{птп}. \quad (В.4)$$

Під час виконання цієї операції можливі наступні випадки:

1А. Осаджування на вільну колію до охоронного гальмового башмака (рис. В.2, а), при якому $l''_{ос.j}$ визначається за формулою (В.4).

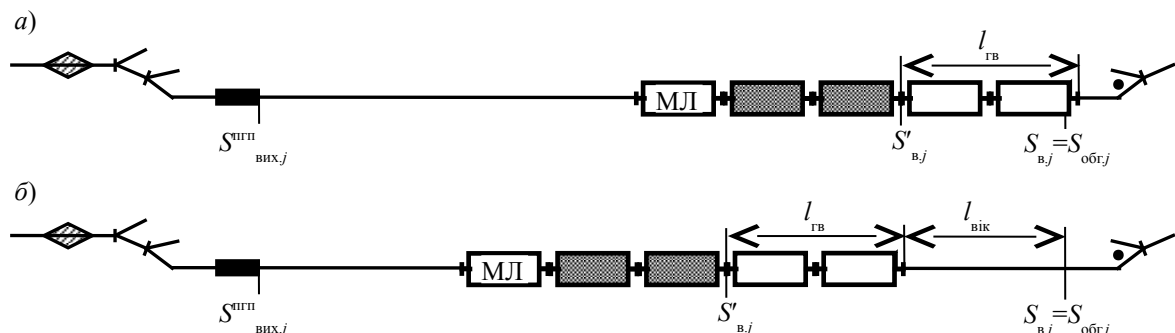


Рисунок В.2 – Осаджування на вільну колію СП: МЛ – маневровий локомотив; $l_{вік}$ – довжина «вікна»

1Б. Осаджування на вільну колію до довільної точки (рис. В.2, б), при якому $l''_{ос.j}$ відповідає умові:

$$l_{ос.j}^{\min} \leq l'''_{ос.j} < l''_{ос.j}, \quad (В.5)$$

де $l_{ос.j}^{\min}$ – мінімальне значення $l'''_{ос.j}$ (м), яке визначається з виразу:

$$l_{ос.j}^{\min} = \max \left[\sum l_{в.j} + 50; l_{ГВ} + 50 + (10 - \sum n'_{пр.j}) l_{пр} \right], \quad (В.6)$$

де $\sum l_{в.j}$ – сумарна довжина відчепів призначенням на j -ту сортувальну колію, які залишилися у составі, з урахуванням головного, м;

50 – мінімальна відстань від вагонів ЗСГ до гальмового башмака, який розташований першим від гірки, м [64];

$l_{пр}$ – довжина вагону у групі прикриття, за яку приймається довжина вагонів, що переважають у вагонопотоці, який підлягає переробці, м.

Вибір значення $l'''_{ос.j}$ виконується ЛО.

2А. Осаджування на зайняту колію до з'єднання з вагонами, які стоять без «вікон» (рис. В.3, а), при якому $l''_{ос. j}$ визначається за формулою (В.4).

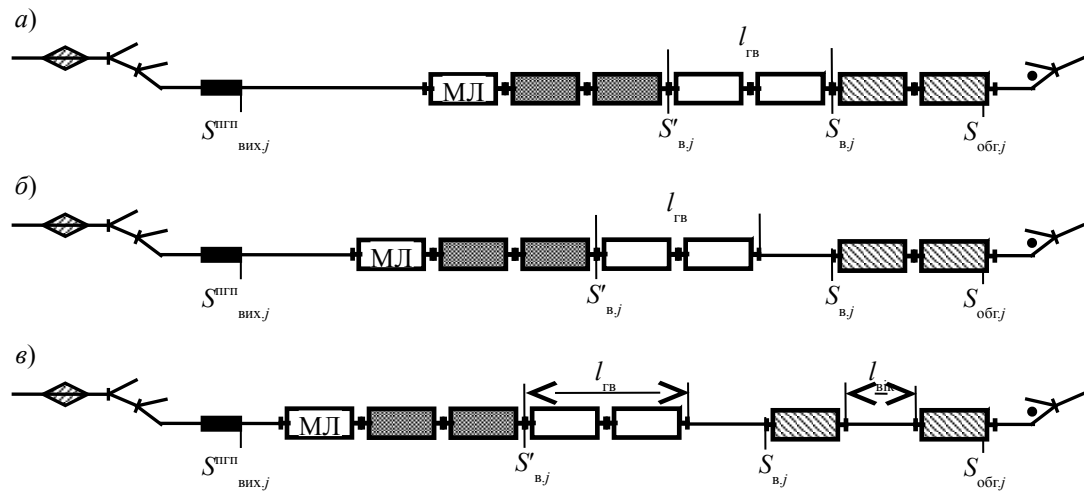


Рисунок В.3 – Осаджування на зайняту колію СП

2Б. Осаджування на зайняту колію без з'єднання з вагонами, які стоять без «вікон» (рис. В.3, б) або у разі їх наявності (рис. В.3, в), при якому $l'''_{ос. j}$ відповідає умові (В.5).

При цьому, якщо у составі, що розформовується, відсутня замикаюча група ($\sum l_{с. j} + \sum l_{в. j} < L_c$), то значення $l_{ос. j}^{\min}$ визначається з виразу (В.6).

Якщо у составі є замикаюча група і $\sum l_{в. j} + 50 < l_{ГВ} + 50 + (10 - \sum n'_{пр. j}) l_{пр}$, то

$$l_{ос. j}^{\min} = \sum l_{в. j} + 50 . \quad (В.7)$$

Вибір значення $l'''_{ос. j}$ виконується ЛО.

3. Осаджування на зайняту колію до з'єднання з вагонами у разі наявності «вікон» (рис. В.4, а, б), при якому $l''_{ос. j}$ визначається за формулою (В.4).

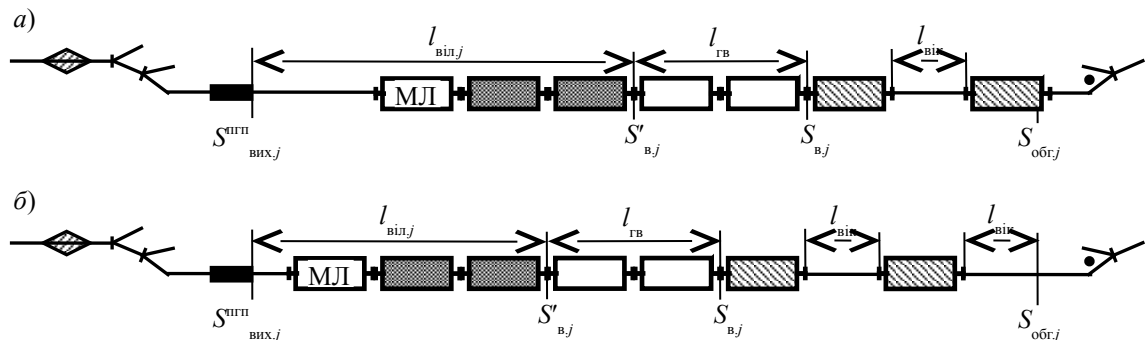


Рисунок В.4 – Осаджування на зайняту колію СП

Умовою виконання осаджування для ліквідації «вікон» між вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії, є:

1) якщо у складі, що розформовується, відсутня замикаюча група

$$l_{\text{вільн.}j} < \max\left\{(\sum l_{\text{в.}j} - l_{\text{ГВ}}) + a; 50 + (10 - \sum n'_{\text{пр.}j})l_{\text{пр}}\right\} \quad (\text{B.8})$$

у разі виконання умови

$$l_{\text{вільн.}j} + \sum l_{\text{вік.}j} \geq \max\left\{(\sum l_{\text{в.}j} - l_{\text{ГВ}}) + a; 50 + (10 - \sum n'_{\text{пр.}j})l_{\text{пр}}\right\}, \quad (\text{B.9})$$

де $l_{\text{вільн.}j}$ – довжина вільної ділянки на j -й сортувальній колії, м;

$\sum l_{\text{вік.}j}$ – сумарна довжина «вікон» на j -й сортувальній колії, м;

a – параметр, значення якого $a = L_{\text{с}} - \sum l_{\text{с.}j} - \sum l_{\text{в.}j} < 50$, інакше $a = 50$, м.

Довжина піврейсу осаджування

$$l_{\text{лв.}j} = \max\left\{(\sum l_{\text{в.}j} - l_{\text{ГВ}}) + a; 50 + (10 - \sum n'_{\text{пр.}j})l_{\text{пр}}\right\} - l_{\text{вільн.}j}; \quad (\text{B.10})$$

2) якщо у складі є замикаюча група або у разі невиконання умови (B.9) для складу, у якому вона відсутня

$$l_{\text{вільн.}j} < (\sum l_{\text{в.}j} - l_{\text{ГВ}}) + a. \quad (\text{B.11})$$

Довжина піврейсу осаджування

$$l_{\text{лв.}j} = ((\sum l_{\text{в.}j} - l_{\text{ГВ}}) + a) - l_{\text{вільн.}j}. \quad (\text{B.12})$$

У іншому разі осаджування для ліквідації «вікон» не виконується.

ЛО може бути вказано на необхідність ліквідації всіх «вікон» на j -й сортувальній колії

$$\sum l_{\text{вік.}j} = 0, \quad (\text{B.13})$$

Довжина піврейсу осаджування

$$l_{\text{лв.}j} = \sum l_{\text{вік.}j}. \quad (\text{B.14})$$

Загальна тривалість осаджування $T''_{\text{ос}}$ визначається за формулою:

$$T''_{\text{ос}} = t''_{\text{ос}} + t_{\text{лв.}j}, \quad (\text{B.15})$$

де $t_{\text{лв.}j}$ – тривалість ліквідації «вікон» на j -й сортувальній колії, с.

В.1.1.4 Тривалість відтягування маневрового составу у бік гірки й огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками визначається за формулою:

$$t_{\text{во}} = t_{\text{від}} + t_{\text{ог}}, \quad (\text{В.20})$$

де $t_{\text{від}}$ – тривалість відтягування маневрового составу у бік гірки, с;

$t_{\text{ог}}$ – тривалість огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками, с.

Під час виконання цих операцій в залежності від положення на j -й сортувальній колії крайнього вагона головного відчепа (координата $S'_{\text{в.}j}$) і мінімальної відстані від кінця ПГП на цій колії до охоронного гальмового башмака $\Delta l_{\text{гб}}$ (за умовчужанням $\Delta l_{\text{гб}} = 0,5 \text{ м}$ з можливістю вибору ЛО іншого значення) можливі наступні випадки:

1. $S'_{\text{в.}j} - (S_{\text{вих.}j}^{\text{ПГП}} + \Delta l_{\text{гб}}) \geq 50 \text{ м}$ (рис. В.6, а).

У цьому випадку під час відтягування маневрового составу на відстань 50 м складач пересувається на підніжці крайнього вагону на відстань 25 м і залишає состав на ходу. Після цього він встановлює перший башмак, проходить відстань $l_{\text{прох}} = 25 \text{ м}$ і встановлює другий башмак.

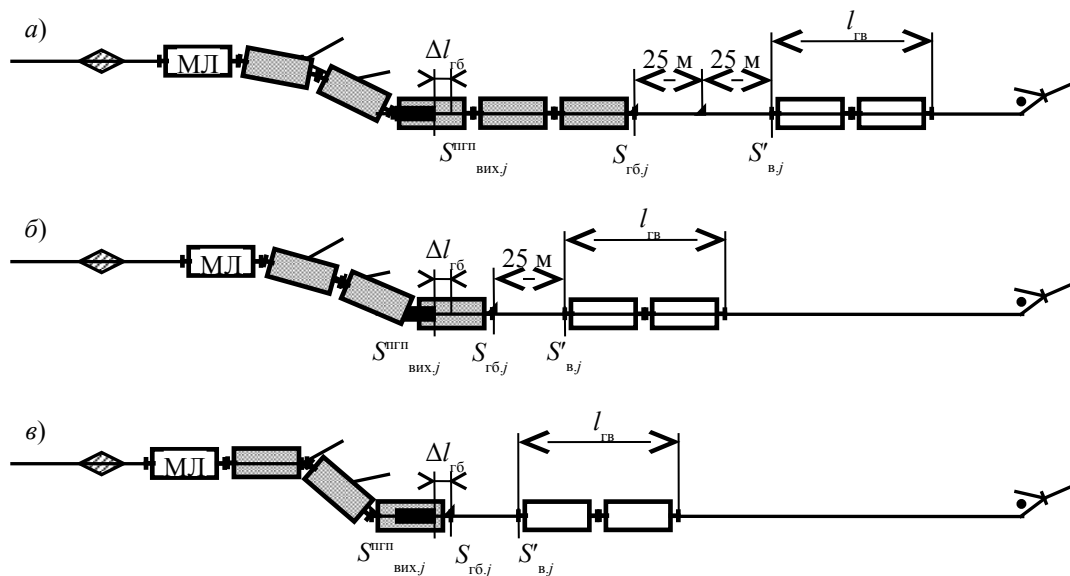


Рисунок В.6 – Відтягування составу й огороження відчепа гальмовими башмаками

Для визначення $t_{\text{від}}$ використано модифіковано формулу (В.1), яка враховує час, який необхідний для зміни швидкості руху локомотива та вагона лише під час розгону, а також тривалість пересування составу на відстань $l_{\text{п/р}}$.

$$t_{\text{п/р}} = \frac{(\alpha_{\text{рг}} + \beta_{\text{рг}} m)v}{4} + \frac{3,6l_{\text{п/р}}}{v}, \quad (\text{В.21})$$

Тривалість $t_{\text{від}}$ розраховується при $m = m_0 - m_{\text{ГВ}}$ (де $m_{\text{ГВ}}$ – кількість вагонів у головному відчепі), $v = 5$ км/год (з можливістю вибору ЛО іншого значення), $l_{\text{п/р}} = 25$ м (від крайнього вагона головного відчепа до точки встановлення першого башмака).

Значення $t_{\text{ог}}$ розраховується за допомогою виразу:

$$t_{\text{ог}} = n_{\text{ГБ}} t_{\text{укл}} + t_{\text{прох}}, \quad (\text{В.22})$$

де $n_{\text{ГБ}}$ – кількість гальмових башмаків, у даному випадку $n_{\text{ГБ}} = 1$;

$t_{\text{укл}}$ – тривалість укладання одного гальмового башмака, $t_{\text{укл}} = 3,6$ с. [80];

$t_{\text{прох}}$ – тривалість проходу складачем відстані $l_{\text{прох}}$ для укладання другого гальмового башмака, яка згідно з [80] визначається з виразу

$$t_{\text{прох}} = 0,6l_{\text{прох}}. \quad (\text{В.23})$$

2. $25 \leq S'_{\text{в.}j} - (S_{\text{вих.}j}^{\text{пп}} + \Delta l_{\text{ГБ}}) < 50$ м (рис. В.6, б).

У цьому випадку під час відтягування маневрового составу на відстань 25 м складач пересувається на підніжці крайнього вагону. Після цього він встановлює один башмак.

Тривалість $t_{\text{від}}$ визначається за формулою (В.1) при m , v і $l_{\text{п/р}}$, які є аналогічними випадку 1. Тривалість $t_{\text{ог}}$ розраховується за допомогою виразу (В.22) при $n_{\text{ГБ}} = 1$ башмак, $l_{\text{прох}} = 0$ м.

3. $S'_{\text{в.}j} - (S_{\text{вих.}j}^{\text{пп}} + \Delta l_{\text{ГБ}}) < 25$ м (рис. В.6, в).

У цьому випадку під час відтягування маневрового составу на відстань $l_{\text{п/р}} = S'_{\text{в.}j} - (S_{\text{вих.}j}^{\text{пп}} + \Delta l_{\text{ГБ}})$ складач пересувається на підніжці крайнього вагону. Після цього він встановлює один башмак.

Тривалість $t_{\text{від}}$ визначається за формулою (В.1) при m, v , які є аналогічними випадку 1. Тривалість $t_{\text{ог}}$ розраховується за допомогою виразу (В.22) при $n_{\text{гб}}=1$ башмак, $l_{\text{прох}}=0$ м.

В.1.1.5 Тривалість витягування $t_{\text{вит}}$ маневрового составу на насувну частину гірки визначається за формулою (В.1) при $m=m_0 - m_{\text{гв}}, v=25$ км/год (з можливістю вибору ЛО іншого значення) і $l_{\text{п/р}}=l_{\text{вит}}$, яка визначається з виразу

$$l_{\text{вит}} = S_{\text{гб.}j} - S_c, \quad (\text{В.24})$$

де $S_{\text{гб.}j}$ – координата положення першого з боку гірки охоронного башмака, м.

В.1.2 Нормування операцій процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 2)

В.1.2.1 Тривалість осаджування $t_{\text{ос}}$ маневрового составу на колію СП до місця зупинки визначається за формулою (В.1) при $l_{\text{п/р}}=l_{\text{ос}}$. У разі осаджування до довільної точки отримання складачем від регулювальника швидкості одного гальмового башмака здійснюється на ходу.

Значення $l_{\text{ос}}$ визначається як

$$l_{\text{ос.}j} = S_{\text{в.}j} - S_c. \quad (\text{В.25})$$

В.1.2.1.1 У випадку виконання умови $S_{\text{в.}j} > S_{\text{вих.}j}^{\text{пгп}}$ можливі наступні випадки:

1А. Осаджування на вільну колію до охоронного гальмового башмака, при якому $l_{\text{ос.}j}$ визначається за формулою (В.25).

1Б. Осаджування на вільну колію до довільної точки, при якому $l_{\text{ос.}j}'''$ відповідає умові:

$$l_{\text{ос.}j}^{\min} \leq l_{\text{ос.}j}''' < l_{\text{ос.}j}, \quad (\text{В.26})$$

де $l_{\text{ос.}j}^{\min}$ – мінімальне значення $l_{\text{ос.}j}$ (м), яке визначається з виразу:

$$l_{\text{ос.}j}^{\min} = (S_{\text{вих.}j}^{\text{пгп}} - S_c) + \sum l_{\text{в.}j}, \quad (\text{В.27})$$

Вибір значення $l_{oc.j}'''$ виконується ЛО.

2А. Осаджування на зайняту колію до з'єднання з вагонами, які стоять без «вікон», при якому $l_{oc.j}$ визначається за формулою (В.25).

2Б. Осаджування на зайняту колію без з'єднання з вагонами, які стоять без «вікон» або у разі їх наявності, при якому $l_{oc.j}'''$ відповідає умові (В.26), а $l_{oc.j}^{\min}$ визначається з виразу (В.27).

3. Осаджування на зайняту колію до з'єднання з вагонами у разі наявності «вікон», при якому $l_{oc.j}$ визначається за формулою (В.25).

Осаджування для ліквідації «вікон» між вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії, відбувається у разі виконання умови

$$l_{віл.j} < \sum l'_{в.j} - l_{гв}. \quad (В.28)$$

При цьому $l'_{в.j} = \sum l_{в.j}$, якщо у складі, що розформовується, відсутня замикаюча група і $l'_{в.j} = \sum l_{з.j}$, якщо у складі є замикаюча група ($\sum l_{з.j} \leq \sum l_{в.j}$), де $\sum l_{з.j}$ – сумарна довжина відцепів призначенням на j -ту сортувальну колію, які залишилися у складі, з урахуванням головного відчепа та замикаючої групи, м.

Довжина піврейсу осаджування

$$l_{лв.j} = (\sum l'_{в.j} - l_{гв}) - l_{віл.j}. \quad (В.29)$$

В іншому разі осаджування для ліквідації «вікон» не виконується.

ЛО може бути вказано на необхідність ліквідації всіх «вікон» на j -й сортувальній колії. Довжина піврейсу осаджування визначається за формулою (В.14).

Загальна тривалість осаджування T_{oc} визначається за формулою (В.15), у якій замість t_{oc}'' використовується t_{oc} .

В.1.2.1.2 У випадку виконання умови $S_{в.j} \leq S_{вих.j}^{пп}$ відстань $l_{oc.j}$ визначається за формулою (В.25).

Після з'єднання головного відчепа з вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії виконується осаджування для ліквідації «вікон» з довжиною піврейсу $l_{лв.j}$, яка визначається за виразом:

$$l_{\text{лв.}j} = (S_{\text{вих.}j}^{\text{ппп}} - S_{\text{в.}j}) + \sum l'_{\text{в.}j}. \quad (\text{B.30})$$

У разі необхідності ліквідації всіх «вікон» на j -й сортувальній колії, яка визначається ЛО, довжина піврейсу осаджування визначається з виразу (B.14).

Загальна тривалість осаджування $T_{\text{ос}}$ визначається за формулою (B.15), у якій замість $t'_{\text{ос}}$ використовується $t_{\text{ос}}$.

В.1.2.2 Тривалість витягування $t_{\text{вит}}$ маневрового составу на насувну частину гірки визначається за формулою (B.1) при $m = m_0 - m_{\text{гв}}$, $v = 25 \text{ км/год}$ (з можливістю вибору ЛО іншого значення) і $l_{\text{п/р}} = l_{\text{вит}}$, яка визначається з виразу

$$l_{\text{вит}} = S'_{\text{в.}j} - S_{\text{с}}. \quad (\text{B.31})$$

В.1.3 Нормування операцій процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 3)

В.1.3.1 Тривалість осаджування $t_{\text{ос}}$ маневрового составу на колію СП до місця зупинки визначається за формулою (B.1) при $l_{\text{п/р}} = l_{\text{ос}}$. Під час виконання цієї операції можливі наступні випадки:

1. Осаджування до місця встановлення на j -й сортувальній колії крайнього з боку гірки охоронного гальмового башмака (рис. В.7, а), при якому $l_{\text{ос.}j}$ визначається за формулою:

$$l_{\text{ос.}j} = S_{\text{гб.}j} - S_{\text{с}}. \quad (\text{B.32})$$

2. Осаджування до місця розташування на j -й сортувальній колії крайнього з боку гірки вагона групи прикриття (рис. В.7, б, в), при якому $l_{\text{ос.}j}$ визначається за формулою (B.25).

У разі наявності «вікон» між вагонами групи прикриття ($l''_{\text{пр.}j} < S_{\text{гб.}j} - S_{\text{в.}j}$, де $l''_{\text{пр.}j}$ – довжина групи прикриття у кількості $\sum n''_{\text{пр.}j}$ вагонів, яка накопичилася під час розпуску составів, м) виконується осаджування для їх ліквідації, тривалість $t''_{\text{лв.}j}$

якого визначається за формулою (В.1) у разі $l_{п/р} = l_{лв.ж} = (S_{гб.ж} - S_{в.ж}) - l_{пр.ж}''$, $v = 3$ км/год [64] (з можливістю вибору ЛО іншого значення) і $m = \bar{m} = (m_1 + m_{ост})/2$. Загальна тривалість осаджування $T_{ос}$ визначається за формулою (В.15), у якій замість $t_{ос}''$ використовується $t_{ос}$.

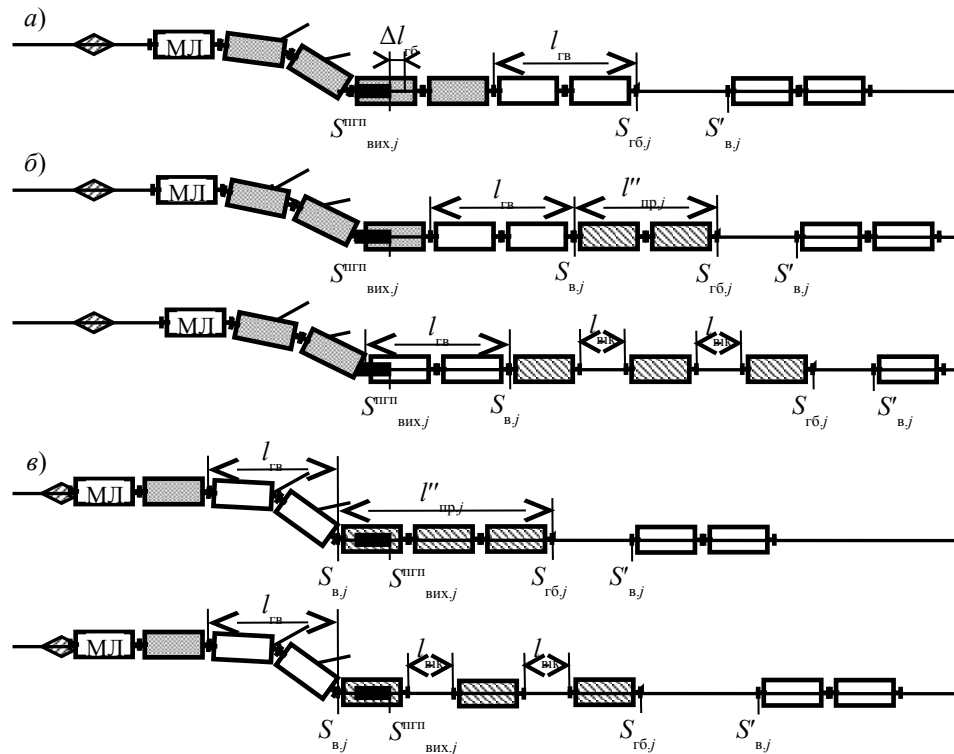


Рисунок В.7 – Осаджування на колію, на якій знаходяться вагони, що огорожені з боку СГ

В.1.3.2 Тривалість прибирання $t_{пгб}$ охоронних гальмових башмаків визначається за формулою (В.22). При цьому:

– якщо $S'_{в.ж} - (S_{вих.ж}^{ппп} + \Delta l_{гб}) \geq 50$ м, то $n_{гб} = 2$, $l_{прох} = l_{пр.ж}'' + 25$;

– якщо $25 \leq S'_{в.ж} - (S_{вих.ж}^{ппп} + \Delta l_{гб}) < 50$ м, то $n_{гб} = 1$, $l_{прох} = l_{пр.ж}''$.

В окремому випадку, коли $n_{пр.ж}'' = 0$ (рис. В.7, а), $l_{пр.ж}'' = 0$.

В.1.3.3 Тривалість осаджування t_3 маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії, визначається за формулою (В.1) у разі $l_{п/р} = l_3 = S'_{в.ж} - S_{гб.ж}$, $v = 3$ км/год [64] (з можливістю вибору ЛО іншого значення) і $m = m_0 + n_{пр.ж}''$. В окремому випадку $n_{пр.ж}'' = 0$ (рис. В.7, а).

У випадку виконання умови $S_{в. j} > S_{вих. j}^{пт}$ (рис. В.8, а, б), осаджування для ліквідації «вікон» між вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії, відбувається у разі:

1) виконання умови (В.8) при виконанні умови (В.9) – якщо у составі, що розформовується, відсутня замикаюча група. Довжина піврейсу $l_{лв. j}$ визначається за формулою (В.10);

2) виконання умови (В.11) – якщо у составі є замикаюча група або не виконується умова (В.9) для составу, у якому вона відсутня. Довжина піврейсу $l_{лв. j}$ визначається за формулою (В.12).

В іншому разі осаджування для ліквідації «вікон» не виконується.

У випадку виконання умови $S_{в. j} \leq S_{вих. j}^{пт}$ (рис. В.8, в) відбувається осаджування для ліквідації «вікон» з довжиною піврейсу $l_{лв. j}$, яка визначається:

– за виразом (В.16), якщо у составі, що розформовується, відсутня замикаюча група та виконується умова (В.17);

– за виразом (В.18), якщо у составі є замикаюча група або у разі невиконання умови (В.17) для составу, у якому вона відсутня.

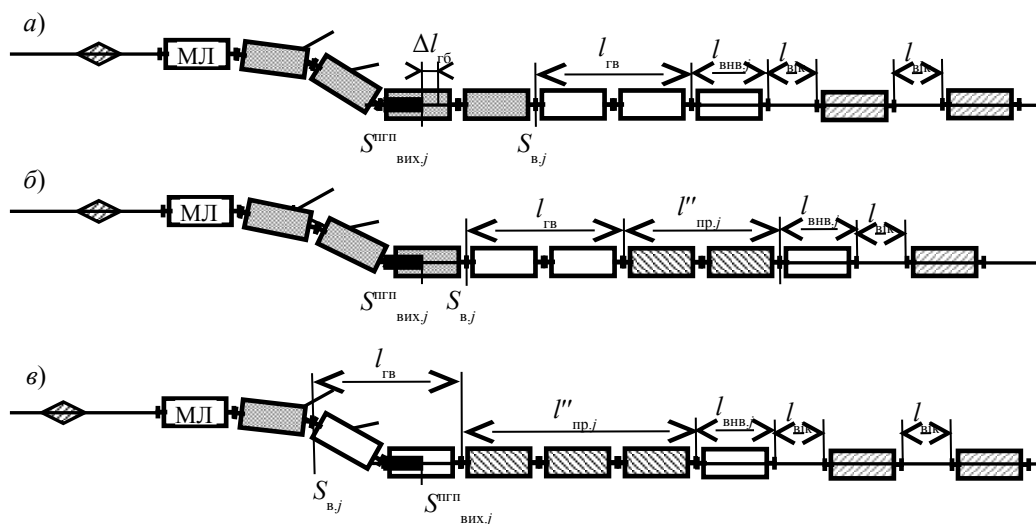


Рисунок В.8 – Осаджування для ліквідації «вікон»

У разі необхідності ліквідації всіх «вікон» на j -й сортувальній колії, яка визначається ЛО, довжина піврейсу осаджування визначається з виразу (В.14).

Значення $t_{лв. j}$ визначається за формулою (В.1) у разі $l_{п/р} = l_{лв. j}$, $v = 3$ км/год [64] (з можливістю вибору ЛО іншого значення) і $m = \bar{m} = (m_1 + m_{ост})/2$.

У випадку необхідності ліквідації «вікон», якщо попередній відчеп (довжиною $l_{\text{внв.}j}$) з вагонами ЗСГ було осаджено до довільної точки та огорожено з боку, протилежного гірці, перед початком їх ліквідації складач проходить відстань $l_{\text{прох}} = l_{\text{внв.}j}$ і прибирає гальмовий башмак. Тривалість виконання цієї операції становить $t'_{\text{пгб}} = 24,6 + 0,6l_{\text{внв.}j}$, де 24,6 с – тривалість вилучення гальмового башмака у разі знаходження на ньому колеса [80].

Тривалість осаджування $t_{\text{злв}}$ маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії, та ліквідації «вікон» визначається за формулою:

$$t_{\text{злв}} = t_3 + t'_{\text{пгб}} + t_{\text{лв.}j}. \quad (\text{В.33})$$

В.1.3.4 Відстань, яку проходить складач для відчеплення головного відчепа:

– у випадку, якщо складач не прибирає гальмовий башмак з боку, протилежного гірці

$$l_{\text{прох}} = 0, \text{ якщо } l_{\text{гв}} + l''_{\text{пр.}j} \leq 25 + l_{\text{лв.}j},$$

$$l_{\text{прох}} = (l_{\text{гв}} + l''_{\text{пр.}j}) - (25 + l_{\text{лв.}j}), \text{ якщо } l_{\text{гв}} + l''_{\text{пр.}j} > 25 + l_{\text{лв.}j};$$

– у випадку, якщо складач прибирає гальмовий башмак з боку, протилежного гірці

$$l_{\text{прох}} = 0, \text{ якщо } l_{\text{гв}} + l''_{\text{пр.}j} + l_{\text{внв.}j} \leq l_{\text{лв.}j},$$

$$l_{\text{прох}} = (l_{\text{гв}} + l''_{\text{пр.}j} + l_{\text{внв.}j}) - l_{\text{лв.}j}, \text{ якщо } l_{\text{гв}} + l''_{\text{пр.}j} + l_{\text{внв.}j} > l_{\text{лв.}j}.$$

В окремому випадку (рис. В.7, а) $l''_{\text{пр.}j} = 0$ ($n''_{\text{пр.}j} = 0$), а у разі відсутності ліквідації «вікон» – $l_{\text{лв.}j} = 0$.

В.1.3.5 Тривалість відтягування маневрового составу у бік гірки й огороження вагонів охоронними гальмовими башмаками визначається за формулою (В.20). Можливі під час виконання цієї операції випадки розглянуто у п. В.1.1.4.

В.1.3.6 Тривалість витягування $t_{\text{вит}}$ маневрового составу на насувну частину гірки визначається за формулою (В.1) при $m = m_0 - m_{\text{гв}}$, $v = 25 \text{ км/год}$ (з можливістю вибору ЛО іншого значення) і $l_{\text{п/р}} = l_{\text{вит}}$, яка визначається з виразу (В.24).

В.1.4 Нормування операцій процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 4)

В.1.4.1 Тривалість осаджування $t_{ос}$ маневрового составу на колію СП до місця зупинки визначається за формулою (В.1) при $l_{п/р} = l_{ос}$. Можливі під час виконання цієї операції випадки розглянуто у п. В.1.3.1.

В.1.4.2 Тривалість прибирання $t_{пгб}$ охоронних гальмових башмаків визначається за формулою (В.22). Можливі випадки розглянуто у п. В.1.3.2.

В.1.4.3 Тривалість осаджування $t_{злв}$ маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії, та ліквідації «вікон» визначається за формулою (В.33). Можливі під час виконання цієї операції випадки розглянуто у п. В.1.3.3.

В.1.4.4 Відстань, яку проходить складач для відчеплення головного відчепа, встановлено у п. В.1.3.4.

В.1.4.5 Тривалість витягування $t_{вит}$ маневрового составу на насувну частину гірки визначається за формулою (В.1) при $l_{п/р} = l_{вит}$, яка визначається з виразу (В.31). Інші умови визначено у п. В.1.2.2.

В.1.5 Нормування операцій процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант 5)

В.1.5.1 Тривалість осаджування $t_{ос}$ маневрового составу на колію СП до місця зупинки визначається за формулою (В.1) при $l_{п/р} = l_{ос}$, яка визначається за формулою (В.25).

В.1.5.2 Під час осаджування маневрового составу для ліквідації «вікон» на j -й сортувальній колії можливі три випадки:

1) відсутність групи вагонів, яку огорожено гальмовим башмаком з боку, протилежного гірці (рис. В.9, а). Значення $t_{\text{ПЛВ.}j} = t_{\text{ЛВ.}j}$ розраховується за формулою (В.1) у разі $l_{\text{п/р}} = l_{\text{ЛВ.}j}$, яка визначається з виразу (В.14), $v = 3$ км/год [64] (з можливістю вибору ЛО іншого значення) і $m = \bar{m} = (m_1 + m_{\text{ост}})/2$;

2) наявність групи вагонів довжиною $\sum l'_{\text{В.}j}$, яку огорожено таким гальмовим башмаком (рис. В.9, б), при цьому вагони стоять однією групою;

3) наявність групи вагонів довжиною $\sum l'_{\text{В.}j}$, яку огорожено таким гальмовим башмаком (рис. В.9, в), при цьому між вагонами групи є «вікна».

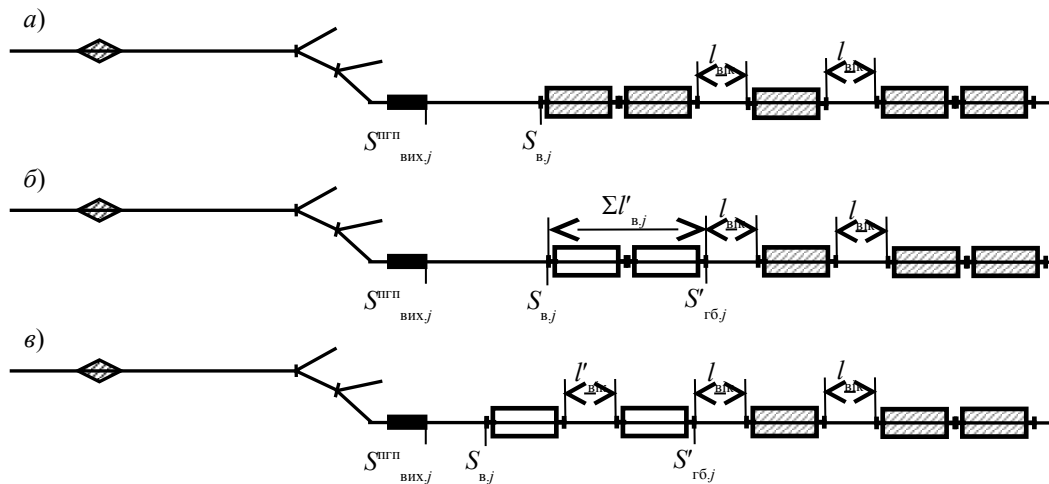


Рисунок В.9 – Положення вагонів на колії під час осаджування замикаючої групи

У випадках 2 і 3 перед початком ліквідації «вікон» тривалістю $t_{\text{ЛВ.}j}$ складач проходить відстань $l_{\text{прох}} = \sum l'_{\text{В.}j}$ і прибирає гальмовий башмак. Тривалість виконання цієї операції становить $t'_{\text{ПГБ}} = 24,6 + 0,6 \sum l'_{\text{В.}j}$.

У випадку 3 попередньо слід ліквідувати «вікна», що утворилися між вагонами групи, яку огорожено гальмовим башмаком з боку, протилежного гірці. Тривалість виконання $t'_{\text{ЛВ.}j}$ цієї операції розраховується за формулою (В.1) у разі $v = 3$ км/год [64] (з можливістю вибору ЛО іншого значення), $m = \bar{m} = (m_1 + m_{\text{ост}})/2$ і $l_{\text{п/р}} = l'_{\text{ЛВ.}j}$, яка визначається з виразу

$$l'_{\text{ЛВ.}j} = (S'_{\text{ГБ.}j} - S_{\text{В.}j}) - \sum l'_{\text{В.}j},$$

де $S'_{\text{ГБ.}j}$ – координата положення гальмового башмака, м.

Таким чином, у загальному випадку тривалість осаджування маневрового составу для ліквідації «вікон» визначається за формулою:

$$t_{\text{ПЛВ},j} = t'_{\text{ЛВ},j} + t'_{\text{ПГБ}} + t_{\text{ЛВ},j}. \quad (\text{В.34})$$

В.1.5.3 Відстань, яку проходить складач для відчеплення головного відчепа:

- у випадку відсутності «вікон» між вагонами $l_{\text{прох}} = l_{\text{ГВ}}$;
- у випадку наявності «вікон» між вагонами: 1) $l_{\text{прох}} = 0$, якщо $l_{\text{ГВ}} \leq l_{\text{ЛВ},j}$, 2) $l_{\text{прох}} = l_{\text{ГВ}} - l_{\text{ЛВ},j}$, якщо $l_{\text{ГВ}} > l_{\text{ЛВ},j}$;
- у випадку, якщо складач прибирає гальмовий башмак з боку, протилежного гірці: 1) $l_{\text{прох}} = 0$, якщо $l_{\text{ГВ}} + \sum l'_{\text{В},j} \leq l_{\text{ЛВ},j}$, 2) $l_{\text{прох}} = (l_{\text{ГВ}} + \sum l'_{\text{В},j}) - l_{\text{ЛВ},j}$, якщо $l_{\text{ГВ}} + \sum l'_{\text{В},j} > l_{\text{ЛВ},j}$.

В.1.5.4 Тривалість витягування $t_{\text{ВИТ}}$ маневрового составу на насувну частину гірки визначається за формулою (В.1) при $l_{\text{п/р}} = l_{\text{ВИТ}}$, яка визначається з виразу (В.31). Інші умови визначено у п. В.1.2.2.

В.1.6 Нормування операцій процесу направлення відчепа на сортувальну колію (варіант б)

В.1.6.1 Тривалість осаджування $t_{\text{ОС}}$ маневрового составу на колію СП до місця зупинки визначається за формулою (В.1) при $l_{\text{п/р}} = l_{\text{ОС}}$. Можливі під час виконання цієї операції випадки розглянуто у п. В.1.3.1.

В.1.6.2 Тривалість прибирання $t_{\text{ПГБ}}$ охоронних гальмових башмаків визначається за формулою (В.22). При цьому, якщо $S'_{\text{В},j} - (S_{\text{ВИХ},j}^{\text{ПГП}} + \Delta l_{\text{ГБ}}) < 25 \text{ м}$ (рис. В.6, в), то $n_{\text{ГБ}} = 1$, $l_{\text{прох}} = 0$.

Інші можливі випадки розглянуто у п. В.1.3.2.

В.1.6.3 Тривалість осаджування $t_{\text{ЗЛВ}}$ маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії, та ліквідації «вікон» визначається за формулою (В.33). Розрахунок значень $t_{\text{З}}$, $t'_{\text{ПГБ}}$ і $t_{\text{ЛВ},j}$ у разі ліквідації всіх «вікон» розглянуто у п. В.1.3.3.

В.1.6.4 Відстань, яку проходить складач для відчеплення головного відчепа встановлено у п. В.1.3.4.

В.1.6.5 Тривалість витягування $t_{\text{вит}}$ маневрового составу на насувну частину гірки визначається за формулою (В.1) при $l_{\text{п/р}} = l_{\text{вит}}$, яка визначається з виразу (В.31). Інші умови визначено у п. В.1.2.2.

В.1.7 Нормування операцій процесу осаджування групи прикриття для з'єднання з огороженою групою (табл. В.7)

Таблиця В.7 – Формалізація процесу осаджування групи прикриття для з'єднання з огороженою групою

№ п/п	Операція	Тривалість, с
1	Розпорядження чергового по сортувальній гірці про виконання осаджування тривалістю $t'_{\text{пер}}$ [80].	22,2
2	Заїзд маневрового локомотива на колію СП до місця розташування крайнього з боку гірки вагона групи прикриття та ліквідація «вікон» у цій групі тривалістю $t_{\text{зос.}}$.	Формула (В.1)
3	Прибирання охоронних гальмових башмаків тривалістю $t_{\text{пгб.}}$.	Формула (В.22)
4	Розпорядження машиністу маневрового локомотива на осаджування маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на сортувальній колії, тривалістю $t'_{\text{пер}}$ [80].	22,2
5	Осаджування маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на сортувальній колії, та ліквідації «вікон» тривалістю $t_{\text{злв.}}$.	формула (В.33)
6	Проходження складачем відстані $l_{\text{прох}}$ (м) до маневрового локомотива тривалістю $t_{\text{прох}}$ [80].	$t_{\text{прох}} = 0,6 l_{\text{прох}}$
7	Відчеплення маневрового локомотива тривалістю $t_{\text{вгв}}$ [80].	4,8
8	Доповідь черговому по сортувальній гірці про виконану роботу та його розпорядження щодо прямування на гірку тривалістю $t'_{\text{пер}}$ [80].	22,2
9	Прямування маневрового локомотива на гірку тривалістю $t_{\text{пр.}}$. Під час прямування складач у точці зустрічі з регулювальником швидкості руху вагонів передає йому гальмові башмаки на ходу.	формула (В.1)

В.1.7.1 Тривалість заїзду t'_3 маневрового локомотива до місця розташування на j -й сортувальній колії крайнього з боку гірки вагона групи прикриття визначається за формулою (В.1) при $m = 0$, $v = 25$ км/год (з можливістю вибору ЛО іншого значення) та $l_{\text{п/р}} = l_3$, яка визначається за формулою (В.25). У разі наявності «вікон» між вагонами групи прикриття виконується осаджування для їх ліквідації

тривалістю $t_{\text{лв.}j}''$ (див. п. В.1.3.1 випадок 2). Значення $t_{\text{зос}}$ розраховується за формулою (В.15), у якій замість $t_{\text{ос}}''$ використовується $t_{\text{з}}'$.

В.1.7.2 Тривалість прибирання $t_{\text{пгб}}$ охоронних гальмових башмаків визначається за формулою (В.22). Можливі випадки розглянуто у п. В.1.3.2 і В.1.6.2.

В.1.7.3 Тривалість осаджування $t_{\text{злв}}$ маневрового составу для з'єднання з вагонами, які стоять на j -й сортувальній колії, та ліквідації «вікон» визначається за формулою (В.33). Можливі під час виконання цієї операції випадки розглянуто у п. В.1.3.3.

В.1.7.4 Відстань, яку проходить складач до маневрового локомотива, встановлено у п. В.1.3.4. При цьому $l_{\text{гв}} = 0$.

В.1.7.5 Тривалість прямування $t_{\text{пр}}$ маневрового локомотива на гірку визначається за формулою (В.1) при $l_{\text{п/р}} = l_{\text{пр}}$, яка визначається з виразу (В.31). Інші умови визначено у п. В.1.7.1.

В.2 Приклад вихідних даних та результатів імітаційного моделювання процесу розформування составів

Приклад вихідних даних для імітаційного моделювання наведено у табл. В.8-В.15 та на рис. В.10.

Таблиця В.8 – Дані про елементи конструкції колії № 11

№ елементу	Ухил, ‰	Довжина, м	Характеристика плану
1.	-5	11,88	200
2.	-5	18,82	0
3.	0	0,88	0
4.	0	-6,25	0
5.	50	15,05	0
6.	50	5,26	200
7.	50	9,95	1
8.	30,3	7,56	1
9.	30,3	8,08	3

10.	30,3	7,56	1
11.	12	9,95	1
12.	12	0,50	0
13.	12	25,95	-1
14.	12	1,50	0
15.	12	1,50	200
16.	9,5	20,32	200
17.	9,5	17,51	1
18.	9,5	8,97	200
19.	7	1,50	200
20.	7	1,50	0
21.	7	25,95	-1
22.	7	7,50	0
23.	2,5	8,61	0
24.	2,5	17,51	1
25.	2,5	0,88	0
26.	2,5	3,49	200
27.	2,5	0,88	0
28.	2,5	17,51	1
29.	2,5	6,46	200
30.	2,5	17,51	1
31.	2,5	6,46	0
32.	2,5	17,51	1
33.	2,5	0,67	0
34.	2,5	37,61	150
35.	2	5,00	150
36.	2	16,10	-1 (180)
37.	2	5,00	150
38.	0,6	17,50	150
39.	0,6	846,40	0
40.	-2	100,00	0
41.	99	0	0

Примітки:

1. Ухил, що дорівнює 99, – кінець даних.

2. Характеристики плану: 0 – пряма ділянка; 1 – стрілочний перевід марки 1/6; 3 – глухе перетинання; R (200, 150) – радіус кругової кривої у плані; -1 – гальмова позиція.

3. Знак «-» у графі «Довжина» вказує положення фактичної вершини гірки.

Таблиця В.9 – Дані про ізольовані ділянки

№ ділянки	Координата початку ділянки	Довжина ділянки, м	Тип ділянки
1	21,3	11,38	0
2	69,66	13,48	1
3	114,17	11,38	0
4	172,39	13,48	1
5	203,98	11,38	0
6	227,94	11,38	0
7	251,91	11,38	0

Примітка. 1. Тип ділянки: 0 – ізольована ділянка стрілочного переводу, 1 – ізольована ділянка вагонного сповільнювача.

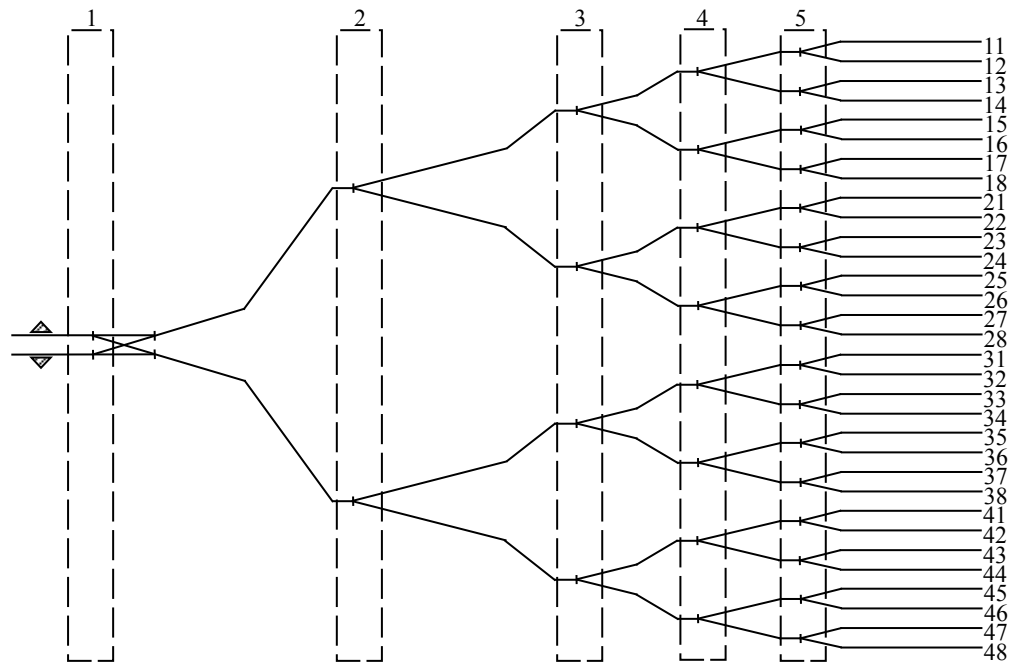


Рисунок В.10 – Стрілки розділення відчепів на спускній частини гірки

	41	42	43	44	45	46	47	48
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	X	5	4	4	3	3	3	3
	5	X	4	4	3	3	3	3
	4	4	X	5	3	3	3	3
	4	4	5	X	3	3	3	3
	3	3	3	3	X	5	4	4
	3	3	3	3	5	X	4	4
	3	3	3	3	4	4	X	5
	3	3	3	3	4	4	5	X

№ колії прямування другого відчепу	11	12	13	14	15	16	17	18	21	22	23	24	25	26	27	28	31	32	33	34	35	36	37	38
	X	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
11	X	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
12	5	X	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
13	4	4	X	5	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
14	4	4	5	X	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
15	3	3	3	3	X	5	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
16	3	3	3	3	5	X	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
17	3	3	3	3	4	4	X	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
18	3	3	3	3	4	4	5	X	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
21	2	2	2	2	2	2	2	2	X	5	4	4	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
22	2	2	2	2	2	2	2	2	5	X	4	4	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
23	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	X	5	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
24	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	5	X	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
25	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	X	5	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1
26	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	5	X	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1
27	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	X	5	1	1	1	1	1	1	1	1
28	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	5	X	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	5	4	4	3	3	3	3
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	X	4	4	3	3	3
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	X	5	3	3	3
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	5	X	3	3	3
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	X	5	4
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	5	X	4
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	4	4	X
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	4	4	5
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2

Таблиця В.11 – Параметри роботи гальмових позицій

Показник	Значення
Середня гальмова потужність І ГП, м. ен. в.	2,40
Середня гальмова потужність ІІ ГП, м. ен. в.	2,40
Середня гальмова потужність ІІІ ГП, м. ен. в.	1,05
Коефіцієнт варіації гальмової потужності І ГП	0,20
Коефіцієнт варіації гальмової потужності ІІ ГП	0,20
Коефіцієнт варіації гальмової потужності ІІІ ГП	0,20
Середньоквадратична помилка розрахунку та реалізації швидкостей виходу (м/с) для І ГП	0,40

	II ГП	0,40
	III ГП	0,40
Швидкість прицілювання, м/с		1,40

Таблиця В.12 – Частоти появи вагонів різного типу

Тип вагона	Частота появи	Тип вагона	Частота появи
криті	0,25	піввагони	0,47
платформи	0,10	інші	0,05
цистерни	0,13		

Таблиця В.13 – Частоти появи відчепів з різною кількістю вагонів

Кількість вагонів у відчепі	Частота появи	Кількість вагонів у відчепі	Частота появи
1	0,64	4	0,03
2	0,18	5 і більше	0,09
3	0,06		

Таблиця В.14 – Частоти появи вагонів різної вагової категорії

Діапазон ваги вагонів, тс	Частота появи
до 28	0,32
28–44	0,09
44–60	0,04
60–72	0,07
більш 72	0,48

Таблиця В.15 – Частота надходження відчепів на сортувальні колії

№ сортувальної колії	Частота надходження	№ сортувальної колії	Частота надходження
1	2	3	4
11	0,05	31	0,04
12	0,01	32	0,04
13	0,01	33	0,01
14	0,01	34	0,03
15	0,03	35	0,02
16	0,02	36	0,05
17	0,05	37	0,02
18	0,03	38	0,03
21	0,03	41	0,04
22	0,02	42	0,05

Продовження таблиці В.15

1	2	3	4
23	0,03	43	0,04
24	0,01	44	0,03
25	0,04	45	0,03
26	0,06	46	0,03
27	0,06	47	0,05
28	0,01	48	0,02

Приклад результатів імітаційного моделювання наведено у табл. В.16.

Таблиця В.16 – Результати моделювання розпуску

Показник	Значення
Кількість составів, що розформовується	1000
відчепів	30310
вагонів	53460
Кількість составів, що формується	995
Середня швидкість розпуску, м/с	1,7
Частота нагонів на один перероблений вагон	0,0005
Середня робота з гальмування відчепів, м ен. в.: загальна	2,03
на I гальмовій позиції	0,61
на II гальмовій позиції	1,00
на парковій гальмовій позиції	0,42
Частота випадків зіткнення відчепів, у тому числі:	0,89
зі швидкістю більш 5 км/год	0,53
зі швидкістю більш 7 км/год	0,00
зі швидкістю більш 9 км/год	0,00
Середня швидкість зіткнення, м/с	1,4
Середньоквадратичне відхилення швидкості зіткнення, м/с	0,28
Частота виникнення «вікон»	0,11
Середня довжина «вікна», м	173,4
Середньоквадратичне відхилення довжини «вікна», м	158,6
Частота виникнення проштовхування	0,51
Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон, м/вагон	6,44
Кількість операцій осаджування на один перероблений вагон, операцій/вагон	0,0157
Рівень заповнення сортувальних колій, %	69,9
Кількість вагонів ЗСГ: всього	648
у т. ч на один розформований состав	0,65
Загальна тривалість виконання додаткової маневрової роботи, що пов'язана з вагонами ЗСГ, хв	1268,2

В.3 Вибірки випадкових величин швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, та довжини «вікон», що утворюються між ними

Дані вибірки щодо швидкості підходу відчепів наведено у табл. В.17 і В.18, щодо довжини «вікон» – у табл. В.19 і В.20.

Таблиця В.17 – Швидкість підходу відчепів за натурними спостереженнями

V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с
0,52	1,00	1,16	1,34	1,56	1,59	1,68	1,95	2,23	2,50
0,81	1,06	1,35	1,37	1,52	1,69	1,45	1,74	2,04	2,46
0,75	0,89	1,18	1,15	1,44	1,48	1,52	1,93	2,10	2,39
0,73	1,00	1,16	1,38	1,53	1,62	1,67	1,97	2,18	2,46
0,72	0,84	1,4	1,33	1,65	1,66	1,98	1,77	2,07	2,46
0,64	1,02	1,33	1,17	1,52	1,70	1,92	1,82	2,12	2,49
0,84	0,98	1,38	1,39	1,53	1,45	1,88	1,73	2,05	2,52
1,01	0,84	1,25	1,39	1,45	1,63	1,96	1,91	2,11	2,38
1,03	0,86	1,16	1,31	1,46	1,47	1,90	1,93	2,07	2,46
0,88	1,03	1,2	1,19	1,71	1,64	1,75	1,86	2,31	2,36
0,99	0,93	1,34	1,57	1,57	1,56	1,98	1,94	2,22	2,91
1,05	1,33	1,25	1,62	1,51	1,49	1,93	1,80	2,19	2,7
0,91	1,19	1,24	1,57	1,64	1,53	1,94	1,85	2,24	2,89
1,08	1,28	1,36	1,62	1,43	1,66	1,88	2,20	2,21	2,64
0,85	1,18	1,34	1,44	1,63	1,45	1,79	2,14	2,13	2,79

Таблиця В.18 – Швидкість підходу відчепів за результатами моделювання

V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с	V_3 , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,23	0,93	1,21	1,11	1,58	1,58	1,94	1,93	2,24	2,55
0,21	0,90	1,31	1,21	1,48	1,38	1,95	1,92	2,09	2,45
0,22	1,00	1,26	1,08	1,67	1,62	1,75	1,71	2,09	2,56
0,37	1,02	1,16	1,31	1,55	1,65	1,81	1,82	2,17	2,37
0,68	0,99	1,07	1,21	1,61	1,67	1,79	1,9	2,31	2,43
0,46	1,00	1,16	1,3	1,47	1,51	1,73	1,75	2,31	2,63
0,46	0,93	1,21	1,07	1,56	1,67	1,83	1,95	2,31	2,48
0,44	0,89	1,13	1,11	1,67	1,41	1,70	1,77	2,21	2,44
0,58	0,97	1,32	1,23	1,56	1,39	1,71	2,09	2,15	2,46
0,71	0,87	1,34	1,33	1,45	1,4	1,73	2,15	2,11	2,38
0,57	0,81	1,08	1,07	1,65	1,5	1,82	2,30	2,12	2,57
0,44	0,76	1,26	1,24	1,49	1,4	1,89	2,15	2,3	2,49
0,68	1,01	1,24	1,65	1,53	1,55	2,00	2,28	2,14	2,63
0,49	0,75	1,13	1,63	1,68	1,47	1,83	2,09	2,02	2,51
0,65	0,90	1,21	1,47	1,60	1,56	1,91	2,09	2,06	2,41
0,43	0,82	1,18	1,57	1,63	1,52	1,85	2,18	2,15	2,61
0,87	0,93	1,24	1,67	1,43	1,72	1,74	2,18	2,15	2,42
0,91	0,81	1,31	1,64	1,52	1,71	1,99	2,11	2,12	2,45
0,84	1,02	1,34	1,45	1,42	2,00	1,97	2,14	2,06	2,54

Продовження таблиці В.18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,82	1,32	1,25	1,40	1,5	1,81	1,86	2,31	2,22	2,41
0,95	1,33	1,31	1,50	1,44	1,83	1,87	2,23	2,27	2,35
0,84	1,08	1,21	1,41	1,66	1,73	1,70	2,04	2,18	2,35
0,93	1,18	1,21	1,53	1,68	1,78	1,73	2,25	2,16	2,87
0,95	1,26	1,24	1,40	1,62	1,83	1,93	2,31	2,07	2,71
0,99	1,11	1,09	1,38	1,67	2,00	1,87	2,2	2,17	2,72
0,92	1,28	1,25	1,55	1,43	1,97	1,92	2,07	2,21	2,85
0,82	1,24	1,31	1,6	1,56	1,81	1,96	2,25	2,09	2,92
0,90	1,10	1,23	1,43	1,66	1,99	1,88	2,22	2,38	2,78
0,95	1,30	1,16	1,65	1,41	1,81	1,97	2,18	2,46	2,82
0,84	1,35	1,31	1,68	1,63	1,97	2,00	2,21	2,49	2,86

Таблиця В.19 – Довжина «вікон» між відчепами $L_{\text{Вік}}$ за натурними спостереженнями

$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$
36,4	102,2	196,7	47,5	32,6	94,5	21,1	98,3	21,4	12,7
100,1	105,8	223,7	46,3	49,9	306,2	111,3	29,5	74,3	197,8
6,5	278,7	88,1	78,9	29,9	178,0	85,3	12,9	151,0	30,0
173,9	468,7	42,9	213,2	1,3	123,9	188,2	118,3	558,7	238,2
200,1	40,2	616,4	216,3	49,2	34,6	18,2	60,7	46,8	123,1
46,1	271,9	87,2	9,2	113,4	0,3	179,2	291,9	60,6	101,5
304,1	182,8	36,4	29,1	46,4	1,2	34,0	9,6	399,9	79,2
31,9	96,7	139,5	41,4	142,2	28,1	50,0	28,8	274,5	60,4
116,3	36,8	96,8	93,2	19,6	125,2	238,6	114,2	262,4	27,5
4,7	7,3	17,4	106,6	12,0	153,9	169,6	98,0	616,4	81,7
259,2	66,1	2,6	122,3	79,4	28,9	288,6	75,3	30,9	102,9
41,7	13,8	96,3	80,9	116,3	341,5	27,7	229,0	14,3	11,6
92,0	132,5	81,4	67,7	96,1	226,6	34,9	24,2	88,3	220,4
125,2	99,4	154,1	640,3	6,8	81,8	65,9	2,2	46,7	76,3
111,3	12,0	153,0	0,0	32,7	301,5	38,2	255,6	5,6	15,7

Таблиця В.20 – Довжина «вікон» між відчепами $L_{\text{Вік}}$ за результатами моделювання

$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$	$L_{\text{Вік}}, \text{м}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
408,5	45,8	4,6	272,9	16,8	2,5	198,9	67,8	59,8	234,8
81,3	56,9	20,7	105,4	95,7	7,2	8,3	66,4	153,6	23,8
75,4	56,5	66,1	88,2	42,4	45,1	295,6	14,9	40,2	142
68,0	13,9	166,2	119,2	62,0	2,5	48,0	26,1	111,6	49,9
39,1	89,1	227,2	147,1	108,0	215,4	42,0	37,8	50,3	127,1
8,4	141,2	13,7	68,9	54,8	27,2	150,6	131,7	8,6	397,2
203,9	67,2	1,5	75,6	39,2	89,3	82,5	39,0	2,6	18,8
8,0	108,1	57,8	2,4	193,2	53,4	202,2	12,0	53,0	312,5
7,7	83,9	41,8	71,5	211,5	21,9	65,0	89,2	176,8	76,3
0,8	54,7	109,7	28,6	213,1	29,3	27,0	149,9	14,5	599,2
334,4	43,1	52,5	106,2	214,4	215,2	7,2	24,2	107,6	12,4
30,6	2,9	522,3	191,5	148,0	114,7	6,5	45,5	39,1	197,5
14,4	98,6	63,9	6,1	19,9	272,9	141,8	52,5	132,8	150,4
25,1	89,1	34,6	176,9	96,6	98,6	30,1	19,6	220,0	102,3
162,7	68,7	289,3	32,3	80,2	35,6	16,7	102,4	42,5	84,0

Продовження таблиці В.20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
109,7	61,9	33,0	5,1	3,9	109,7	7,8	217,3	438,3	81,4
124,4	310,5	56,3	39,4	353,3	315,2	308,9	0,0	209,7	88,7
3,6	98,9	27,7	96,6	47,3	164,9	4,3	201,9	16,8	76,7
114,1	27,4	190,4	5,1	47,4	218,7	292,3	93,7	130,4	44,6
146,1	215,0	19,1	99,0	68,8	5,9	50,4	95,3	335,6	297,0
179,9	43,9	194,2	43,5	6,8	117,6	74,7	12,4	61,7	159,4
17,5	191,2	136,6	19,2	64,8	109,9	56,0	73,3	375,4	109,9
210,5	89,1	146,5	614,3	91,9	152,8	8,2	25,4	50,5	600,7
85,1	14,2	121,3	86,9	12,9	99,4	13,7	73,5	14,8	83,6
0,2	24,3	21,3	29,9	45,4	27,8	45,3	19,4	116,1	26,5
94,9	436,5	75,2	17,7	82,9	43,2	198,1	52,1	382,5	176,7
131,9	117,3	53,1	122,6	40,2	37,1	212,5	12,7	45,1	38,3
119,1	153,4	41,7	16,0	180,6	488,8	240,0	71,6	339,7	5,9
165,4	68,1	109,6	82,0	11,5	39,0	21,8	36,9	2,7	193,6
100,8	48,6	150,7	74,6	25,8	34,5	17,4	121,5	32,2	84,5

В.4 Параметри сортувальної гірки великої потужності

Висота СГ, яка розрахована згідно вимог [124] на ПЕОМ з використанням програми «ГІРКА», становить 3,78 м. Розрахунок та проектування поздовжнього профілю СГ (рис. В.11) згідно вимог [124] виконано на ПЕОМ з використанням програми «ГІРКА».

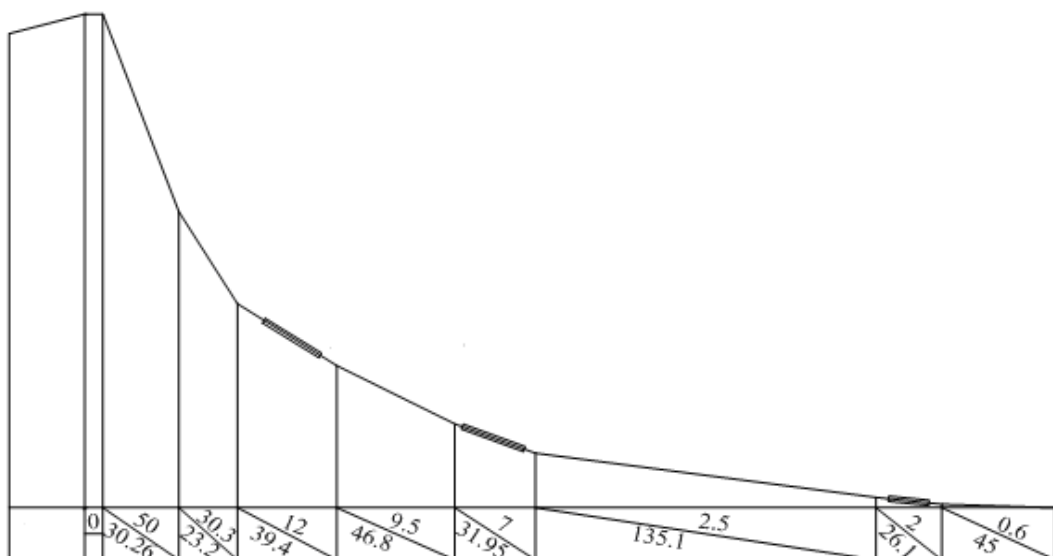


Рисунок В.11 – Поздовжній профіль сортувальної гірки

Фактична профільна висота швидкісної ділянки гірки ($h_{\text{факт}}$) складає 2,342 м, максимальна (h_{max}) – 2,342 м. Отже, виконується умова $h_{\text{факт}} \leq h_{\text{max}}$.

Згідно вимог [124] конструкція та технічне оснащення СГ повинні забезпечувати безперервне, безперебійне та безпечне розформування составів при дотриманні всіх технічних і технологічних вимог зі швидкістю розпуску не менше 1,7 м/с. Можливість реалізації встановленої швидкості розпуску перевірено за наявністю достатніх інтервалів на всіх розділових елементах спускної частини гірки між бігунами, що послідовно скочуються в розрахунковому сполученні ДПБ – ДХБ – ДПБ [124].

Сумарна наявна потужність гальмових засобів у межах спускної частини СГ великої потужності за маршрутом скочування відцепів згідно вимог [124] забезпечує за сприятливих умов скочування зупинку чотирьохвісного вагона вагою 100 тс і опором 0,5 кгс/тс на пучковій ГП. При цьому гальмування вагона на першій ГП передбачено до рівня, який визначається за умовами оптимізації розрахункової швидкості розпуску (1,2 м ен. в.).

Додаток Г

Параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів

Параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів, які отримані за результатами імітаційного моделювання роботи СГ у разі різної вагової категорії вагонів у потоці, що підлягає переробці, наведені у табл. Г.1-Г.3.

Таблиця Г.1 – Середня швидкість підходу відчепів до вагонів на коліях СП, м/с

Варіант	Похибка гальмування σ_v , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	1,37	1,38	1,40	1,41	1,47	1,54	1,61	1,63	1,72	1,75
2	1,37	1,38	1,40	1,41	1,47	1,53	1,61	1,63	1,71	1,74
3	1,37	1,38	1,39	1,41	1,47	1,51	1,61	1,63	1,71	1,74
4	1,36	1,37	1,39	1,41	1,45	1,50	1,56	1,60	1,65	1,72
5	1,34	1,36	1,39	1,39	1,45	1,50	1,56	1,60	1,65	1,71
6	1,34	1,35	1,36	1,37	1,45	1,47	1,55	1,60	1,65	1,71
7	1,34	1,35	1,36	1,37	1,43	1,46	1,53	1,59	1,65	1,69
8	1,34	1,34	1,36	1,36	1,42	1,46	1,53	1,58	1,65	1,68

Таблиця Г.2 – Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон, м/ваг

Варіант	Похибка гальмування σ_v , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	6,44	6,60	7,57	8,92	10,38	13,44	17,55	19,32	21,76	24,93
2	8,72	8,89	9,15	10,41	13,18	14,81	18,00	21,80	24,38	27,06
3	10,00	11,14	11,52	13,10	14,28	16,92	19,44	22,73	24,62	28,12
4	11,91	13,07	13,40	14,36	16,93	19,52	21,55	22,76	25,9	30,44
5	13,49	13,96	14,14	16,75	17,03	20,66	22,84	24,25	28,4	30,98
6	13,54	15,32	16,09	17,09	18,25	21,80	23,21	24,48	28,53	31,07
7	15,72	15,75	16,77	18,21	19,05	22,71	24,62	26,46	29,55	33,33
8	16,21	16,53	17,45	19,22	21,68	22,72	25,51	28,44	31,17	33,69

Таблиця Г.3 – Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон

Варіант	Похибка гальмування σ_v , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0,0155	0,0157	0,0175	0,0192	0,0224	0,0284	0,0364	0,0410	0,0448	0,0485
2	0,0201	0,0203	0,0205	0,0222	0,0292	0,0325	0,0372	0,0450	0,0493	0,0547
3	0,0224	0,0246	0,0252	0,0278	0,0308	0,0349	0,0398	0,0454	0,0497	0,0548
4	0,0267	0,0270	0,0271	0,0291	0,0336	0,0394	0,0430	0,0469	0,0546	0,0601
5	0,0283	0,0306	0,0308	0,0344	0,0353	0,0413	0,0442	0,0495	0,0551	0,0605
6	0,0286	0,0325	0,0333	0,0346	0,0364	0,0430	0,0463	0,0497	0,0573	0,0608
7	0,0336	0,0350	0,0353	0,0372	0,0394	0,0458	0,0490	0,0509	0,0574	0,0636
8	0,0348	0,0352	0,0368	0,0390	0,0432	0,0466	0,0504	0,0546	0,0606	0,0658

На підставі отриманих даних побудовані графіки залежності параметрів якості прицільного регулювання від похибки гальмування відчепів (рис. Г.1-Г.3).

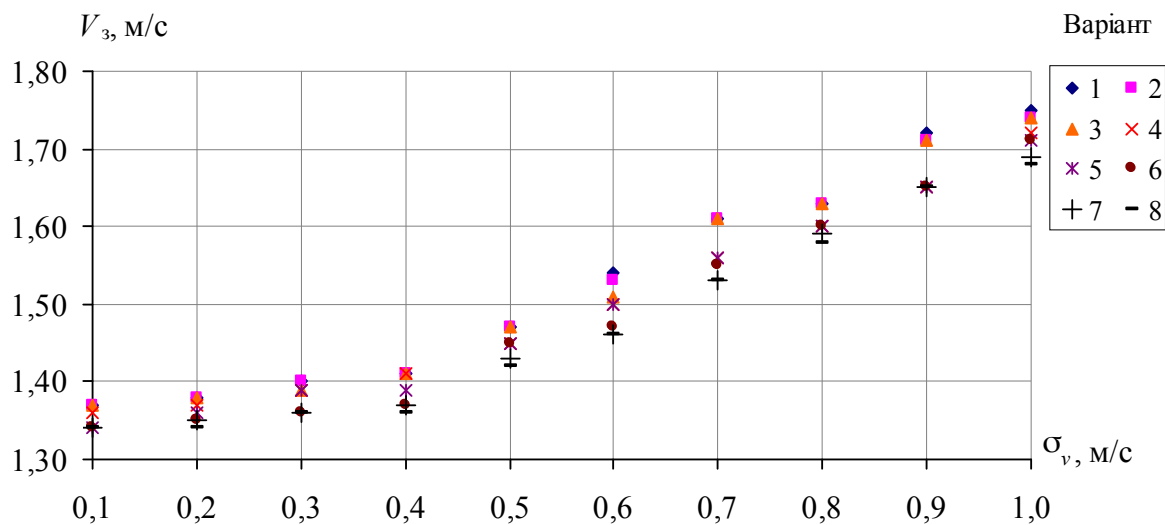


Рисунок Г.1 – Середня швидкість підходу відчепів до вагонів на коліях СП

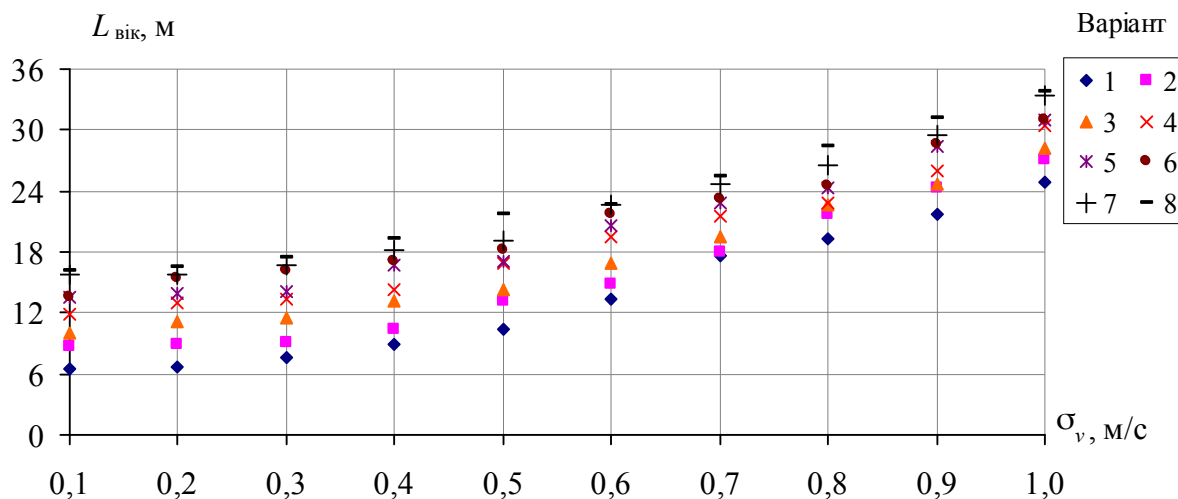


Рисунок Г.2 – Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон

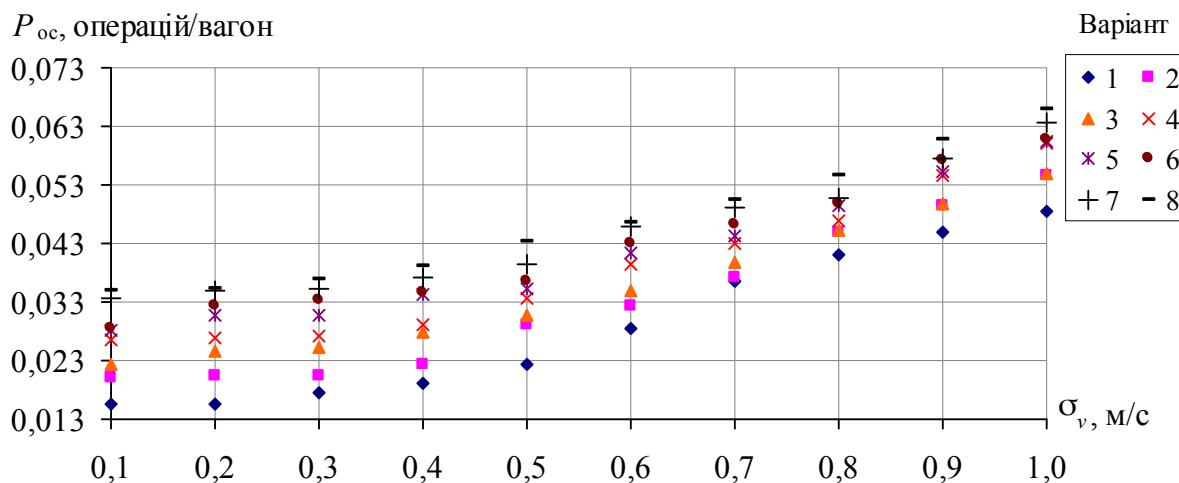


Рисунок Г.3 – Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон

Параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів, які отримані за результатами імітаційного моделювання роботи СГ у разі різної кількості вагонів у відчепі, наведені у табл. Г.4-Г.6.

Таблиця Г.4 – Середня швидкість підходу відчепів до вагонів на коліях СП, м/с

Варіант	Похибка гальмування σ_v , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	1,36	1,38	1,39	1,39	1,45	1,52	1,61	1,64	1,69	1,73
2	1,36	1,38	1,39	1,39	1,45	1,52	1,59	1,62	1,65	1,72
3	1,36	1,38	1,39	1,39	1,45	1,52	1,58	1,62	1,65	1,72
4	1,36	1,37	1,38	1,39	1,44	1,48	1,58	1,61	1,65	1,70
5	1,36	1,37	1,38	1,39	1,44	1,48	1,58	1,60	1,65	1,70
6	1,35	1,36	1,38	1,39	1,44	1,48	1,57	1,59	1,65	1,68
7	1,35	1,36	1,38	1,39	1,42	1,48	1,54	1,59	1,64	1,68
8	1,35	1,36	1,36	1,36	1,42	1,48	1,54	1,57	1,62	1,67

Таблиця Г.5 – Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон, м/ваг

Варіант	Похибка гальмування σ_v , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	12,65	13,03	14,83	15,42	17,26	20,85	22,8	25,86	28,97	34,51
2	11,36	11,47	12,88	13,66	14,62	17,94	19,54	23,00	25,83	27,71
3	10,09	10,8	10,76	11,68	13,00	15,21	17,20	19,95	22,69	26,77
4	9,22	9,60	10,51	10,58	11,56	13,04	15,45	17,33	19,61	21,16
5	8,22	8,44	9,17	9,37	11,10	12,09	14,30	15,45	18,31	19,02
6	7,44	7,85	8,36	8,54	10,06	11,23	13,18	14,78	16,20	18,89
7	6,46	6,93	7,07	7,83	9,47	10,08	10,81	12,79	14,33	15,40
8	6,33	6,60	6,86	7,83	8,16	9,16	10,34	11,71	13,63	15,15

Таблиця Г.6 – Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон

Варіант	Похибка гальмування σ_v , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0,0277	0,0284	0,0309	0,0309	0,036	0,0405	0,0459	0,0527	0,0570	0,0642
2	0,0258	0,0258	0,0282	0,0293	0,0304	0,0372	0,0400	0,0466	0,0514	0,0561
3	0,0226	0,0244	0,0249	0,0265	0,0278	0,0324	0,0363	0,0417	0,0455	0,0541
4	0,0208	0,0218	0,0223	0,0240	0,0262	0,0283	0,0337	0,0361	0,0400	0,0428
5	0,0197	0,0197	0,0215	0,0215	0,0251	0,0260	0,0309	0,0343	0,0376	0,0403
6	0,0178	0,0186	0,0193	0,0199	0,023	0,0260	0,0293	0,0311	0,0329	0,0396
7	0,0165	0,0167	0,0169	0,0197	0,0204	0,024	0,0250	0,0279	0,0311	0,0346
8	0,0141	0,0152	0,0163	0,0196	0,0200	0,0208	0,0247	0,0273	0,0310	0,0319

На підставі отриманих даних побудовані графіки залежності параметрів якості прицільного регулювання від похибки гальмування відчепів (рис. Г.4-Г.6).

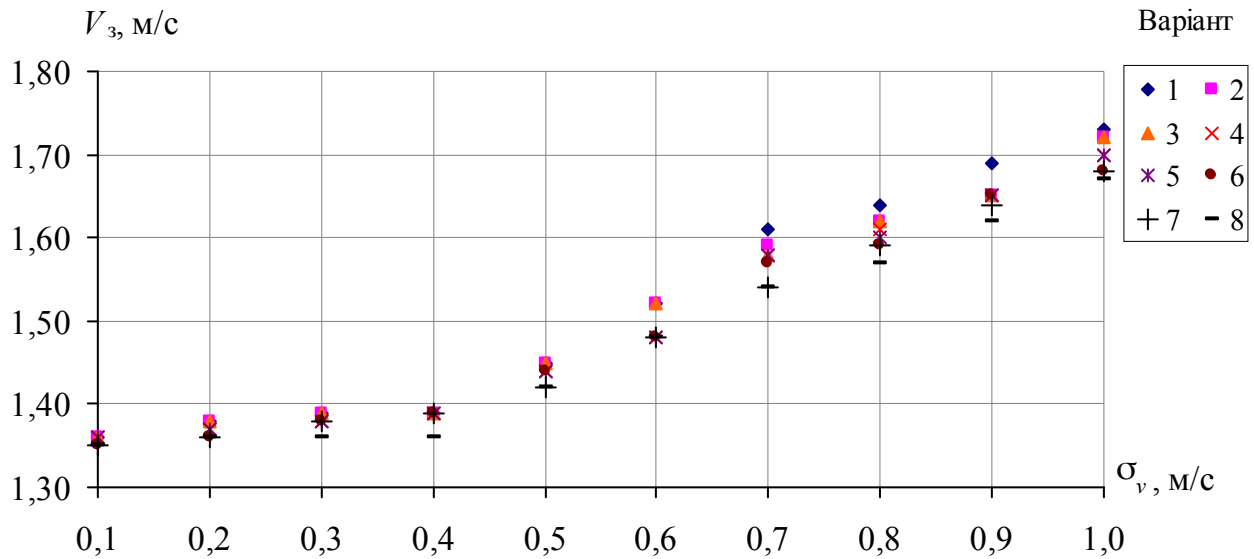


Рисунок Г.4 – Середня швидкість підходу відцепів до вагонів на коліях СП

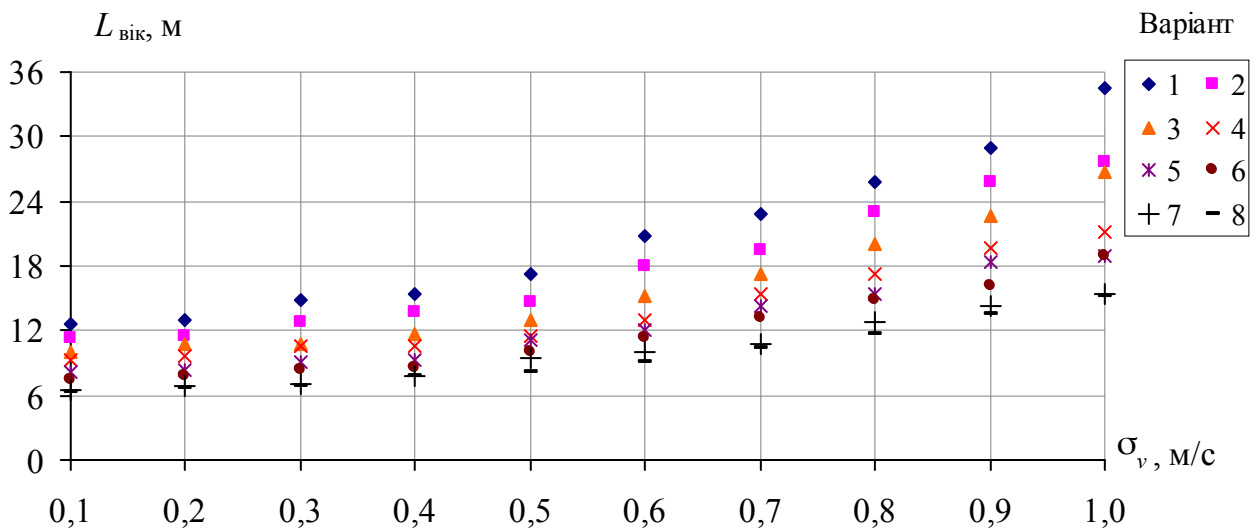


Рисунок Г.5 – Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон

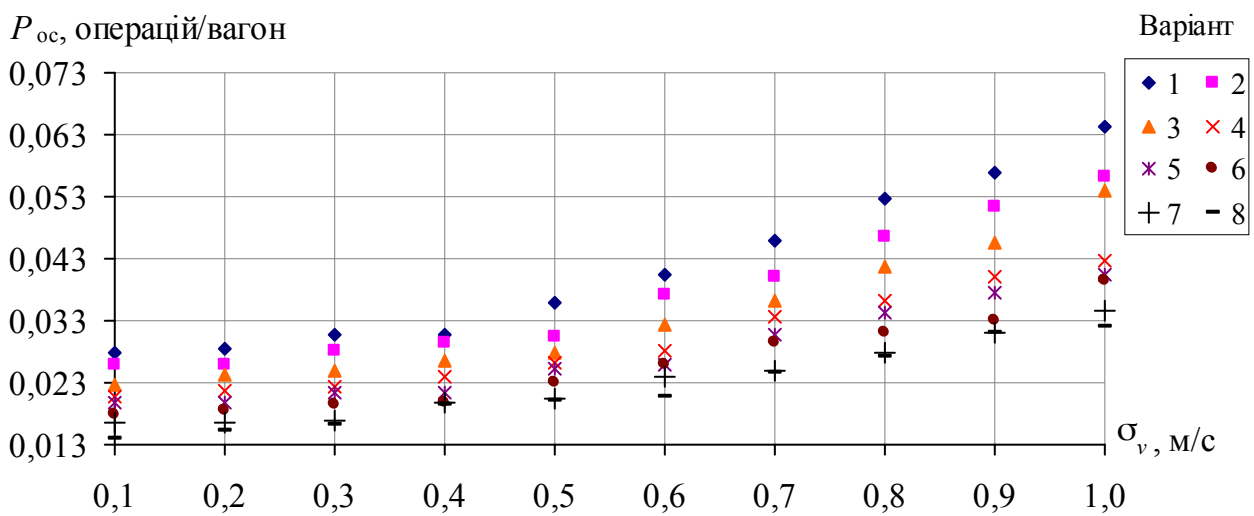


Рисунок Г.6 – Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон

Параметри якості прицільного регулювання швидкості відчепів, які отримані за результатами імітаційного моделювання роботи СГ у разі різного ухилу сортувальних колій, наведені у табл. Г.7-Г.9.

Таблиця Г.7 – Середня швидкість підходу відчепів до вагонів на коліях СП, м/с

Ухил, ‰	Похибка гальмування σ_v , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,6	1,39	1,39	1,41	1,41	1,47	1,48	1,54	1,63	1,66	1,71
0,8	1,41	1,41	1,42	1,42	1,47	1,48	1,55	1,63	1,67	1,71
1,0	1,41	1,42	1,42	1,43	1,47	1,57	1,57	1,63	1,67	1,73
1,2	1,42	1,42	1,42	1,43	1,47	1,57	1,58	1,64	1,67	1,73
1,4	1,42	1,42	1,44	1,45	1,47	1,57	1,59	1,65	1,67	1,74
1,6	1,46	1,46	1,46	1,46	1,52	1,57	1,62	1,66	1,73	1,78
1,8	1,51	1,53	1,53	1,56	1,59	1,65	1,66	1,73	1,81	1,83
2,0	1,64	1,64	1,64	1,67	1,73	1,75	1,81	1,88	1,89	1,96

Таблиця Г.8 – Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон, м/ваг

Ухил, ‰	Похибка гальмування σ_v , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,6	11,98	12,29	12,90	14,40	16,35	18,92	22,09	25,85	30,95	35,48
0,8	10,45	11,06	11,91	13,27	14,94	17,61	21,31	25,75	30,21	35,16
1,0	10,24	10,61	10,83	12,41	14,66	17,27	20,85	25,07	29,95	33,89
1,2	9,21	9,21	10,68	11,98	14,34	16,99	19,43	22,23	25,41	28,97
1,4	8,54	8,89	9,35	10,79	13,20	15,87	18,61	21,55	24,61	27,78
1,6	7,49	8,40	8,87	10,17	12,86	15,56	17,96	20,69	23,23	26,09
1,8	6,34	7,47	7,80	9,16	11,93	14,75	16,82	19,34	21,24	23,81
2,0	5,78	7,00	7,32	8,55	11,60	14,33	16,27	18,39	19,86	21,93

Таблиця Г.9 – Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон

Ухил, ‰	Похибка гальмування σ_v , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,6	0,0256	0,0262	0,0273	0,0300	0,0335	0,0381	0,0439	0,0507	0,0599	0,0680
0,8	0,0229	0,0240	0,0255	0,0280	0,0310	0,0358	0,0425	0,0505	0,0585	0,0675
1,0	0,0225	0,0232	0,0235	0,0264	0,0305	0,0352	0,0416	0,0492	0,0581	0,0652
1,2	0,0206	0,0206	0,0233	0,0256	0,0299	0,0347	0,0391	0,0441	0,0499	0,0563
1,4	0,0194	0,0200	0,0209	0,0235	0,0278	0,0326	0,0376	0,0429	0,0484	0,0541
1,6	0,0175	0,0192	0,0200	0,0224	0,0272	0,0321	0,0364	0,0413	0,0459	0,0511
1,8	0,0154	0,0175	0,0181	0,0205	0,0255	0,0306	0,0344	0,0389	0,0423	0,047
2,0	0,0144	0,0166	0,0172	0,0194	0,0249	0,0299	0,0334	0,0372	0,0398	0,0436

На підставі отриманих даних побудовані графіки залежності параметрів якості прицільного регулювання від похибки гальмування відчепів (рис. Г.7-Г.9).

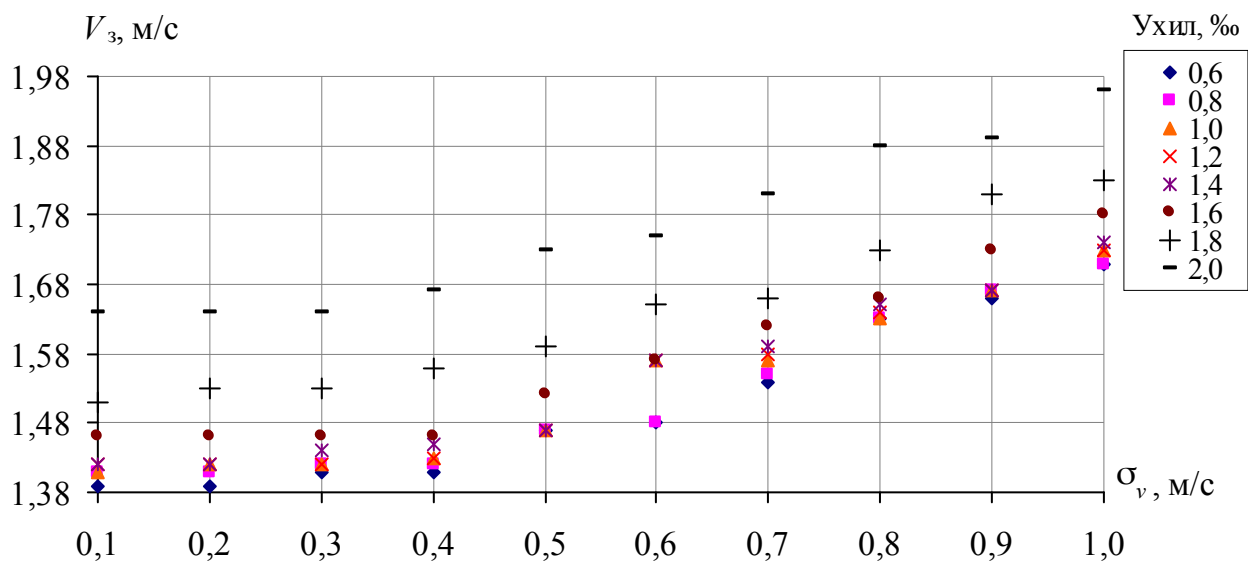


Рисунок Г.7 – Середня швидкість підходу відцепів до вагонів на коліях СП

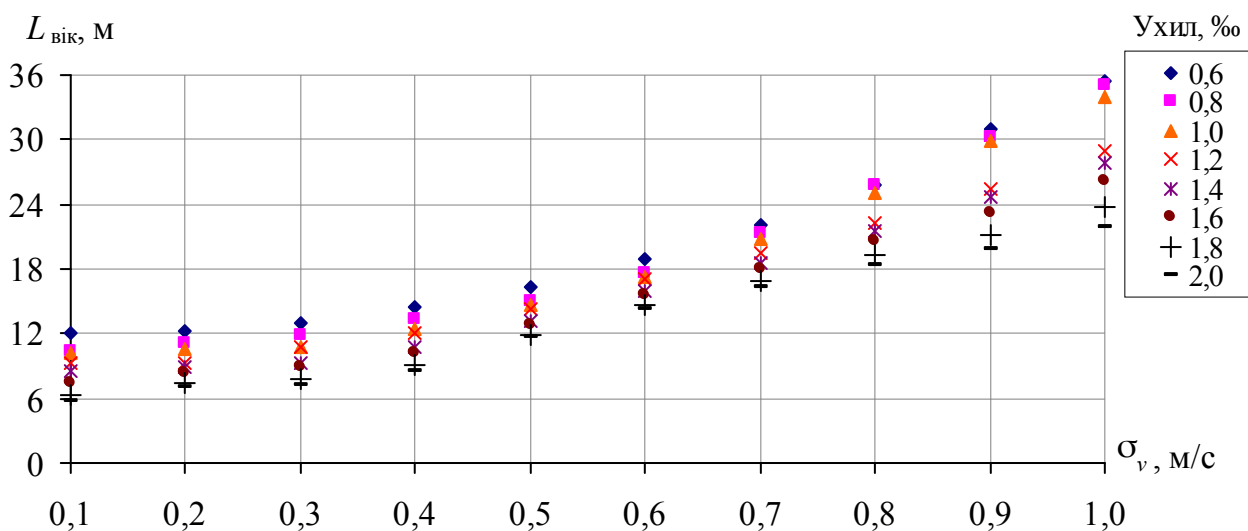


Рисунок Г.8 – Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон

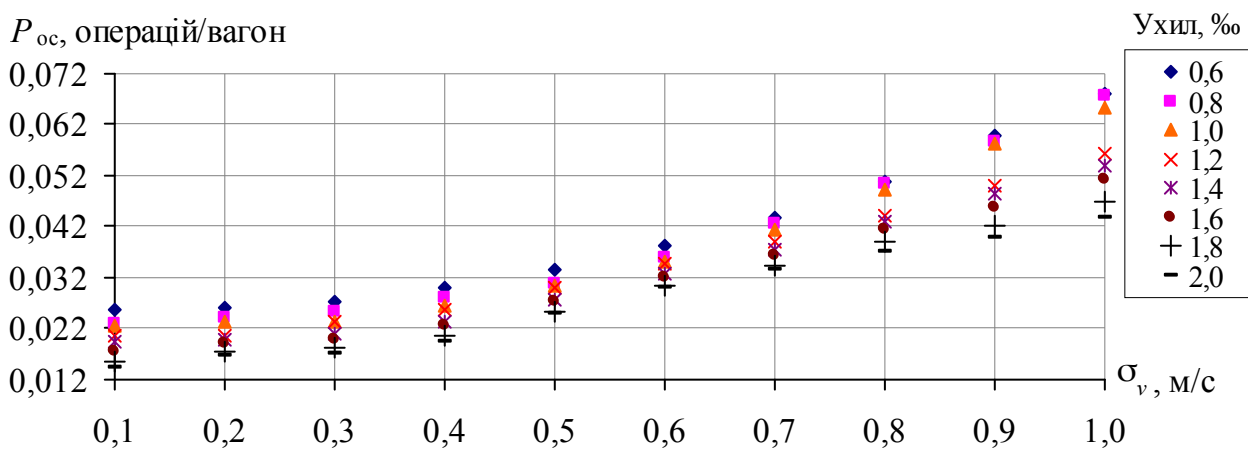


Рисунок Г.9 – Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон

Додаток Д

Дані для перевірки адекватності регресійних моделей

Д.1 Регресійні моделі, які розглянуто у дисертаційній роботі

Під час досліджень розглянуто 40 типів однофакторних моделей:

1. $\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2$.
2. $\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v$.
3. $\hat{y} = b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v} + \frac{b_2}{\sigma_v^2}$.
4. $\hat{y} = b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v}$.
5. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2}$.
6. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1\sigma_v}$.
7. $\hat{y} = e^{b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2}$.
8. $\hat{y} = e^{b_0 + b_1\sigma_v}$.
9. $\hat{y} = \frac{1}{1 - e^{b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2}}$.
10. $\hat{y} = \frac{1}{1 - e^{b_0 + b_1\sigma_v}}$.
11. $\hat{y} = b_0 + b_1e^{-\sigma_v} + b_2e^{-\sigma_v^2}$.
12. $\hat{y} = b_0 + b_1e^{-\sigma_v}$.
13. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1e^{-\sigma_v} + b_2e^{-\sigma_v^2}}$.
14. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1e^{-\sigma_v}}$.
15. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1e^{\sigma_v} + b_2e^{\sigma_v^2}}$.
16. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1e^{\sigma_v}}$.
17. $\hat{y} = b_0 + b_1e^{\sigma_v} + b_2e^{\sigma_v^2}$.
18. $\hat{y} = b_0 + b_1e^{\sigma_v}$.
19. $\hat{y} = \frac{1}{\ln(b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2)}$.
20. $\hat{y} = \frac{1}{\ln(b_0 + b_1\sigma_v)}$.
21. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v} + \frac{b_2}{\sigma_v^2}}$.
22. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v}}$.
23. $\hat{y} = b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(\sigma_v^2)$.
24. $\hat{y} = b_0 + b_1 \ln(\sigma_v)$.
25. $\hat{y} = \frac{\sigma_v}{b_0 + b_1\sigma_v + b_2\sigma_v^2}$.
26. $\hat{y} = \frac{\sigma_v}{b_0 + b_1\sigma_v}$.
27. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1\sigma_v^{0,5} + b_2\sigma_v}$.
28. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1\sigma_v^{0,5}}$.
29. $\hat{y} = b_0 e^{\frac{b_1}{\sigma_v}} e^{\frac{b_2}{\sigma_v^2}}$.
30. $\hat{y} = b_0 e^{\frac{b_1}{\sigma_v}}$.
31. $\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v^{0,5} + b_2\sigma_v$.
32. $\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v^{0,5}$.
33. $\hat{y} = e^{b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(\sigma_v^2)}$.
34. $\hat{y} = e^{b_0 + b_1 \ln(\sigma_v)}$.
35. $\hat{y} = b_0 + b_1\sigma_v^2$.

$$36. \hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^3. \quad 37. \hat{y} = b_0(1 + \sigma_v)^{b_1}. \quad 38. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(\sigma_v^2)}.$$

$$39. \hat{y} = \ln \left(b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v} + \frac{b_2}{\sigma_v^2} \right). \quad 40. \hat{y} = \ln(b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 \sigma_v^2).$$

Під час досліджень розглянуто 58 типів двофакторних моделей:

$$1. \hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i + b_{11} \sigma_v^2 + b_{22} i^2. \quad 2. \hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i.$$

$$3. \hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i. \quad 4. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i + b_{11} \sigma_v^2 + b_{22} i^2}.$$

$$5. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i}. \quad 6. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i}.$$

$$7. \hat{y} = e^{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i + b_{11} \sigma_v^2 + b_{22} i^2}. \quad 8. \hat{y} = e^{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i}.$$

$$9. \hat{y} = e^{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i}. \quad 10. \hat{y} = \frac{1}{1 - e^{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i + b_{11} \sigma_v^2 + b_{22} i^2}}.$$

$$11. \hat{y} = \frac{1}{1 - e^{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i}}. \quad 12. \hat{y} = \frac{1}{1 - e^{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i}}.$$

$$13. \hat{y} = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-i} + b_{12} e^{-\sigma_v i} + b_{11} e^{-\sigma_v^2} + b_{22} e^{-i^2}.$$

$$14. \hat{y} = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-i} + b_{12} e^{-\sigma_v i}. \quad 15. \hat{y} = b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-i}.$$

$$16. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-i} + b_{12} e^{-\sigma_v i} + b_{11} e^{-\sigma_v^2} + b_{22} e^{-i^2}}.$$

$$17. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-i} + b_{12} e^{-\sigma_v i}}. \quad 18. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 e^{-\sigma_v} + b_2 e^{-i}}.$$

$$19. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i} + b_{11} e^{\sigma_v^2} + b_{22} e^{i^2}}.$$

$$20. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i}}. \quad 21. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i}.$$

$$22. \hat{y} = b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i} + b_{11} e^{\sigma_v^2} + b_{22} e^{i^2}.$$

$$23. \hat{y} = b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i + b_{12} e^{\sigma_v i}. \quad 24. \hat{y} = b_0 + b_1 e^{\sigma_v} + b_2 e^i.$$

$$25. \hat{y} = \frac{1}{\ln(b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i + b_{11} \sigma_v^2 + b_{22} i^2)}.$$

$$26. \hat{y} = \frac{1}{\ln(b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i)}. \quad 27. \hat{y} = \frac{1}{b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v} + \frac{b_2}{i} + \frac{b_{12}}{\sigma_v i} + \frac{b_{11}}{\sigma_v^2} + \frac{b_{22}}{i^2}}.$$

28. $\hat{y} = \frac{1}{\ln(b_0 + b_1\sigma_v + b_2i)}$. 29. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v} + \frac{b_2}{i} + \frac{b_{12}}{\sigma_v i}}$. 30. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v} + \frac{b_2}{i}}$.
31. $\hat{y} = b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(i) + b_{12} \ln(\sigma_v) \ln(i) + b_{11} [\ln(\sigma_v)]^2 + b_{22} [\ln(i)]^2$.
32. $\hat{y} = b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(i) + b_{12} \ln(\sigma_v) \ln(i)$. 33. $\hat{y} = b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(i)$.
34. $\hat{y} = \frac{\sigma_v i}{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i + b_{11} \sigma_v^2 + b_{22} i^2}$. 35. $\hat{y} = \frac{\sigma_v i}{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i}$.
36. $\hat{y} = \frac{\sigma_v i}{b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i}$. 37. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 i^{0,5} + b_{12} \sigma_v^{0,5} i^{0,5} + b_{11} \sigma_v + b_{22} i}$.
38. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 i^{0,5} + b_{12} \sigma_v^{0,5} i^{0,5}}$. 39. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 i^{0,5}}$.
40. $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 i^{0,5} + b_{12} \sigma_v^{0,5} i^{0,5} + b_{11} \sigma_v + b_{22} i$.
41. $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 i^{0,5} + b_{12} \sigma_v^{0,5} i^{0,5}$. 42. $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^{0,5} + b_2 i^{0,5}$.
43. $\hat{y} = e^{b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(i) + b_{12} \ln(\sigma_v) \ln(i) + b_{11} [\ln(\sigma_v)]^2 + b_{22} [\ln(i)]^2}$.
44. $\hat{y} = e^{b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(i) + b_{12} \ln(\sigma_v) \ln(i)}$. 45. $\hat{y} = e^{b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(i)}$.
46. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(i) + b_{12} \ln(\sigma_v) \ln(i) + b_{11} [\ln(\sigma_v)]^2 + b_{22} [\ln(i)]^2}$.
47. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(i) + b_{12} \ln(\sigma_v) \ln(i)}$. 48. $\hat{y} = \frac{1}{b_0 + b_1 \ln(\sigma_v) + b_2 \ln(i)}$.
49. $\hat{y} = \ln \left(b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v} + \frac{b_2}{i} + \frac{b_{12}}{\sigma_v i} + \frac{b_{11}}{\sigma_v^2} + \frac{b_{22}}{i^2} \right)$. 50. $\hat{y} = \ln \left(b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v} + \frac{b_2}{i} + \frac{b_{12}}{\sigma_v i} \right)$.
51. $\hat{y} = \ln \left(b_0 + \frac{b_1}{\sigma_v} + \frac{b_2}{i} \right)$. 52. $\hat{y} = \ln(b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i + b_{11} \sigma_v^2 + b_{22} i^2)$.
53. $\hat{y} = \ln(b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i + b_{12} \sigma_v i)$. 54. $\hat{y} = \ln(b_0 + b_1 \sigma_v + b_2 i)$.
55. $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^2 + b_2 i^2$. 56. $\hat{y} = b_0 + b_1 \sigma_v^3 + b_2 i^3$.
57. $\hat{y} = b_0 \sigma_v^{b_1} i^{b_2}$. 58. $\hat{y} = b_0 e^{\frac{b_1}{\sigma_v}} e^{\frac{b_2}{i}}$.

Д.2 Регресійні моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання швидкості відчепів з урахуванням окремих факторів

Д.2.1 Моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання з урахуванням вагової категорії вагонів

Таблиця Д.1 – Значення $(y_i - \bar{y})^2$ для визначення емпіричної дисперсії середньої швидкості підходу відцепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, $\bar{v}_3$

Варіанти вагової категорії	Похибка гальмування x_i , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0,0172	0,0146	0,0102	0,0083	0,0010	0,0015	0,0119	0,0166	0,0480	0,0620
2	0,0172	0,0146	0,0102	0,0083	0,0010	0,0008	0,0119	0,0166	0,0437	0,0571
3	0,0172	0,0146	0,0123	0,0083	0,0010	0,0001	0,0119	0,0166	0,0437	0,0571
4	0,0199	0,0172	0,0123	0,0083	0,0026	0,0000	0,0035	0,0098	0,0222	0,0480
5	0,0259	0,0199	0,0123	0,0123	0,0026	0,0000	0,0035	0,0098	0,0222	0,0437
6	0,0259	0,0228	0,0199	0,0172	0,0026	0,0010	0,0024	0,0098	0,0222	0,0437
7	0,0259	0,0228	0,0199	0,0172	0,005	0,0017	0,0008	0,0079	0,0222	0,0357
8	0,0259	0,0259	0,0199	0,0199	0,0066	0,0017	0,0008	0,0062	0,0222	0,0320

Таблиця Д.2 – Значення $\hat{y}_i$ для відповідних x_i за регресійними моделями для визначення $\bar{v}_3$

Тип моделі	Похибка гальмування x_i , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	1,36	1,36	1,37	1,40	1,45	1,50	1,56	1,61	1,67	1,73
2	1,36	1,35	1,37	1,41	1,45	1,50	1,55	1,61	1,67	1,73
3	1,35	1,36	1,38	1,41	1,45	1,49	1,54	1,60	1,67	1,74

Таблиця Д.3 – Значення $|y_i - \hat{y}_i|$ для визначення середнього відхилення значень величини Y від значень величини $\hat{Y}$

Варіанти вагової категорії	Похибка гальмування x_i , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Модель типу 1										
1	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	0,02	0,05	0,02
2	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,05	0,02	0,04	0,01
3	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05	0,02	0,04	0,01
4	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01
5	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
6	0,02	0,01	0,01	0,03	0,00	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
7	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04
8	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,05
Модель типу 2										
1	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,05	0,07	0,03	0,05	0,01
2	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,04	0,07	0,03	0,04	0,00
3	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,07	0,03	0,04	0,00
4	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,02
5	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,03

6	0,01	0,01	0,02	0,04	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,03
7	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,05
8	0,01	0,02	0,02	0,05	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,06
Модель типу 3										
1	0,01	0,03	0,03	0,00	0,02	0,04	0,06	0,02	0,05	0,02
2	0,01	0,03	0,03	0,00	0,02	0,03	0,06	0,02	0,04	0,01
3	0,01	0,03	0,02	0,00	0,02	0,01	0,06	0,02	0,04	0,01
4	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01
5	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
6	0,02	0,00	0,01	0,04	0,00	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02
7	0,02	0,00	0,01	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04
8	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,05

Таблиця Д.4 – Значення $\hat{y}_i$ для відповідних x_i за регресійними моделями

Тип моделі	Похибка гальмування x_i , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
За регресійними моделями для визначення $l_{\text{вк}}$										
Варіанти 1-8										
1	12,70	13,22	14,08	15,27	16,8	18,66	20,86	23,39	26,25	29,45
2	12,72	13,23	14,08	15,26	16,78	18,65	20,84	23,38	26,26	29,47
Варіанти 1-3										
1	8,66	8,52	9,26	10,76	12,85	15,38	18,17	21,05	23,88	26,54
2	8,66	8,34	9,31	10,96	13,03	15,41	18,01	20,80	23,74	26,80
3	8,02	8,74	9,82	11,24	13,02	15,16	17,65	20,49	23,68	27,23
4	8,26	8,84	9,81	11,16	12,90	15,02	17,53	20,43	23,72	27,39

Продовження таблиці Д.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Варіанти 4-8										
1	14,06	14,81	15,87	17,24	18,91	20,89	23,18	25,77	28,68	31,89
2	14,43	14,96	15,86	17,11	18,72	20,68	23,01	25,69	28,72	32,12
Варіанти 1-2										
1	7,24	7,84	8,83	10,21	11,99	14,17	16,74	19,71	23,08	26,84
Варіанти 2-4										
1	10,24	10,81	11,74	13,05	14,74	16,80	19,24	22,05	25,24	28,80
За регресійними моделями для визначення P_{oc}										
Варіанти 1-8										
1	0,0269	0,0266	0,0279	0,0305	0,0342	0,0387	0,0436	0,0487	0,0537	0,0584
2	0,0268	0,0262	0,0279	0,0308	0,0345	0,0387	0,0433	0,0482	0,0535	0,0589
Варіанти 1-3										
1	0,0196	0,0191	0,021	0,0241	0,0279	0,0323	0,0372	0,0424	0,0478	0,0535
2	0,0184	0,0199	0,022	0,0247	0,028	0,032	0,0366	0,0418	0,0477	0,0542
3	0,0191	0,0201	0,022	0,0244	0,0277	0,0316	0,0363	0,0417	0,0478	0,0546
Варіанти 4-8										
1	0,0304	0,0314	0,0331	0,0355	0,0384	0,0420	0,0462	0,0510	0,0565	0,0626
2	0,0305	0,0315	0,0331	0,0354	0,0383	0,0419	0,0461	0,0509	0,0564	0,0626
Варіанти 1-2										
1	0,0171	0,0182	0,0201	0,0227	0,026	0,0301	0,035	0,0406	0,0469	0,054
Варіанти 2-4										
1	0,0225	0,0235	0,0253	0,0278	0,031	0,0349	0,0395	0,0448	0,0509	0,0576

Д.2.2 Моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання з урахуванням кількості вагонів у відчепі

Таблиця Д.5 – Значення $\hat{y}_i$ для відповідних x_i за регресійними моделями

Тип моделі	Похибка гальмування x_i , м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
За регресійними моделями для визначення $\bar{v}_3$										
1	1,36	1,36	1,37	1,40	1,45	1,49	1,55	1,60	1,66	1,71
2	1,36	1,36	1,38	1,41	1,45	1,49	1,54	1,60	1,65	1,71
3	1,36	1,37	1,39	1,41	1,44	1,49	1,53	1,59	1,65	1,72
За регресійними моделями для визначення $l_{вк}$										
Варіанти 1-8										
1	9,13	9,58	10,31	11,32	12,61	14,19	16,04	18,19	20,61	23,32
2	9,16	9,59	10,30	11,31	12,60	14,17	16,03	18,18	20,61	23,33
Варіанти 1-3										
1	11,36	11,77	12,59	13,81	15,44	17,47	19,91	22,76	26,00	29,66
2	11,11	11,67	12,60	13,90	15,57	17,61	20,03	22,81	25,97	29,50
Варіанти 4-8										
1	7,50	7,81	8,35	9,10	10,07	11,26	12,67	14,30	16,14	18,21
2	7,48	7,81	8,35	9,10	10,08	11,27	12,68	14,30	16,14	18,20
Варіанти 1-2										
1	11,89	12,48	13,45	14,82	16,58	18,72	21,26	24,18	27,50	31,21

Продовження таблиці Д.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Варіанти 2-3										
1	10,39	10,90	11,76	12,96	14,50	16,38	18,61	21,17	24,08	27,33
Варіанти 3-4										
1	9,32	9,75	10,49	11,51	12,83	14,44	16,35	18,55	21,04	23,82
Варіанти 4-6										
1	8,19	8,54	9,14	9,98	11,05	12,37	13,92	15,72	17,75	20,02
Варіанти 6-8										
1	6,73	7,02	7,52	8,21	9,11	10,20	11,49	12,98	14,67	16,56
За регресійними моделями для визначення P_{oc}										
Варіанти 1-8										
1	0,0210	0,0209	0,0220	0,0239	0,0267	0,0300	0,0337	0,0375	0,0412	0,0447
2	0,0207	0,0214	0,0227	0,0245	0,0268	0,0296	0,0329	0,0367	0,0411	0,0459
Варіанти 1-3										
1	0,0254	0,0260	0,0274	0,0296	0,0325	0,0362	0,0407	0,0459	0,0518	0,0585
2	0,0247	0,0257	0,0274	0,0298	0,0328	0,0365	0,0409	0,0459	0,0516	0,0580
Варіанти 4-8										
1	0,0175	0,0183	0,0195	0,0211	0,0230	0,0253	0,0280	0,0310	0,0344	0,0382
2	0,0179	0,0185	0,0196	0,0210	0,0229	0,0252	0,0279	0,0310	0,0345	0,0385
Варіанти 1-2										
1	0,0261	0,0271	0,0289	0,0314	0,0345	0,0384	0,0429	0,0482	0,0542	0,0608
Варіанти 2-3										
1	0,0235	0,0245	0,0261	0,0283	0,0311	0,0346	0,0387	0,0434	0,0487	0,0547
Варіанти 3-4										
1	0,0215	0,0223	0,0236	0,0255	0,0280	0,0309	0,0344	0,0385	0,0431	0,0482
Варіанти 4-6										
1	0,0193	0,0200	0,0211	0,0227	0,0247	0,0271	0,0300	0,0333	0,0371	0,0414
Варіанти 6-8										
1	0,0164	0,0170	0,0180	0,0193	0,0211	0,0232	0,0257	0,0287	0,0320	0,0356

Д.2.3 Моделі для визначення параметрів якості прицільного регулювання з урахуванням ухилу сортувальних колій

Таблиця Д.6 – Значення $\hat{y}_i$ для відповідних x_i за регресійними моделями

Ухил, %	Похибка гальмування, м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
За регресійними моделями для визначення $\bar{v}_3$										
Модель типу 1										
0,6	1,38	1,39	1,42	1,44	1,47	1,51	1,55	1,6	1,65	1,72
0,8	1,38	1,40	1,42	1,45	1,48	1,51	1,55	1,60	1,66	1,73
1,0	1,39	1,41	1,43	1,46	1,49	1,52	1,56	1,61	1,67	1,74
1,2	1,40	1,42	1,44	1,47	1,50	1,53	1,57	1,62	1,68	1,75
1,4	1,42	1,44	1,46	1,49	1,51	1,55	1,59	1,64	1,70	1,77
1,6	1,45	1,47	1,49	1,52	1,55	1,58	1,62	1,67	1,73	1,80
1,8	1,51	1,52	1,55	1,57	1,60	1,64	1,68	1,73	1,78	1,85
2,0	1,62	1,64	1,66	1,69	1,72	1,76	1,80	1,85	1,90	1,97

Продовження таблиці Д.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модель типу 2										
0,6	1,39	1,40	1,42	1,44	1,47	1,51	1,55	1,61	1,66	1,73
0,8	1,39	1,40	1,42	1,44	1,47	1,51	1,55	1,61	1,66	1,72
1,0	1,39	1,40	1,42	1,44	1,47	1,51	1,55	1,61	1,66	1,73
1,2	1,41	1,42	1,44	1,46	1,49	1,53	1,57	1,62	1,68	1,75
1,4	1,44	1,45	1,47	1,49	1,52	1,56	1,60	1,65	1,71	1,78
1,6	1,48	1,49	1,51	1,54	1,57	1,60	1,65	1,70	1,76	1,82
1,8	1,54	1,55	1,57	1,59	1,62	1,66	1,71	1,76	1,82	1,88
2,0	1,61	1,62	1,64	1,66	1,70	1,73	1,78	1,83	1,89	1,95
Модель типу 3										
0,6	1,37	1,38	1,40	1,42	1,45	1,49	1,53	1,58	1,64	1,71
0,8	1,39	1,40	1,42	1,44	1,47	1,51	1,55	1,60	1,66	1,73
1,0	1,41	1,42	1,44	1,46	1,49	1,53	1,58	1,63	1,68	1,75
1,2	1,44	1,45	1,47	1,49	1,52	1,56	1,60	1,65	1,71	1,78
1,4	1,47	1,48	1,50	1,52	1,55	1,59	1,63	1,69	1,74	1,81
1,6	1,51	1,52	1,54	1,56	1,59	1,63	1,67	1,72	1,78	1,85
1,8	1,55	1,56	1,58	1,60	1,63	1,67	1,71	1,77	1,82	1,89
2,0	1,60	1,61	1,62	1,65	1,68	1,72	1,76	1,81	1,87	1,94
За регресійними моделями для визначення $I_{\text{вк}}$										
Модель типу 1										
0,6	9,99	11,29	12,84	14,69	16,88	19,46	22,53	26,20	30,61	36,00
0,8	9,54	10,80	12,31	14,10	16,22	18,74	21,73	25,31	29,63	34,9
1,0	9,01	10,22	11,68	13,41	15,46	17,90	20,79	24,26	28,45	33,58
1,2	8,40	9,56	10,96	12,62	14,59	16,93	19,70	23,03	27,05	31,98
1,4	7,71	8,82	10,16	11,74	13,62	15,83	18,46	21,61	25,42	30,09
1,6	6,99	8,05	9,32	10,82	12,58	14,65	17,10	20,03	23,56	27,89
1,8	6,39	7,40	8,59	9,99	11,62	13,53	15,76	18,41	21,59	25,47
2,0	6,35	7,30	8,41	9,70	11,19	12,89	14,87	17,18	19,91	23,21
Модель типу 2										
0,6	10,23	11,26	12,73	14,63	16,98	19,78	23,01	26,68	30,80	35,36
0,8	9,91	10,81	12,16	13,95	16,18	18,85	21,96	25,52	29,51	33,95
1,0	9,53	10,31	11,54	13,20	15,31	17,86	20,86	24,29	28,17	32,49
1,2	9,09	9,75	10,86	12,41	14,40	16,83	19,70	23,02	26,77	30,97
1,4	8,60	9,14	10,13	11,56	13,43	15,74	18,49	21,69	25,32	29,40
1,6	8,06	8,48	9,34	10,65	12,40	14,59	17,23	20,30	23,82	27,78
1,8	7,46	7,76	8,51	9,69	11,32	13,39	15,91	18,86	22,26	26,10
2,0	6,80	6,99	7,61	8,68	10,19	12,14	14,53	17,37	20,64	24,36
Модель типу 3										
0,6	11,65	12,31	13,41	14,94	16,91	19,32	22,16	25,45	29,17	33,33
0,8	11,11	11,77	12,86	14,39	16,36	18,77	21,62	24,90	28,63	32,79
1,0	10,41	11,06	12,16	13,69	15,66	18,07	20,92	24,20	27,92	32,08
1,2	9,55	10,21	11,30	12,84	14,81	17,21	20,06	23,34	27,07	31,23
1,4	8,54	9,19	10,29	11,82	13,79	16,20	19,05	22,33	26,05	30,21
1,6	7,37	8,03	9,12	10,65	12,62	15,03	17,88	21,16	24,89	29,05
1,8	6,04	6,70	7,80	9,33	11,30	13,71	16,55	19,84	23,56	27,72
2,0	4,56	5,22	6,32	7,85	9,82	12,23	15,07	18,36	22,08	26,24
За регресійними моделями для визначення $P_{\text{ок}}$										
Модель типу 1										
0,6	0,0220	0,0244	0,0272	0,0305	0,0344	0,0391	0,0446	0,0513	0,0592	0,0689
0,8	0,0212	0,0235	0,0262	0,0294	0,0333	0,0378	0,0432	0,0496	0,0574	0,0670
1,0	0,0202	0,0224	0,0251	0,0282	0,0319	0,0363	0,0415	0,0478	0,0553	0,0646
1,2	0,0191	0,0212	0,0238	0,0268	0,0303	0,0345	0,0395	0,0455	0,0528	0,0617
1,4	0,0179	0,0199	0,0223	0,0252	0,0285	0,0325	0,0373	0,0430	0,0498	0,0583
1,6	0,0166	0,0185	0,0208	0,0235	0,0267	0,0304	0,0348	0,0401	0,0465	0,0543
1,8	0,0155	0,0173	0,0195	0,022	0,0249	0,0284	0,0324	0,0372	0,0429	0,0499
2,0	0,0154	0,0171	0,0191	0,0215	0,0241	0,0272	0,0308	0,0349	0,0399	0,0458

Продовження таблиці Д.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модель типу 2										
0,6	0,0225	0,0243	0,0270	0,0304	0,0347	0,0397	0,0455	0,0522	0,0596	0,0678
0,8	0,0219	0,0235	0,0260	0,0292	0,0332	0,0380	0,0436	0,0501	0,0573	0,0653
1,0	0,0212	0,0226	0,0248	0,0278	0,0317	0,0363	0,0417	0,0479	0,0549	0,0627
1,2	0,0204	0,0216	0,0236	0,0264	0,0300	0,0344	0,0396	0,0456	0,0523	0,0599
1,4	0,0195	0,0205	0,0223	0,0249	0,0282	0,0324	0,0374	0,0432	0,0497	0,0571
1,6	0,0185	0,0193	0,0209	0,0232	0,0264	0,0303	0,0351	0,0407	0,047	0,0541
1,8	0,0174	0,018	0,0193	0,0215	0,0244	0,0282	0,0327	0,0380	0,0442	0,0511
2,0	0,0163	0,0166	0,0177	0,0197	0,0224	0,0259	0,0302	0,0353	0,0413	0,0480
Модель типу 3										
0,6	0,0250	0,0262	0,0282	0,0310	0,0345	0,0389	0,0440	0,0499	0,0566	0,0641
0,8	0,0241	0,0252	0,0272	0,0300	0,0335	0,0379	0,0430	0,0489	0,0557	0,0632
1,0	0,0228	0,0240	0,0260	0,0287	0,0323	0,0366	0,0418	0,0477	0,0544	0,0619
1,2	0,0213	0,0224	0,0244	0,0272	0,0307	0,0351	0,0402	0,0461	0,0529	0,0604
1,4	0,0194	0,0206	0,0226	0,0254	0,0289	0,0333	0,0384	0,0443	0,0510	0,0585
1,6	0,0173	0,0185	0,0205	0,0233	0,0268	0,0312	0,0363	0,0422	0,0489	0,0564
1,8	0,0150	0,0161	0,0181	0,0209	0,0244	0,0288	0,0339	0,0398	0,0466	0,0541
2,0	0,0123	0,0135	0,0155	0,0182	0,0218	0,0261	0,0313	0,0372	0,0439	0,0514

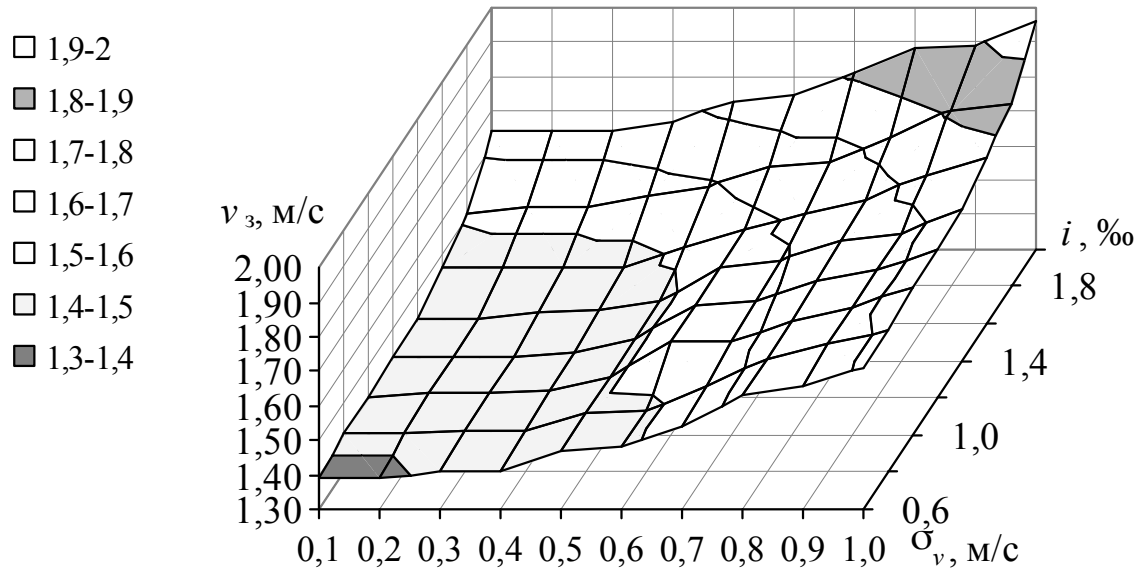


Рисунок Д.1 – Дослідні дані середньої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП

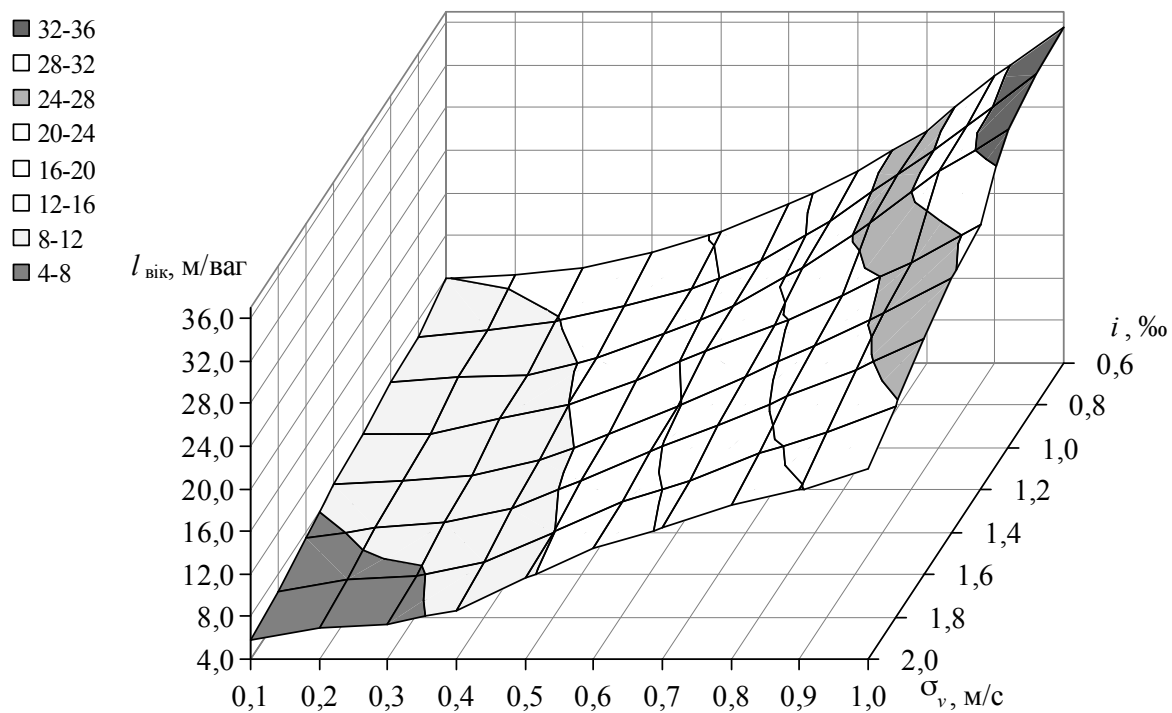


Рисунок Д.2 – Дослідні дані середньої довжини «вікна» на один перероблений вагон

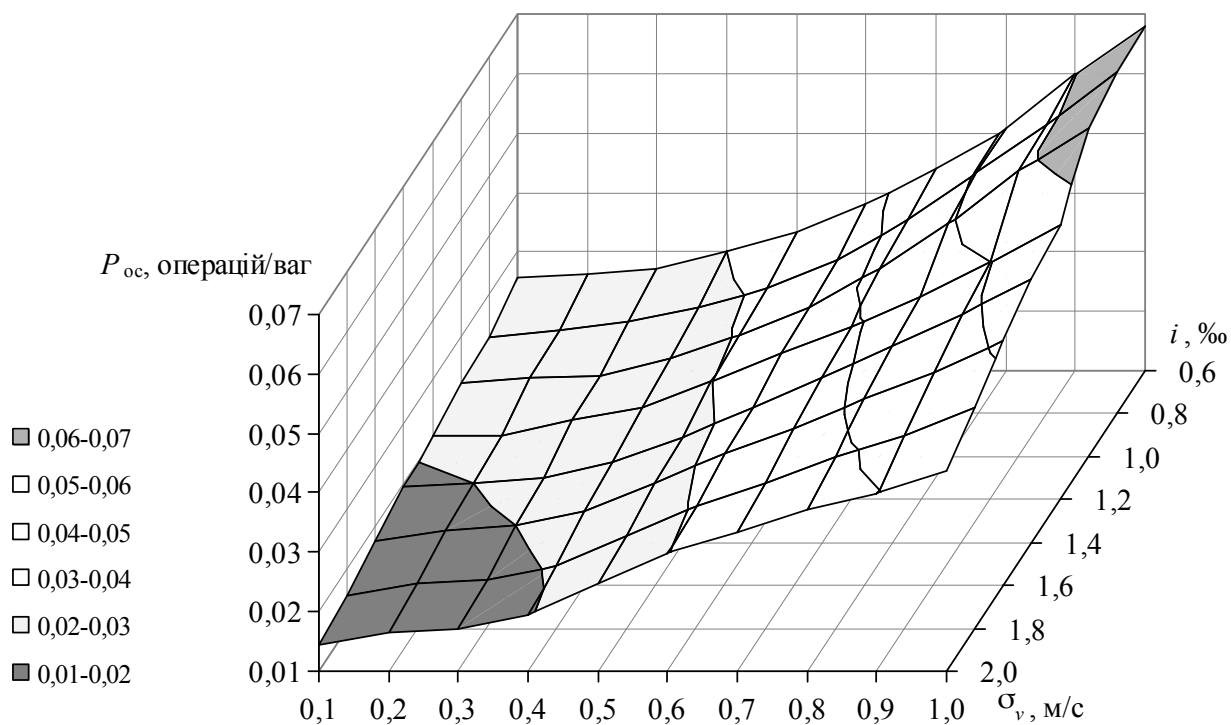


Рисунок Д.3 – Дослідні дані середньої кількості операцій осаджування на один перероблений вагон $P_{\text{ін}}$

Д.3 Регресійні моделі для нормування параметрів якості прицільного регулювання швидкості відцепів у залежності від похибки їх гальмування та ухилу сортувальних колій з урахуванням параметрів вагонопотоку

Таблиця Д.7 – План проведення експерименту для отримання значень середньої швидкості підходу відцепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП

Співвідношення	Вагова категорія вагонів		Кількість вагонів у відцепі		Співвідношення	Вагова категорія вагонів		Кількість вагонів у відцепі	
	Рівень	Варіант	Рівень	Варіант		Рівень	Варіант	Рівень	Варіант
1	ВР	1	ВР	1	2	ВР	3	ВР	1
	ВР	1	ПР	3		ВР	3	ПР	3
	НР	3	ВР	1		НР	8	ВР	1
	НР	3	ПР	3		НР	8	ПР	3
	ВР	1	ПР	4		ВР	3	ПР	4
	ВР	1	НР	8		ВР	3	НР	8
	НР	3	ПР	4		НР	8	ПР	4
	НР	3	НР	8		НР	8	НР	8

Примітки:

1. ВР – верхній рівень.
2. ПР – проміжний рівень.
3. НР – нижній рівень.

Таблиця Д.8 – План проведення експерименту для отримання значень середньої довжини «вікна» або кількості операцій осаджування на один перероблений вагон

Співвідношення	Вагова категорія вагонів		Кількість вагонів у відцепі		Співвідношення	Вагова категорія вагонів		Кількість вагонів у відцепі	
	Рівень	Варіант	Рівень	Варіант		Рівень	Варіант	Рівень	Варіант
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ВР	1	ВР	1	2	ВР	1	ВР	2
	ВР	1	НР	2		ВР	1	НР	3
	НР	2	ВР	1		НР	2	ВР	2
	НР	2	НР	2		НР	2	НР	3
3	ВР	1	ВР	3	4	ВР	1	ВР	4
	ВР	1	НР	4		ВР	1	НР	6
	НР	2	ВР	3		НР	2	ВР	4
	НР	2	НР	4		НР	2	НР	6
5	ВР	1	ВР	6	6	ВР	2	ВР	1
	ВР	1	НР	8		ВР	2	НР	2
	НР	2	ВР	6		НР	4	ВР	1
	НР	2	НР	8		НР	4	НР	2

Продовження таблиці Д.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	ВР	2	ВР	2	8	ВР	2	ВР	3
	ВР	2	НР	3		ВР	2	НР	4
	НР	4	ВР	2		НР	4	ВР	3
	НР	4	НР	3		НР	4	НР	4
9	ВР	2	ВР	4	10	ВР	2	ВР	6
	ВР	2	НР	6		ВР	2	НР	8
	НР	4	ВР	4		НР	4	ВР	6
	НР	4	НР	6		НР	4	НР	8
11	ВР	4	ВР	1	12	ВР	4	ВР	2
	ВР	4	НР	2		ВР	4	НР	3
	НР	8	ВР	1		НР	8	ВР	2
	НР	8	НР	2		НР	8	НР	3
13	ВР	4	ВР	3	14	ВР	4	ВР	4
	ВР	4	НР	4		ВР	4	НР	6
	НР	8	ВР	3		НР	8	ВР	4
	НР	8	НР	4		НР	8	НР	6
15	ВР	4	ВР	6					
	ВР	4	НР	8					
	НР	8	ВР	6					
	НР	8	НР	8					

Таблиця Д.9 – Середня швидкість підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях СП, $\bar{v}_3$, м/с

Вагова категорія вагонів	Кількість вагонів у відчепі	Ухил, %	Похибка гальмування, м/с									
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Співвідношення 1												
Варіант 1 ВР	Варіант 1 ВР	0,6	1,33	1,39	1,41	1,42	1,46	1,52	1,57	1,64	1,69	1,74
		0,8	1,38	1,40	1,41	1,44	1,47	1,52	1,57	1,65	1,70	1,74
		1,0	1,39	1,40	1,42	1,44	1,49	1,53	1,60	1,65	1,70	1,75
		1,2	1,40	1,42	1,44	1,45	1,51	1,56	1,60	1,65	1,70	1,76
		1,4	1,43	1,45	1,46	1,46	1,52	1,57	1,61	1,67	1,72	1,77
		1,6	1,50	1,51	1,51	1,54	1,59	1,63	1,67	1,74	1,74	1,81
		1,8	1,57	1,59	1,59	1,62	1,65	1,70	1,74	1,77	1,84	1,89
		2,0	1,66	1,66	1,69	1,76	1,76	1,81	1,85	1,88	1,89	1,98
Варіант 1 ВР	Варіант 3 ПР	0,6	1,35	1,38	1,39	1,40	1,46	1,49	1,57	1,62	1,68	1,69
		0,8	1,36	1,39	1,39	1,41	1,47	1,53	1,57	1,63	1,68	1,72
		1,0	1,39	1,40	1,41	1,42	1,47	1,53	1,57	1,64	1,71	1,73
		1,2	1,42	1,42	1,42	1,43	1,49	1,54	1,57	1,66	1,71	1,77
		1,4	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,55	1,58	1,66	1,71	1,82
		1,6	1,53	1,54	1,55	1,57	1,59	1,61	1,69	1,74	1,81	1,82
		1,8	1,64	1,65	1,66	1,68	1,73	1,76	1,82	1,86	1,92	1,97
		2,0	1,71	1,71	1,78	1,80	1,84	1,86	1,87	1,94	1,97	2,06
Варіант 3 НР	Варіант 1 ВР	0,6	1,36	1,36	1,39	1,40	1,44	1,50	1,58	1,62	1,67	1,71
		0,8	1,37	1,38	1,4	1,41	1,45	1,52	1,59	1,64	1,67	1,72
		1,0	1,40	1,40	1,41	1,43	1,46	1,52	1,59	1,64	1,67	1,73
		1,2	1,41	1,41	1,42	1,44	1,50	1,54	1,59	1,64	1,68	1,73
		1,4	1,42	1,43	1,43	1,44	1,50	1,54	1,60	1,64	1,69	1,74
		1,6	1,46	1,46	1,47	1,48	1,52	1,56	1,63	1,68	1,72	1,77
		1,8	1,47	1,48	1,49	1,53	1,56	1,60	1,68	1,72	1,79	1,8
		2,0	1,55	1,57	1,58	1,63	1,64	1,70	1,72	1,8	1,82	1,91

Продовження таблиці Д.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Варіант 3 НР	Варіант 3 ПР	0,6	1,36	1,38	1,38	1,40	1,42	1,50	1,55	1,61	1,67	1,73
		0,8	1,37	1,38	1,39	1,41	1,47	1,50	1,56	1,62	1,68	1,73
		1,0	1,38	1,39	1,41	1,42	1,47	1,51	1,57	1,63	1,68	1,75
		1,2	1,39	1,42	1,42	1,43	1,49	1,52	1,58	1,64	1,71	1,77
		1,4	1,42	1,43	1,45	1,47	1,50	1,52	1,59	1,67	1,72	1,77
		1,6	1,47	1,48	1,48	1,54	1,55	1,62	1,66	1,69	1,76	1,79
		1,8	1,53	1,54	1,54	1,57	1,61	1,65	1,71	1,75	1,80	1,82
		2,0	1,60	1,61	1,62	1,69	1,69	1,74	1,76	1,84	1,87	1,93
Варіант 1 ВР	Варіант 4 ПР	0,6	1,37	1,37	1,38	1,39	1,47	1,50	1,57	1,64	1,68	1,73
		0,8	1,37	1,37	1,4	1,41	1,48	1,52	1,57	1,65	1,70	1,76
		1,0	1,4	1,42	1,42	1,43	1,48	1,52	1,58	1,66	1,72	1,76
		1,2	1,42	1,42	1,43	1,44	1,51	1,54	1,59	1,66	1,72	1,77
		1,4	1,45	1,45	1,46	1,48	1,52	1,53	1,63	1,67	1,74	1,78
		1,6	1,54	1,55	1,57	1,58	1,61	1,66	1,70	1,74	1,82	1,88
		1,8	1,60	1,61	1,65	1,68	1,74	1,75	1,77	1,82	1,90	1,94
		2,0	1,74	1,77	1,79	1,80	1,89	1,89	1,96	1,96	2,01	2,07
Варіант 1 ВР	Варіант 8 НР	0,6	1,34	1,36	1,36	1,39	1,44	1,53	1,58	1,66	1,70	1,75
		0,8	1,36	1,37	1,38	1,43	1,48	1,54	1,58	1,67	1,70	1,75
		1,0	1,38	1,40	1,42	1,45	1,49	1,55	1,59	1,67	1,71	1,76
		1,2	1,42	1,43	1,43	1,45	1,49	1,57	1,64	1,67	1,74	1,78
		1,4	1,47	1,49	1,49	1,50	1,52	1,58	1,64	1,74	1,75	1,79
		1,6	1,60	1,60	1,61	1,64	1,66	1,73	1,79	1,85	1,90	1,98
		1,8	1,69	1,71	1,71	1,73	1,79	1,83	1,87	1,96	2,01	2,06
		2,0	1,83	1,86	1,86	1,89	1,95	1,97	2,07	2,09	2,13	2,19
Варіант 3 НР	Варіант 4 ПР	0,6	1,34	1,36	1,38	1,39	1,45	1,48	1,57	1,62	1,64	1,67
		0,8	1,37	1,38	1,40	1,42	1,47	1,52	1,55	1,62	1,66	1,69
		1,0	1,38	1,40	1,40	1,43	1,48	1,53	1,58	1,65	1,66	1,72
		1,2	1,4	1,42	1,43	1,44	1,48	1,54	1,59	1,66	1,69	1,72
		1,4	1,43	1,44	1,44	1,45	1,48	1,57	1,60	1,66	1,71	1,73
		1,6	1,49	1,49	1,49	1,52	1,58	1,63	1,67	1,75	1,77	1,8
		1,8	1,56	1,57	1,57	1,60	1,68	1,71	1,73	1,80	1,81	1,92
		2,0	1,67	1,68	1,69	1,74	1,77	1,82	1,87	1,90	1,94	1,97
Варіант 3 НР	Варіант 8 НР	0,6	1,35	1,35	1,37	1,40	1,43	1,49	1,58	1,62	1,63	1,71
		0,8	1,37	1,37	1,39	1,41	1,44	1,55	1,59	1,64	1,68	1,72
		1,0	1,38	1,40	1,41	1,44	1,46	1,55	1,59	1,66	1,70	1,72
		1,2	1,39	1,41	1,43	1,44	1,49	1,58	1,61	1,67	1,70	1,8
		1,4	1,44	1,45	1,45	1,46	1,52	1,59	1,62	1,70	1,74	1,82
		1,6	1,54	1,56	1,56	1,56	1,60	1,65	1,74	1,74	1,84	1,88
		1,8	1,58	1,59	1,61	1,63	1,72	1,74	1,76	1,81	1,89	1,92
		2,0	1,70	1,71	1,72	1,75	1,79	1,85	1,89	1,91	1,97	2,01

Таблиця Д.10 – Значення $\hat{y}_i$ для відповідних x_i за регресійними моделями для визначення $\bar{v}_3$

Ухил, ‰	Похибка гальмування, м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поліноми другого ступеня										
Співвідношення 1										
0,6	1,35	1,37	1,40	1,43	1,47	1,51	1,56	1,61	1,67	1,74
0,8	1,35	1,37	1,40	1,43	1,47	1,51	1,56	1,61	1,67	1,74
1,0	1,36	1,38	1,40	1,43	1,47	1,51	1,56	1,61	1,67	1,74
1,2	1,39	1,41	1,43	1,46	1,50	1,54	1,59	1,64	1,70	1,76
1,4	1,44	1,46	1,48	1,51	1,54	1,58	1,63	1,68	1,74	1,80
1,6	1,50	1,52	1,54	1,57	1,60	1,64	1,68	1,74	1,79	1,86
1,8	1,58	1,60	1,62	1,65	1,68	1,72	1,76	1,81	1,87	1,93
2,0	1,68	1,70	1,72	1,74	1,77	1,81	1,85	1,90	1,96	2,02

Продовження таблиці Д.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Співвідношення 2										
0,6	1,34	1,35	1,38	1,41	1,44	1,48	1,52	1,57	1,63	1,68
0,8	1,34	1,36	1,38	1,41	1,44	1,48	1,52	1,57	1,63	1,68
1,0	1,35	1,37	1,39	1,42	1,45	1,49	1,53	1,58	1,63	1,69
1,2	1,37	1,39	1,41	1,43	1,47	1,50	1,55	1,59	1,65	1,70
1,4	1,40	1,41	1,43	1,46	1,49	1,53	1,57	1,62	1,67	1,73
1,6	1,43	1,45	1,47	1,49	1,53	1,56	1,60	1,65	1,70	1,76
1,8	1,48	1,49	1,51	1,54	1,57	1,60	1,64	1,69	1,74	1,80
2,0	1,53	1,54	1,56	1,59	1,62	1,65	1,69	1,74	1,79	1,85
Поліноми третього ступеня										
Співвідношення 1										
0,6	1,37	1,37	1,39	1,42	1,46	1,51	1,56	1,61	1,66	1,71
0,8	1,38	1,38	1,40	1,43	1,47	1,51	1,57	1,62	1,67	1,72
1,0	1,39	1,39	1,41	1,44	1,48	1,53	1,58	1,63	1,68	1,73
1,2	1,41	1,41	1,43	1,46	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75
1,4	1,44	1,45	1,46	1,49	1,53	1,58	1,63	1,68	1,74	1,79
1,6	1,50	1,50	1,52	1,55	1,59	1,63	1,68	1,74	1,79	1,84
1,8	1,58	1,58	1,60	1,63	1,67	1,71	1,76	1,82	1,87	1,92
2,0	1,69	1,69	1,71	1,74	1,78	1,83	1,88	1,93	1,98	2,03
Співвідношення 2										
0,6	1,35	1,35	1,36	1,39	1,43	1,47	1,52	1,57	1,61	1,66
0,8	1,36	1,36	1,38	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,63	1,67
1,0	1,37	1,37	1,39	1,42	1,45	1,50	1,55	1,59	1,64	1,68
1,2	1,39	1,39	1,40	1,43	1,47	1,51	1,56	1,61	1,65	1,69
1,4	1,40	1,40	1,42	1,45	1,48	1,53	1,58	1,62	1,67	1,71
1,6	1,43	1,43	1,45	1,48	1,51	1,56	1,60	1,65	1,70	1,74
1,8	1,48	1,48	1,49	1,52	1,56	1,60	1,65	1,70	1,74	1,79
2,0	1,54	1,54	1,56	1,58	1,62	1,67	1,71	1,76	1,81	1,85

Таблиця Д.11 – Середня довжина «вікна» на один перероблений вагон $l_{\text{вік}}$ для співвідношення 1

Вагова категорія вагонів	Кількість вагонів у відчепі	Ухил, ‰	Похибка гальмування, м/с									
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Варіант 1 ВР	Варіант 1 ВР	0,6	6,88	7,67	8,55	9,41	12,02	14,98	17,72	22,68	26,02	29,22
		0,8	6,30	6,51	7,76	9,23	11,11	14,43	17,54	21,95	25,61	28,49
		1,0	5,50	6,21	6,49	8,62	10,68	13,99	17,31	21,24	23,64	27,88
		1,2	5,15	5,79	6,48	8,32	10,34	13,39	17,19	20,51	22,77	27,08
		1,4	4,75	5,54	6,08	7,96	10,09	12,90	17,01	19,93	21,75	26,31
		1,6	4,49	5,35	5,84	7,69	9,80	12,48	16,91	19,26	20,69	25,75
		1,8	4,35	5,19	5,64	7,30	9,73	11,98	16,67	18,72	19,69	25,20
		2,0	4,33	5,05	5,48	6,98	9,59	11,55	16,50	18,04	18,79	24,48
Варіант 1 ВР	Варіант 2 НР	0,6	6,29	7,37	7,44	7,92	9,94	12,97	15,35	19,20	21,79	23,73
		0,8	5,50	5,92	6,01	7,68	9,68	12,34	14,12	18,95	20,38	23,23
		1,0	4,92	5,27	5,55	7,36	9,48	12,23	13,45	17,92	19,89	22,84
		1,2	4,37	4,89	5,07	7,05	9,18	11,79	12,99	17,44	19,34	22,26
		1,4	4,24	4,54	4,78	6,85	8,84	11,55	12,64	16,84	18,98	21,71
		1,6	4,05	4,30	4,55	6,60	8,71	11,12	12,37	16,27	18,69	21,33
		1,8	3,89	4,11	4,36	6,47	8,43	10,70	12,14	15,79	18,52	20,80
		2,0	3,76	3,95	4,20	6,12	8,26	10,49	11,95	15,19	18,24	20,44

Продовження таблиці Д.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Варіант 2 НР	Варіант 1 ВР	0,6	9,33	9,83	10,28	12,71	15,13	17,28	21,30	23,65	26,72	30,26
		0,8	8,88	9,59	10,17	12,06	13,83	16,38	20,02	23,33	26,03	29,28
		1,0	7,65	9,19	9,54	11,25	13,49	15,43	18,82	23,02	25,35	28,23
		1,2	7,39	7,98	8,82	10,68	12,60	14,72	17,78	22,80	24,80	27,42
		1,4	6,69	7,72	8,50	10,07	11,98	13,85	16,62	22,40	24,00	26,63
		1,6	6,15	7,22	8,07	9,59	11,23	13,22	15,62	22,20	23,44	25,67
		1,8	5,65	6,75	7,65	8,95	10,53	12,65	14,78	21,80	22,89	24,74
		2,0	5,19	6,31	7,26	8,44	10,01	11,88	13,80	21,50	22,24	24,04
Варіант 2 НР	Варіант 2 НР	0,6	8,44	8,78	9,72	10,16	12,06	14,91	17,82	18,74	23,00	25,77
		0,8	7,17	8,28	8,68	9,51	12,01	14,24	16,58	18,46	22,23	24,46
		1,0	6,22	7,24	7,99	8,82	11,51	13,60	15,89	18,10	21,38	23,40
		1,2	6,12	6,66	7,21	8,37	11,25	12,89	15,23	17,91	20,76	22,67
		1,4	5,25	6,05	6,63	7,70	10,93	12,40	14,45	17,64	20,07	22,12
		1,6	4,70	5,49	5,92	7,13	10,72	11,85	13,71	17,38	19,39	21,68
		1,8	4,21	4,99	5,37	6,68	10,32	11,41	13,01	17,12	18,74	21,32
		2,0	3,87	4,53	4,87	6,14	10,03	10,81	12,35	16,76	18,32	21,01

Таблиця Д.12 – Значення $\hat{y}_i$ для відповідних x_i за регресійними моделями для визначення $l_{\text{вк}}$ (співвідношення 1)

Ухил, ‰	Похибка гальмування, м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,6	7,02	7,96	9,23	10,84	12,80	15,09	17,72	20,69	23,99	27,64
0,8	6,43	7,35	8,60	10,19	12,12	14,38	16,99	19,94	23,22	26,85
1,0	5,90	6,79	8,02	9,59	11,49	13,74	16,32	19,24	22,51	26,11
1,2	5,42	6,29	7,49	9,04	10,92	13,14	15,70	18,60	21,84	25,42
1,4	5,00	5,84	7,02	8,54	10,40	12,60	15,14	18,02	21,23	24,79
1,6	4,63	5,45	6,61	8,10	9,94	12,12	14,63	17,48	20,68	24,21
1,8	4,31	5,11	6,24	7,72	9,53	11,68	14,18	17,01	20,18	23,68
2,0	4,05	4,82	5,94	7,39	9,18	11,31	13,78	16,58	19,73	23,21

Таблиця Д.13 – Середня кількість операцій осаджування на один перероблений вагон $P_{\text{ос}}$ для співвідношення 1

Вагова категорія вагонів	Кількість вагонів у відчепі	Ухил, ‰	Похибка гальмування, м/с									
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Варіант 1 ВР	Варіант 1 ВР	0,6	0,0165	0,0181	0,0189	0,0204	0,0251	0,0323	0,0374	0,0459	0,0494	0,0534
		0,8	0,0153	0,0159	0,0183	0,0199	0,0234	0,0304	0,0367	0,0451	0,0485	0,0521
		1,0	0,0146	0,0157	0,0165	0,0194	0,0225	0,0285	0,036	0,0443	0,0476	0,0513
		1,2	0,0136	0,0146	0,0153	0,0189	0,0218	0,0266	0,0353	0,0435	0,0467	0,0508
		1,4	0,0129	0,0143	0,0152	0,0184	0,0213	0,0247	0,0347	0,0428	0,0459	0,0503
		1,6	0,0122	0,0139	0,0148	0,0180	0,0209	0,0238	0,0340	0,0420	0,0450	0,0500
		1,8	0,0117	0,0136	0,0145	0,0175	0,0206	0,0229	0,0334	0,0413	0,0442	0,0497
		2,0	0,0112	0,0133	0,0142	0,0171	0,0203	0,0219	0,0328	0,0406	0,0434	0,0494

Продовження таблиці Д.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Варіант 1 ВР	Варіант 2 НР	0,6	0,0153	0,0166	0,0168	0,0175	0,0222	0,0273	0,0337	0,0407	0,0433	0,0489
		0,8	0,0147	0,0149	0,0151	0,0173	0,0218	0,0263	0,0308	0,0401	0,0405	0,0450
		1,0	0,0125	0,0136	0,0138	0,0168	0,0214	0,0253	0,0292	0,0370	0,0389	0,0429
		1,2	0,0123	0,0130	0,0130	0,0165	0,0210	0,0244	0,0282	0,0357	0,0379	0,0414
		1,4	0,0119	0,0125	0,0125	0,0162	0,0206	0,0235	0,0273	0,0340	0,0371	0,0403
		1,6	0,0115	0,0121	0,0121	0,0158	0,0203	0,0226	0,0267	0,0324	0,0364	0,0394
		1,8	0,0112	0,0118	0,0118	0,0155	0,0199	0,0218	0,0262	0,0309	0,0359	0,0387
		2,0	0,0109	0,0115	0,0115	0,0152	0,0195	0,0210	0,0257	0,0295	0,0354	0,0381
Варіант 2 НР	Варіант 1 ВР	0,6	0,0211	0,0221	0,0230	0,0269	0,0309	0,0352	0,0431	0,0461	0,0528	0,0572
		0,8	0,0196	0,0204	0,0223	0,0258	0,0301	0,0339	0,0416	0,0455	0,0518	0,0549
		1,0	0,0176	0,0190	0,0208	0,0247	0,0297	0,0326	0,0402	0,0449	0,0508	0,0536
		1,2	0,0172	0,0176	0,0195	0,0237	0,0291	0,0314	0,0388	0,0443	0,0498	0,0527
		1,4	0,0157	0,0163	0,0185	0,0227	0,0285	0,0302	0,0374	0,0437	0,0489	0,0520
		1,6	0,0146	0,0151	0,0175	0,0217	0,0280	0,0291	0,0361	0,0432	0,0480	0,0514
		1,8	0,0136	0,0140	0,0166	0,0208	0,0274	0,0281	0,0349	0,0426	0,0471	0,0510
		2,0	0,0126	0,0130	0,0157	0,0200	0,0269	0,0270	0,0337	0,0421	0,0462	0,0506
Варіант 2 НР	Варіант 2 НР	0,6	0,0188	0,0189	0,0207	0,0226	0,0263	0,0319	0,0355	0,0412	0,0488	0,0506
		0,8	0,0164	0,0178	0,0186	0,0209	0,0250	0,0299	0,0342	0,0408	0,0478	0,0480
		1,0	0,0151	0,0168	0,0167	0,0200	0,0243	0,0276	0,0329	0,0391	0,0453	0,0487
		1,2	0,0141	0,0158	0,0159	0,0191	0,0237	0,0266	0,0317	0,0383	0,0440	0,0475
		1,4	0,0133	0,0149	0,0152	0,0180	0,0229	0,0258	0,0305	0,0375	0,0427	0,0466
		1,6	0,0127	0,0140	0,0146	0,0170	0,0221	0,0252	0,0294	0,0367	0,0414	0,0459
		1,8	0,0122	0,0132	0,0142	0,0161	0,0213	0,0244	0,0283	0,0360	0,0402	0,0453
		2,0	0,0117	0,0124	0,0136	0,0152	0,0206	0,0233	0,0273	0,0352	0,0390	0,0447

Таблиця Д.14 – Значення $\hat{y}_i$ для відповідних x_i за регресійними моделями для визначення P_{oc} (співвідношення 1)

Ухил, ‰	Похибка гальмування, м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,6	0,0165	0,0183	0,0207	0,0237	0,0273	0,0315	0,0363	0,0416	0,0475	0,0540
0,8	0,0153	0,0171	0,0195	0,0225	0,0261	0,0302	0,0350	0,0403	0,0462	0,0526
1,0	0,0143	0,0161	0,0184	0,0214	0,0249	0,0291	0,0338	0,0391	0,0449	0,0514
1,2	0,0133	0,0151	0,0175	0,0204	0,0239	0,0280	0,0327	0,0380	0,0438	0,0503
1,4	0,0125	0,0143	0,0166	0,0195	0,0230	0,0271	0,0318	0,0370	0,0428	0,0493
1,6	0,0118	0,0136	0,0159	0,0188	0,0223	0,0263	0,0310	0,0362	0,0420	0,0484
1,8	0,0113	0,0130	0,0153	0,0182	0,0216	0,0256	0,0303	0,0355	0,0412	0,0476
2,0	0,0109	0,0125	0,0148	0,0177	0,0211	0,0251	0,0297	0,0349	0,0406	0,0470

Д.4 Тривалість осаджування вагонів у розрахунку на один вагон

Таблиця Д.15 – Приклад значень $\hat{y}_i$ для відповідних x_i за регресійною моделлю для визначення t'_{oc} для випадків 3, 5, 7

$v_{\text{ср}}$, км/год	Ухил, ‰	Похибка гальмування, м/с									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Випадок 3											
5-7	0,6	0,100	0,103	0,107	0,114	0,123	0,134	0,147	0,162	0,179	0,197
	0,8	0,082	0,085	0,09	0,098	0,107	0,118	0,131	0,147	0,164	0,183
	1,0	0,066	0,07	0,075	0,083	0,093	0,105	0,119	0,134	0,152	0,172
	1,2	0,053	0,057	0,063	0,071	0,082	0,094	0,108	0,124	0,143	0,163
	1,4	0,042	0,046	0,053	0,062	0,073	0,086	0,100	0,117	0,136	0,157
	1,6	0,033	0,039	0,046	0,055	0,066	0,080	0,095	0,112	0,131	0,153
	1,8	0,028	0,033	0,041	0,051	0,062	0,076	0,092	0,110	0,129	0,151
	2,0	0,024	0,030	0,039	0,049	0,061	0,075	0,091	0,110	0,130	0,152
7-15	0,6	0,086	0,088	0,092	0,098	0,106	0,116	0,128	0,142	0,158	0,176
	0,8	0,071	0,073	0,077	0,083	0,092	0,102	0,114	0,128	0,144	0,163
	1,0	0,058	0,060	0,065	0,071	0,080	0,090	0,103	0,117	0,134	0,152
	1,2	0,046	0,049	0,054	0,061	0,070	0,080	0,093	0,108	0,125	0,143
	1,4	0,038	0,041	0,046	0,053	0,062	0,073	0,086	0,101	0,118	0,137
	1,6	0,031	0,034	0,040	0,047	0,056	0,068	0,081	0,096	0,114	0,133
	1,8	0,026	0,030	0,036	0,043	0,053	0,064	0,078	0,094	0,111	0,131
	2,0	0,024	0,028	0,034	0,042	0,052	0,063	0,077	0,093	0,111	0,131
15-40	0,6	0,075	0,076	0,079	0,084	0,091	0,101	0,112	0,126	0,141	0,159
	0,8	0,061	0,063	0,066	0,071	0,079	0,089	0,101	0,114	0,131	0,149
	1,0	0,049	0,051	0,055	0,061	0,069	0,079	0,091	0,105	0,121	0,140
	1,2	0,039	0,041	0,045	0,052	0,06	0,070	0,083	0,097	0,114	0,133
	1,4	0,031	0,033	0,038	0,044	0,053	0,064	0,077	0,092	0,109	0,128
	1,6	0,025	0,027	0,032	0,039	0,048	0,059	0,072	0,088	0,105	0,125
	1,8	0,020	0,023	0,028	0,035	0,045	0,056	0,070	0,086	0,104	0,124
	2,0	0,017	0,021	0,026	0,034	0,044	0,055	0,069	0,085	0,104	0,124
Випадок 5											
5-7	0,6	0,116	0,123	0,131	0,141	0,151	0,164	0,177	0,192	0,209	0,226
	0,8	0,105	0,112	0,120	0,130	0,141	0,153	0,166	0,181	0,198	0,215
	1,0	0,094	0,101	0,109	0,119	0,130	0,142	0,155	0,17	0,186	0,204
	1,2	0,083	0,090	0,098	0,107	0,118	0,130	0,144	0,159	0,175	0,192
	1,4	0,071	0,078	0,086	0,095	0,106	0,118	0,132	0,147	0,163	0,181
	1,6	0,059	0,066	0,074	0,083	0,094	0,106	0,120	0,135	0,151	0,168
	1,8	0,047	0,054	0,062	0,071	0,082	0,094	0,107	0,122	0,138	0,156
	2,0	0,034	0,041	0,049	0,058	0,069	0,081	0,095	0,109	0,125	0,143
7-10	0,6	0,111	0,120	0,130	0,140	0,151	0,164	0,177	0,191	0,206	0,222
	0,8	0,100	0,108	0,118	0,128	0,139	0,151	0,164	0,178	0,193	0,209
	1,0	0,088	0,097	0,106	0,116	0,127	0,139	0,152	0,166	0,180	0,196
	1,2	0,077	0,085	0,095	0,105	0,115	0,127	0,140	0,154	0,168	0,183
	1,4	0,066	0,074	0,083	0,093	0,104	0,115	0,128	0,141	0,156	0,171
	1,6	0,055	0,063	0,072	0,082	0,092	0,104	0,116	0,130	0,144	0,159
	1,8	0,044	0,052	0,061	0,070	0,081	0,092	0,105	0,118	0,132	0,147
	2,0	0,034	0,041	0,050	0,059	0,070	0,081	0,093	0,106	0,120	0,135

Продовження таблиці Д.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10-15	0,6	0,104	0,111	0,120	0,129	0,140	0,152	0,166	0,180	0,196	0,213
	0,8	0,094	0,101	0,109	0,119	0,130	0,142	0,155	0,169	0,185	0,202
	1,0	0,083	0,090	0,099	0,108	0,119	0,131	0,144	0,159	0,174	0,191
	1,2	0,073	0,080	0,088	0,098	0,109	0,121	0,134	0,148	0,164	0,180
	1,4	0,062	0,070	0,078	0,088	0,098	0,110	0,123	0,138	0,153	0,170
	1,6	0,052	0,060	0,068	0,077	0,088	0,100	0,113	0,128	0,143	0,160
	1,8	0,043	0,050	0,058	0,068	0,078	0,090	0,103	0,118	0,133	0,150
	2,0	0,033	0,040	0,048	0,058	0,069	0,080	0,094	0,108	0,123	0,140
15-40	0,6	0,088	0,093	0,099	0,106	0,115	0,125	0,136	0,149	0,163	0,178
	0,8	0,079	0,084	0,090	0,098	0,107	0,117	0,128	0,141	0,155	0,170
	1,0	0,071	0,076	0,082	0,090	0,099	0,109	0,121	0,133	0,148	0,163
	1,2	0,063	0,068	0,074	0,082	0,091	0,101	0,113	0,126	0,140	0,156
	1,4	0,055	0,060	0,067	0,075	0,084	0,094	0,106	0,119	0,134	0,149
	1,6	0,047	0,053	0,059	0,067	0,077	0,087	0,099	0,113	0,127	0,143
	1,8	0,04	0,046	0,053	0,061	0,070	0,081	0,093	0,106	0,121	0,137
	2,0	0,033	0,039	0,046	0,054	0,064	0,075	0,087	0,100	0,115	0,131
Випадок 7											
5-7	0,6	0,131	0,138	0,146	0,156	0,167	0,181	0,195	0,212	0,230	0,249
	0,8	0,119	0,125	0,133	0,143	0,154	0,167	0,182	0,199	0,217	0,236
	1,0	0,106	0,112	0,120	0,130	0,142	0,155	0,169	0,186	0,204	0,223
	1,2	0,093	0,100	0,108	0,117	0,129	0,142	0,156	0,173	0,191	0,210
	1,4	0,081	0,087	0,095	0,105	0,116	0,129	0,144	0,16	0,178	0,197
	1,6	0,069	0,075	0,083	0,093	0,104	0,117	0,131	0,148	0,165	0,185
	1,8	0,057	0,063	0,071	0,080	0,092	0,104	0,119	0,135	0,153	0,172
	2,0	0,045	0,051	0,059	0,068	0,080	0,092	0,107	0,123	0,141	0,160
7-10	0,6	0,123	0,132	0,143	0,154	0,166	0,179	0,193	0,209	0,225	0,242
	0,8	0,111	0,120	0,130	0,141	0,153	0,166	0,181	0,196	0,212	0,229
	1,0	0,099	0,108	0,118	0,129	0,141	0,154	0,168	0,183	0,199	0,216
	1,2	0,087	0,096	0,106	0,117	0,129	0,142	0,156	0,170	0,186	0,203
	1,4	0,076	0,084	0,094	0,105	0,117	0,130	0,143	0,158	0,174	0,191
	1,6	0,064	0,073	0,082	0,093	0,105	0,118	0,131	0,146	0,162	0,178
	1,8	0,053	0,061	0,071	0,081	0,093	0,106	0,119	0,134	0,149	0,166
	2,0	0,042	0,050	0,060	0,070	0,082	0,094	0,108	0,122	0,138	0,154
10-15	0,6	0,115	0,123	0,131	0,141	0,151	0,163	0,176	0,190	0,205	0,221
	0,8	0,104	0,112	0,120	0,130	0,140	0,152	0,165	0,179	0,194	0,210
	1,0	0,093	0,101	0,109	0,119	0,130	0,142	0,155	0,169	0,184	0,200
	1,2	0,082	0,090	0,099	0,108	0,119	0,131	0,144	0,158	0,173	0,190
	1,4	0,072	0,079	0,088	0,098	0,109	0,120	0,134	0,148	0,163	0,179
	1,6	0,061	0,069	0,077	0,087	0,098	0,110	0,123	0,137	0,153	0,169
	1,8	0,050	0,058	0,067	0,077	0,088	0,100	0,113	0,127	0,143	0,159
	2,0	0,040	0,047	0,056	0,066	0,077	0,089	0,103	0,117	0,132	0,149
15-40	0,6	0,110	0,117	0,125	0,133	0,143	0,154	0,165	0,178	0,191	0,205
	0,8	0,099	0,106	0,114	0,123	0,133	0,144	0,156	0,169	0,182	0,197
	1,0	0,089	0,096	0,104	0,114	0,124	0,135	0,147	0,160	0,173	0,188
	1,2	0,078	0,086	0,094	0,104	0,114	0,125	0,138	0,151	0,165	0,179
	1,4	0,068	0,076	0,085	0,094	0,105	0,116	0,129	0,142	0,156	0,171
	1,6	0,058	0,066	0,075	0,085	0,095	0,107	0,12	0,133	0,147	0,163
	1,8	0,048	0,056	0,065	0,075	0,086	0,098	0,111	0,124	0,139	0,154
	2,0	0,038	0,046	0,055	0,066	0,077	0,089	0,102	0,116	0,130	0,146

Д.5 Можлива кількість пошкоджених вагонів на 1000 перероблених

Таблиця Д.16 – Значення $n_{\text{пошк}}$ для $\bar{v}_z$, яку отримано за результатами імітаційного моделювання (випадок 1)

Вагова категорія вагонів	Кількість вагонів у відчепі	Ухил, ‰	Похибка гальмування, м/с									
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Варіант 1 ВР	Варіант 1 ВР	0,6	0,61	0,72	0,76	0,78	0,87	1,02	1,16	1,37	1,54	1,72
		0,8	0,70	0,74	0,76	0,83	0,90	1,02	1,16	1,40	1,57	1,72
		1,0	0,72	0,74	0,78	0,83	0,94	1,05	1,24	1,40	1,57	1,76
		1,2	0,74	0,78	0,83	0,85	0,99	1,13	1,24	1,40	1,57	1,80
		1,4	0,81	0,85	0,87	0,87	1,02	1,16	1,27	1,47	1,64	1,84
		1,6	0,97	0,99	0,99	1,07	1,21	1,34	1,47	1,72	1,72	2,00
		1,8	1,16	1,21	1,21	1,30	1,40	1,57	1,72	1,84	2,13	2,37
		2,0	1,43	1,43	1,54	1,80	1,80	2,00	2,18	2,32	2,37	2,83
Варіант 1 ВР	Варіант 3 ПР	0,6	0,64	0,70	0,72	0,74	0,87	0,94	1,16	1,30	1,50	1,54
		0,8	0,66	0,72	0,72	0,76	0,90	1,05	1,16	1,34	1,50	1,64
		1,0	0,72	0,74	0,76	0,78	0,90	1,05	1,16	1,37	1,61	1,68
		1,2	0,78	0,78	0,78	0,81	0,94	1,07	1,16	1,43	1,61	1,84
		1,4	0,83	0,85	0,87	0,92	0,94	1,10	1,18	1,43	1,61	2,04
		1,6	1,05	1,07	1,10	1,16	1,21	1,27	1,54	1,72	2,00	2,04
		1,8	1,37	1,40	1,43	1,50	1,68	1,80	2,04	2,22	2,51	2,78
		2,0	1,61	1,61	1,88	1,96	2,13	2,22	2,27	2,62	2,78	3,30
Варіант 3 НР	Варіант 1 ВР	0,6	0,66	0,66	0,72	0,74	0,83	0,97	1,18	1,30	1,47	1,61
		0,8	0,68	0,70	0,74	0,76	0,85	1,02	1,21	1,37	1,47	1,64
		1,0	0,74	0,74	0,76	0,81	0,87	1,02	1,21	1,37	1,47	1,68
		1,2	0,76	0,76	0,78	0,83	0,97	1,07	1,21	1,37	1,50	1,68
		1,4	0,78	0,81	0,81	0,83	0,97	1,07	1,24	1,37	1,54	1,72
		1,6	0,87	0,87	0,90	0,92	1,02	1,13	1,34	1,50	1,64	1,84
		1,8	0,90	0,92	0,94	1,05	1,13	1,24	1,50	1,64	1,92	1,96
		2,0	1,10	1,16	1,18	1,34	1,37	1,57	1,64	1,96	2,04	2,46
Варіант 3 НР	Варіант 3 ПР	0,6	0,66	0,70	0,70	0,74	0,78	0,97	1,10	1,27	1,47	1,68
		0,8	0,68	0,70	0,72	0,76	0,90	0,97	1,13	1,30	1,50	1,68
		1,0	0,70	0,72	0,76	0,78	0,90	0,99	1,16	1,34	1,50	1,76
		1,2	0,72	0,78	0,78	0,81	0,94	1,02	1,18	1,37	1,61	1,84
		1,4	0,78	0,81	0,85	0,90	0,97	1,02	1,21	1,47	1,64	1,84
		1,6	0,90	0,92	0,92	1,07	1,10	1,30	1,43	1,54	1,80	1,92
		1,8	1,05	1,07	1,07	1,16	1,27	1,40	1,61	1,76	1,96	2,04
		2,0	1,24	1,27	1,30	1,54	1,54	1,72	1,80	2,13	2,27	2,57
Варіант 1 ВР	Варіант 4 ПР	0,6	0,68	0,68	0,70	0,72	0,90	0,97	1,16	1,37	1,50	1,68
		0,8	0,68	0,68	0,74	0,76	0,92	1,02	1,16	1,40	1,57	1,80
		1,0	0,74	0,78	0,78	0,81	0,92	1,02	1,18	1,43	1,64	1,80
		1,2	0,78	0,78	0,81	0,83	0,99	1,07	1,21	1,43	1,64	1,84
		1,4	0,85	0,85	0,87	0,92	1,02	1,05	1,34	1,47	1,72	1,88
		1,6	1,07	1,10	1,16	1,18	1,27	1,43	1,57	1,72	2,04	2,32
		1,8	1,24	1,27	1,40	1,50	1,72	1,76	1,84	2,04	2,41	2,62
		2,0	1,72	1,84	1,92	1,96	2,37	2,37	2,72	2,72	3,00	3,36

Продовження таблиці Д.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Варіант 1 ВР	Варіант 8 НР	0,6	0,63	0,66	0,66	0,72	0,83	1,05	1,18	1,43	1,57	1,76
		0,8	0,66	0,68	0,70	0,81	0,92	1,07	1,18	1,47	1,57	1,76
		1,0	0,70	0,74	0,78	0,85	0,94	1,10	1,21	1,47	1,61	1,80
		1,2	0,78	0,81	0,81	0,85	0,94	1,16	1,37	1,47	1,72	1,88
		1,4	0,90	0,94	0,94	0,97	1,02	1,18	1,37	1,72	1,76	1,92
		1,6	1,24	1,24	1,27	1,37	1,43	1,68	1,92	2,18	2,41	2,83
		1,8	1,54	1,61	1,61	1,68	1,92	2,09	2,27	2,72	3,00	3,30
		2,0	2,09	2,22	2,22	2,37	2,67	2,78	3,36	3,49	3,76	4,18
Варіант 3 НР	Варіант 4 ПР	0,6	0,63	0,66	0,70	0,72	0,85	0,92	1,16	1,30	1,37	1,47
		0,8	0,68	0,70	0,74	0,78	0,90	1,02	1,10	1,30	1,43	1,54
		1,0	0,70	0,74	0,74	0,81	0,92	1,05	1,18	1,40	1,43	1,64
		1,2	0,74	0,78	0,81	0,83	0,92	1,07	1,21	1,43	1,54	1,64
		1,4	0,81	0,83	0,83	0,85	0,92	1,16	1,24	1,43	1,61	1,68
		1,6	0,94	0,94	0,94	1,02	1,18	1,34	1,47	1,76	1,84	1,96
		1,8	1,13	1,16	1,16	1,24	1,50	1,61	1,68	1,96	2,00	2,51
		2,0	1,47	1,50	1,54	1,72	1,84	2,04	2,27	2,41	2,62	2,78
Варіант 3 НР	Варіант 8 НР	0,6	0,64	0,64	0,68	0,74	0,81	0,94	1,18	1,30	1,34	1,61
		0,8	0,68	0,68	0,72	0,76	0,83	1,10	1,21	1,37	1,50	1,64
		1,0	0,70	0,74	0,76	0,83	0,87	1,10	1,21	1,43	1,57	1,64
		1,2	0,72	0,76	0,81	0,83	0,94	1,18	1,27	1,47	1,57	1,96
		1,4	0,83	0,85	0,85	0,87	1,02	1,21	1,30	1,57	1,72	2,04
		1,6	1,07	1,13	1,13	1,13	1,24	1,40	1,72	1,72	2,13	2,32
		1,8	1,18	1,21	1,27	1,34	1,64	1,72	1,80	2,00	2,37	2,51
		2,0	1,57	1,61	1,64	1,76	1,92	2,18	2,37	2,46	2,78	3,00

Таблиця Д.17 – Значення $n_{\text{пошк}}$ для $\bar{v}_z$, яку отримано за регресійними моделями (випадок 1)

Ухил, ‰	Похибка гальмування, м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,6	0,64	0,68	0,74	0,81	0,90	0,99	1,13	1,27	1,47	1,72
0,8	0,64	0,68	0,74	0,81	0,90	0,99	1,13	1,27	1,47	1,72
1,0	0,66	0,70	0,74	0,81	0,90	0,99	1,13	1,27	1,47	1,72
1,2	0,72	0,76	0,81	0,87	0,97	1,07	1,21	1,37	1,57	1,80
1,4	0,83	0,87	0,92	0,99	1,07	1,18	1,34	1,50	1,72	1,96
1,6	0,97	1,02	1,07	1,16	1,24	1,37	1,50	1,72	1,92	2,22
1,8	1,18	1,24	1,30	1,40	1,50	1,64	1,80	2,00	2,27	2,57
2,0	1,50	1,57	1,64	1,72	1,84	2,00	2,18	2,41	2,72	3,06

Таблиця Д.18 – Значення $\hat{y}_i$ для відповідних x_i за рівняннями регресії, які описують зв'язок між σ_v , i та $n_{\text{пошк}}$

Ухил, ‰	Похибка гальмування, м/с									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Випадок 1										
0,6	0,61	0,66	0,72	0,79	0,87	0,97	1,09	1,24	1,41	1,63
0,8	0,64	0,69	0,75	0,82	0,91	1,01	1,13	1,28	1,46	1,69
1,0	0,67	0,72	0,78	0,86	0,95	1,06	1,18	1,34	1,53	1,76
1,2	0,72	0,77	0,84	0,91	1,01	1,12	1,25	1,42	1,61	1,86
1,4	0,79	0,84	0,91	0,99	1,09	1,21	1,35	1,52	1,73	1,99
1,6	0,91	0,96	1,04	1,12	1,23	1,35	1,50	1,69	1,91	2,18
1,8	1,13	1,19	1,26	1,36	1,47	1,60	1,76	1,96	2,20	2,50
2,0	1,59	1,65	1,73	1,83	1,95	2,09	2,27	2,48	2,74	3,07

Продовження таблиці Д.18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Випадок 2										
0,6	0,60	0,64	0,69	0,75	0,83	0,91	1,02	1,14	1,29	1,47
0,8	0,61	0,66	0,71	0,77	0,85	0,94	1,04	1,17	1,32	1,51
1,0	0,64	0,68	0,73	0,80	0,88	0,97	1,07	1,20	1,36	1,55
1,2	0,66	0,71	0,77	0,83	0,91	1,00	1,12	1,25	1,41	1,60
1,4	0,71	0,75	0,81	0,88	0,96	1,06	1,17	1,31	1,47	1,68
1,6	0,77	0,82	0,88	0,95	1,03	1,13	1,25	1,39	1,57	1,78
1,8	0,88	0,93	0,99	1,07	1,15	1,26	1,38	1,53	1,71	1,94
2,0	1,10	1,15	1,21	1,29	1,38	1,49	1,62	1,78	1,97	2,21

Д.6 Витрати, що пов'язані з розформуванням составів

Таблиця Д.19 – Зведені витрати, що пов'язані з автоматизацією ПГП

Варіант	Витрати, тис. грн., за похибки гальмування						
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
1	4279,910	3526,538	2867,206	2295,645	1805,587	1390,762	1044,900
2	8971,223	6930,056	5258,766	3909,715	2838,551	2004,206	1368,900
3	17751,343	12855,459	9104,822	6285,619	4212,477	2726,432	1692,900
Варіант	Витрати, тис. грн., за похибки гальмування						
	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70 і більше	
1	761,732	534,989	358,401	225,698	130,613	0,000	
2	898,135	560,701	328,673	177,409	85,556	0,000	
3	999,641	554,729	284,526	131,640	52,903	0,000	

Таблиця Д.20 – Загальні річні витрати для раціонального варіанта функціонування СГ

С _р + С _{вант.} тис. грн.	Середня кількість составів, що розформовуються протягом доби															
	55								95							
	Варіанти зведених витрат, що пов'язані з автоматизацією ГП															
	1		2		3		1		2		3					
	Тривалість виконання операцій з пошкодженням вагоном, год.															
	8	16	8	16	8	16	8	16	8	16	8	16	8	16		
Випадок 1																
1	2840,437	3605,734	2810,709	3589,809	2766,562	3545,662	4558,648	5767,048	4595,692	5859,742	4574,839	5853,770				
2	3828,384	4567,734	3824,709	4593,446	3780,562	4559,662	6128,154	7280,904	6256,692	7482,451	6250,720	7514,770				
3	4787,789	5487,389	4816,096	5555,446	4794,562	5549,474	7631,154	8751,601	7853,051	9061,451	7911,720	9162,957				
4	5701,789	6392,392	5778,096	6517,446	5772,124	6511,474	9088,501	10185,601	9432,051	10610,904	9533,557	10741,957				
5	6602,542	7262,392	6740,096	7451,792	6734,124	7473,474	10516,059	11565,459	10961,154	12113,904	11112,557	12320,957				
6	7472,542	8132,392	7666,192	8365,792	7696,124	8435,474	11887,059	12936,459	12464,154	13616,904	12691,557	13899,957				
7	8337,342	8973,342	8580,192	9279,792	8658,124	9381,298	13250,556	14260,206	13967,154	15101,045	14270,557	15443,904				
8	9167,342	9803,342	9494,192	10193,792	9595,698	10295,298	14564,556	15574,206	15437,945	16535,045	15794,154	16946,904				
9	9997,342	10633,342	10406,542	11066,392	10509,698	11209,298	15878,556	16852,162	16871,945	17969,045	17297,154	18449,904				
Випадок 2																
1	4158,367	4950,062	4155,230	4975,774	4111,083	4937,067	6679,535	7942,658	6817,908	8144,852	6811,936	8183,358				
2	5181,887	5914,590	5218,574	5972,220	5184,513	5966,248	8330,627	9499,932	8531,852	9798,878	8594,537	9900,384				
3	6135,694	6837,590	6203,373	6939,580	6197,401	6933,608	9852,082	10977,858	10177,798	11387,658	10279,304	11495,654				
4	7047,473	7709,484	7159,180	7878,109	7153,208	7872,137	11315,908	12374,161	11739,858	12880,831	11872,080	13059,162				
5	7910,584	8562,484	8088,418	8762,329	8095,318	8795,137	12694,661	13728,161	13233,881	14354,831	13417,612	14593,285				
6	8763,584	9397,981	8975,529	9639,952	9018,537	9714,760	14048,661	15059,823	14707,881	15807,193	14946,635	16105,115				
7	9583,881	10196,603	9850,102	10509,952	9935,110	10611,458	15357,023	16336,900	16146,093	17212,763	16455,365	17567,193				
8	10388,403	10992,603	10720,102	11379,952	10821,608	11481,458	16640,023	17602,900	17538,363	18587,763	17906,093	19003,193				
9	11184,403	11784,667	11584,375	12220,375	11691,608	12351,458	17906,950	18868,900	18913,363	19962,763	19342,093	20439,193				
Випадок 3																
1	3234,042	3979,622	3204,314	3964,025	3160,167	3919,878	5195,920	6405,553	5253,165	6511,993	5247,193	6506,021				
2	4200,861	4902,622	4193,675	4928,334	4149,528	4888,239	6758,603	7879,553	6890,067	8075,840	6884,095	8100,445				
3	5124,333	5784,420	5150,045	5841,695	5113,839	5835,723	8222,432	9302,226	8426,090	9578,840	8473,010	9680,346				
4	5994,570	6654,420	6062,045	6753,695	6056,073	6747,723	9627,826	10677,226	9929,090	11079,532	10030,596	11183,346				
5	6862,046	7498,046	6974,045	7660,823	6968,073	7659,723	11002,826	12009,832	11418,432	12515,532	11533,596	12686,346				
6	7693,046	8329,046	7870,973	8530,823	7880,073	8571,723	12326,132	13327,832	12854,432	13951,532	13036,596	14189,346				
7	8524,046	9156,180	8740,973	9400,823	8792,073	9483,723	13644,132	14624,576	14290,432	15387,532	14539,596	15692,346				
8	9347,980	9952,180	9610,973	10270,823	9704,073	10372,329	14928,626	15890,576	15726,432	16790,670	16042,596	17147,532				
9	10143,980	10748,180	10480,973	11140,823	10582,479	11242,329	16194,626	17156,576	17116,270	18165,670	17486,432	18583,532				

Таблиця Д.21 – Граничні зведені витрати, які пов'язані з автоматизацією ПП

Випа- лок 1	N _р , состав 2	t _р , гол 3	C _р + C _{авт} , тис. грн 4	Похибка гальмування влічешів, м/с									
				0,10 5	0,15 6	0,20 7	0,25 8	0,30 9	0,35 10	0,40 11	0,45 12	0,50 13	0,55 14
1	55	8	1	1271,932	1214,863	1150,191	1070,356	980,463	883,814	767,292	646,876	509,042	358,401
			2	1567,484	1483,818	1399,641	1288,806	1169,511	1031,804	880,742	716,327	534,989	
			3	1848,889	1740,223	1629,046	1487,211	1334,916	1161,209	970,147	761,732		
			4	2084,889	1951,223	1813,046	1640,211	1454,916	1245,209	1014,147	761,732		
			5	2307,642	2148,976	1983,799	1779,964	1561,669	1315,962	1044,900			
			6	2499,642	2315,976	2123,799	1888,964	1637,669	1355,962	1044,900			
			7	2686,442	2477,776	2258,599	1992,764	1708,469	1390,762				
			8	2838,442	2604,776	2358,599	2061,764	1744,469	1390,762				
			9	2990,442	2731,776	2458,599	2130,764	1780,469	1390,762				
		16	1	1506,084	1433,064	1350,491	1246,806	1133,610	1003,154	868,242	708,077	534,989	
			2	1790,084	1690,518	1582,491	1447,806	1296,711	1135,154	960,242	756,077	534,989	
			3	2031,739	1907,173	1772,146	1606,461	1422,366	1224,809	1009,897	761,732		
			4	2258,742	2109,176	1947,149	1750,464	1533,369	1299,812	1044,900			
			5	2450,742	2276,176	2087,149	1859,464	1609,369	1339,812	1044,900			
			6	2642,742	2443,176	2227,149	1968,464	1685,369	1379,812	1044,900			
			7	2805,692	2581,126	2338,099	2048,414	1732,319	1390,762				
			8	2957,692	2708,126	2438,099	2117,414	1768,319	1390,762				
			9	3109,692	2835,126	2538,099	2186,414	1804,319	1390,762				
		8	1	1852,026	1750,024	1636,614	1497,710	1351,385	1178,576	978,394	761,732		
			2	2217,362	2080,608	1932,148	1743,243	1530,682	1298,415	1044,900			
			3	2549,362	2368,608	2174,148	1932,243	1662,682	1367,415	1044,900			
			4	2835,709	2610,955	2370,495	2075,590	1749,029	1390,762				
			5	3092,267	2823,513	2537,053	2189,148	1805,587					
			6	3292,267	2979,513	2647,053	2246,148	1805,587					
			7	3484,764	3128,010	2749,550	2295,645						
			8	3627,764	3227,010	2802,550	2295,645						
			9	3770,764	3326,010	2855,550	2295,645						
95	95	8	1	2136,856	2004,352	1870,092	1686,487	1494,485	1274,209	1034,044	761,732		
			2	2479,712	2303,208	2122,948	1886,343	1634,032	1354,065	1044,900			
			3	2779,409	2558,905	2332,645	2043,040	1733,729	1390,762				
			4	3042,409	2777,905	2505,645	2163,040	1796,729	1390,762				
		16	5	3251,267	2942,763	2624,503	2228,898	1805,587					
			6	3451,267	3098,763	2734,503	2285,898	1805,587					
			7	3604,014	3207,510	2797,250	2295,645						
			8	3747,014	3306,510	2850,250	2295,645						
			9	3853,970	3369,466	2867,206							

Продовження таблиці Д.21

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	55	8	1	1628,953	1542,438	1436,050	1323,308	1195,710	1048,387	897,199	724,246	534,989	
			2	1879,036	1759,463	1642,486	1495,399	1332,381	1158,519	968,332	761,732		
			3	2094,389	1957,471	1804,948	1635,206	1442,892	1235,519	1007,928	761,732		
			4	2287,604	2129,250	1954,163	1755,421	1534,864	1300,491	1044,900			
			5	2449,715	2273,443	2066,274	1845,152	1607,948	1332,845	1044,900			
			6	2614,386	2415,871	2192,944	1944,934	1676,948	1376,465	1044,900			
			7	2757,683	2540,949	2293,023	2022,231	1719,674	1390,762				
			8	2886,632	2655,471	2382,545	2087,826	1760,623	1390,762				
			9	3019,706	2766,544	2463,545	2150,826	1793,623	1390,762				
		16	1	1820,861	1711,388	1596,561	1454,616	1305,209	1139,894	958,402	754,649	534,989	
			2	2041,835	1911,917	1765,737	1600,052	1420,738	1223,422	1001,932	761,732		
			3	2238,121	2094,917	1922,880	1729,288	1517,023	1291,658	1034,217	761,732		
			4	2409,015	2236,600	2043,774	1827,863	1591,917	1325,745	1044,900			
			5	2573,536	2376,793	2168,294	1916,702	1655,648	1361,265	1044,900			
			6	2732,033	2512,399	2281,523	2006,931	1710,524	1390,762				
			7	2854,032	2621,021	2365,145	2064,576	1743,523	1390,762				
			8	2982,032	2731,044	2446,145	2127,576	1776,523	1390,762				
			9	3111,170	2842,108	2523,209	2186,640	1805,587					
	95	8	1	2307,470	2154,608	1974,361	1781,889	1557,513	1311,183	1044,900			
			2	2619,370	2426,049	2209,531	1960,889	1682,385	1387,133	1044,900			
			3	2863,247	2632,806	2368,990	2076,344	1757,092	1390,762				
			4	3091,421	2818,632	2514,040	2184,518	1799,316	1390,762				
			5	3259,174	2952,536	2608,261	2217,271	1805,587					
			6	3431,668	3082,806	2702,237	2270,283	1805,587					
			7	3571,030	3182,736	2758,167	2295,645						
			8	3685,030	3273,736	2805,167	2295,645						
			9	3796,300	3354,686	2842,117	2295,645						
		16	1	2537,071	2352,409	2148,262	1908,162	1644,036	1358,586	1044,900			
			2	2815,147	2590,485	2330,216	2056,944	1735,842	1390,762				
			3	3034,221	2780,732	2487,190	2158,968	1785,768	1390,762				
			4	3219,524	2923,936	2586,493	2209,271	1805,587					
		16	5	3381,818	3049,106	2672,787	2246,983	1805,587					
			6	3544,480	3171,768	2751,449	2295,645						
			7	3652,557	3256,313	2791,994	2295,645						
			8	3757,778	3330,313	2821,994	2295,645						
			9	3883,750	3418,286	2865,967	2295,645						

Продовження таблиці Д.2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	55	8	1	1360,085	1291,597	1219,259	1132,501	1031,036	921,613	799,772	669,180	519,170	358,401
			2	1608,585	1524,205	1424,221	1310,253	1187,141	1045,576	895,338	720,185	534,989	
			3	1840,436	1740,366	1617,424	1481,413	1328,302	1161,729	969,187	761,495	534,989	
			4	2038,361	1919,519	1766,685	1617,339	1434,228	1225,966	1008,424	761,732		
			5	2246,172	2105,995	1927,161	1751,815	1538,704	1292,828	1044,900			
			6	2418,172	2255,995	2051,161	1849,815	1606,704	1327,828	1044,900			
			7	2590,172	2405,995	2175,161	1947,815	1674,704	1362,828	1044,900			
			8	2755,106	2548,929	2292,095	2038,749	1735,638	1390,762				
			9	2892,106	2663,929	2381,095	2101,749	1768,638	1390,762				
	16	1	1547,746	1472,727	1381,582	1274,024	1156,064	1022,236	875,199	709,296	534,989		
		2	1778,975	1678,055	1572,163	1431,664	1284,702	1125,918	945,199	751,296	534,989		
		3	1987,411	1865,669	1730,246	1575,739	1398,778	1203,002	993,274	761,732			
		4	2189,411	2054,669	1885,935	1712,739	1505,778	1277,002	1032,274	761,732			
		5	2373,372	2217,295	2022,561	1823,365	1586,404	1324,628	1044,900				
		6	2545,372	2367,295	2146,561	1921,365	1654,404	1359,628	1044,900				
		7	2713,506	2513,429	2266,695	2015,499	1718,538	1390,762					
		8	2850,506	2628,429	2355,695	2078,499	1751,538	1390,762					
95	8	9	2987,506	2743,429	2444,695	2141,499	1784,538	1390,762					
		1	1950,504	1838,079	1712,135	1563,818	1397,994	1204,526	999,351	761,732			
		2	2278,504	2130,588	1959,927	1769,525	1555,751	1309,283	1044,900				
		3	2553,504	2375,502	2170,089	1928,315	1664,751	1370,530	1044,900				
		4	2790,033	2580,411	2329,456	2058,845	1743,281	1390,762					
		5	3024,871	2778,411	2483,456	2167,845	1800,281	1390,762					
		6	3209,177	2924,717	2585,762	2225,151	1805,587						
		7	3388,177	3065,717	2682,762	2277,151	1805,587						
		8	3533,671	3173,211	2746,256	2295,645							
	16	9	3660,671	3262,211	2791,256	2295,645							
		1	2207,369	2069,862	1916,042	1728,975	1522,351	1293,133	1044,900				
		2	2481,275	2319,423	2118,260	1882,636	1637,286	1354,351	1044,900				
		3	2735,983	2533,461	2287,933	2037,295	1733,981	1390,762					
		4	2963,771	2731,461	2440,756	2146,295	1790,981	1390,762					
		5	3157,377	2887,067	2552,362	2212,901	1805,587						
		6	3336,377	3028,067	2649,362	2264,901	1805,587						
		7	3494,121	3147,811	2725,106	2295,645							
3	8	3621,121	3236,811	2770,106	2295,645								
	9	3748,121	3325,811	2815,106	2295,645								

Таблиця Д.22 – У хил сортувальних колій, за якого забезпечуються граничні зведені витрати, які пов’язані з автоматизацією ППП

Випадоk	N _p , составів	C _p + C _{вант} , тис. грн.	Тривалість виконання операцій з пошкодженим вагоном, год.																															
			8											16																				
			Похибка гальмування відцепів, м/с																															
1	2	3	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50													
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22													
1	55	1	0,8		0,7			0,6															0,6											
		2	0,6											-											0,6									
		3	0,6											-											0,6									
		4	0,6											-											0,6									
		5, 6	0,6											-											0,6									
		7, 8, 9	0,6											-											0,6									
	95	1	0,8		0,7			0,6															0,6											
		2	0,6											-											0,6									
		3	0,6											-											0,6									
		4	0,6											-											0,6									
		5, 6	0,6											-											0,6									
2	55	7, 8	0,6											-											0,6									
		9	0,6											-											0,6									
		1	1,4											1,3											1,2									
		2	1,3		1,2			-															1,2		1,1		-							
		3	1,2		1,1			-															1,0		0,9		-							
		4	1,0		0,8			-															1,0		0,9		0,8		-					
		5	1,0	0,9	0,8			-															0,8		0,7		-							
		6	0,8		0,7			-															0,8		0,7		-							
		7	0,8	0,7			-															0,7		0,6		-								
	95	8	0,7		0,6			-															0,6		-		-							
		9	0,6			-															0,6		-		-									

Продовження таблиці Д.22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
2	95	1	1,4						1,3														
		2	1,3			1,2			1,1			-	1,2			1,1		-	-	-			
		3	1,2		1,1				-	-	-	-	1,0							-	-	-	
		4	1,0						-	-	-	-	1,0		0,9		-	-	-	-			
		5	1,0	0,9	0,8		-	-	-	-	-	-	-	0,8							-	-	-
		6	0,8						-	-	-	-	-	0,8	0,7		-	-	-	-	-		
		7	0,8	0,7		-				-	-	-	-	0,7		0,6		-	-	-	-	-	
		8	0,7		0,6		-				-	-	-	-	0,7		0,6		-	-	-	-	
		9	0,6						-	-	-	-	-	-	0,6			-		-	-	-	
3	55	1	1,2			1,1						1,1			1,0	0,9	0,7						
		2	1,0	0,9		0,8						-	0,8			0,7							
		3	0,8		0,7			0,6						-	0,7	0,6							
		4	0,7	0,6						-	-	-	-	0,6			0,6						
		5,6	0,6						-	-	-	-	0,6			0,6							
		7	0,6						-	-	-	-	0,6			0,6							
		8,9	0,6						-	-	-	-	-	0,6			0,6						
		1	1,2			1,1						-	-	-	1,1	1,0	0,9	0,8	-	-	-		
		2	1,0	0,9		0,8						-	-	-	0,8			0,7		-	-	-	
95	3	0,8		0,7			0,6						-	0,7	0,6						-	-	-
	4	0,7	0,6						-	-	-	-	-	0,6			0,6						
	5	0,6						-	-	-	-	-	-	0,6			0,6						
	6	0,6						-	-	-	-	-	-	0,6			-		-	-	-		
	7	0,6						-	-	-	-	-	-	0,6			-		-	-	-		
	8,9	0,6						-	-	-	-	-	-	0,6			-		-	-	-		