

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Козаченко Дмитро Миколайович

УДК 656.212

**РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ОЦІНКИ
ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ
ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ПІРОК**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація

на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук

Науковий консультант:

Бобровський Володимир Ілліч

доктор технічних наук,

професор

Дніпропетровськ – 2011

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК.....	14
1.1. Сучасні напрямки підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок.....	14
1.2. Методи моделювання процесу скочування відчепів.....	19
1.3. Проблеми оцінки сортувального процесу на гірках	28
1.4. Проблеми забезпечення безпеки сортувального процесу на гірках..	35
1.5. Висновки по розділу 1	47
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК УКРАЇНИ	49
2.1. Аналіз технічного забезпечення сортувального процесу на залізницях України	49
2.1.1. Характеристика потужності сортувальних пристроїв	49
2.1.2. Пристрої регулювання швидкості скочування відчепів.....	50
2.1.3. Стан колії гірочних горловин сортувальних парків	53
2.1.4. Профіль спускної частини гірки і сортувальних колій	58
2.2. Аналіз структури парку вантажних вагонів України.....	61
2.2.1. Аналіз структури вагонного парку за власністю	61
2.2.2. Аналіз технічних параметрів вагонів	64
2.3. Аналіз вагонопотоків, що надходять у переробку на сортувальних станціях	66
2.4. Постановка задач дослідження. Структура, послідовність та методи їх проведення.	73
2.5. Висновки по розділу 2	77
РОЗДІЛ 3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПА З ГІРКИ ЯК ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	79
3.1. Постановка задачі побудови математичної моделі скочування, в якій відчеп розглядається як динамічна система	79

3.2. Модель відчепа як динамічної системи	80
3.2.1. Одномірна модель відчепа	80
3.2.2. Просторова модель вагона	82
3.3. Модель маршруту скочування	84
3.4. Моделювання руху відчепа як одномірної системи	87
3.4.1. Розрахунок сил, що діють на вагони відчепа під час скочування з гірки	87
3.4.2. Рішення диференціального рівняння руху в одномірній моделі	89
3.5. Моделювання просторового руху вагона у відчепі, що скочується з гірки	90
3.5.1. Формування вертикальних та поперечних сил у міжвагонних з'єднаннях відчепа	91
3.5.2. Формування вертикальних сил у буксових вузлах при проходженні кривих	93
3.5.3. Формування вертикальних та поперечних сил в місцях контакту колеса та рейки	96
3.5.4 . Моделювання руху розрахункового вагона	100
3.6 . Програмна реалізація моделі скочування відчепа з гірки як динамічної системи	107
3.7. Висновки по розділу 3	112
РОЗДІЛ 4 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ СКОЧУВАННІ ВІДЧЕПІВ З СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК	113
4.1. Постановка задачі дослідження умов забезпечення безпеки руху під час регульованого скочування відчепів з гірки	113
4.2. Умови сходу вагонів з рейок в процесі скочування з гірки	115
4.2.1. Витискання вагона	115
4.2.2. Вкочування колеса на рейку	118
4.3. Аналіз сил, що діють на колісні пари вагонів при скочуванні відчепа з гірки	120

4.3.1. Статичні умови вкочування колеса на рейку	120
4.3.2 . Динамічні умови вкочування колеса на рейку.....	121
4.3.3. Умови вкочування колеса на шини уповільнювачів	123
4.4. Дослідження умов скочування багатовагонних відчепів.....	130
4.5. Визначення показників безпеки руху вагонів на основі моделювання скочування відчепів з гірки	133
4.6. Висновки по розділу 4	136
РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ В УМОВАХ ДІЇ ВИПАДКОВИХ ФАКТОРІВ.....	137
5.1. Опір руху вантажних вагонів	137
5.1.1. Основний опір руху вантажних вагонів	137
5.1.2. Опір руху вантажних вагонів від стрілок та кривих.....	138
5.1.3. Опір руху вантажних вагонів від середовища та вітру	138
5.1.4 . Гальмовий опір руху вантажних вагонів.....	141
5.2. Модель скочування відчепа з гірки, що враховує стохастичний характер гіркових процесів	143
5.2.1. Модель відчепа	143
5.2.2. Модель сортувальної гірки	144
5.2.3. Моделювання скочування відчепів	146
5.3. Програмна реалізація моделі скочування одиночних відчепів в умовах невизначеності інформації про їх ходові характеристики та умови скочування.....	147
5.4 . Дослідження впливу випадкових параметрів відчепів на час та швидкість їх руху в межах гіркової горловини.....	149
5.5. Висновки по розділу 5	154
РОЗДІЛ 6 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА УМОВИ ЇХ СКОЧУВАННЯ З СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК	155

6.1 . Проблеми вибору режимів регулювання швидкості скочування відчепів	155
6.2. Оцінка якості прицільного регулювання швидкості скочування відчепів у стохастичних умовах	161
6.3. Імовірнісний критерій оцінки якості інтервального регулювання швидкості скочування відчепів	171
6.4. Дослідження впливу режимів гальмування на якість інтервального регулювання швидкості відчепів	177
6.5. Допустимі режими гальмування відчепів.....	184
6.6. Ефективні режими гальмування відчепів	190
6.7. Оптимізація режимів гальмування відчепів у стохастичних умовах.....	200
6.8. Висновки по розділу 6	206
РОЗДІЛ 7 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК В УМОВАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ	209
7.1. Загальна структура моделі сортувального процесу	209
7.2. Модель колійного розвитку сортувальної гірки	209
7.3. Формалізація процесу гальмування відчепа при скочуванні з гірки	217
7.4. Модель системи управління пересуванням рухомого складу	227
7.5. Моделі об'єктів рухомого складу, що приймають участь в процесі розформування составів	232
7.6. Моделювання випадкового потоку відчепів та вагонів на гірках ...	233
7.7. Моделювання переміщення составів та відчепів на гірках	236
7.8. Техніко-експлуатаційна оцінка ефективності функціонування сортувальних гірок на основі імітаційного моделювання.....	237
7.9. Дослідження ефективності заходів з підвищення якості сортувального процесу на гірках	239
7.10. Висновки порозділу 7	253

ВИСНОВКИ	255
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	260
ДОДАТКИ	287
Додаток А. Об'єкти інтелектуальної власності створені в результаті дисертаційного дослідження	288
Додаток Б. Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.....	289
Додаток В. Представлення колійного розвитку в моделі скочування ...	296
Додаток Д. Результати обчислювальних експериментів по скочуванню відчепа важкої вагової категорії в стохастичних умовах	298
Додаток Е. Моделювання розділення відчепів у стохастичних умовах	304
Додаток Ж. Апроксимація лінії мінімальних ризиків різними кривими	305
Додаток З. Робоча програма і методика випробувань вагонного уповільнювача УВСК для визначення часу його спрацьовування	306

ВСТУП

Сортувальні гірки є основними технічними засобами, що забезпечують розформування-формування составів вантажних поїздів на залізничних станціях України. Ефективність їх експлуатації являється одним з чинників, який впливає на собівартість вантажних перевезень, швидкість доставки вантажів та скорочення простоїв вагонів. Сучасні умови експлуатації залізничного транспорту характеризуються з однієї сторони нестабільністю вагонопотоків, жорсткою конкуренцією з автомобільним транспортом, фізичним і моральним старінням інфраструктури та рухомого складу залізниць, обмеженням інвестиційних ресурсів на їх оновлення, а з іншої - суттєвим прогресом обчислювальної техніки та появою значної кількості технічних засобів автоматизації гіркових процесів, що створює підґрунтя для вирішення проблеми автоматизації управління розпуском составів. В цих умовах рішення щодо ремонту, модернізації чи реконструкції технічних засобів забезпечення сортувального процесу для кожної конкретної станції повинно ґрунтуватись на всебічній оцінці впливу цих заходів на техніко-експлуатаційні показники сортувального процесу при безумовному забезпеченні безпеки руху.

Актуальність роботи. У відповідності до Правил та норм проектування сортувальних пристроїв [159] конкуруючі варіанти сортувальної гірки повинні бути оцінені за допомогою моделювання процесу розформування потоку составів. Однак у сучасних умовах виконується лише перевірка плану та поздовжнього профілю сортувальної гірки, яка ґрунтується на результатах імітаційного моделювання скочування відчепів розрахункової групи. Подібна методика дозволяє визначати тільки роботоспроможність гірки і не дозволяє розраховувати техніко-експлуатаційні та техніко-економічні показники, які необхідні для пошуку її оптимальних параметрів. Методи оцінки безпеки сортувального процесу в залежності від технічного забезпечення гірки та обраних режимів гальмування практично відсутні. У зв'язку з цим розвиток теорії оцінки безпеки сортувального процесу та техніко-експлуатаційних показників сортувальних гірок з метою підвищення безпеки та ефективності їх экс-

платуації є актуальною проблемою та має суттєве значення для залізничного транспорту України.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, які визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року [187] (розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.12.2006 № 651-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); «Розробка методики оптимізації режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках» (№ держреєстрації 0105U001801); «Удосконалення методики оперативного управління сортувальним процесом на станціях» (№ держреєстрації 0108U000642); «Расчет динамики и стабильности подвижного состава во время торможения вагонов на замедлителях, предусматриваемых к установке на станции Вайдотай (Литва) на третьей (парковой) тормозной позиции, в кривых радиусом 200 м» (№ держреєстрації 0107U011636); «Удосконалення розподілу сортувальної роботи в залізничних вузлах» (№ держреєстрації 0107U001826); «Розробка технологічного процесу Одеської залізниці» (№ держреєстрації 0108U010418); «Галузеві будівельні норми. Споруди транспорту. "Правила і норми проектування сортувальних пристроїв на залізницях України» (№ держреєстрації 0111U003612); Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях (№ держреєстрації 0109U000480); «Определение тормозной мощности и времени срабатывания исследовательского образца замедлителя УВСК ТЗ, установленного на восточной сортировочной горке станции Ясиноватая Донецкой железной дороги» (№ держреєстрації 0109U002987), в яких автор дисертації є виконавцем та автором звітів.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення безпеки та експлуатаційної ефективності процесу розформування-формування состава

вів вантажних поїздів за рахунок покращення якості проектних та управлінських рішень, що приймаються на підставі науково-обґрунтованих методів оцінки сортувальних гірок.

Поставлена мета досягається в результаті вирішення наступних **задач**: дослідження технічного забезпечення сортувальних станцій України та характеристик вагонопотоків, що надходять у розформування; розробка математичної моделі процесу скочування, в якій відчеп розглядається як просторова динамічна система; розробка методів оцінки безпеки процесу регульованого скочування відчепів на сортувальних гірках; удосконалення методів аналізу динаміки регульованого скочування відчепів для урахування впливу випадкових факторів, що діють під час розпуску; розробка методів оцінки якості інтервального та прицільного регулювання швидкості скочування відчепів; розробка методів розв'язання задачі оптимізації режимів гальмування відчепів у стохастичній постановці; удосконалення методів техніко-експлуатаційної оцінки конструкції та технічного стану сортувальних гірок.

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

Предмет дослідження – взаємозв'язки техніко-технологічних параметрів сортувальних гірок та характеристик вагонопотоків з експлуатаційними показниками роботи залізничних станцій та показниками безпеки руху поїздів.

Методи дослідження. Постановка задач дослідження, вибір методів їх вирішення та аналіз результатів здійснено з використанням методів системного аналізу. Вирішення окремих задач дослідження здійснено з використанням наступних методів: реляційна алгебра та математична статистика для дослідження характеристик вагонопотоків і технічного забезпечення сортувальних станцій України; методи теоретичної механіки, чисельні методи рішення диференціальних рівнянь для моделювання процесів руху відчепів на сортувальних гірках як динамічних систем; теорія безпеки руху поїздів, математичне моделювання для оцінки показників безпеки процесу регулюва-

ного скочування відчепів на сортувальних гірках; теорія імовірностей, математична статистика, теорія гіркових процесів, методи планування факторних експериментів для удосконалення методів аналізу динаміки регульованого скочування відчепів з метою урахування впливу випадкових факторів, що діють під час розпуску; теорія корисності, математична статистика для оцінки якості інтервального та прицільного регулювання швидкості скочування відчепів; динамічне програмування для розробки методів розв'язання задачі оптимізації режимів гальмування відчепів у стохастичній постановці; об'єктно-орієнтований аналіз, математичне моделювання, методи економічного аналізу для техніко-експлуатаційної та техніко-економічної оцінки конструкції та технічного стану сортувальних гірок.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні актуальної науково-практичної проблеми оцінки техніко-експлуатаційної ефективності та безпеки функціонування сортувальних гірок для чого в дисертаційній роботі:

1) Вперше розроблено математичну модель скочування відчепів з гірки в якій відчеп розглядається як просторова динамічна система, що дозволяє визначати зусилля між вагонами відчепа, а також між вагонами та колією і гальмовими уповільнювачами і на цій основі оцінювати умови безпеки руху.

2) Вперше розроблено методи оцінки показників безпеки руху при скочуванні відчепів з гірки, що дозволяють аналізувати умови руху відчепів та попереджувати процеси викочування коліс вагонів на рейки і шини уповільнювачів під час регульованого скочування з урахуванням конструктивних особливостей та технічного стану рухомого складу, колії та уповільнювачів.

3) Вперше розроблено метод оцінки якості прицільного гальмування відчепів, який дозволяє при виборі режимів гальмування враховувати взаємозв'язок між швидкістю підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях, показниками заповнення колій та параметрами системи керування сортувальним процесом.

4) Вперше розроблено метод оцінки якості інтервального регулювання швидкості скочування відчепів, що ґрунтується на оцінці ризиків їх нерозділення на стрілках і дозволяє визначати раціональні режими гальмування відчепів в умовах дії випадкових факторів.

5) Вперше сформульовано задачу визначення раціональних режимів гальмування відчепів складу у стохастичній постановці та запропоновано метод її вирішення на основі динамічного програмування, що дозволяє оптимізувати процес керування розформуванням складів та оптимізувати вибір режимів гальмування як в умовах експлуатації діючих сортувальних гірок та і при виконанні оцінки якості проектуємих сортувальних гірок.

6) Удосконалено метод техніко-економічної оцінки функціонування сортувальних гірок на основі математичного моделювання процесу розформування складів, що, на відміну від існуючих, враховує параметри технічного забезпечення процесу розформування складів, функціонування системи управління роботою гірки при виборі режимів гальмування відчепів та дозволяє отримувати показники роботи гірки як системи.

Практичне значення отриманих результатів:

Запропоновані методи та алгоритми реалізовано у вигляді програмного комплексу для ЕОМ «Скатывание одиночного отцепа «VS» (свідоцтво про державну реєстрацію авторських прав на твір № 30170, див. Додаток А).

Результати роботи використані: для оцінки безпеки процесу розформування складів при реконструкції станції Вайдотай (Литовські залізниці), при розробці нормативного документа «Правила і норми проектування сортувальних пристроїв на залізницях України», для удосконалення роботи станцій Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці та Красний Лиман Донецької залізниці, а також в навчальному процесі при підготовці спеціалістів та магістрів спеціальності «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті» напряму «Транспортні технології» в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Ла-

заряна. Відповідні акти впровадження результатів дослідження наведені у Додатку Б до дисертації.

Особистий внесок здобувача. Всі результати теоретичних та експериментальних досліджень, що наведені у роботі, отримані автором самостійно. Статті [83, 84, 86, 78, 82, 95] опубліковані без співавторів. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: в монографії [21] автором удосконалено модель скочування відчепів та розроблено модель розпуску потоку составів; в монографії [17] та в статті [29] розроблено методи автоматизованого формування моделей колійного розвитку; в [25] виконано дослідження величини сил, що діють на рухомий склад; в [16, 27, 26] виконано декомпозицію загальної моделі станції та розроблено моделі об'єктів рухомого складу; в [28] розроблено модель заняття колій рухомим складом; в [72, 81, 88] виконано статистичні дослідження параметрів вагонопотоків; в [76, 85, 73, 77] розроблено методи оцінки динаміки скочування відчепів в умовах дії випадкових факторів; в [134, 131] створено модель, в якій відчеп розглядається як динамічна система, та розроблено методи оцінки безпеки регульованого скочування вагонів; в [30, 19] розроблено систему моделей гальмових уповільнювачів; в статті [87] автору належить методика випробування уповільнювача; в статті [15] розроблено методи оцінки режимів гальмування при випадкових параметрах відчепів та умов скочування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на: 65, 66, 67, 68, 69, 70 та 71 міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2005-2011 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (Місхор, ДНУЗТ, 2009); 3 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (Київ, ДЕТУТ, 2008); 5 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах

реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Київ, ДЕУТ, 2011); Всеросійській науково-технічній конференції «Транспорт, наука, бізнес: проблемы и стратегия развития», присвяченій 130-річчю Свердловської залізниці (Єкатеринбург, УрГУПС, 2008); 2 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (Гомель, БелГУТ, 2008); 10 науково-практичній конференції «Безопасность движения поездов» (Москва, РосГУПС, 2009). У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (2011 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 43 наукових публікації у тому числі: 2 монографії, 27 наукових статей у фахових виданнях, затверджених ВАК України, 1 патент на корисну модель, 3 додаткових статті та 10 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 7 розділів, висновків і 7 додатків. Повний обсяг роботи – 308 сторінок; з них основного тексту 256 сторінок; додатків, списку використаних джерел, рисунків і таблиць 52 сторінки. Список використаних джерел із 224 найменувань.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ТА АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

Процес розформування-формування составів поїздів на сортувальних гірках є одним з найбільш складних технологічних процесів, який має місце при перевезенні вантажів залізничним транспортом. В сучасних умовах основним напрямком підвищення безпеки сортувального процесу, зменшення витрат на функціонування гірок, ефективного використання технічних засобів, покращення умов праці робітників є автоматизація процесу розформування составів. Вирішення наведеної задачі пов'язано зі значним обсягом експериментальних та теоретичних досліджень гіркових процесів, що виконувались як в Україні, так і в інших країнах.

1.1. Сучасні напрямки підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок

В сучасній теорії експлуатації та ремонту засобів транспорту склалося декілька напрямків удосконалення сортувального процесу на залізничних станціях, що мають на меті покращення стану безпеки розформування поїздів, підвищення переробної спроможності гірок та зниження витрат, які пов'язані з сортуванням вагонів.

Одним з таких напрямків є удосконалення конструкції плану та поздовжнього профілю сортувальних гірок. В сучасних умовах основними нормативними документами з проектування нових та перебудови існуючих сортувальних пристроїв є «Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР» [159] та «Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств» [127]. Ці документи передбачають при проектуванні виконання техніко-економічного обґрунтування конструкції сортувальних пристроїв з урахуванням наступних витрат:

на механічну роботу з гальмування вагонів;

на маневрову роботу, що пов'язана з осаджуванням (підтягуванням) вагонів на сортувальних коліях та перестановкою вагонів, які не надійшли на колії призначення при розпуску составів;

пов'язані зі зміною висоти гірки та потрібної потужності гальмових засобів;

пов'язані із пошкодженням вагонів та вантажів, а також зсувом вантажів при перевищенні встановленої Правилами технічної експлуатації залізниць України (ПТЕ) швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях.

Наведені в [127, 159] методики визначення вказаних витрат ґрунтуються на відповідних показниках сортувального процесу, які необхідно визначати шляхом імітаційного моделювання розформування потоку поїздів на гірках. Між тим типова модель розформування составів в сучасних умовах відсутня і об'єктивна оцінка якості сортувального процесу є неможливою. При цьому однією із принципових проблем є відтворення в моделі роботи системи управління швидкістю скочування відчепів оскільки у більшості сучасних систем алгоритми відповідної функції є комерційною таємницею. Таким чином, створення адекватної моделі розформування состава на сортувальній гірці є актуальною задачею, рішення якої дозволить приймати якісні проектні рішення.

Другим напрямком є удосконалення конструкції маневрових локомотивів та режимів керування ними. Робота локомотивів під час насуву і розпуску є однією із складових витрат, що пов'язані з розформуванням составів на сортувальних гірках. Величина цих витрат залежить від характеристик локомотивів, параметрів составів та поздовжнього профілю насувної частини сортувальних гірок.

Розроблені методики розрахунку та нормування енергетичних витрат локомотивів під час насуву і розпуску составів [7, 32, 43, 116] дозволяють здійснювати вибір локомотива за критерієм потужності та енерговитрат, ви-

значати оптимальні режими роботи гіркових локомотивів та можуть бути використані при оптимізації конструкції поздовжнього профілю насувної частини сортувальної гірки.

Необхідно відмітити, що задача оптимізації роботи локомотива при розпуску з гірки повинна розв'язуватись комплексно у поєднанні з процесом та умовами скочування вагонів на спускній частині гірки.

Третім напрямком є розробка та модернізація технічних засобів регулювання швидкості скочування відчепів з сортувальних гірок. Основними технічними засобами, що використовуються для регулювання швидкості скочування відчепів на сортувальних гірках України є балкові уповільнювачі різних типів та принципу дії – вагові (КВ-3), натискні (Т-50, КНП-5, ВЗПГ, НК-114, РНЗ). Досвід експлуатації цих уповільнювачів [176] показав ряд їх суттєвих недоліків: велика металоємність та багатодетальність, наявність пневмоспоруд, суттєва енергоємність і т.д. В основному наведені типи уповільнювачів орієнтовані на ручне управління швидкістю скочування відчепів і в ряді робіт [179, 204] показано проблеми, що виникають при їх використанні для автоматизації сортувальної роботи. В сучасних умовах розроблені нові типи вагонних уповільнювачів такі як ЗВУ, КЗ-3, УВСК. Існує значна кількість модифікацій балкових уповільнювачів західноєвропейського та американського виробництва. Активно впроваджуються засоби квазінеперервного гальмування відчепів точковими уповільнювачами [67, 215]. Всі ці уповільнювачі відрізняються кількістю ступенів гальмування, швидкістю спрацьовування, точністю реалізації заданих режимів гальмування, витратами на придбання, монтаж та експлуатацію. В той же час у існуючих моделях сортувального процесу гальмування відчепів імітується спрощено як додатковий опір, що рівномірно розподілений на ділянці гальмування. Такий підхід не дозволяє оцінити ефективність впровадження конкретних типів уповільнювачів і вимагає удосконалення.

Четвертим напрямком є перехід від ручного управління гірковими гальмовими позиціями, що використовується в сучасних умовах на залізничних

станціях України, до автоматизованих систем управління швидкістю скочування відчепів. Вказану функцію має КГМ, що встановлений на ст. Красний Лиман Донецької залізниці, але ця його функція практично не використовується. В той же час управління швидкістю скочування відчепів є процесом, для якого характерна значна кількість порушень безпеки руху і випадків виробничого травматизму, тому покращення якості управління швидкістю скочування відчепів є одним з головних завдань експлуатаційної роботи сортувальних станцій. Автоматизація сортувального процесу широко впроваджується на залізницях країн Західної Європи, Північної Америки, Російської Федерації та Китаю [8, 203].

На 54 сортувальних гірках Європи, Азії та Африки експлуатуються системи управління, розроблені фірмою “Saxbi” (Франція) [174]. Вона реалізує управління стрілками, компресорною станцією, та регулювання швидкістю скочування на двох гальмових позиціях. В основу функціонування системи покладено принцип прицільного гальмування. При цьому ходові характеристики відчепів визначаються на підставі вимірювання часу руху між лічильниками осей, яких, наприклад, на станції Соттевіль встановлено понад 300 шт.

На сортувальних гірках великої потужності країн Західної Європи широко впроваджується система MSR-32 розробки фірми SIEMENS (Німеччина) [119, 218]. Для визначення ходових характеристик відчепів і контролю безпеки руху використовуються різноманітні датчики (колійні педалі, швидкостеміри, світлові решітки та ін.). В якості управляючих органів використовуються гідравлічні двониткові та одностовкові уповільнювачі. Регулювання швидкості скочування відчепів по сортувальним коліям реалізовано за принципом прицільного гальмування та з використанням примусового переміщення вагонів осаджувачами. Необхідно відмітити, що система MSR-32 впроваджується і на сортувальних станціях колії 1520 мм [44, 119].

Альтернативним принципом регулювання швидкості скочування відчепів по сортувальним коліям є квазінеперервне регулювання швидкості скочу-

вання відчепів точковими уповільнювачами. Система управління сортувальним процесом SAPRO спільної розробки фірм Axtone та Tens встановлена на станції Познань-Франово у Польщі. Регулювання швидкості скочування відчепів здійснюється за принципом управління кінетичною енергією яка визначається на підставі замірів маси та миттєвої швидкості відчепів. Заміри виконуються датчиками, що розташовуються вздовж колії.

На сортувальних станціях Північної Америки застосовуються автоматизовані системи управління сортувальним процесом Proyard II [218] та Proyard III [220] розроблені фірмою „General Electric”. Управляючими пристроями є гідравлічні уповільнювачі. В основу регулювання швидкості скочування на сортувальних коліях покладено принцип прицільного гальмування.

На значній кількості станцій Північної Америки встановлена система DDC III [174]. Остання із систем DDC III встановлена на станції Фуян Китайських залізниць. Система обладнана трьома гальмовими позиціями з балковими уповільнювачами. При цьому прицільне гальмування здійснюється на відстань до 150 м, а далі застосовується квазінеперервне регулювання швидкості скочування відчепів точковими уповільнювачами. Також на сортувальних станціях Північної Америки використовуються і системи з виключно квазінеперервним регулюванням швидкості скочування відчепів [215].

Сучасне розуміння проблеми автоматизації сортувального процесу в Російській Федерації викладено в „Програмі розвитку та концепції механізації та автоматизації технологічних процесів сортувальних станцій на період 2000-2005 рр.” [209]. В межах реалізації цієї програми на станції Бекасово-Сортувальна було введено в експлуатацію систему автоматизованого управління сортувальною станцією КСАУ-СС. КСАУ-СС включає в себе підсистеми управління ГАЛС Р та КВГ що управляють насупом і розпуском составів. Комплексною системою управління розформуванням составів є КГМ розробки ВНИИАС [100]. КГМ являє собою взаємоув'язаний з колійними пристроями та виконавчим обладнанням комплекс технічних та програмних

засобів, що забезпечують розрахунок змінної швидкості розпуску, контроль розділення відчепів, управління маршрутами їх руху та контроль ходу розпуску, регулювання швидкостей скочування, контроль заповнення колій та інші функції. В якості управляючих пристроїв в КГМ використовуються пневматичні уповільнювачі.

Необхідно відмітити, що автоматизовані гірки Російської Федерації суттєво відрізняються від гірок Західної Європи та Північної Америки за показником переробної спроможності. Так переробна спроможність сортувальної гірки станції Орехово-Восточная (40 підгірочних колій) складає 8000 ваг/добу, переробна спроможність станції Макміллан Канадських залізниць (76 підгірочних колій, обладнана системою Proyard II) складає 4200 ваг/добу, станція Мюнхен-Північний (64 підгірочних колій, обладнана системою MSR-32) складає 5300 ваг/добу.

1.2. Методи моделювання процесу скочування відчепів

Сортувальні гірки є складними системами, в процесі функціонування яких взаємодіє значна кількість об'єктів. Принципово визначення експлуатаційних показників цих систем можливо на підставі експериментів з реально діючими гірками [54, 57]. Наведені експерименти пов'язані зі значними витратами коштів і тимчасовим виведенням гірок із експлуатаційної роботи. У зв'язку з цим основою сучасних методів оцінки сортувального процесу є моделювання скочування відчепів з гірки. Процес скочування відчепів є одним з основних елементів розформування-формування поїздів на станціях. Аналіз скочування відчепів потрібний на стадії проектування сортувальних гірок, [103, 116, 143, 219], їх механізації [214], при розробці автоматизованих систем управління розформуванням [135, 136, 212, 216]; при аналізі техніко-експлуатаційних показників роботи сортувальних гірок [10, 53, 72, 77] та при навчанні оперативного персоналу [154].

На початковому етапі розвитку залізничного транспорту необхідність моделювання скочування відчепів виникла у проектних задачах перевірки

висоти, плану та профілю сортувальних гірок і умов розділення відчепів. В цих задачах процес руху відчепа може бути представлений за допомогою диференціального рівняння $v' = f(s, v)$, з рішенням якого і пов'язані перші роботи по моделюванню гіркових процесів. Вперше детальні аналітичні дослідження процесу скочування відчепів з гірок були виконані академіком В.М. Образцовим [147]. В даній роботі рівняння руху представлено виразом

$$P = mv \frac{dv}{ds},$$

де P – рушійна сила;
 m – маса відчепа;
 s – відстань скочування.

Рушійна сила визначається з виразу

$$P = F - W,$$

де F – проекція ваги вагона на площину скочування відчепа;
 W – сила опору руху відчепа.

Проекція ваги вагона на площину скочування відчепа визначається за формулою

$$F = Q \sin \alpha_n,$$

а величина опору руху - за формулою

$$W = Qw_0 + 0,07f_B(v + v_B)^2 + 0,75\frac{Q}{R}, \quad (1.1)$$

де α_n - кут нахилу;
 w_0 – основний питомий опір руху вагона;
 f_B – площа поперечного перетину вагона;
 v_B – швидкість вітру;
 Q – вага відчепа;
 R - радіус кривої.

В [147] отримано точне рішення диференціального рівняння руху відчепа у вигляді аналітичних виразів виду $\Delta s = f(v)$.

В подальшому вираз (1.1) був уточнений з метою урахування сил, що

діють на відчеп. При цьому на окремому кроці питомий опір руху відчепа визначається за формулою

$$w = w_0 + w_{\text{CB}} + w_{\text{СК}} + b_{\Gamma}, \quad (1.2)$$

а загальна робота, що витрачається під час спуску відчепа, визначалась за формулою [145, 165]

$$A = \left(w_0 l + \sum c_{\text{В}} v_{\text{ОТН}}^2 \Delta l \right) 10^{-3} + 0,012 \sum \alpha_{\text{П}} + 0,02 n_{\text{СТ}} + b_{\Gamma} l_{\Gamma},$$

де w_{CB} , $w_{\text{СК}}$ – відповідно, питомий опір руху від середовища та вітру і від стрілок та кривих;

b_{Γ} – питома гальмова сила;

$c_{\text{В}}$ – питомий коефіцієнт опору навколишнього середовища та вітру;

$v_{\text{ОТН}}$ – відносна швидкість вітру і вагона;

Δl – довжина розрахункової ділянки;

$\alpha_{\text{П}}$ – сума кутів повороту на маршруті скочування з урахуванням стрілочних;

$n_{\text{СТ}}$ – кількість стрілочних переводів на маршруті скочування.

Для спрощення розрахунків проф. В.Д. Нікітіним був розроблений наближений аналітичний метод рішення рівняння руху [146], що базувався на припущенні про постійний опір руху на деякій ділянці маршруту скочування. Практичні розрахунки на початковому етапі розвитку теорії гіркових процесів здійснювались графоаналітичним та графічним методами, які наведені в роботах академіка В.М. Образцова [145] та проф. Юценка М.Р. [207].

В подальшому було здійснено значний обсяг експериментальних та теоретичних досліджень з метою підвищення точності врахування сил, що діють на відчеп під час руху (1.2). Для визначення величини опору вагонів Всесоюзним науково-дослідним інститутом залізничного транспорту (ВНИИЖТ) виконано комплекс експериментальних досліджень основного опору руху вагонів, опору від стрілок та кривих, а також опору від середовища та вітру [180]. В результаті виконаних досліджень встановлено, що основний питомий опір руху одиночного вагона являє собою випадкову величи-

ну, яка підкоряється гамма розподілу і в окремому досліді при імітаційному моделюванні може визначатись як

$$w_0 = -\frac{1}{b} \ln \left(\prod_{j=1}^a R_j \right), \quad (1.3)$$

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

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

Опір стрілок та кривих на маршруті скочування є пропорційним квадрату швидкості руху, а середнє значення питомої роботи сил опору від стрілок та кривих в межах ділянки скочування визначається за формулою

$$\bar{h}_{\text{СК}} = (0,56n + 0,23 \sum \alpha_{\text{СК}}) v^2 \cdot 10^{-3}, \quad (1.4)$$

де $n, \sum \alpha_{\text{СК}}$ – відповідно кількість стрілочних переводів та сума кутів повороту, з урахуванням стрілочних кутів на маршруті скочування;

При імітаційному моделюванні процесу скочування відчепів робота сил опору руху від стрілок та кривих в межах ділянки скочування відчепа може розглядатись як випадкова величина та визначатись за допомогою виразу

$$h_{\text{СК}} = -0,125 \bar{h}_{\text{СК}} \ln \left(\prod_{j=1}^8 R_j \right). \quad (1.5)$$

Для визначення опору середовища та вітру в [180] виконано спостереження за скочуванням реальних вагонів, та ряд експериментів з обдуву масштабних моделей вагонів у аеродинамічній трубі. В результаті для визначення питомого опору руху відчепа від повітряного середовища та вітру запропоновано використовувати вираз

$$w_{\text{СВ}} = c v_{\text{Від}}^2, \quad (1.6)$$

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

$v_{\text{Від}}$ - відносна швидкість відчепа з урахуванням напрямку вітру, м/с.

Наведені методи визначення опору руху вагонів внесені до Правил та

норм проектування сортувальних пристроїв на залізницях СРСР [159], а потім перенесені і до відповідного документа Російської Федерації [160].

У [180] також виконано експериментальну перевірку адекватності запропонованої моделі. Результати статистичного аналізу показали, що дисперсія відхилення швидкості скочування відчепа на спускній частині гірки не перевищує $0,02 \text{ м/с}^2$, а на сортувальній колії - $0,001 \text{ м/с}^2$. Дисперсія відхилення часу входу відчепа на гальмові позиції склала відповідно 0,09, 0,36 і $1,0 \text{ с}^2$. В цілому, в [180] зроблено висновок, що розроблена модель може бути використана в розрахунках, які пов'язані з проектуванням сортувальних гірок, для отримання техніко-експлуатаційних показників їх роботи. В той же час аналіз показує, що використати запропоновану методику для розробки стохастичної імітаційної моделі скочування відцепів неможна, так як в ній не розглянуто питання моделювання опору середовища і вітру як випадкової величини і не наведено методи моделювання роботи гальмових позицій, які відповідно до [205] є однією з причин відхилення часу та швидкості скочування реальних відцепів від результатів моделювання цього процесу. У зв'язку з цим викладена в [159] методика дозволяє вирішувати лише задачі перевірки висоти гірки та умов розділення розрахункової групи відцепів на розділових елементах.

Одним з основних елементів керованого скочування відцепів з гірки є їх гальмування уповільнювачами. В традиційних імітаційних моделях [205] регулювання швидкості скочування відцепів здійснюється шляхом встановлення необхідної погашаємої енергетичної висоти, а їх гальмування здійснюється рівномірно у всій зоні дії уповільнювачів гальмової позиції. Такі моделі можуть використовуватись при рішенні проектних задач. В той же час для дослідження сортувального процесу на автоматизованих гірках необхідно враховувати реальні умови гальмування відцепів, яке здійснюється номінальною потужністю уповільнювачів в обмеженій зоні, що визначається моментами загальмовування та розгальмовування уповільнювачів. Модель уповільнювача з регулюємою зоною гальмування опублікована в [21]. В цій роботі

миттєве значення питомого опору уповільнювача для загальмованих уповільнювачів запропоновано визначати за допомогою виразів

- для уповільнювачів вагового типу

$$f_{\text{ГВ.ос}} = \frac{H_{\text{у.п}} q_{\text{вж}}}{l_{\text{у}} Q_{\text{від}}} 10^{-3},$$

- для уповільнювачів натискного типу

$$f_{\text{ГН.ос}} = \frac{H_{\text{у.п}} q_{\text{вж}} (p_{\text{ГЦ}} - p_0)}{l_{\text{у}} Q_{\text{від}} (p_{\text{НГМ}} - p_0)} 10^{-3},$$

де $q_{\text{вж}}$ – навантаження на вісь, що гальмується;

$H_{\text{у.п}}$ – номінальна гальмова потужність уповільнювача;

$l_{\text{у}}$ – довжина уповільнювача;

$Q_{\text{від}}$ – маса розрахункового відчепа, якій відповідає номінальна погашаєма енергетична висота, т;

$p_{\text{ГЦ}}$ – тиск робочого тіла у гальмових циліндрах;

p_0 – частина тиску, що витрачається на підйом гальмової системи уповільнювача;

$p_{\text{НГМ}}$ – тиск робочого тіла у гальмовій магістралі.

Наведені моделі дозволяють адекватно моделювати процес взаємодії уповільнювача та коліс відчепа. В той же час виконані експериментальні дослідження [87, 167, 205] показали, що номінальна погашаєма уповільнювачем енергетична висота є випадковою величиною, що підкоряється нормальному закону розподілу. У зв'язку з цим при імітаційному моделюванні у [21] погашаєму енергетичну висоту пропонується моделювати як випадкову величину, яка розподілена за нормальним законом з математичним очікуванням, що дорівнює заданому значенню $h_{\text{ГЗ}}$ і деякому постійному середньому квадратичному відхиленню. Такий підхід не дозволяє повністю врахувати вплив випадкових факторів і адекватно моделювати процес гальмування відчепів. Це пов'язано з тим, що разом з випадковими факторами, такими як діаметр колеса, коефіцієнт тертя між шинами уповільнювача та колесами вагона, на величину реалізуємої енергетичної висоти при неповній реалізації гальмової

потужності суттєво впливає режим управління уповільнювачем, що залежить від параметрів відчепа та алгоритму управління. Окрім того наведена методика не враховує умови роботи уповільнювачів на перехідних режимах, що є важливим для багатовагонних відцепів.

Модель уповільнювача як складної динамічної системи з інерційними властивостями представлена в [56]. При цьому, уповільнювач представляється системою шарнірно-з'єднаних жорстких балок, переміщення яких описуються рівняннями класичної механіки. Наведена модель дозволяє здійснювати теоретичне дослідження процесу входу вагона в уповільнювач і оцінювати вплив на нього різних параметрів, таких як форма західної частини, жорсткість матеріалів шини та колеса і ін.

В цілому в [159] процес скочування відчепа описується диференціальним рівнянням руху, в якому незалежною змінною є шлях:

$$ds = \frac{v dv}{g'(i(s) - w_0 - w_{ck}(v) - w_{cb}(v) - b_T(s)) \cdot 10^{-3}}. \quad (1.7)$$

де g' – прискорення сили тяжіння м/с² з урахуванням інерції мас, що обертаються.

Сортувальна гірка являє собою складну систему, в якій відбуваються десятки паралельних процесів, що пов'язані з рухом відцепів та роботою гіркових пристроїв. Синхронізація цих процесів в імітаційній моделі вимагає використання моделі руху

$$v' = f(t, v). \quad (1.8)$$

Вперше аналітичне рішення диференціального рівняння скочування у вигляді системи функцій $v(t)$ та $s(t)$ було отримано Ф. Раабом [221, 222]. При цьому рівняння руху відчепа приймає вигляд

$$dt = \frac{dv}{g'(i(s) - w_0 - w_{ck}(v) - w_{cb}(v) - b_T(s)) \cdot 10^{-3}}. \quad (1.9)$$

В перших теоретичних роботах з питань гіркових процесів відцеп розглядався як матеріальна точка, що є джерелом похибок при моделюванні скочування багатовагонних відцепів. Методи моделювання руху багатова-

гонних відчепів розроблено в роботах проф. Ю.О. Мухи у [123] та проф. Є.М. Шафіта [197]. Отримані моделі використані для виконання гіркових розрахунків на аналогових [198] та цифрових ЕОМ [23, 33, 150].

Для удосконалення врахування впливу поздовжнього профілю на процес руху відчепа проф. Ю.О. Мухою та проф. В.І. Бобровським у [124] запропоновано вагонну модель відчепа, яка дозволяє досліджувати процес скокування багатовагонних відчепів. При визначенні сил, що діють на відчеп у цій моделі використовується еквівалентний ухил, по якому рухається кожен вагон відчепа на кроці Δs , за різницею відміток його крайніх осей. Найбільш точно визначати еквівалентний ухил під відчепом дозволяє осьова модель відчепа запропонована проф. В.І. Бобровським у [23, 130]. В цій моделі відчеп розглядається як нерозтяжний гнучкий стержень, що представляє собою систему шарнірно з'єднаних матеріальних точок, які відповідають окремим колісним парам вагонів. Така модель дозволяє з достатньою точністю визначати зовнішні сили, що діють на відчеп в процесі його скокування.

Отримання статистичних оцінок сортувального процесу вимагає проведення масових імітаційних експериментів у короткі терміни. З цим напрямком пов'язані дослідження, метою яких є розробка методів моделювання гіркових процесів для прискорення виконання імітаційних експериментів. В традиційних методиках значення ухилу i_3 , питомого опору від стрілок та кривих $w_{\text{ск}}$ і від середовища та вітру $w_{\text{св}}$ приймаються постійними на кожному кроці моделювання. Похибка, що вноситься таким припущенням компенсується зменшенням кроку переміщення відчепа Δs . При такому припущенні вираз (1.9) приймає вигляд:

$$\int_{s_0}^{s_1} ds = \frac{1}{g'(i_3 - w_0 - w_{\text{ск}} - w_{\text{св}}) \cdot 10^{-3}} \int_{v_0}^{v_1} v dv.$$

Рішення цього рівняння приводить до відомого рекурентного виразу, що широко використовується для моделювання руху відчепів:

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2g'(i_3 - w_0 - w_{\text{ск}} - w_{\text{св}})\Delta s \cdot 10^{-3}}.$$

При цьому час руху відчепа Δt на окремому кроці Δs визначається по

середньому значенню швидкості

$$\Delta t = \frac{2\Delta s}{v_{\text{п}} + v_{\text{к}}},$$

де $v_{\text{п}}$, $v_{\text{к}}$ – швидкість відчепа на початку і в кінці кроку Δs .

Використання такого підходу є припустимим при одиночному скочуванні відчепів, але призводить до значного збільшення тривалості вирішення оптимізаційних задач та задач статистичної оцінки сортувальних гірок, в яких виконуються масові імітаційні експерименти по скочуванню відчепів. Рішенням цієї проблеми є використання аналітичних методів рішення рівнянь (1.7, 1.9).

Найбільш близьке до точного аналітичне рішення диференціального рівняння $\frac{dv}{dt} = g'(i(s) - w_0 - w_{\text{св}}(v^2))$ отримано проф. І.В. Жуковицьким [58]. В цій роботі наведено вирази для побудови кривих швидкості $v(t)$ та шляху $s(t)$ при різних співвідношеннях між ухилом колії i та основним опором руху відчепа w_0 . Окрім того для випадку відсутності вітру отримано точне рішення у вигляді $v(s)$. Наведені рішення отримані при постійному ухилі i і тому при моделюванні скочування відчепа по змінному профілю за допомогою виразів $v(t)$ и $s(t)$ необхідно визначати на кожному кроці Δt значення $i(s)$. При цьому для розрахунку $i(s)$ на кроці Δt необхідно знати положення відчепа $s(t)$ в кінці кроку, яке є невідомим. Недоліком рішення, що наведено в [58], є також те, що в ньому не враховується опір середовища та вітру.

Складність використання аналітичних методів для моделювання реальних гіркових процесів пов'язана в першу чергу з необхідністю забезпечення неперервності похідної функції $i(s)$. В той же час традиційним є представлення поздовжнього профілю гірки у вигляді прямолінійних ділянок, що сполучаються круговими кривими [58, 197, 225]. Для подолання вказаної проблеми проф. Шафітом Є.М. в [196] запропоновано використовувати неперервну апроксимацію поздовжнього профілю за допомогою поліному 4-го ступеню. Представлення профілю гірки неперервними кривими здійснено в [2,

175, 196]. В той же час використання кривих для апроксимації поздовжнього профілю гірки призводить до значних похибок у визначенні ухилів. У зв'язку з цим проф. Бобровським В.І. була досліджена задача апроксимації поздовжнього профілю гірки за допомогою сплайнів яка ставиться наступним чином. Задані значення відміток профілю $h(s_1), \dots, h(s_n)$ в точках $s_1 < \dots < s_n$. Необхідно побудувати інтерполяційну функцію f ступеню m з вузлами у точках s_1, \dots, s_n , яка на відрізку $[s_1, s_n]$ має неперервну похідну до $m-1$ включно і на кожному з інтервалів $[s_i, s_{i+1}]$ дорівнює багаточлену ступеню m . Задача була вирішена за допомогою модифікованого кубічного сплайну [24]. Застосування неперервної апроксимації поздовжнього профілю дозволило використовувати для рішення рівнянь (1.7) метод Рунге-Кутта IV порядку [181]. Аналітичні методи рішення рівняння руху відчепів наведено в [13]. Застосування аналітичних методів дозволило в 7 разів збільшити крок моделювання та в 3 рази прискорити швидкість розрахунків.

На основі сплайнових методів в сучасних умовах розроблено програмні засоби для автоматизації розрахунків сортувальних гірок [138].

В той же час, розроблені методи апроксимації поздовжнього профілю орієнтовані на скочування одиночних відчепів. При цьому, положення відчепу визначається відносно вершини гірки і при моделюванні розпуску состава є необхідність отримувати сплайни для всіх насувних колій на всі колії сортувального парку, що ускладнює процес моделювання руху відчепів. Тому в моделях функціонування сортувальних гірок методи апроксимації поздовжнього профілю потребують удосконалення.

1.3. Проблеми оцінки сортувального процесу на гірках

Сортувальна гірка являє собою складний виробничо-технічний комплекс. Для функціонування таких комплексів характерним є багатоваріантність проектних, технологічних та управлінських рішень. У зв'язку з цим для забезпечення раціонального проектування та експлуатації сортувальних гірок транспортною наукою розробляються методи аналізу та оцінки роботи сор-

тувальних гірок в тих чи інших умовах. Критерії та методи їх оцінки суттєво пов'язані з рівнем розвитку залізничного транспорту та задачами, що ставилися перед сортувальними гірками в різні періоди часу. При цьому можна виділити три етапи розвитку методів оцінки сортувальних гірок.

Перший етап пов'язаний з розвитком залізничної транспортної інфраструктури та ствердженням сортувальних гірок як основного сортувального засобу. При цьому основною задачею, яка стояла перед транспортною наукою, була задача розробки методів проектування сортувальних гірок та пошук їх раціональних конструктивних рішень і технічного забезпечення. Для даного етапу характерним є відносна простота технічного забезпечення гірок, ручне управління процесом скочування відчепів та відсутність достатнього статистичного матеріалу щодо роботи реальних гірок та їх експлуатаційної ефективності. В тих умовах основною задачею була побудова роботоспроможних сортувальних гірок. Для їх оцінки було введено поняття розрахункового сполучення відчепів та розрахункових умов. Оцінка роботоспроможності гірок здійснювалась за величиною інтервалу на розділових стрілках

$$\begin{aligned}\delta t_1(\mathbf{h}_r) &= t_{1,2} + t_2(\mathbf{h}_r, \nu_1) - \tau_1(\nu_1), \\ \delta t_2(\mathbf{h}_r) &= t_{2,3} + t_3(\nu_2) - \tau_2(\mathbf{h}_r, \nu_2),\end{aligned}\tag{1.10}$$

де $t_{1,2}, t_{2,3}$ – початкові інтервали на вершині гірки, відповідно в першій та другій парах елементарної групи;

$t(\nu)$ – час скочування відчепа від моменту відриву до моменту заняття ізолюваної ділянки стрілки ν ;

$\tau(\nu)$ – те ж, до моменту звільнення розділової стрілки ν ;

\mathbf{h}_r – енергетична висота, що погашається гальмовими позиціями гірки.

Допустимою є така конструкція гірки, для якої при нормативній швидкості розпуску існують режими гальмування, що забезпечують виконання вимог

$$\begin{cases} \delta t_1(\mathbf{h}_r) \geq t_{pe}, \\ \delta t_2(\mathbf{h}_r) \geq t_{pe}, \\ 0 \leq v_{прц}(\mathbf{h}_r) \leq v_{ПТЕ}, \\ l_B(\mathbf{h}_r) = 0, \end{cases}$$

де t_{pe} – мінімальний допустимий інтервал на розділових елемента;

$v_{прц}$ – швидкість відчепа у точці прицілювання;

$v_{ПТЕ}$ – допустима ПТЕ швидкість підходу відчепів до вагонів у сортувальному парку;

l_B – величина вікна на сортувальній колії.

Для першого етапу характерним є використання аналітичних та графоаналітичних методів оцінки роботи сортувальних гірок [145, 146, 147, 207].

Аналіз сортувальних гірок за нормами [159] дозволяє визначати їх роботоспроможність. Так, дослідження, які виконані в [202] показали, що сортувальні гірки України в цілому забезпечують докочування відчепів до розрахункових точок і розділення розрахункових відчепів. В той же час, наведена методика не дозволяє оцінити ефективність сортувального процесу.

Другий етап пов'язаний зі значним зростанням вантажопотоків на залізницях. При цьому сортувальні гірки стали елементом, які обмежують переробну спроможність сортувальних станцій. Тому змінилися і критерії їх оцінки роботи. Згідно з [205] оптимальне управління процесом розформування составів на сортувальній гірці полягає в пошуку таких режимів гальмування відчепів, що скочуються з гірки, при яких розформування кожного состава здійснюється з найбільшою швидкістю за мінімальний час при виконанні всіх технологічних умов і обмежень по розділенню відчепів на стрілках. Вказані умови можуть бути представлені у вигляді

$$\begin{cases} v_p \rightarrow \max \\ \delta t_1(v_p, \mathbf{h}_r) \geq t_{pe}, \\ \delta t_2(v_p, \mathbf{h}_r) \geq t_{pe}, \\ 0 \leq v_{прц}(v_p, \mathbf{h}_r) \leq v_{ПТЕ}, \end{cases}$$

де v_p – швидкість розпуску состава.

Необхідно відмітити, що показники сортувального процесу суттєво залежать від параметрів вагонопотоку, який переробляється на гірках. Дослідження виконані рядом авторів показали, що моделювання скочування окремих відчепів не дозволяє оцінити конструкцію, технічне забезпечення та алгоритми управління сортувальною гіркою. Тому з розвитком науки про експлуатацію залізничного транспорту та засобів комп'ютерної техніки відбувся перехід до моделювання розпуску составів. Необхідність такого переходу обґрунтована в [199]. В [31, 53, 55, 66, 128, 129, 188, 199, 205, 223] представлено різноманітні моделі розпуску составів та методики оцінки функціонування сортувальних гірок на основі максимальної переробної спроможності. Одне з перших рішень задачі оптимізації вибору режимів гальмування відчепів представлено в [31, 205]. В цих роботах задача керування швидкістю скочування відчепів зведена до задачі лінійного програмування в якій мінімізувався час розпуску T , а інтервали на розділових стрілках δt_i розглядались як обмеження

$$\delta t_i \geq \delta t_{\min}, \quad (1.11)$$

де δt_{\min} – мінімальний допустимий інтервал на розділових елементах.

Недоліком такого підходу є те, що в ньому значення параметру δt_{\min} призначається суб'єктивно, і він не має зв'язку з технічними параметрами гірки. Аналогічний підхід реалізується і в [159]. Тут вказується, що висота та поздовжній профіль гірки повинні забезпечувати дотримання необхідних інтервалів між відчепами на розділових елементах, але сама методика визначення цих інтервалів не наводиться.

В той же час, згідно з [159] переробна спроможність є лише одним з критеріїв, що характеризує якість роботи сортувальної гірки. Відомі роботи, в яких для оцінки якості сортувального процесу використовують інші показники, такі як потужність паркової гальмової позиції [148], коефіцієнт заповнення сортувальних колій [125], мінімальний час скочування відчепа [151], максимальна кількість розділення відчепів на головній стрілці [208] та ін. Врахування лише частини факторів при прийнятті проектних чи управлінсь-

ких рішень може призводити до не оптимальних умов роботи сортувальних гірок.

При всебічному аналізі роботи гірки необхідно оцінювати витрати на гальмування, на маневрову роботу, що пов'язана з ліквідацією вікон на сортувальних коліях та наслідків нерозділення відчепів, витрати, які пов'язані з пошкодженням вагонів і вантажів та ін.

Для узгодження наведених критеріїв використовувався метод лінійного згортання [157] шляхом зведення усіх показників до грошового еквіваленту. Так, згідно з [127] критерієм для техніко-економічної оцінки варіантів конструкції та технічного забезпечення сортувальної гірки є мінімальні розміри приведених річних витрат при потрібному рівні її переробної спроможності. Капітальні видатки та експлуатаційні витрати при порівнянні варіантів конструкції та технічного забезпечення сортувальних гірок повинні визначатись по наступним статтям витрат:

- капітальним вкладенням, що пов'язані з придбанням засобів регулювання швидкості руху відчепів, пристроїв автоматизованого управління розформуванням составів, гіркових локомотивів, виконанням земляних робіт при зміні висоти та профілю гірки;

- експлуатаційним витратам на амортизацію, матеріали та запасні частини технічне обслуговування та ремонт технічних засобів, простій составів в очікуванні розформування, витрат електроенергії на регулювання швидкості скочування відчепів, витрат від пошкодження вагонів і вантажів.

При цьому, у загальному вигляді критерій оцінки виглядає як

$$B = \sum_{i=1}^{n_{\text{пар}}} e_{vi} H_i,$$

де H – значення натурального показника;

e_v – витратна ставка на одиницю натурального показника;

$n_{\text{пар}}$ – кількість показників.

Вказаний підхід має два суттєвих недоліки. По-перше величина витратних ставок визначається на підставі усереднених даних по мережі і не вра-

ховує особливості функціонування конкретної гірки. По-друге, методика, запропонована в [127], є прийнятною для умов функціонування гірок, коли залізниця суміщає функції власника інфраструктури і перевізника. В сучасних умовах, коли відбуваються розділення вказаних функцій, визначення витрат, що пов'язані з пошкодженням вагонів і вантажів суттєво ускладнюється, оскільки вимагає врахування прибутків, недоотриманих клієнтами залізниці [153].

Третій етап розвитку методів оцінки сортувальних гірок проходив в умовах падіння обсягів перевезень. При цьому сортувальні гірки перестали бути обмежуючим елементом в роботі станцій і основною задачею стало зменшення витрат, що пов'язані з сортувальною роботою.

З цим етапом пов'язаний критерій оцінки сортувальних гірок на основі аналізу інтервалів на розділових елементах, запропонований проф. Бобровським В.І. [22]. У запропонованій методиці інтервал між відчепами розглядається як цільова функція

$$\delta T^*(\mathbf{v}_{1,c}) = \max \min_{v_j \in \Theta_j} (\delta t_1(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2), \delta t_2(\mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3), \dots, \delta t_{c-1}(\mathbf{v}_{c-1}, \mathbf{v}_c)), \quad (1.12)$$

де \mathbf{v}_i – режим гальмування j -го відчепу, що характеризується швидкостями виходу відчепів з гальмових позицій спускної частини гірки;

Θ – область допустимих режимів гальмування;

c – кількість відчепів у складі.

Збільшення інтервалів забезпечує створення резервів часу на розділових елементах та дає можливість виконати умови інтервального регулювання швидкістю скочування в умовах відхилення фактичних параметрів відчепів від розрахункових та при неточній реалізації гальмовими позиціями заданих режимів гальмування. Наведена методика дозволяє успішно вирішувати широкі коло задач аналізу конструкції плану та поздовжнього профілю гірок де порівнюються параметри розподілу випадкової величини інтервалів на розділових елементах [10]. В той же час, питання достатності інтервалів, що утворюються при застосуванні отриманих в результаті вирішення оптиміза-

ційної задачі за критерієм (1.12) режимів гальмування, в умовах невизначеності ходових характеристик відчепів та умов їх скочування залишається відкритим. Для вирішення цієї проблеми в [105] пропонується здійснювати моделювання розформування составів з параметрами відчепів та режимами гальмування, що відрізняються від розрахункових.

Недоліком використання величини мінімального інтервалу в якості критерію для оцінювання умов розформування составів є те, що він не пов'язаний безпосередньо з економічними показниками роботи гірки. Тому в [21] в якості основного критерію для оцінки режимів гальмування запропоновано використовувати мінімум енергетичних витрат на гальмування відчепів при виконанні умов прицільного та інтервального регулювання швидкості їх скочування.

Застосовувати теорію імовірностей та математичну статистику для оцінки функціонування сортувальних гірок запропоновано і в [3-6, 101]. В якості критеріїв для оцінки ступеню надійності технологічного процесу запропоновано використовувати наступні показники:

- імовірність докочування відчепів до розрахункової точки;
- імовірність входу відчепів на гальмові позиції зі швидкістю, що не перевищує допустиму;
- імовірність розділення відчепів на розділових стрілках;
- імовірність звільнення відчепом гальмової позиції після гальмування.

Наведені імовірності фактично являють собою векторну оцінку [114, 157] функціонування сортувальної гірки; при чому представлені показники є взаємопов'язаними [186]. В той же час, методика порівняння варіантів конструкції за даним векторним критерієм не розкрита. Окрім того, показники функціонування сортувальних гірок суттєво залежать від вибору режимів гальмування відчепів состава, що також не вирішено в [3-6, 101]. В [34] при моделюванні роботи гірки для вибору режимів гальмування використані алгоритми управління швидкістю скочування відчепів реальної системи. При

цьому, при порівнянні показників ефективності експлуатації систем різних виробників алгоритми управління ними можуть бути невідомими.

У зв'язку з цим для вирішення задач техніко-експлуатаційної оцінки гірок необхідно використовувати методи теорії корисності та векторної оптимізації.

1.4. Проблеми забезпечення безпеки сортувального процесу на гірках

До основних порушень безпеки функціонування гіркових пристроїв при реалізації процесу розформування-формування составів відносяться: сходи вагонів на стрілках, вагонних уповільнювачах та коліях; пошкодження вагонів та вантажів через перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів на сортувальних коліях або через відсутність проходів на стрілках спускної частини гірки.

Безпека функціонування гіркових пристроїв є властивістю системи та пристроїв гіркового комплексу забезпечувати розпуск составів без порушень безпеки функціонування [120].

В свою чергу порушення безпеки функціонування є наслідком небезпечних ситуацій, джерелами яких можуть бути як окремо, так і у різному сполученні наступні фактори:

- небезпечні відмови гіркових пристроїв та систем управління;
- неправильні дії операторів (чергового по гірці, операторів при черговому по гірці, машиніста локомотива);
- неякісна технічна експлуатація та помилки обслуговуючого персоналу;
- небезпечні відмови колії та рухомого складу (злами рейок, падіння деталей вагонів на рейки і т.п.);
- природні явища та ін.

Безпека руху поїздів являє собою комплексну проблему, що визначається організаційними, технічними, ергономічними факторами [25, 113, 139,

152, 168-170, 172, 178, 183]. В цих умовах управління безпекою руху можливе лише за рахунок використання системного підходу, широкого застосування методів економічного та математичного аналізу. Особливо це стосується раціонального використання капітальних вкладень на реалізацію заходів з підвищення безпеки руху на залізницях в умовах обмеженого фінансування.

Шляхи розв'язання різноманітних задач забезпечення безпеки руху поїздів визначає теорія безпеки руху поїздів [48, 113, 171, 173]. Концепція теорії безпеки руху базується на використанні поняття відповідального технологічного процесу та небезпечної відмови [113]. При цьому у якості відповідального технологічного процесу розуміють такий технологічний процес, порушення якого понад припустимі межі може привести до загибелі людей, екологічних катастроф, значних втрат матеріальних коштів. Основна кількість транспортних подій (біля 80%) пов'язується з «людським» фактором. Так у 2006 році в порядку профілактичної роботи було притягнуто до відповідальності 9248 працівників, із них звільнені із залізничного транспорту – 34, із займаних посад – 152, оголошені догани 9062 працівникам [1]. Динаміка зміни кількості дисциплінарних стягнень n_n за допущені транспортні події та відповідна лінія тренда наведена на рис. 1.1.

Відношення кількості транспортних подій до приведеної кількості дисциплінарних стягнень працівників транспорту наведено на рис. 1.2.

Аналіз отриманої залежності показує, що підсилення виконавської дисципліни дало суттєвий ефект по зменшенню кількості транспортних подій у період з 1995 по 2003 роки і не суттєво впливає на протязі останніх років. Це свідчить про те, що на даний час практично вичерпано можливість адміністративного впливу на рівень безпеки руху і на нього потрібно додатково впливати іншими методами [200].

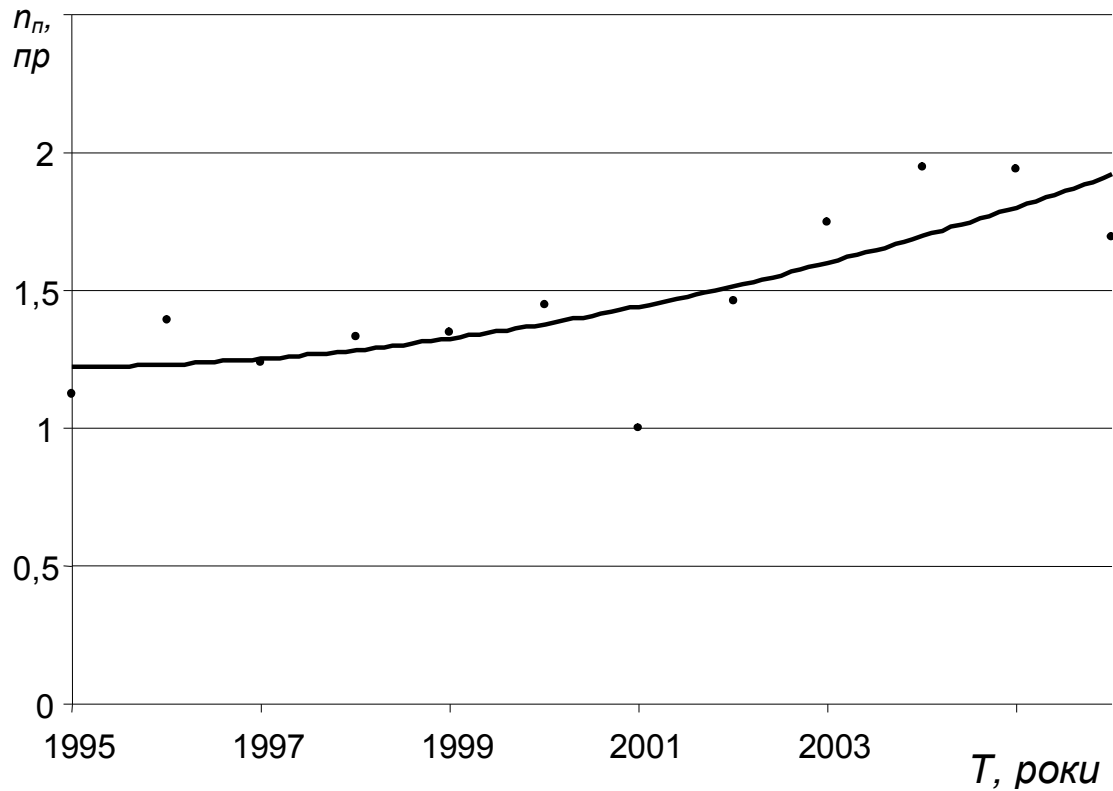


Рис. 1.1. Приведена кількість працівників залізничного транспорту, котрих було притягнуто до відповідальності за допущені транспортні події

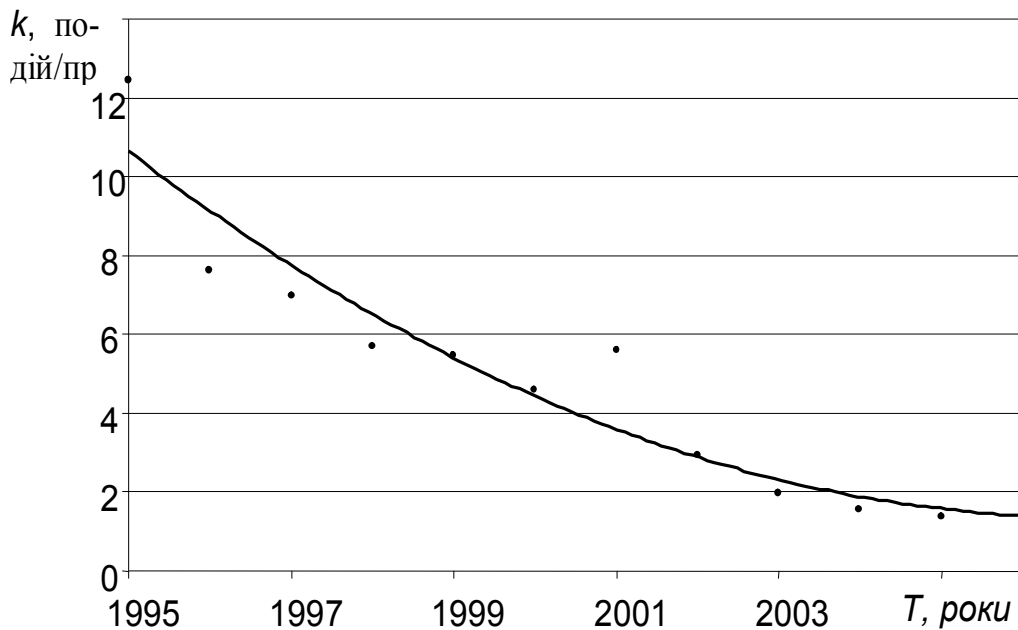


Рис. 1.2. Відношення кількості транспортних подій до приведеної кількості дисциплінарних стягнень працівників транспорту

Для підвищення конкурентоспроможності залізниці повинні поступово переходити від адміністративного (заснованого на дисциплінарних стягнен-

нях за порушення діючих норм) підходу до економічного підходу до забезпечення безпеки руху, коли будь-яке порушення безпеки розглядається як невдача організації в цілому, а не помилка окремого працівника на завершальному етапі. Рішення наведеної задачі повинно ґрунтуватись на автоматизації технологічних процесів залізничного транспорту та розробці методів оцінки зв'язків між технічним забезпеченням транспортного процесу і показниками безпеки руху поїздів.

В процесі розвитку теорії безпеки руху змінювались критерії та методи вирішення її задач.

Традиційним є принцип абсолютної безпеки, у відповідності з яким ставиться задача повного виключення відмов, що призводять до порушення вимог безпеки руху.

Так, принцип абсолютної безпеки викладено в п 1.1 ПТЕ [162]: «Основними обов'язками працівників залізничного транспорту є: задоволення потреб щодо перевезень пасажирів та вантажів при безумовному забезпеченні безпеки руху та збереження вантажів, що перевозяться...».

Разом з тим, традиційний підхід до проблеми безпеки має ряд суттєвих недоліків, що не дозволяє розв'язувати її раціонально [113]:

- принцип абсолютної безпеки виключає кількісне порівняння процесів руху поїздів та маневрової роботи, що реалізуються різними технічними засобами по їх найважливішому показнику – показнику безпеки, оскільки всі технічні засоби забезпечують абсолютний рівень безпеки;
- рішення задач безпеки лише в рамках окремих технічних засобів не дозволяє оцінити безпеку руху по відношенню до власника рухомого складу та вантажовідправника;
- відсутність системи кількісних показників безпеки руху та методів їх розрахунку виключає можливість нормування рівня безпеки руху і маневрової роботи, можливість оцінки достатності фактичного рівня безпеки та можливість сертифікації технічних засобів транспорту по показнику безпеки.

- невизначеність функціональних зв'язків між показниками безпеки руху та техніко-економічними показниками процесу перевезень з однієї сторони та заходами, спрямованими на підвищення безпеки руху з іншої приводить до надання переваги організаційним заходам, що не вимагають прямого вкладення коштів у забезпечення безпеки перевезень.

В той же час, Закон України „Про залізничний транспорт” [61] визначає: „Рухомий склад, обладнання та інші технічні засоби, які постачаються залізничному транспорту, повинні відповідати вимогам безпеки руху, схоронності вантажів, охорони праці, екологічної безпеки і мати відповідний сертифікат”.

З подоланням цих протиріч пов'язують формування нового підходу до рішення проблеми безпеки на залізничному транспорті, який відрізняється використанням статистичних, зокрема імовірнісних оцінок безпеки руху. Цей підхід пов'язаний із розвитком методів, що базуються на системному розумінні транспортних процесів з урахуванням взаємозв'язків між небезпечними та безпечними відмовами і порушеннями безпеки процесу перевезень (взаємна кореляція). При цьому безпека процесу перевезень характеризується рівнем безпеки, який являє собою сукупний результат дії небезпечних факторів з однієї сторони та виконання необхідного обсягу організаційних та технічних заходів – з іншої [168].

Вказані проблеми в повній мірі характерні і для процесу розформування-формування поїздів на сортувальних гірках [63].

Основними нормативними документами, в яких вказано кількісні показники безпеки руху, що регламентують сортувальний процес та вимоги до його технічного забезпечення є

- Правила технічної експлуатації залізниць України [162], що регламентують швидкість підходу одного відчепа вагонів до іншого в підгірковому парку;

- ГОСТ 22235-76*. „Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при произ-

водстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ” [46], що регламентує силу тиску шин уповільнювачів на колеса вагонів;

- «Правила і норми проектування сортувальних пристроїв» [159], що регламентують вимоги до плану та профілю колійного розвитку гірок і до їх технічного забезпечення, а також вимоги щодо утримання залізничних колій на сортувальних гірках;

- «Руководство операторам по управлению устройствами на механизированных и автоматизированных сортировочных горках» [166], яке визначає порядок дій операторів при управлінні сортувальним процесом.

Необхідно відмітити, що у [159] нормативи безпеки руху забезпечуються шляхом дотримання певних вимог до плану та профілю сортувальних гірок і значною мірою пов’язані з конструкційними характеристиками конкретних уповільнювачів та стрілочних переводів.

Показники забезпечення безпеки руху визначаються в основному шляхом аналізу статистичної інформації за попередній період. Так, в [178, 205] виконано дослідження розподілу випадкової величини швидкості співударяння вагонів у сортувальних парках. Отримана функція щільності розподілу представлена на рис. 1.3.

Аналіз наведеної функції щільності розподілу показує, що порушення вимог ПТЕ щодо допустимої швидкості співударяння вагонів відбувається у 60% випадків. Дослідження представлені в [178] вказують на те, що вказана ситуація не змінилася і до теперішнього часу. При цьому, за 2010 рік через перевищення допустимої швидкості співударяння відчепів на Укрзалізниці пошкоджено 29 тис. вагонів [203].

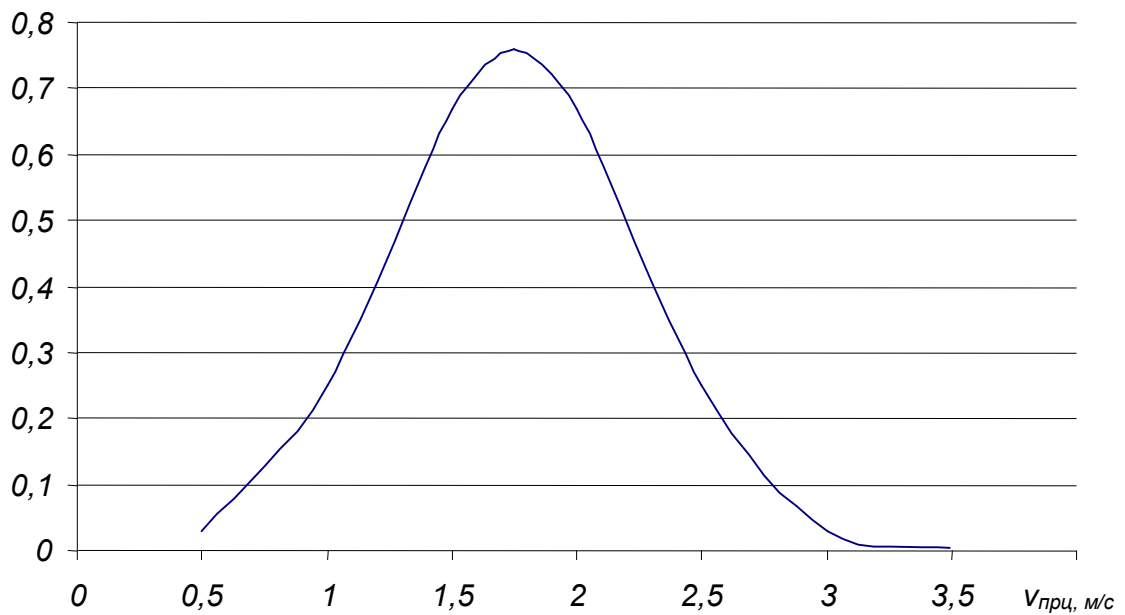


Рис. 1.3. Гістограма розподілу випадкової величини швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях

В [120] виконано статистичний аналіз порушень безпеки руху на сортувальних гірках по окремим їх елементах. Результати цього аналізу представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Аналіз порушень вимог безпеки руху на сортувальних гірках

№ п/п	Елемент сортувального процесу	Кількість порушень	%
1	Управління швидкістю скочування	237	88,1
	в т.ч. на уповільнювачах спускної частини гірки	23	8,6
	на уповільнювачах паркових гальмових позицій	214	79,5
2	Управління маршрутами скочування	32	11,9
	в т.ч. через відмови стрілочного господарства	24	8,9
	через відмови рейкових ланцюгів	8	3,0
Всього		269	100

Використання статистичного підходу є допустимим в поточній експлуатації. В той же час, за його допомогою неможливо аналізувати ефективність заходів з модернізації та реконструкції гірок. З такими проблемами, наприклад, зіткнулися Литовські залізниці при обладнанні станції Вайдотай авто-

матизованою системою управління сортувальним процесом MSR-32 виробництва SIEMENS [119].

При цьому, конструкція та типи уповільнювачів, які використовувались при реконструкції сортувальної гірки відрізняються від вимог, що висуваються [159], і в процесі аналізу таких проектів існує потреба в методиках оцінки зв'язку між конструкцією та технічним забезпеченням сортувальної гірки і умовами безпеки маневрової роботи.

Процес розформування-формування поїздів відноситься до відповідальних технологічних процесів, порушення якого може призводити до значних матеріальних втрат, а, іноді, і до загибелі людей та екологічних катастроф. Відповідальний технологічний процес можна охарактеризувати трьома станами [113]: штатним та двома нештатними – безпечним та небезпечним. Порушенням безпеки вважається перехід процесу в нештатний небезпечний стан. Безпечністю відповідального технологічного процесу вважається його властивість знаходитись в штатному, або нештатному безпечному стані. Порушення безпеки функціонування відповідального технологічного процесу є наслідком небезпечних відмов технічних засобів, програмного забезпечення та обслуговуючого персоналу. Тому разом з поняттям безпеки функціонування технологічних процесів використовують також поняття безпеки функціонування апаратних засобів, програмного забезпечення та людини як ланки ергатичної системи.

У зв'язку з цим значний обсяг досліджень з безпеки сортувального процесу виконано в напрямку надійності технічних засобів сортувальних гірок [49, 51, 192, 193, 205].

Згідно з [205] основними показниками безвідмовності роботи гіркових пристроїв є час напрацьовування на відмову

$$T_o = \sum_{j=1}^{n_{\text{ЭК}}} \sum_{i=1}^{m_{\text{от}}} t_i / \sum_{j=1}^{n_{\text{ЭК}}} m_j ,$$

де $n_{\text{ЭК}}$ – загальна кількість типів станційних пристроїв;

$m_{от}$ – кількість відмов однотипних пристроїв, що зафіксовано за період спостереження;

t_i – час безвідмовної роботи i -го пристрою;

m_j – кількість відмов у j -му комплекті;

та середній час відновлення пристрою

$$\bar{t}_B = \frac{\sum_{i=1}^{n_B} t_{Bi}}{n_B},$$

де t_{Bi} – час відновлення i -го пристроїв;

n_B – кількість відновлених пристроїв.

Для сортувальної гірки час відновлення складає

$$t_B = t_{из} + t_{сл} + t_{отс} + t_{ус} + t_{фик},$$

де $t_{из}$ – час на оповіщення працівників, що забезпечують ремонт пристрою та фіксацію факту появи відмови;

$t_{сл}$ – час слідування до місця відмови;

$t_{отс}$, $t_{ус}$ – час на пошук та усунення відмови;

$t_{фик}$ – тривалість фіксації факту відновлення роботоспроможності пристрою.

Взаємозв'язок надійності технічних засобів гірки з її переробною спроможністю визначається коефіцієнтом зниження переробної спроможності через відмови технічних засобів

$$\delta N = \frac{N_{\text{бо}} - N_{\text{отк}}}{N_{\text{бо}}} 100 = \frac{\sum T_{\text{пр}}}{1,44},$$

де $N_{\text{бо}}$, $N_{\text{отк}}$ – відповідно, переробна спроможність гірки при безвідмовній роботі технічного забезпечення та при наявності відмов;

$T_{\text{пр}}$ – тривалість перерв через відмови технічного забезпечення.

Представлений підхід дозволив в [51] розробити методику оцінки сортувальних гірок за показником надійності. В той же час, безпека сортувального процесу визначається не лише надійністю елементів технічного забезпечення сортувальної гірки, а і обраними режимами гальмування відчепів,

взаємним розташуванням елементів колійного розвитку у плані та вагонів у составі.

Під час руху відчепів по гірці відбувається взаємодія вагонів з колією та уповільнювачами, а також з іншими вагонами у відчехах. При перевищенні зусиллями допустимих значень можуть відбуватися сходи вагонів. Вирішення задачі забезпечення безпеки руху на транспорті у багатьох випадках пов'язано з визначенням зусиль, що діють на вагони та вантажі під час руху. У зв'язку з цим дослідження динаміки рейкових екіпажів здійснюються практично з часів зародження залізничного транспорту. Російським вченим Н.П. Петровим [156] одним з перших була сформульована задача по вивченню впливу паровозів та здійснена спроба її вирішення. Коливання кузова паровоза розглядав і Н.Е. Жуковський [59], який запропонував знехтувати поздовжніми зазорами тому, що це дозволяє звести коливання у вертикальній площині до обертання відносно осі, яка лежить у площині ресор. На підставі аналогічних припущень А.М. Годицький-Цвірко [41] та Мар'є [115], запропонували віднести вісь коливань галопування в площину колісних пар. Мар'є також запропонував класифікацію коливань вагонів, що використовується і до теперішнього часу. М.В. Винокуров [39] склав та вирішив диференціальні рівняння вертикальних та горизонтальних коливань кузова та надресорних частин візків чотиривісних вагонів із застосуванням рівнянь Лагранжа другого роду.

Значну роботу з узагальнення результатів експериментальних досліджень динаміки вагонів та підготовки довідкових матеріалів виконано С.В. Вершинским [36]. В більшості перерахованих досліджень не розглядалися коливання необресорених частин візків через особливості сил тертя між колесом та рейкою.

Колеса рейкових екіпажів жорстко насаджені на вісь та являють собою систему на яку накладені голономні зв'язки [141]. Через конічність поверхні катання коліс виникає проковзування, а саме: в веденій колісній парі колесо більшого діаметра котиться без проковзування, а меншого проковзує, в веду-

чій колісній парі - навпаки [60, 122]. Цьому питанню присвячені також дослідження Картера [210, 211, 213] та Н.А.Ковальова [69]. В роботах Н.А. Ковальова показано, що екіпаж з жорстким візком на жорсткій колії завжди є нестійким. Н.А. Ковальов розглянув також механізм виникнення бокових коливань, при цьому було вказано, що джерелом енергії коливань є енергія поступального руху, яка передається силами тертя.

Найбільш повно питання про коливання та стійкості руху рейкових екіпажів поставлено та вирішено у працях академіка В. Лазаряна та вчених його наукової школи. В роботі [110] відмічено, що у більш ранніх проведених дослідженнях відсутній повний аналіз власних коливань вагонів з урахуванням взаємозв'язків усіх ступенів. Система диференціальних рівнянь коливань екіпажів у цьому випадку є дуже складною і тому академіком В. Лазаряном було розроблено методи їх вирішення за допомогою ЕОМ. Математичні основи використання аналогових та цифрових ЕОМ для дослідження питань динаміки рейкових екіпажів викладені в монографіях [109, 106].

В дослідженнях питання стійкості руху вводиться припущення, що колія є абсолютно жорсткою. При дослідженнях вимушених коливань від цього припущення у більшості випадків відмовляються і рух рейкового екіпажу розглядається по деформуемій колії з нерівностями. Н.П. Петров та С.П. Тимошенко розглядали рейку як балку, що знаходиться на великій кількості пружних опор [155, 184] або на суцільній пружній основі [184, 185]. Колесо у цих роботах розглядалось як рушійна сила. Вплив візка на пружну колію досліджено А.А.Поповим [158]. В роботі [108] В. А. Лазаряном було складено диференціальні рівняння вимушених коливань всього екіпажу у вертикальній поздовжній площині симетрії. Колія передбачається пружно-в'язкою безінерційною, нерівності колії косинусоїдальні детерміновані.

Одним із основних питань безпеки руху поїздів є визначення умов стійкості колеса проти сходу з рейки. В зоні контакту колеса з рейкою мають місце різноманітні нелінійні ефекти, при цьому на них впливають нелінійність поверхні катання коліс [191] та можливість вибору зазору в колії, після

чого може відбуватись двоточковий дотик [117]. При дослідженні стійкості рейкових екіпажів найбільшого розповсюдження отримало поняття стійкості, введене А.М. Ляпуновим, який запропонував досліджувати стійкість руху за рівнянням першого наближення, коли аналіз стійкості можна здійснювати на підставі лінеаризованих рівнянь і немає потреби використовувати точні рівняння [98]. На основі цієї ідеї було створено прикладні напрямки у загальній теорії стійкості у тому числі і в стійкості руху рейкових екіпажів. Зокрема в розробку цієї теорії значний вклад внесли Цеглинський К.Ю., Шевалін К.Ю., Андрієвський С.М., Веріго М.Ф., Коган А.Я., Данілов В.Н., С.М. Куценко, В.А. Лазарян, В.Б. Медель, В.Б. Бешкенадзе. Рішення задачі стійкості колеса від сходу з рейки в роботах цих авторів досліджується на підставі аналізу кута набігання, швидкості руху та інших факторів. Основним методом рішення є складання рівняння руху колеса при його вкочуванні на рейку та дослідження рішень цього рівняння.

Значний внесок у рішення цієї проблеми внесли І.В. Бірюков, Л.О.Грачова, І.П. Ісаєв, А.А. Камаєв, Л.А. Кальницький, А.Я. Коган, В.Н. Котуранов, М.М. Кудрявцев, О.А. Львов, А.М. Савоськин, М.М. Соколов, Т.А. Тібілов, Л.А. Шадур, Г.П. Бурчак, А.А. Долматов, В.О. Камаєв, Ю.С. Ромен, В.Д. Хусідов, Ю.М. Черкашин, В.М. Філіпов, С.Ф. Редько, Є.П. Блохін, В.Д. Данович, М.Л. Коротенко, Ю.В. Дьомін, Г.І. Богомаз, Н.А. Радченко, В.Ф. Ушкалов, А.Н. Коняєв, А.Л. Голубенко О.М. Пшінько, С.В. Мямлін, Ю.П. Бороненко, П.С. Анісімов, В.П. Ткаченко, М.Б. Кельріх, В.М. Бубнов, В.А. Браташ, Ю.І. Осенін, М.І. Горбунов та інші наукові. В цілому на сьогоднішній день створена теорія та методи дослідження стійкості руху поїздів [9, 35, 37, 38, 40, 47, 71, 107, 111, 163, 189, 195], а також програмні засоби [70, 132], які широко використовуються при розробці конструкції вагонів, дослідженні умов безпеки руху та для аналізу причин транспортних подій.

При скочуваннях відчепів з сортувальних гірок теж відбуваються складні динамічні процеси. При цьому ще в [147] вказано, що ці процеси суттєво відрізняються від умов поїзного та маневрового руху через відсутність сили

тяги локомотива. В той же час, дослідженням динаміки вагонів на гірках до теперішнього часу приділялась незначна увага і ці дослідження стосувались в основному питань визначення зусиль у елементах конструкції вагона, вантажах та їх кріпленні при співударянні вагонів на сортувальних коліях [65].

1.5. Висновки по розділу 1

1. Виконаний аналіз проблеми удосконалення роботи сортувальних гірок показав, що в сучасних умовах склалося декілька напрямків удосконалення сортувального процесу на гірках: удосконалення конструкції плану та профілю сортувальних гірок, удосконалення конструкції маневрових локомотивів та режимів керування ними, удосконалення та модернізація технічних засобів управління швидкістю скочування відчепів, автоматизація управління розформуванням-формуванням вантажних поїздів. При цьому комплексне вирішення задачі вибору заходів з підвищення ефективності роботи конкретної сортувальної гірки вимагає наявності методів її оцінки з позицій техніко-експлуатаційної ефективності та безпеки руху.

2. Методики аналізу сортувальних гірок, що наведені у нормативній літературі, полягають у перевірці плану та поздовжнього профілю сортувальної гірки, яка ґрунтується на результатах імітаційного моделювання скочування відчепів розрахункової групи. Подібна методика дозволяє визначати лише роботоспроможність гірки і не дозволяє розраховувати техніко-експлуатаційні та техніко-економічні показники, які необхідні для пошуку її оптимальних параметрів.

3. Сучасні наукові методи оцінки ефективності роботи сортувальних гірок в основному орієнтовані на їх порівняння за показником переробної спроможності і не відображають всіх складових сортувального процесу. У зв'язку з цим необхідна розробка методики, що дозволяла б здійснювати порівняння умов сортувальної роботи за багатьма показниками.

4. Однією з основних вимог до функціонування залізничного транспорту є безумовне забезпечення безпеки руху поїздів та маневрових составів.

Вказана задача є досить актуальною і для сортувальних гірок, але нормативна база для оцінки безпеки руху вагонів на спускній частині сортувальних гірок та в сортувальних парках недостатньо вивчена в науково-методичному плані. Сучасні методи аналізу безпеки сортувального процесу пов'язані в основному з оцінкою надійності роботи гірки на підставі аналізу надійності окремих її елементів. Однак, безпека сортувального процесу визначається не лише рівнем технічного забезпечення гірки, а і обраними режимами керування рухом відчепів під час їх скочування. Тому методи оцінки безпеки руху на гірках вимагають удосконалення.

5. Питання безпеки руху досить детально вивчені для умов поїзного руху по магістральних коліях. При цьому вагони у поїзді розглядаються як системи взаємопов'язаних об'єктів, що взаємодіють між собою та з колією. Наявність інформації про величину зусиль у взаємодії коліс вагона з рейками дозволяє оцінювати умови стійкості руху. В той же час безпосередньо використовувати розроблені для аналізу безпеки руху поїздів по магістральним лініям методи та моделі в задачах дослідження динамічної взаємодії вагона та залізничної колії на сортувальних гірках неможливо у зв'язку із суттєвими відмінностями в умовах руху. Причиною цих відмінностей є наявність значної кількості кривих малого радіусу, стрілочних переводів, гальмових уповільнювачів, значних ухилів у профілі та відмінності в улаштуванні колії та вимогах щодо її утримання.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК УКРАЇНИ

2.1. Аналіз технічного забезпечення сортувального процесу на залізницях України

Основна робота по формуванню та розформуванню поїздів на залізницях України виконується на 35 сортувальних станціях, із яких 31 станція є позакласною, а 4 – віднесені до 1 класу. Побудовані ці станції були на протязі минулого сторіччя, найстаріші з них в процесі експлуатації були реконструйовані, причому основними причинами реконструкції являлись електрифікація ліній, впровадження більш потужних локомотивів, збільшення вагових норм поїздів та обсягів переробки вагонів, тобто схеми станцій, як правило, склалися історично.

2.1.1. Характеристика потужності сортувальних пристроїв. Розформування формування поїздів на сортувальних станціях України забезпечують 49 сортувальних гірок та 1 витяжна колія спеціального профілю в т.ч.:

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

Необхідно відмітити, що вказана класифікація виконана згідно з технічними розпорядчими актами станцій. В той же час, у [159] ця характеристика визначається згідно з кількістю сортувальних колій та середньодобовим обсягом переробки вагонів. У табл. 2.1 наведені результати аналізу відповідності типу і потужності існуючих сортувальних пристроїв вказаним нормативам.

Аналіз відповідності нормативам типу і потужності існуючих
сортувальних пристроїв

Норматив	Відповідність показників нормативному значенню для сортувальних гірок							
	ГМП		ГСП		ГВП		ГПП	
Кількість сортувальних колій	17	100%	13	87%	5	31%	0	0%
Кількість колій насуву	17	100%	3	20%	9	56%	0	0%
Кількість спускних колій	17	100%	15	100%	7	44%	0	0%

28 сортувальних гірок України з числа ГПП, ГВП та ГСП обладнані аналоговими та мікропроцесорними системами гірочної автоматичної централізації ГАЦ різних типів з пристроями гірочної автоматичної локомотивної сигналізації, автоматичного регулювання та задавання швидкості розпуску составів, контролю заповнення сортувальних колій вагонами, тощо.

2.1.2. Пристрої регулювання швидкості скочування відчепів. Сортувальні гірки великої, середньої та підвищеної потужності (за виключенням гірки середньої потужності станції Кривий Ріг-Сортувальний Придніпровської залізниці) обладнані механізованими гальмовими позиціями на спускній частині. Три з них (обидві гірки ст. Дебальцеве-Сортувальна та східна гірка ст. Ясинувата Донецької залізниці) мають по три позиції на спускній частині, дві сортувальні гірки (ст. Миколаїв Донецької залізниці та Іловайськ Одеської залізниці) – по одній позиції, решта сортувальних гірок обладнані двома гальмовими позиціями на спускній частині.

П'ять сортувальних гірок малої потужності (ст. Микитівка, Красноармійськ (Донецька заліzniця), Сарни (Львівська заліzniця), Жмеринка (Південно-Західна заліzniця) та південна гірка ст. Іловайськ) обладнані однією немеханізованою гальмовою позицією з башмачним регулюванням швидкості скочування відчепів на спускній частині. На цій позиції регулювальниками швидкості руху відчепів за допомогою гальмових башмаків здійснюється інтервальне регулювання швидкості їх скочування. Всього на цих гальмових

позиціях встановлено 15 башмакоскидачів напівхрестовинного типу. Решта сортувальних гірок малої потужності та гірка середньої потужності станції Кривий Ріг-Сортувальний не мають гальмових позицій на спускній частині і обладнані немеханізованими парковими гальмовими позиціями з башмачним регулюванням швидкості скочування відчепів.

Кількість та відсоткове співвідношення уповільнювачів різних типів, що встановлені на гальмових позиціях сортувальних гірок України наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Типи та кількість уповільнювачів, що встановлені на сортувальних гірках залізничних станцій України

Тип уповільнювача	Кількість уповільнювачів				Відсоток уповільнювачів різних типів	
	0-а і 1-а позиції	2-а позиція	3-я позиція (кількість гальмових позицій)	В сумі 0-3 позиції (0-2 позиції)	Без урахування 3-ї позиції	Від загальної кількості
Т-50	4	11	26 (26)	41 (15)	6,5	6,6
КЗ-3	23	39	-	62	26,8	10
КЗ-5	9	9	1 (1)	19 (18)	7,8	3,1
КВ-2	2	5	-	7	3	1,1
КВ-3	28	59	-	87	37,7	14
ВЗПГ-5	1	1	-	2	0,9	0,3
ВЗПГ-3	-	2	-	2	0,9	0,3
КНП-5	-	1	61 (61)	62 (1)	0,4	10
РНЗ-2	-	4	917 (306)	921 (4)	1,7	49,4
НК-114	13	13	-	26	11,3	4,2
ЗВУ	4	2	-	6	2,6	1
УВСК	1	-	-	1	0,4	0,2
Всього				1236		

В якості пристроїв для регулювання швидкості скочування відчепів використовуються пневматичні кліщовидно-натискні та кліщовидно-вагові двох, трьох та п'ятиланкові уповільнювачі та важільно-натискні одноланкові уповільнювачі.

Діаграми що характеризують долю уповільнювачів різних типів на механізованих гальмових позиціях приведені на рис. 2.1.

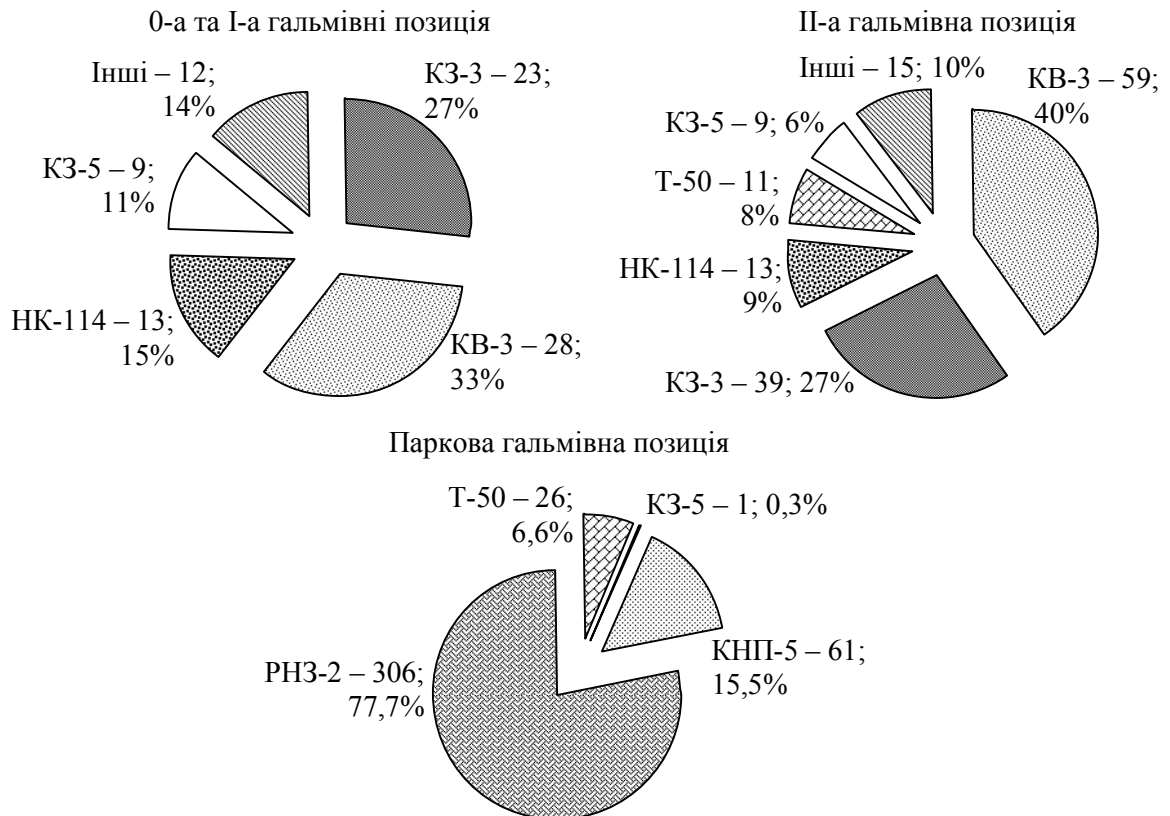


Рис. 2.1. Аналіз типів уповільнювачів, що використовуються на механізованих гальмових позиціях сортувальних гірок України

Значну частку уповільнювачів на позиціях спускної частини складають нові уповільнювачі КЗ-3, КЗ-5 та КВ-3, а на парковій позиції – РНЗ-2, виробництва заводу «Ремпутьмаш» м. Калуга (Росія), але близько половини уповільнювачів РНЗ-2 експлуатуються понад 15 років.

Кількість уповільнювачів застарілих типів, таких як Т-50, КНП-5, ВЗПГ, КВ старих модифікацій досягає 20 % від загальної кількості, в той час як кількість уповільнювачів нових типів українського виробництва (ЗВУ – ВАТ «Донгормаш» м. Донецьк; НК-114 – ВАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» та УВСК – ВАТ «Старокраматорський машинобудівний завод» м. Краматорськ) не перевищує 6 % від загальної кількості чи 14,3 % без врахування РНЗ-2.

Загальна кількість колій, де прицільне гальмування виконується з використанням башмаків складає 443 колії, причому паркові немеханізовані гальмові позиції встановлено і обладнано башмакоскидачами на 5-ти сортувальних гірках великої потужності і на 10-ти гірках середньої потужності.

2.1.3. Стан колії гірочних горловин сортувальних парків. Для виконання свого функціонального призначення план колійного розвитку сортувальних гірок повинен забезпечувати [159]:

- найменшу довжину пробігу вагонів від вершини гірки до граничного стовпчика найбільш віддаленої стрілки в голові сортувального парку, так як при цьому забезпечується найменша висота гірки та найменша потрібна потужність гальмових засобів;

- якнайшвидше розділення вагонопотоків за призначеннями, що дозволяє підвищувати швидкість розпуску, так як виконувати вимоги інтервального регулювання швидкості скочування відцепів тим складніше, чим більша довжина маршруту їх спільного скочування.

Наведені вимоги виконуються за рахунок спорудження коротких горловин з кривими малого радіусу (200 та менше метрів), симетричними стрілочними переводами марки 1/6. В результаті стрілочні переводи та кругові криві малого радіусу займають суттєву довжину на маршруті скочування.

Для вписування вагонів у криві малого радіусу в них виконується уширення колії до 1540 мм. При цьому, на сортувальних гірках не виконується підвищення зовнішньої рейки для компенсації відцентрової сили. У зв'язку з цим та через погані умови вписування у криві маневрових локомотивів рейки на сортувальних гірках мають суттєве зношення, яке досягає 10 мм. Утримання колій на сортувальних гірках здійснюється згідно з [64]. Норми утримання колії гіркових горловин наведено у табл. 2.3.

При наявності бокового зносу рейок в кривих величина допуску на уширення рейкової колії може бути збільшена на величину фактичного зносу внутрішньої грані головки рейки зовнішньої (упорної) нитки. При цьому ширина рейкової колії не повинна виходити за межі від 1510 до 1548 мм.

Норми утримання колії гіркових горловин

№ п/п	Місця вимірів	Ширина колії, мм	Допуски в утриманні, мм	Допуски в утриманні колії по рівню, мм		
				Рівень	Перекося	Просадки
Стрілочні переводи 1/6 та глухі перетини 2/6						
1	Передній стик рамних рейок	1522	+10 -4	±6	±12	+20
2	У вістря гостряка	1532	+10 -3	±6	±12	+20
3	В кінці гостряка	1524	+8 -3	±6	±12	+20
4	В середині перевідної кривої	1536	+8 -3	±6	±12	+20
5	В хрестовині	1524	+6 -4	±6	±12	+20
Криві радіусом менше 300 м						
6	В межах кривої	1540	+6 -4	±6	±16	±20

В межах дисертації виконано дослідження стану залізничної колії горловин непарної та парної сортувальних гірок станції Нижньодніпровськ-Вузол. При цьому, за даними натурних вимірів, книг форм ПУ-28 та ПУ-29 майстрів та бригадирів колії, що обслуговують гірки станції Нижньодніпровськ-Вузол визначені відхилення від норм утримання параметрів колії.

Спускні ділянки обох гірок розташовані на прямих та в кривих малих радіусів та малої довжини. Криві укладено без прямих вставок та підвищення зовнішньої рейки. Між кривими ділянками колії розташовуються стрілочні переводи марки 1/6 та 1/9, глухі перетини марки 2/6 та гальмові позиції, на яких відбувається гальмування вагонів. В цих умовах, незважаючи на низькі, порівняно з умовами поїзної роботи, швидкості, при скочуванні вагонів мають місце постійні збурюючі фактори, що є причиною значних коливань вагонів. Вказані фактори викликають інтенсивне розлаштування рейкової колії та стрілочних переводів, а також підвищений знос їх елементів. Несприятли-

вим результатом коливань вагонів для умов експлуатації колії на сортувальних гірках є просипання вантажів з вагонів, які скочуються. Через інтенсивне забруднення баластної призми виникають виплески та розрідження баласту між шпалами та брусами, що викликає накопичення просадок та перекосів гіркової колії та інтенсивному уgonу рейкових ниток і навіть рейкошпальної решітки в цілому на ділянках, які примикають до гальмових позицій. Інтенсивному уgonу рейкових ниток сприяє також стан підрейкової основи. Так, на обох гірках станції Нижньодніпровськ –Вузол в якості підрейкової основи використовуються як залізобетонні, так і дерев'яні шпали. При цьому непарна сортувальна гірка станції Нижньодніпровськ-Вузол укладена в основному на залізобетонних шпалах і брусах, а парна – на дерев'яних. Вібрація вагонів при залізобетонних шпалах викликає розлаштування вузла скріплення, особливо закладних та клемних болтів, а при дерев'яних – висмикування та надсмикування костилів. Використання підрейкової основи з різних матеріалів сприяє виникненню додаткових збурюючих факторів просторових коливань вагонів. Угін рейкових ниток та рейкошпальної решітки на гірках понад 20 мм на парній гірці виникає в основному в весінньо-літній та осінньо-зимовий період, а на парній – в зимовий період.

Відхилення від норм допусків при утриманні колії та стрілочних переводів по напрямку в плані мають постійний характер через дію поздовжніх гальмових сил. При цьому найбільш критичними є ділянки колій перед гальмовими уповільнювачами в межах *s*-подібних кривих. В таких кривих в місці контакту гребенів коліс і рейок діють значні поперечні сили, що викликають розпір колії. При розпорі відбувається як пружне так і залишкове уширення колії, що збільшує зазор між гребенем та рейкою і кут набігання колеса на рейку. Суттєвим фактором порушення плавності руху вагонів є відхилення від норм утримання перевідних кривих стрілочних переводів по ординатам. При нерівномірному русі вагонопотоків по напрямкам стрілочного переводу це призводить до розлаштування перевідних кривих. В таких умовах допуски по утриманню ординат стрілочних переводів марок 1/9 (+2 та -10 мм), а си-

метричних переводів марок 1/9 (-2 та +10 мм) при боковому зносі рейок не більше 5 мм практично не дотримуються. Відхилення мають місце як в додатному, так і в від'ємному діапазоні.

Результати аналізу стану сортувальних гірок станції Нижньодніпровськ-Вузол наведені у табл. 2.4. Аналіз даних цієї таблиці дозволяє зробити наступні висновки.

Стан колії та стрілочних переводів парної та непарної сортувальних гірок є задовільним, що досягається поточним утриманням колії.

Прямі та криві ділянки колії, як правило, утримуються в межах допусків по уширенню рейкової колії; відхилення своєчасно усуваються при поточному утриманні. В той же час рейкова колія утримується на граничних плюсових допусках по уширенню.

На стрілочних переводах найбільше розлаштування рейкової колії по шаблону має місце в передньому вильоті рамних рейок, на початку та в кінці гостряків і в середині перевідної кривої. В корені гостряків відхилення від максимальних допусків по уширенню колії досягає 10-11 мм, а в середині перевідної кривої 9 мм. У всіх випадках перевищення плюсових допусків по уширенню колії вимагає усунення в плановому порядку так, як вони відносяться до III та IV ступеня несправності.

В кривих та на стрілочних переводах відбувається інтенсивний боковий знос металевих частин. Рейки в кривих ділянках колії при досягненні граничних допусків по зносу замінюються регулярно через 1,5-2 роки експлуатації. Металеві частини стрілочних переводів зношуються більш інтенсивно. Період заміни елементів стрілок досягає двох-одного місяця. В той же час, через недопоставки нових стрілочних переводів на кожній з гірок постійно експлуатується 4-5 стрілочних переводів.

Таблиця 2.4

Аналіз стану колії гіркових горловин станції Нижньодніпровськ-Вузол

Зона вимірювання	Норма ширини колії, мм	Допуски в утриманні, мм	Максимальні значення ширини колії			
			Парна гірка		Непарна гірка	
			Період року		Період року	
			Зима	Літо	Зима	Літо
1. Прямі	1520	+10 -4	1530	1528	1530	1528
2. Криві радіусом менше ніж 300 м	1540	+6 -4	1544	1542	1544	1542
3. Стрілочні переводи						
передній виліт рамної рейки	1522	+10 -3	1537 (+5)	1534 (+2)	1534 (+2)	1531
вістря гостряка	1532	+10 -3	1544 (+2)	1542	1542	1538
корінь гостряка	1524	+10 -3	<u>1545 (+11)</u> 1545 (+11)	<u>1544 (+10)</u> 1541 (+7)	<u>1542 (+8)</u> 1543 (+9)	<u>1539 (+5)</u> 1536 (+2)
середина перевідної кривої	1524	+10 -3	<u>1542 (+8)</u> 1543 (+9)	<u>1537 (+3)</u> 1543 (+9)	<u>1538 (+4)</u> 1541 (+7)	<u>1535</u> 1538 (+4)
хрестовина	1520	+6 -3	<u>1522</u> 1524	<u>1518</u> 1523	<u>1519</u> 1522	<u>1517</u> 1522

Примітки: В дужках наведено перевищення допусків утримання рейкової колії по ширині.

В чисельнику наведені значення ширини колії по лівому (прямому), а в знаменнику по правому (боковому) напрямку стрілочних переводів

Основні відхилення від норм утримання по рівню, просадкам та перекосам рейкових ниток виникають, як правило, весною при відтаненні баластного шару та усуваються в плановому порядку при виконанні комплексно-оздоровчих заходів. Через порушення строків виконання цих робіт гірочні колії, як правило знаходяться в межах III та IV ступеня несправності. Аналогічний стан спостерігається і по іншим станціям (Клепарів, Ясинувата, Одеса-Сортувальна).

2.1.4. Профіль спускної частини гірки і сортувальних колій. Вимоги до профілю спускної частини гірок і сортувальних колій, а також до їх утримання сформульовані в [159]. В процесі експлуатації сортувальних пристроїв виникають певні відхилення від проектного положення (по відмітках та ухилах) кожного елемента профілю, що можуть знаходитися в межах тимчасових норм допусків на утримання позовжнього профілю спускної частини гірок і сортувальних колій і перевищувати їх. Нормами [159] керуються при призначенні робіт з виправки елементів профілю та при усуненні місцевих відхилень.

Відхилення фактичного ухилу i_{ϕ} від проектного $i_{\text{пр}}$ визначається як різниця $i_{\phi} - i_{\text{пр}}$. Якщо ця величина не перевищує норми допусків, то даний елемент по величині місцевих відхилень відповідає вимогам експлуатації. При визначенні найбільших припустимих відхилень елементів профілю по відмітках та крутизні ухилів виділяються наступні елементи:

- колія насуву: ділянка перед протиухилом; протиухил перед перевальною частиною $i_{1\phi}$;
- перевальна частина;
- перша швидкісна ділянка $i_{2\phi}$;
- друга швидкісна ділянка $i_{3\phi}$;
- міжпозиційна ділянка $i_{4\phi}$;
- розподільна (стрілочна) зона $i_{\text{сз}}$;
- ділянки розташування гальмових позицій $i_{\text{фгп1}}$, $i_{\text{фгп2}}$, $i_{\text{фпп}}$;

- сортувальні колії $i_{\text{фск}}$.

Крім цього, нормуються максимальні значення алгебраїчної різниці ухилів ділянки перед перевальною частиною та першої швидкісної ділянки, а також першої та другої швидкісних ділянок.

Для сортувальних гірок, що знаходяться в експлуатації, колії сортувального парку можуть бути розташовані на довжині половини состава (елемент №1) на спуску до 1‰, решта колії (елемент №2) – на спуску 0,6‰ крім останньої ділянки (елемент №3) довжиною 100 м, яка разом з вихідною горловиною сортувального парку повинна розташовуватись на підйомі 2‰. Сортувальні колії за парковою позицією на нових гірках повинні розташовуватися на рівномірному спуску 0,6‰ окрім останньої ділянки довжиною 100 м, що розташовується на підйомі 2‰.

Значення допустимих відхилень для ухилу сортувальних колій складають $\pm 0,5\%$ на довжині кожного пікету, а на довжині елементів №1 та №2 відхилення різниці відміток висот кінцевих точок елемента не повинно перевищувати ± 100 мм.

В якості прикладу в табл. 2.5 наведено поздовжні профілі частини колій сортувальних парків станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці. При цьому, кожен колію було розбито на три елементи – перший елемент колії з боку гірки від граничного стовпчика останньої розділової стрілки довжиною $l_{\text{п}}/2$, другий елемент – ділянка колії до протиухилу, третій елемент колії – протиухил довжиною 100 м. Також в таблиці виділено ухили елементів профілю, що знаходяться за межами допустимих відхилень.

Аналіз поздовжнього профілю колій, наведених в табл. 2.5 показує наявність відхилень за межами тимчасових норм допусків. Найбільш типовими відхиленнями є: наявність ділянок з ухилами в бік сортувальної гірки; перевищення допустимих відхилень ухилів у більшу сторону; відсутність протиухилів на останній частині колії довжиною 100 м; перевищення різниці відміток висот кінцевих точок елемента профілю.

Профіль сортувальних колій станції Нижньодніпровськ-Вузол*

№ колії	Ухили елементів сортувальних колій, ‰			№ колії	Ухили елементів сортувальних колій, ‰		
	1-й	2-й	3-й		1-й	2-й	3-й
Парна система станції Нижньодніпровськ-Вузол (I-й пучок)							
3	0	-0,3	-1,2	7	0	-1,2	-1,5
4	0	-0,6	-1,6	8	0	-1,1	-2,1
5	0	-0,4	-1,3	9	0	-1,2	-1,6
6	0	-0,9	-1,8	10	0	-1,5	-1,4
Непарна система станції Нижньодніпровськ-Вузол (II-й та IV-й пучки)							
6	2,0	0,8	0,9	20	1,6	0,5	1,0
7	1,9	0,7	0,8	21	1,9	0,0	1,1
8	2,3	1,0	0,0	22	1,6	0,3	0,1
9	2,2	0,7	0,5	23	1,5	0,5	-0,1
10	2,1	1,6	1,1	24	1,4	0,5	-0,3
11	1,8	1,6	0,9	25	1,5	0,5	0,2
12	1,0	1,7	1,1	26	1,7	0,2	0,0
				27	1,5	0,2	1,1

Відхилення в утриманні колії, характерні для парної системи станції Нижньодніпровськ-Вузол, можуть призводити до збільшення обсягів маневрової роботи з ліквідації «вікон» на сортувальних коліях, перестановки вагонів після розформування з відсівних колій, з підготовки колій до розпуску чергового состава. Відхилення, характерні для непарної системи, можуть призводити до перевищення допустимих швидкостей підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях, відсутність ділянки з протиухилом в кінці колії збільшує імовірність самовільного виходу вагонів з колій і пов'язаних з цим наслідків.

Існують також відхилення від проектних чи нормативних значень ухилів та перевищень елементів спускної частини сортувальних гірок. До найсуттєвіших відхилень, характерних для більшості сортувальних гірок, слід віднести: відхилення, як правило, в меншу сторону відмітки головки рейки на вершині гірки; відхилення значень ухилів елементів профілю спускної частини від проектних в більшу чи меншу сторону понад допустимі значення,

наявність на спускній частині елементів профілю з ухилами в бік горба гірки чи ділянок з нульовим ухилом.

Такий стан поздовжнього профілю спускної частини гірок може призводити до зупинок відчепів на спускній частині гірки в процесі розпуску составів, до збільшення обсягу маневрових операцій на гірці, що збільшує ризик виникнення небезпечних ситуацій і браків в роботі сортувальних гірок.

2.2. Аналіз структури парку вантажних вагонів України

2.2.1. Аналіз структури вагонного парку за власністю. Парк вантажних вагонів складається з піввагонів, платформ, цистерн, критих та інших вагонів. За власністю у вагонному парку можна виділити інвентарні вагони, вагони власності промислових підприємств та вагони власності інших держав. Необхідно відмітити, що проектування конструкції та технічного забезпечення сортувальних гірок, розробка нормативно-технічної документації по їх спорудженню та утриманню відбувалась, в основному, за часів Радянського Союзу, коли залізниці суміщали функції власника інфраструктури та власника переважної частини рухомого складу, який використовувався для перевезень. В сучасних умовах відбувається різка зміна співвідношення інвентарного та приватного парку в структурі парку вантажних вагонів.

Динаміка структури парку вантажних вагонів Укрзалізниці та підприємств України за результатами аналізу даних архіву автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці (АСК ВП УЗ) представлена в табл. 2.6.

Аналіз даних табл. 2.6 показує, що за період 2007-2009 рр. Доля інвентарних вагонів в структурі вагонного парку України зменшилась на 7,4%. Аналогічні процеси відбуваються і в цілому на мережі залізниць 1520 мм. За 2007-2009 рр. парк інвентарних вагонів країн-учасниць Співдружності скоротився на 12,3%.

Динаміка зміни парку вантажних вагонів за період 2007-2009 рр.

Вагони	Кількість, тис. ваг
Інвентарних у 2007 році	161,7
Придбано нових інвентарних вагонів за період 2007-2009 рр	0,3
Виключено інвентарних вагонів за період 2007-2009 рр	40,9
Інвентарних у 2009 році	121,1
Приватних у 2007 році	70,7
Придбано нових приватних вагонів за період 2007-2009 рр	13,8
Виключено приватних вагонів за період 2007-2009 рр	10,7
Приватних у 2009 році	73,8

Різке зменшення долі парку інвентарних вагонів пов'язане з високою ступінню зносу інвентарних вагонів, який перевищує 80 % і їх виведенням із експлуатації, відсутністю інвестиційних ресурсів у залізниць на придбання нових вагонів та реформуванням залізничного транспорту Російської Федерації, що передбачає створення компаній-власників вантажного рухомого складу незалежних від власника інфраструктури.

Отже, зараз при організації процесу перевезень вантажів відбувається розділення функцій власника інфраструктури та перевізника, що призводить до підсилення вимог щодо схоронності рухомого складу під час розформування-формування составів поїздів на сортувальних гірках.

Для аналізу вагонопотоков, які переробляються на сортувальних гірках України з бази даних АСК ВП УЗ вибрано вибірку у вигляді таблиці T_c , що містить інформацію про належність вагонів:

- інвентарний номер вагона - S_1 ;
- код адміністрації приписки – S_2 ;
- код належності вагона до інвентарного чи приватного парку - S_3 .

Із бази даних автоматизованих систем управління сортувальними станціями Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці, Одеса-Сортувальна Одеської залізниці, Ясинувата Донецької залізниці та Клепарів Львівської залізниці отримано розмічені телеграми-натурні листи поїздів, що

були розформовані у 2007 та 2009 році. На підставі цих даних сформовано таблицю T_{pc} , яка містить наступну інформацію:

V_1 – інвентарний номер вагона;

V_2 – ідентифікатор поїзда;

V_3 – ідентифікатор відчепа;

V_4 – маса вантажу у вагоні;

V_4 – код типу вантажу у вагоні.

На підставі даних таблиць методами реляційної алгебри [102] визначено наступні показники:

- переробка інвентарних вагонів Укрзалізниці

$$F_{\text{count}(V_1)}(\sigma_{s_3="инв"}(\sigma_{s_2=22}(\pi_{S_2,S_3}(T_c) \triangleright \triangleleft_{T_c.S_1=T_{pc}.V_1}(\pi_{V_1}(T_{pc}))))));$$

- переробка приватних вагонів власності промислових підприємств України

$$F_{\text{count}(V_1)}(\sigma_{s_3="пр"}(\sigma_{s_2=22}(\pi_{S_2,S_3}(T_c) \triangleright \triangleleft_{T_c.S_1=T_{pc}.V_1}(\pi_{V_1}(T_{pc}))))));$$

- переробка вагонів інших держав

$$F_{\text{count}(V_1)}(\sigma_{s_3="пр"}(\sigma_{s_2=22}(\pi_{S_2,S_3}(T_c) \triangleright \triangleleft_{T_c.S_1=T_{pc}.V_1}(\pi_{V_1}(T_{pc}))))).$$

Отримані дані дозволили побудувати розподіл вагонів, що переробляються на гірках за власниками, який представлено на рис. 2.2.

Порівняння результатів розрахунків для 2009 та 2007 років показало, що за цей період доля вагонів інвентарного парку, які переробляються на сортувальних станціях скоротилася на 6%. Аналіз напрямків реформування залізничного транспорту [50, 182, 187] показує, що ця тенденція буде продовжуватись.

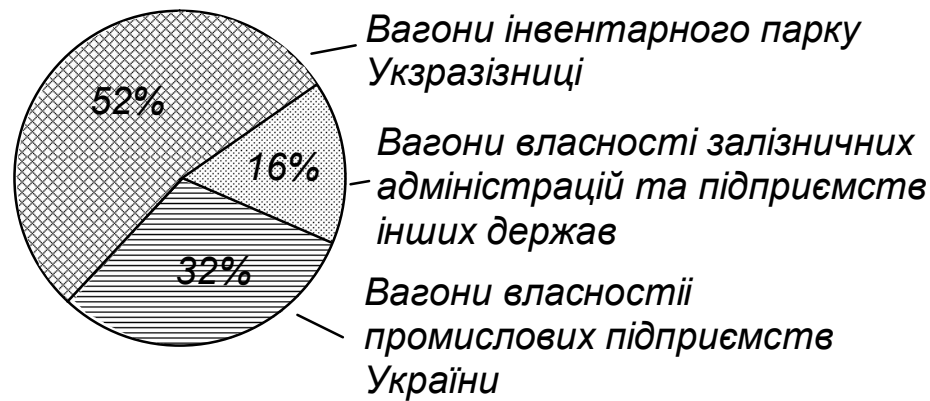


Рис. 2.2. Розподіл вагонів, що переробляються на гірках, за власниками

2.2.2. Аналіз технічних параметрів вагонів. Суттєвим фактором, що впливає на умови розформування составів є технічні параметри вагонів.

Під час досліджень були виконані обміри діаметрів коліс вагонів, що надходять у ремонтне вагонне депо станції Нижньодніпровськ –Вузол так, як цей параметр безпосередньо впливає на величину гальмового зусилля, що реалізується гальмовими уповільнювачами. У вагонному депо було виконано заміри на 99 вагонах.

Вимірювання діаметрів коліс виконувалось стандартними інструментами, які використовуються у вагонному депо.

В процесі дослідження виконано обмірювання 396 коліс вантажних вагонів. Гістограма розподілу випадкової величини D_k наведена на рис. 2.3.

Аналіз отриманих результатів показує, що діаметри коліс вагонів D_k мають значення від 850 до 964 мм. В результаті статистичної обробки встановлено, що математичне очікування величини діаметра колеса складає $M[D_k]=922,1$ мм, середнє квадратичне відхилення 26,1. Колеса залізничних вагонів випускаються діаметром 950^{+14} мм. В процесі експлуатації здійснюється спрацьовування та обточення обода колеса. У зв'язку з цим діаметр колеса являє собою випадкову величину, що може бути представлена виразом

$$D_k = 964 - \xi_k,$$

де ξ_k – випадкова величина зменшення діаметра колеса, мм.

Статистична обробка величини ξ_k показала, що вона підлягає гама розподілу.

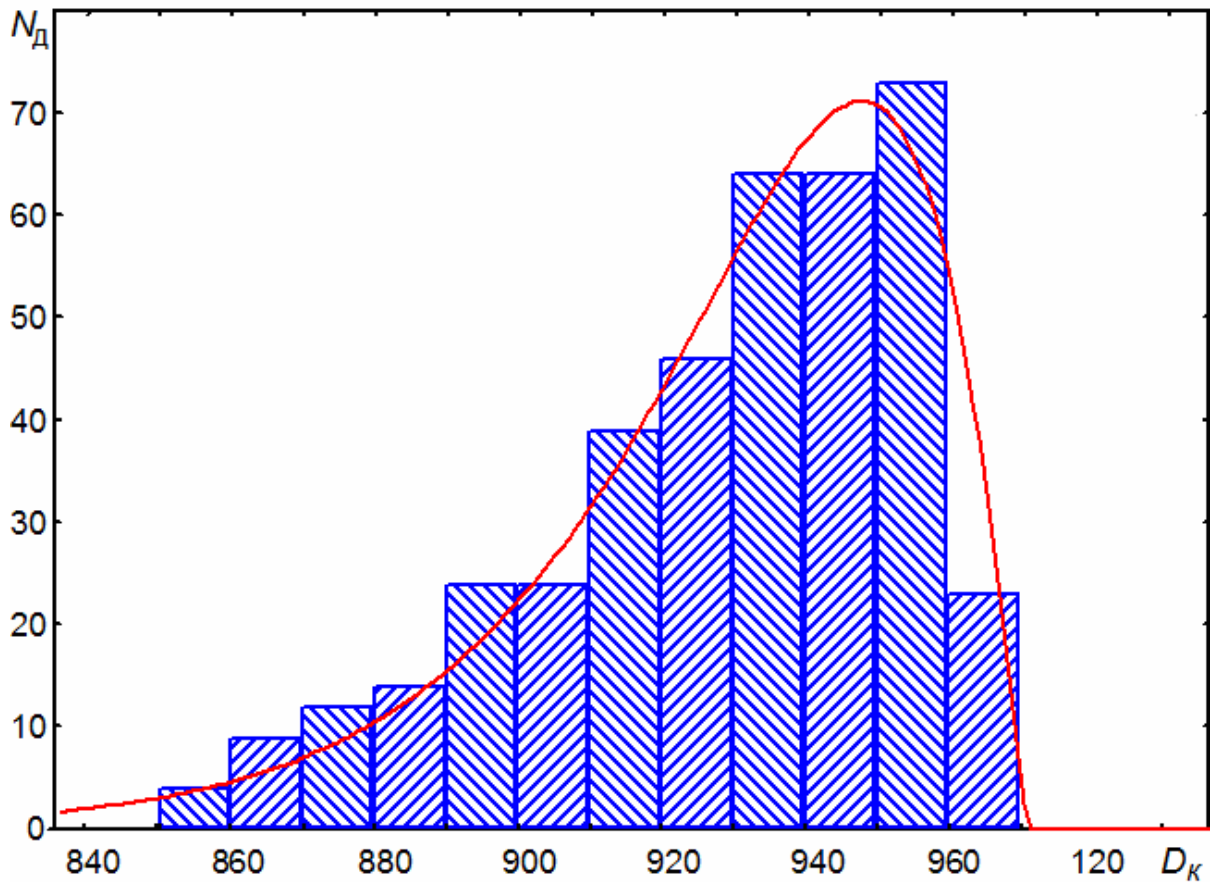


Рис. 2.3. Гістограма розподілу випадкової величини діаметра колеса

Величина допустимої швидкості співударяння вагонів суттєво залежить від енергоємності поглинаючих апаратів автозчепів що забезпечують поглинання частини енергії удару та перетворення її у інші види енергії.

Енергоємність поглинаючих апаратів наведено в табл. 2.7.

До 1979 року вантажні вагони обладнувалися в основному пружинно-фрикційними апаратами Ш-1-ТМ, а потім Ш-2-В. В сучасних умовах нові вагони обладнуються поглинаючими апаратами ПМК-110А. Енергоємність цих апаратів на 40% вище ніж у апаратів Ш-1-ТМ та Ш-2-В.

Енергоємність поглинаючих апаратів

Тип поглинаючого апарату	Ш-1-ТМ	Ш-2-Т	Ш-2-В	ПМК-110А	73-ZW
Енергоємність, кДж	25-50	30-65	25-60	35-85	140-170

В той же час нормативна швидкість підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях не змінилась і складає 5 км/год. Аналіз ПТЕ залізниць Радянського Союзу та України, починаючи з [161], показав, що за період з 1959 р. вказаний норматив не змінювався.

2.3. Аналіз вагопотоків, що надходять у переробку на сортувальних станціях

Процеси розформування поїздів на сортувальних гірках та формування составів у сортувальному парку є органічно пов'язаними складовими системами поїздоутворення.

В 90-ті роки 20-сторіччя відбувся різкий спад обсягів залізничних перевезень і в сучасних умовах завантаження сортувальних гірок України складає 30-50% від їх переробної спроможності.

При вирішенні задач, пов'язаних з автоматизацією управління скочування відчепів виникає задача статистичної характеристики вагопотоків, що прибувають у розформування на сортувальну станцію як в цілому, так і окремих струменів вагопотоків за призначеннями плану формування поїздів [81, 88]. Статистична обробка натурних листів составів у розформування кількох сортувальних станцій (Нижньодніпровськ-Вузол, Клепарів, Ясинувата, Одеса-Сортувальна та ін.) дозволяє зробити певні висновки та виявити деякі залежності.

На рис. 2.4 наведено розподіл вагопотоків, що прибувають у розформування по вагових категоріях для трьох сортувальних станціях – Клепарів Львівської залізниці, східної системи ст. Ясинувата Донецької залізниці, пар-

ної та непарної систем ст. Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці. Легку вагову категорію умовно розділено на дві складові – порожні вагони, частка яких в легкій ваговій категорії є переважною та завантажені вагони, маса яких відповідає даній ваговій категорії.

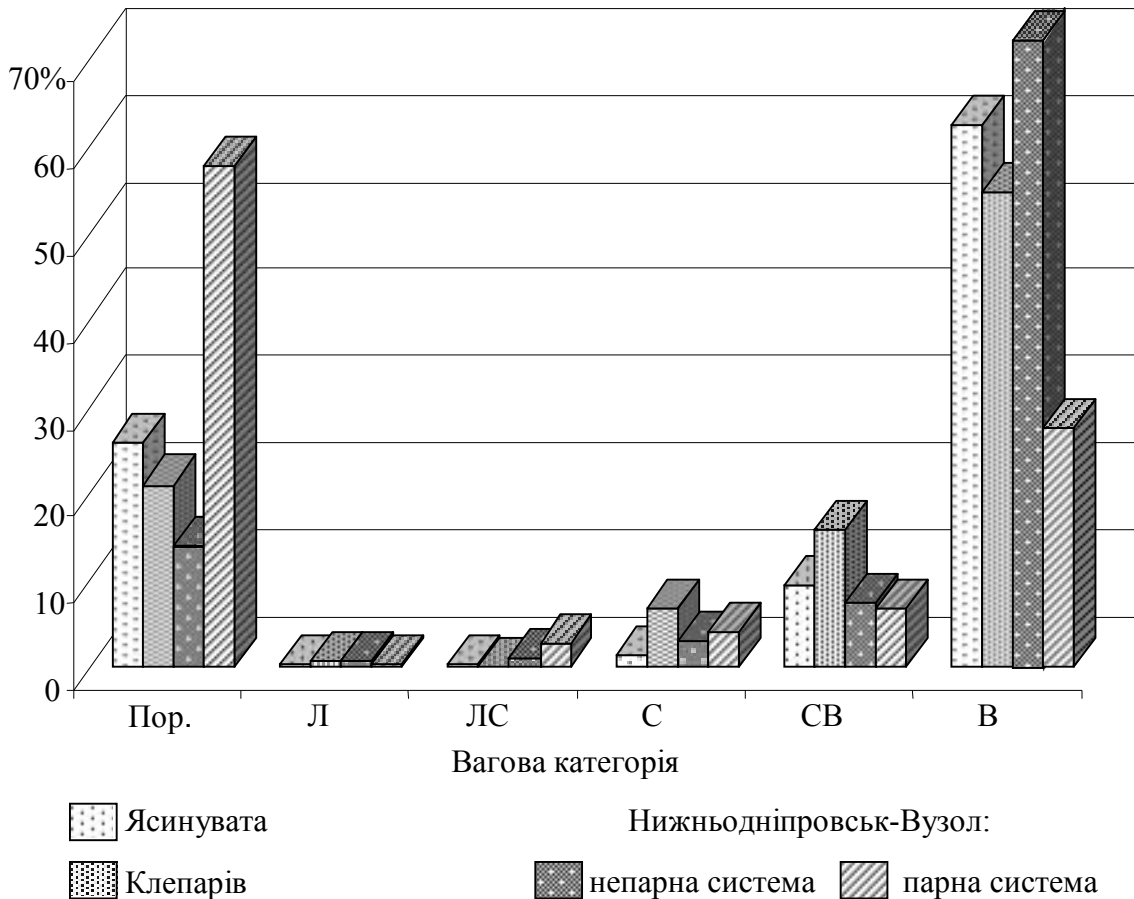


Рис. 2.4. Розподіл вагонів по вагових категоріях

Основна частка вагонів, що розформовуються на сортувальних станціях, припадає на порожні вагони та вагони важкої вагової категорії, частки яких складають в середньому 23 та 60% відповідно. Частки вагонів легкої та легко-середньої вагових категорій найменші і не перевищують 3%. Дещо більші частки вагонів середньої та важко-середньої вагових категорій – до 7 та 16% відповідно.

Структура вагонопотоку у розформування двосторонньої сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол суттєво відрізняється від інших станцій,

наведених в якості прикладу на рис. 2.4, за співвідношенням порожніх вагонів та вагонів важкої вагової категорії через перерозподіл вагонопотоків між системами. Наявність 58% порожніх вагонів у парній системі пояснюється тим, що ця система станції Нижньодніпровськ-Вузол формує поїзди з порожніх піввагонів під навантаження в Донецький вугільний басейн; з порожніх критих вагонів в райони навантаження кухонної кам'яної солі; з порожніх цистерн світлого та темного наливу на територію Російської Федерації та інші порожні струмені вагонопотоків в райони навантаження.

Згідно з (1.10) величина розділових інтервалів на стрілках залежить від початкових інтервалів між відчепами на вершині гірки $t_{1,2}$ та $t_{2,3}$. Враховуючи, що ці величини залежать від кількості вагонів у відчепі, то і умови розділення відчепів на розділових елементах суттєво залежать від кількості вагонів у відчепі. Зменшення кількості вагонів у відчепі призводить також і до погіршення умов прицільного регулювання скочування відчепів [93]. Для аналізу випадкової величини кількості вагонів у відчепі N побудовано гістограму (див. рис. 2.5).

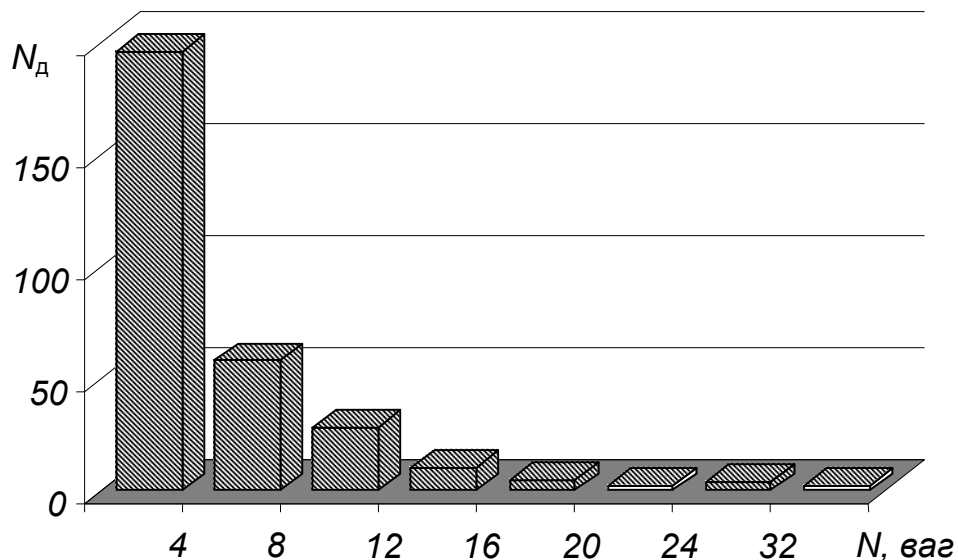


Рис. 2.5. Гістограма розподілу випадкової величини кількості вагонів у відчепі.

В результаті статистичної обробки випадкової величини N встановлено, що вона має експоненціальний закон розподілу. Це означає, що в основному відчепи складаються з малої кількості вагонів. Одновагонні відчепи складають біля половини всіх відчепів, що розформовуються.

Найбільш несприятливими умовами регулювання швидкості скочування є розділення одновагонних відчепів. Гістограма розподілу випадкової величини кількості розділень одновагонних відчепів у составі представлено на рис. 2.6.

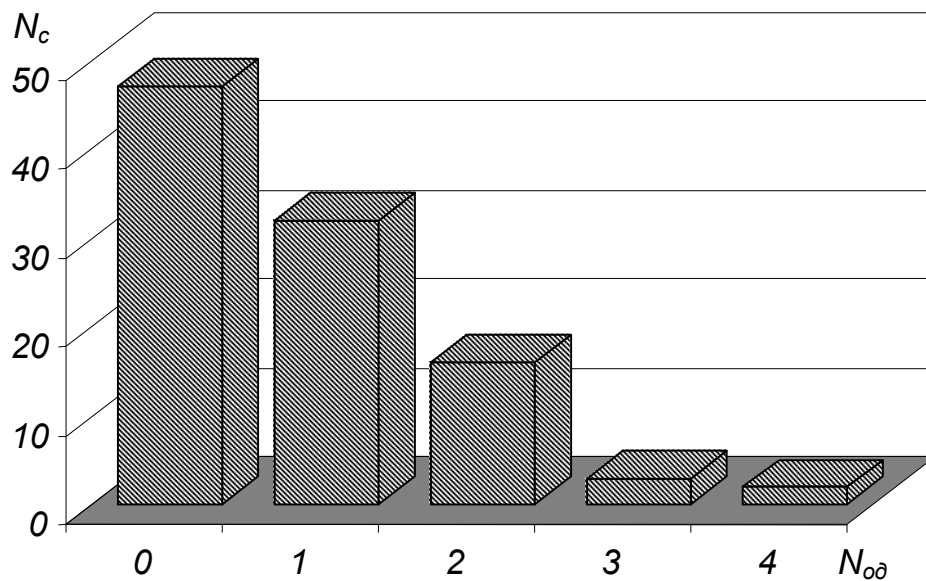


Рис. 2.6. Гістограма розподілу випадкової величини кількості одновагонних відчепів у составі.

Величина збитків, що можуть бути спричинені підвищеною швидкістю співударяння вагонів суттєво залежить від типу вантажу, що у них перевозиться. В результаті обробки даних сортувальних листків непарної системи ст. Нижньодніпровськ-Вузол отримано розподіл вагонопотоків, по типам вантажів що перевозиться у вагонах (див. рис. 2.7).

Виконаний аналіз показує, що 49% вантажів, які перевозяться у вагонах є нечутливими до підвищених швидкостей співударяння, а 11% вагонів є порожніми. Найбільш несприятливі умови гальмування виникають при гальму-

вання одновагонних відцепів. На рис. 2.8 представлено розподіл одновагонних відцепів за типами вантажу, що перевозиться у вагонах.



Рис. 2.7 – Розподіл вагонопотоку за типами вантажу, що перевозиться

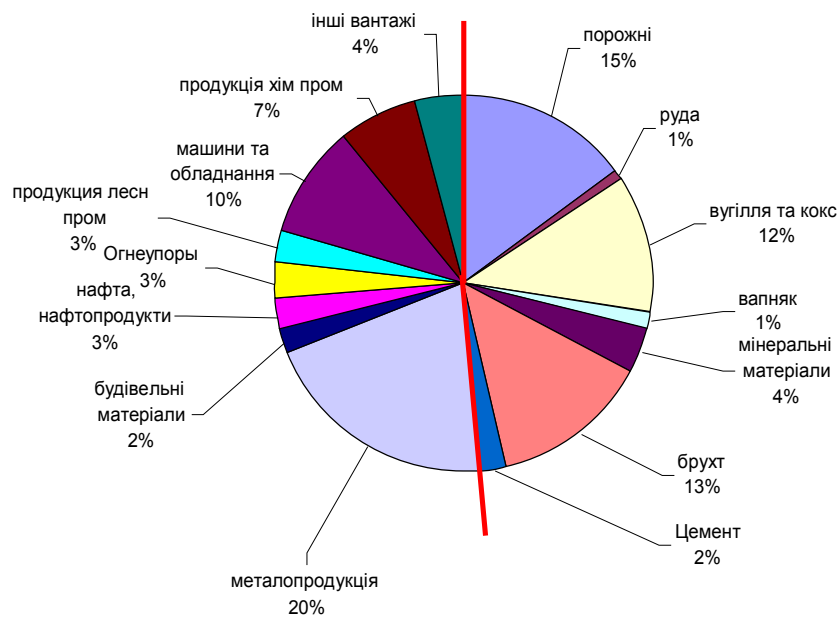


Рис. 2.8 – Розподіл вагонопотоку за типами вантажу, що перевозиться

Серед одновагонних відцепів нечутливими до підвищених швидкостей співударяння є 48% відцепів. Скорочення долі цих вагонів у порівнянні з загальним відбувається через те, що вугілля та руду звичайно перевозять групами, а більш цінні вантажі – по одному вагону.

Аналіз окремих вагонопотоків призначень плану формування сортувальних станцій показав, що окремі призначення відрізняються не лише потужністю і структурою вагонопотоку, але й ваговими категоріями вагонів. На підставі аналізу розподілу вагонів на різних коліях можна виділити багатовагонні відцепи, що складаються з однотипних вагонів різних вагових категорій, з різнотипних вагонів різних вагових категорій, з однотипних вагонів однакових вагових категорій та з різнотипних вагонів однакових вагових категорій.

Наявність об'єктивних зв'язків між призначеннями суміжних відцепів і аналіз їх частот був виконаний проф. Шафітом Є.М. [199]. Ці зв'язки враховувалися ним при формуванні розрахункового складу. При цьому, розподіл частот появи в складах комбінацій відцепів, які слідують на різні колії сортувального парку представлено у вигляді квадратної матриці $m \times m$, тут m – кількість сортувальних колій.

Як показує аналіз, параметри окремих вагонів у складі не можна розглядати як незалежні випадкові величини. Дійсно, імовірність появи у складі однорідного відчепа, що складається з вагонів одного типу з близькою вагою, значно вище величини p^n , де p – ймовірність появи одного такого вагону. Вказане явище можна пояснити наявністю достатньо великої кількості випадків масового навантаження одним відправником певного вантажу на адресу однієї станції, який слідує потім однією групою. Для ілюстрації на рис. 2.4 наведені статистичні дані по складу багатовагонних відцепів станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці.

Розсів маси вагонів всередині вагової категорії коливається в діапазоні 6 т для категорії Л, 16 т для категорій ЛС та С, 12 т для категорії СВ і 22 т для

категорії В. В результаті статистичної обробки випадкової величини маси вагонів Q_B встановлено, що в межах вагових категорій Л (для завантажених вагонів), ЛС, С та СВ величина Q_B розподілена за рівномірним законом.

Для ілюстрації на рис. 2.10 наведена гістограма розподілу маси вагонів всередині середньо-важкої вагової категорії.

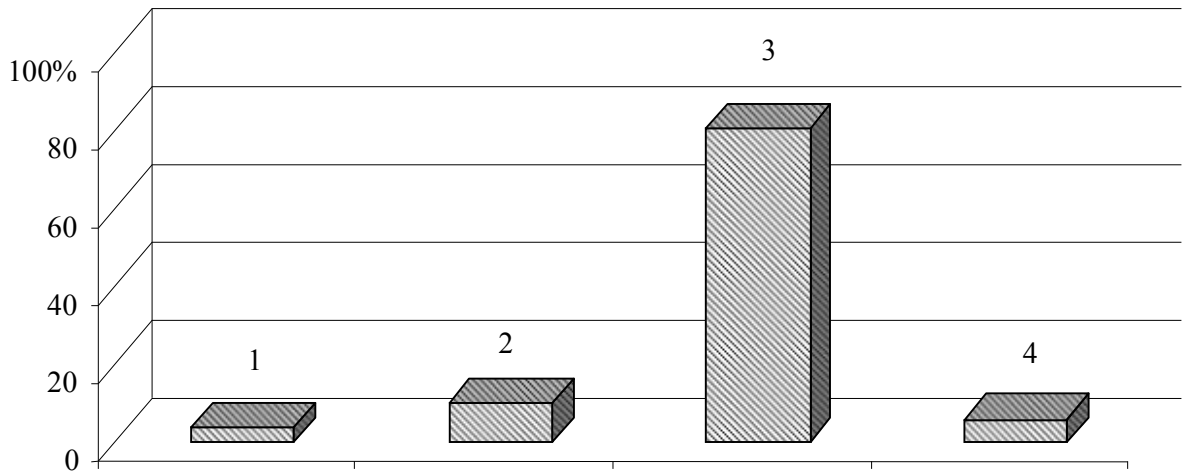


Рис. 2.9. Розподіл кількості багатовагонних відцепів: 1 - відчепи з однотипних вагонів різних вагових категорій; 2 - відчепи з різнотипних вагонів різних вагових категорій; 3 - відчепи з однотипних вагонів однакових вагових категорій; 4 - відчепи з різнотипних вагонів однакових вагових категорій.

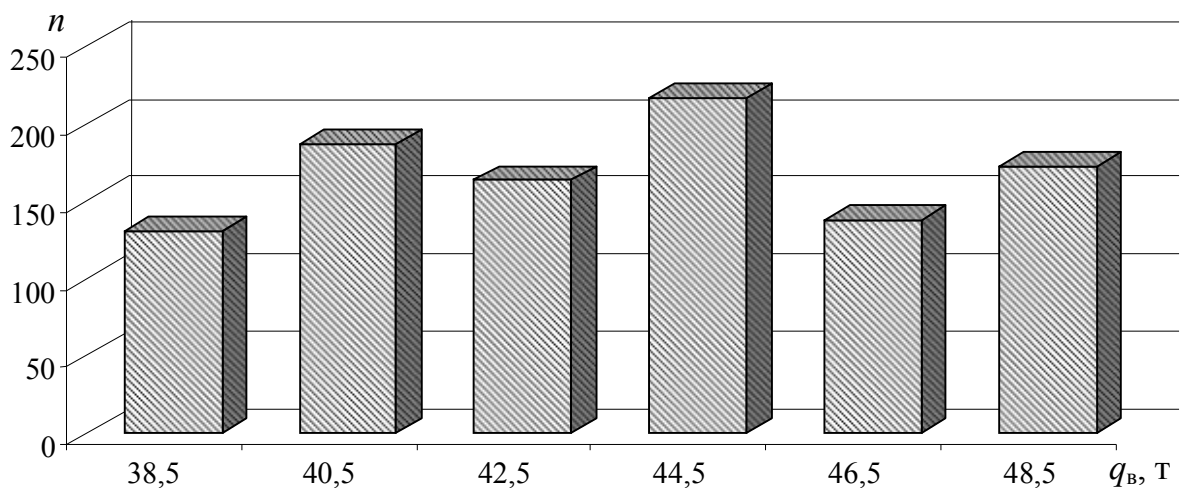


Рис. 2.10. Гістограма розподілу випадкової величини ваги вагонів q_B всередині середньо-важкої вагової категорії

Маса вагонів важкої категорії В є випадковою величиною, значення якої у окремому досліді [76] може бути промодельоване за допомогою виразу

$$Q_{B(B)} = Q_T + Q_{\text{вп}} - \xi, \quad (2.1)$$

де Q_T , $Q_{\text{вп}}$ – відповідно тара та вантажопідйомність вагону;

ξ – випадкова величина недовантаження вагона, що має показниковий закон розподілу, т.

На рис. 2.11 наведена гістограма розподілу випадкової величини недовантаження вагонів важкої вагової категорії.

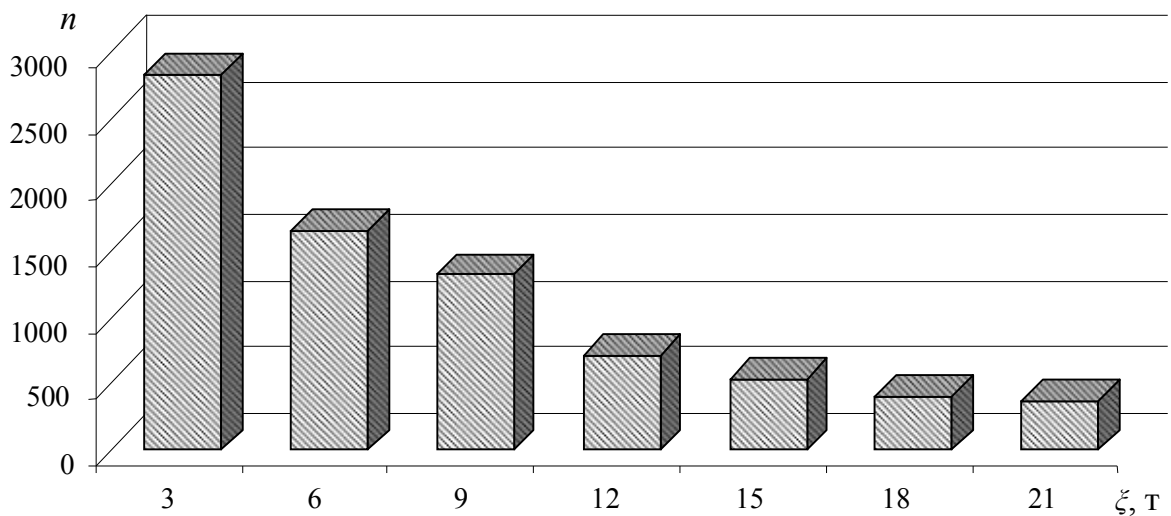


Рис. 2.11. Гістограма розподілу випадкової величини ξ недовантаження вагонів категорії В, т

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

Безпека процесу розформування поїздів визначається значною кількістю факторів, що одночасно впливають і на техніко-експлуатаційні показники роботи сортувального комплексу станції. Таким чином, для вирішення проблеми підвищення безпеки сортувального процесу та підвищення його ефективності необхідна системна оцінка факторів технічного, організаційного, техногенного, економічного та людського характеру. Метою дослідження є підвищення безпеки та експлуатаційної ефективності процесу розформування-формування составів вантажних поїздів за рахунок покращення якості

проектних та управлінських рішень, що приймаються на підставі науково-обґрунтованих методів оцінки сортувальних гірок. При цьому, досягнення мети дослідження здійснюється за рахунок використання системного аналізу при формуванні задач дослідження та при виборі методів їх вирішення.

Сортувальна гірка являє собою систему, що знаходиться у тісній взаємодії з іншими підсистемами сортувальної станції і з'єднана з ними множиною прямих та зворотних зв'язків які змінюються у часі. При цьому у якості укрупнених елементів сортувальної гірки розглядається колійний розвиток, система управління розформуванням составів та вагонопотік, що переробляється. Між елементами системи мають місце фізичні та інформаційні зв'язки. Зовнішнім середовищем по відношенню до сортувальної гірки є залізнична станція. Стан системи характеризується положенням у просторі та часі окремих елементів колійного розвитку гірки та вагонів на ньому. Входом системи є вагонопотік у переробку, та стан зовнішнього середовища. Вихід системи утворюють состави поїздів, що накопичуються на коліях сортувального парку. Поведінка системи обумовлюється в основному впливом сил фізичного характеру, що діють на рухомий склад (сила тяжіння, сила тяги локомотива, сили опору руху) та впливом системи управління. При цьому, одним із елементів системи управління є людина оператор. Тобто сортувальна гірка є ергатичною системою. Характеристика сортувальної гірки як системи наведена у табл. 2.8.

Цілями системи є забезпечення розформування-формування потоку составів поїздів у заданому темпі з мінімальними експлуатаційними витратами та при безумовному дотриманні умов безпеки руху. Наведені цілі є суперечливими. Так, наприклад, підвищення рівня безпеки може досягатися за рахунок зменшення темпу розформування поїздів чи впровадження і експлуатації дорогих систем управління розпуском. На подолання наведених суперечностей і спрямована мета дослідження. Згідно з методологією системного аналі-

зу досягнення поставленої мети відбувається поетапно у результаті вирішення окремих задач дослідження.

Таблиця 2.8

Характеристика сортувальної гірки як системи

Класифікаційна ознака	Клас системи
Природа елементів	Реальна
Походження	Штучна
Мінливість властивостей	Динамічна
Передбачуваність станів	Стохастична
Характер поведінки	З управлінням
Ступінь складності	Складна
Ступінь зв'язку з зовнішнім середовищем	Відкрита
Ступінь участі людини у реалізації керуючих впливів	Ергатична

На першому етапі дослідження у розділі 1 на підставі аналітичного огляду науково-технічної літератури виявлена проблема техніко-експлуатаційної оцінки роботи сортувальних гірок та сформульована задача розробки теоретичних основ оцінки безпеки та експлуатаційної ефективності сортувального процесу на станціях.

Техніко-експлуатаційні показники роботи сортувальної гірки суттєво залежать від їх конструкції та умов експлуатації, а також від характеристик вагонопотоку, що переробляється. У зв'язку з цим на другому етапі здійснюється дослідження технічного забезпечення сортувального процесу та характеристик вагонопотоків що переробляються на сортувальних станціях. Методами дослідження є математична статистика та кореляційний аналіз.

У зв'язку зі значною складністю гіркових процесів задача оцінки ефективності та безпеки їх функціонування розв'язується на двох рівнях: скочування одиночного відчепи (розділи 3,4) та розформування состава в цілому (розділи 5-7).

У третьому розділі розроблено математичну модель процесу скочування відчепа з гірки як динамічної системи, що дозволяє визначати зусилля у конструкції вагона, між окремими вагонами відчепа та між вагоном та колією. При цьому в якості методів дослідження використовуються методи математичного аналізу та чисельні методи вирішення диференціальних рівнянь.

В четвертому розділі розроблено теоретичні основи оцінки безпеки руху при керованому скочуванні вагонів з сортувальних гірок. Розроблені методи дозволяють визначати умови викочування на уповільнювачі та рейки коліс вагонів під час їх гальмування. Дослідження здійснюються методами математичного моделювання та безпеки руху поїздів.

В п'ятому розділі удосконалено методи аналізу динаміки регульованого скочування відцепів за рахунок урахування випадкового характеру параметрів відцепів та умов навколишнього середовища та виконано оцінку впливу різних факторів на параметри розподілу випадкової величини часу та швидкості скочування відцепів. Для вирішення поставлених задач використано методи теорії імовірностей, математичної статистики, теорії гіркових процесів та планування факторних експериментів.

Показники функціонування сортувальних гірок суттєво залежать не лише від їх технічного забезпечення, а і від обраних режимів регулювання швидкості скочування відцепів. У зв'язку з цим у шостому розділі розроблено методи оптимізації режимів гальмування відцепів у стохастичній постановці. При цьому використано методи теорії корисності і математичної статистики для оцінки якості інтервального та прицільного регулювання швидкості скочування відцепів; динамічне програмування для розробки методів розв'язання задачі.

В сьомому розділі з використанням методів об'єктно-орієнтованого аналізу, імітаційного моделювання, методів економічного аналізу розроблено модель процесу розформування потоку поїздів на гірках та удосконалено ме-

тоди техніко-експлуатаційної та техніко-економічної оцінки конструкції та технічного стану сортувальних гірок. Також у даному розділі здійснено оцінку заходів з підвищення ефективності сортувального процесу.

2.5. Висновки по розділу 2

1. Дослідження технічного забезпечення сортувальних станцій України та характеристик вагонопотоків, які надходять у розформування, показали, що в сучасних умовах експлуатації завантаження сортувальних гірок складає 30-50%, тому задача збільшення їх переробної спроможності не є актуальною.

2. Технічне забезпечення сортувального процесу є фізично і морально зношеним. Залізнична колія на гірках знаходиться в основному в третьому та четвертому станах несправності. Поздовжній профіль сортувальних колій відрізняється від проектного, що може призводити до погіршення умов прицільного і інтервального регулювання швидкості скочування відчепів. Кількість уповільнювачів старих модифікацій, термін експлуатації яких перевищує 25 років, складає 20%. В той же час технічне забезпечення сортувальних гірок є роботоспроможним і його стан призводить лише до погіршення умов експлуатаційної роботи.

3. В сучасних умовах зі скороченням інвентарного парку відбувається розділення функцій власника інфраструктури та перевізника. Це призводить до підсилення вимог щодо схоронності рухомого складу під час розформування-формування составів поїздів на сортувальних гірках.

4. Визначено основні параметри вагонопотоків, що надходять у розформування. Встановлено, що вони носять випадковий характер. При цьому масове навантаження одним відправником певного вантажу на адресу однієї станції, який слідує потім однією групою вагонів впливає на структуру багатовагонних відчепів, тобто ймовірність появи у составі однорідного відчепа, що складається з вагонів одного типу з близькою вагою, значно вище вели-

чини p^n , де p – ймовірність появи одного такого вагону. Встановлено, що випадкова величина ваги бруто вагонів в межах вагових категорій Л, ЛС, С та СВ має рівномірний закон розподілу, а для категорії В моделюванню підлягає випадкова величина недовантаження вагона ξ , τ , що має показниковий закон розподілу.

5. 48% від кількості одновагонних відчепів та 60% від загальної кількості відчепів складаються з порожніх вагонів, або вагонів, що перевозять вантажі, які є нечутливими до підвищених швидкостей співударяння. В сучасних умовах відбувається обладнання рухомого складу поглинаючими апаратами зі збільшеною на 40% енергоємністю. Це створює умови для підвищення допустимої швидкості підходу окремих відчепів до вагонів на сортувальних коліях і, відповідно, покращення умов прицільного регулювання швидкості скочування відчепів.

6. Сортувальна гірка являє собою складну динамічну стохастичну ергатичну систему. Цілями системи є забезпечення розформування-формування потоку составів поїздів у заданому темпі з мінімальними експлуатаційними витратами та при безумовному дотриманні умов безпеки руху. Наведені цілі є суперечливими. Так, підвищення рівня безпеки може досягатися за рахунок зменшення темпу розформування составів, за рахунок підвищення вимог до персоналу та якості утримання колії і технічних засобів, за рахунок впровадження і експлуатації дорогих систем керування розпуском та ін. В цих умовах необхідна розробка науково обґрунтованих методів комплексної оцінки характеристик сортувальних гірок. У відповідності з методологією системного аналізу сформульовано задачі дослідження та обрано порядок і методи їх розв'язання.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПА З ГІРКИ ЯК ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

Однією з основних задач функціонування залізничного транспорту є безумовне забезпечення безпеки руху поїздів та маневрових составів. Наведена задача є досить актуальною для сортувальних гірок так, як, незважаючи на суттєве завантаження гіркових пристроїв, нормативна база для оцінки безпеки руху вагонів на спускній частині сортувальних гірок та в сортувальних парках недостатньо вивчена в науково-методичному плані. Розробка методики оцінки безпеки функціонування сортувальних гірок необхідна як для оперативних умов для оцінки поточного стану гірок та аналізу причин браків у роботі, та і при проектуванні нових сортувальних гірок і систем їх управління.

3.1. Постановка задачі побудови математичної моделі скочування, в якій відчеп розглядається як динамічна система

Питання безпеки руху вагонів досить детально вивчені для умов поїзного руху по магістральних коліях [9, 35, 75, 111, 132]. В той же час ще в [147] вказано суттєві відмінності гіркових процесів від умов поїзного руху такі як відсутність локомотива і рух виключно під дією сили тяжіння та ін. У зв'язку з цим безпосередньо використовувати розроблені для аналізу поїзного руху методи та моделі в задачах дослідження динамічної взаємодії вагона та залізничної колії на сортувальних гірках неможливо з наступних причин: різні вимоги до улаштування колій у плані та профілі, відмінність у нормах утримання колій, наявність гальмових уповільнювачів та стрілочних переводів, різний рівень швидкостей та вільний характер скочування вагонів.

В сучасних умовах для дослідження гіркових процесів розроблена значна кількість моделей [16, 18, 129, 224]. Але існуючі моделі орієнтовані на дослідження умов розділення відчепів на розділових елементах і не можуть

використовуватись для аналізу умов взаємодії вагонів у відчепі та коліс з рейками, що необхідно для оцінки безпеки їх скочування з гірки.

Наведені проблеми вимагають розробки методів оцінки безпеки руху, що враховують особливості руху вагонів на сортувальних гірках. Основним методом вирішення цієї задачі є імітаційне моделювання яке широко використовується для дослідження поздовжньої динаміки вагонів в складі поїздів, у тому числі і їх стійкості від сходу з рейок [132].

3.2. Модель відчепа як динамічної системи

При моделюванні гіркових процесів в задачах оцінки безпеки руху виникає необхідність дослідження сил, що діють у вагоні між окремими його частинами, між окремими вагонами відчепа та у системі вагон-колія. У зв'язку з цим при розв'язанні таких задач модель відчепа у вигляді нерозтяжного гнучкого стержня є неадекватною і відчеп необхідно розглядати як динамічну систему. Через складність конструкції вагона та можливу значну кількість вагонів у відчепі при моделюванні гіркових процесів для спрощення та прискорення обчислювальних експериментів прийнята дворівнева модель відчепа [131-133], яка включає одномірну модель відчепа та просторову модель досліджуємого вагона.

3.2.1. Одномірна модель відчепа. У одномірній моделі відчеп розглядається як система взаємопов'язаних вагонів, що з'єднані між собою нелінійними зв'язками, а саме демпферами сухого тертя [86]. Розрахункова схема відчепа для загального випадку зображена на рис. 3.1.

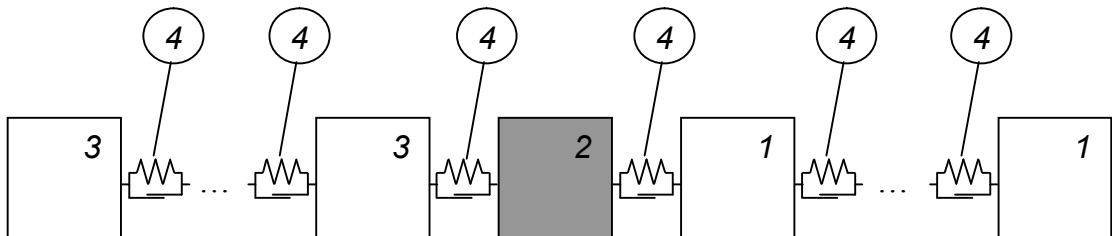


Рис. 3.1. Розрахункова схема одномірної моделі відчепа: 1 – вагони головної групи, 2 – досліджуємий вагон; 3 – вагони хвостової групи; 4 – зв'язки між групами вагонів

В окремих випадках вагони головної чи хвостової групи і відповідні зв'язки можуть бути відсутніми. В пам'яті ЕОМ відчеп описується структурою

$$c_d = \{V_d, G_B\},$$

де V_d – вектор параметрів вагонів відчепа;

G_B – зв'язки, що відповідають автозчепам між вагонами відчепа.

Параметри кожного вагону $v_{d,n} \in V_d$, $n = \overline{1, N}$ у одномірній моделі представлені структурою

$$v_{d,n} = \{t_{BG}, A, q_{BG}, w_0, K_{CB}, x_B, v_B\},$$

де t_{BG} – тип вагона;

A – вектор міжосьових відстаней, м;

q_{BG} – маса вагона, т;

w_0 – основний питомий опір руху вагона, Н/кН;

K_{CB} – коефіцієнт для розрахунку опору середовища та вітру;

x_B – поточна координата першої осі вагона, м;

v_B – поточна швидкість вагона, м/с;

N – загальна кількість вагонів у відчепі.

Значення коефіцієнту K_{CB} визначається згідно [159] для першого вагона відчепа (одиначного)

$$K_{CB} = \frac{17,8c_x S_{BG}}{(273 + t)q_{BG}},$$

та наступних

$$K_{CB} = \frac{17,8c_{xx} S_{BG}}{(273 + t)q_{BG}},$$

S_{BG} – площа поперечного перетину вагонів, м²;

c_x, c_{xx} – коефіцієнти повітряного опору першого (одиначного) та наступних вагонів у відчепі [159].

Міжвагонні з'єднання у відчепі складаються з автозчепів та поглинаючих апаратів. Параметри кожного автозчепу з поглинаючим апаратом $g_{в,n} \in \mathbf{G}_в$, $n = \overline{1, N-1}$ в моделі представлено структурою

$$g_{в,n} = \{v_{д,n}, v_{д,n+1}, t_a, q_{п}\},$$

де t_a – тип пристрою (поглинаючого апарату), що забезпечує з'єднання;
 $q_{п}$ – деформація з'єднання на попередньому кроці.

3.2.2. Просторова модель вагона. При моделюванні гіркових процесів в задачах оцінки безпеки руху просторова модель використовується для визначення зусиль у елементах конструкції вагона та у його взаємодії з колією. Під час досліджень просторових коливань вантажний вагон розглядається як сукупність недеформуємих об'єктів \mathbf{O} , що мають інерційні властивості (масу та моменти інерції відносно осей просторових координат) та множину зв'язків, що об'єднують ці об'єкти у єдину конструкцію \mathbf{U}_o [132].

$$v_{п} = \{\mathbf{O}, \mathbf{U}_o\}.$$

Положення системи твердих тіл відносно системи координат описується переміщенням вздовж осей (переміщення вздовж осі x виключено як циклічну координату, але моделювання збурень з боку рейок здійснюється за спеціально розробленою методикою) у та z і кутами φ, ψ, θ відносно відповідних осей. Типи цих об'єктів та зв'язки між ними залежать від особливостей конструкції вагона, характеру вантажу та способів його кріплення до кузова, ступеня деталізації математичної моделі. В якості розрахункового вагона в дисертації прийнято піввагон, як найбільш масовий тип вагона, що розформується через гірки. Розрахункова схема моделі просторових коливань піввагона, розташованого на колії наведена на рис. 3.2.

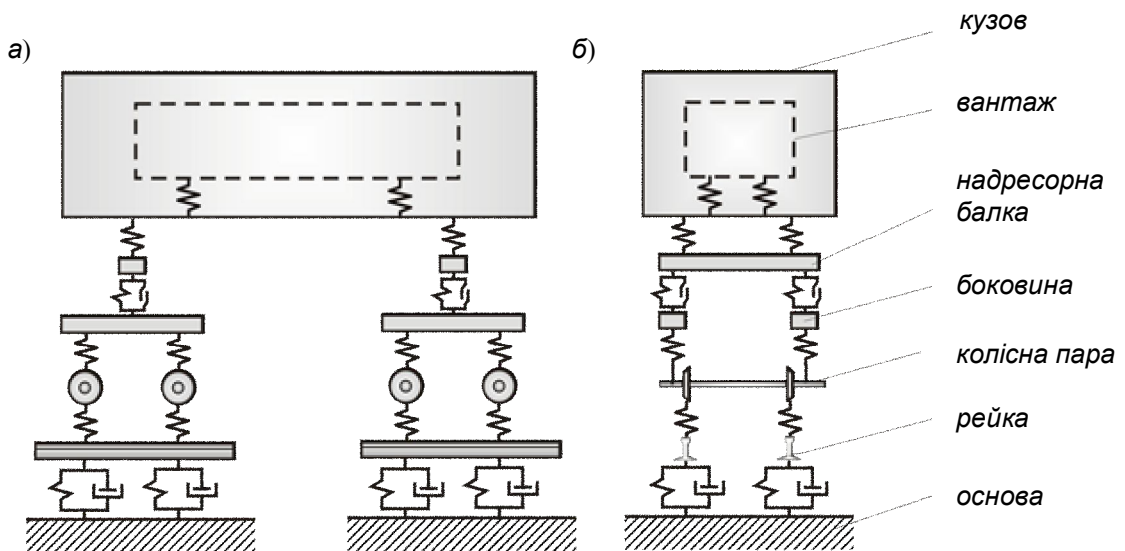


Рис. 3.2. Розрахункова схема моделі просторових коливань піввагона: *а* – вигляд збоку; *б* – вигляд спереду

Кожен об'єкт конструкції вагона описується структурою

$$o = \{q_o, \mathbf{J}_o, \mathbf{L}_o, \mathbf{D}_o, \dot{\mathbf{D}}_o, \ddot{\mathbf{D}}_o, \mathbf{R}_o, \dot{\mathbf{R}}_o, \ddot{\mathbf{R}}_o, \mathbf{S}_o, \mathbf{M}_o\},$$

де q_o – маса об'єкта, т;

$\mathbf{J}_o = \{J_x, J_y, J_z\}$ – вектор моментів інерції відносно поздовжньої, поперечної та вертикальної осей, кНм²;

$\mathbf{L}_o = \{L_x, L_y, L_z\}$ – вектор координат центра маси об'єкта у поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках, м;

$\mathbf{D}_o = \{X, Y, Z\}$ – вектор переміщень центра маси об'єкта у поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках, м;

$\dot{\mathbf{D}}_o = \{\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}\}$ – вектор швидкостей переміщення центра маси об'єкта у поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках, м/с;

$\ddot{\mathbf{D}}_o = \{\ddot{X}, \ddot{Y}, \ddot{Z}\}$ – вектор прискорень переміщення центра маси об'єкта у поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках, м/с²;

$\mathbf{R}_o = \{\theta, \varphi, \psi\}$ – вектор кутів повороту відносно поздовжньої, поперечної та вертикальної осей, рад;

$\dot{\mathbf{R}}_0 = \{\dot{\theta}, \dot{\phi}, \dot{\psi}\}$ – вектор швидкостей повороту відносно поздовжньої, поперечної та вертикальної осей, рад/с;

$\ddot{\mathbf{R}}_0 = \{\ddot{\theta}, \ddot{\phi}, \ddot{\psi}\}$ – вектор кутів повороту відносно поздовжньої, поперечної та вертикальної осей, рад;

$\mathbf{S}_0 = \{S_x, S_y, S_z\}$ – вектор сум сил, що діють на об'єкт у поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках, кН;

$\mathbf{M}_0 = \{M_x, M_y, M_z\}$ – вектор моментів сил, що діють на об'єкт відносно поздовжньої, поперечної та вертикальної осей кНм².

Зв'язки між елементами конструкції вагона та вагона і колії описуються структурами $u_i \in U_0$

$$u_i = \{o_i, o_j, t_u, q_u\},$$

де t_u – тип зв'язку, що забезпечує з'єднання;

q_u – деформація зв'язку на попередньому кроці.

При цьому, свобода руху вагонів обмежена зовнішніми (такими, що не входять в систему) направляючими пристроями. З'єднувальні елементи та зовнішні направляючі, чи утримуючі пристрої вважаються зв'язками, що накладені на механічну систему.

3.3. Модель маршруту скочування

Просторове моделювання динаміки вагонів з метою визначення показників безпеки їх руху, в тому числі коефіцієнту запасу стійкості від сходу з рейок, повинно враховувати максимально необхідну кількість елементів конструкції, зв'язків між цими елементами та їх якісні властивості. У зв'язку з тим, що у моделі процесу скочування розглядається відчеп та залізнична колія як єдина складна механічна система, то виникає задача детального моделювання колії за маршрутом скочування відчепа та нерівностей рейок у вигляді збурювань у горизонтальному поперечному та вертикальному напрямку. Під час руху вагонів колією виникають просторові коливання їх елемен-

тів: кузовів, бокових рам візків, надресорних балок, колісних пар, у вигляді посіпувань, підстрибування, поперечної качки та інших лінійних та кутових коливань. Рівень цих коливань при певних умовах руху може досягати критичних значень, що створюють загрозу безпеці процесу скочування. Причинами коливань залізничних екіпажів з боку колії є геометричні та динамічні нерівності рейкових ниток (особливо по довжині), ступінь зносу рейок, наявність стиків і т.д. У зв'язку з цим модель колії [132] не може використовуватись для дослідження умов безпеки скочування відчепів.

Особливостями рейкової колії на сортувальних гірках є

- наявність s -подібних кривих малих радіусів (200 метрів та менше) без перехідних кривих та при відсутності підвищення зовнішніх рейкових ниток;
- наявність на маршруті скочування значної кількості стрілочних переводів, при прослідюванні яких виникають удари об гостряки, хрестовини та контррейки.

У зв'язку з цим модель колії, що використовується для моделювання поїзних пересувань теж потребує удосконалення для дослідження гіркових процесів.

В якості моделі залізничної колії маршруту скочування відчепа прийнято модель у вигляді двох балок, що знаходяться на суцільному пружному напівпросторі. До складу моделі колії входить модель осі колії, моделі рейок, модель основи та зв'язки між рейками та основою

$$r = \{ \mathbf{A}_k, \mathbf{r}_л, \mathbf{r}_п, l_{кл}, l_{кп} \},$$

де \mathbf{A}_k – вісь колії;

$\mathbf{r}_л, \mathbf{r}_п$ – відповідно моделі лівої та правої рейки;

$l_{кл}, l_{кп}$ – відповідно зв'язки лівої та правої рейки з основою.

Вісь колії у плані описується як множина прямолінійних та криволінійних ділянок $a_k \in \mathbf{A}_k, k = \overline{1, s}$, кожна з яких описується структурою

$$a_k = \{ l_k, \theta_п, \pm R_k, K_{ск}, b_y \},$$

де l_k – довжина ділянки, м;

θ_{Π} – тип елемента ($\theta_{\Pi}=0$ – прямолінійна ділянка, чи крива; $\theta_{\Pi}=1$ – стрілочний перевід);

$\pm R_k$ – радіус кривої на ділянці, м; для прямолінійних ділянок $R_k=\infty$, знак при радіусі кривої вказує на напрям повороту кривої;

$K_{ск}$ – середньозважений коефіцієнт опору стрілок та кривих на ділянці;

$$K_{ск} = \frac{0,56}{l_{стр}} \theta_{\Pi} + \frac{41,4}{\pi |R_k|};$$

$l_{стр}$ – довжина стрілочного переводу, м;

b_y – питомий гальмовий опір на ділянці колії Н/кН;

s – кількість елементів плану колії.

Поздовжній профіль осі колії \mathbf{I}_{Π} описується модифікованим кубічним сплайном

$$\mathbf{I}_{\Pi} = \{S_k, K_{1k}, K_{2k}, K_{3k}\}, k = 1, \dots, n_y + 1,$$

де S_k – абсциси вузлів сплайну від початку маршруту скочування.

Ухил в деякій точці на маршруті скочування s_o визначається за формулою

$$i(s_o) = K_{1k} + 2K_{2k}(s_o - s_k) + 3K_{3k}(s_o - s_k)^2, \quad (3.1)$$

де K_{1k}, K_{2k}, K_{3k} – коефіцієнти сплайну.

Положення кожної рейки кожної рейки в плані та профілі задається у вигляді відхилення від осі колії по горизонталі та вертикалі в контрольних точках. В пам'яті ЕОМ кожна контрольна точка описується структурою

$$\mathbf{r}_{л(\Pi)} = \{x_p, \eta_y, \eta_z\},$$

де x_p – положення точки вздовж маршруту скочування, м;

η_y – відхилення по горизонталі, мм;

η_z – відхилення по вертикалі, мм.

Для зручності зображення прийнято, що значення $\eta_y=0$ відповідає розташуванню рейки на 760 мм вліво, чи вправо від осі колії.

В якості характерних точок прийнято початок та закінчення гостряків,

хрестовин, контррейок та уповільнювачів і стики рейок. Для забезпечення необхідної детальності моделі встановлюються також проміжні точки з кроком не менше 2 м. Маршрут скочування відчепа представлений у Додатку В. В процесі руху відцепів по гальмовим уповільнювачам та в межах контррейок відбувається обмеження їх горизонтального переміщення. Моделювання вказаних особливостей рейкової колії сортувальних гірок здійснюється шляхом зменшення ширини колії.

3.4. Моделювання руху відчепа як одномірної системи

Основним призначенням одномірної моделі відчепа є визначення величини зусиль у міжвагонних з'єднаннях під час скочування відчепа з гірки. При цьому процес скочування вагонів описується диференціальним рівнянням (1.8) зі змінною час t . Вихідними даними для моделювання є інформація одномірної моделі відчепа та осі колії.

3.4.1. Розрахунок сил, що діють на вагони відчепа під час скочування з гірки. Розрахункова схема сил, що діють на вагон під час скочування з гірки у складі відчепа зображена на рис. 3.3. При скочуванні вагона по похилій площині ухилом $i_{\text{ВГ}}$ його вага Q може бути розкладена на дві складові: силу P , що перпендикулярна похилій площині, та силу $F = q_{\text{ВГ}} i_{\text{ВГ}}$, що їй паралельна. Рухові вагона протидіють сили опору W різної природи: основний опір, опір середовища та вітру, стрілок та кривих. Зважаючи на те, що у одномірній моделі відчеп розглядається як динамічна система, то в ній також розглядаються сили, що виникають у автозчехах та поглинаючих апаратах S_{a1} та S_{a2} .

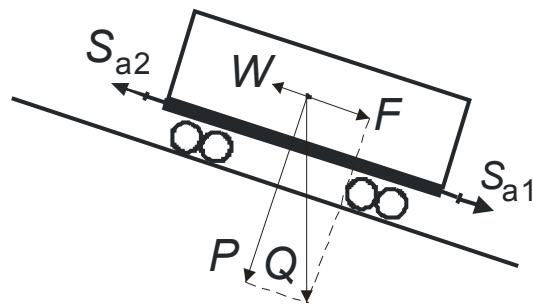


Рис. 3.3. Сили, що діють на вагон під час скочування у відчепі з гірки

Таким чином, рушійна сила, що діє на окремих вагон у відчепі під час скочування з гірки дорівнює

$$F_p = F - W + S_{a1} - S_{a2}, \text{ або}$$

$$F_p = Q(i_{\text{вг}} - w + s_{a1} - s_{a2}),$$

де w – питомий опір руху вагона;

s_{a1}, s_{a2} – питомі зусилля, що діють у міжвагонних зв'язках.

Величина середнього ухилу під вагоном визначається за формулою

$$i_{\text{в}} = \frac{\sum_{r=1}^n i_{or}}{n_{\text{ос}}},$$

де $n_{\text{ос}}$ – кількість осей у вагоні;

i_{or} – ухил під r -ю віссю вагона, що визначається за формулою (3.1).

Питомий опір руху вагона визначається за допомогою формулою (1.2).

При цьому, опір стрілок та кривих залежить від швидкості руху вагона та розраховується за формулою [159]

$$w_{\text{ск}}(v_{\text{в}}) = K_{\text{ск}} v_{\text{в}}^2,$$

Опір від навколишнього середовища та вітру визначається за формулою [159]

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

де відносна швидкість відчепу та вітру складає

$$v_{\text{від}}^2 = (v_{\text{в}}^2 + v_{\text{віт}}^2 \pm 2v_{\text{в}}v_{\text{віт}} \cos\beta) \text{sign}(v_{\text{в}} \pm v_{\text{віт}} \cos\beta),$$

де $v_{\text{віт}}$ – швидкість вітру, м/с;

β - кут між напрямком руху вагона та напрямком вітру.

Зусилля в автозчепках S_{a1} та S_{a2} залежать від величини поздовжньої деформації q_x , конструктивних особливостей поглинаючого апарату, що визначаються його типом t_a та характеру роботи (навантаження чи розвантаження). Для вантажних вагонів найбільш поширеними є пружинно-фрикційні погли-

наючі апарати. В якості моделі міжвагонних зв'язків використовується демпфер сухого тертя характеристиками якого є жорсткість навантаження K_n , жорсткість розвантаження, K_p , жорсткість конструкції K_k та робоча хода апарату q_p , що пов'язують величину поздовжньої деформації q_x і зусилля в автозчепі S_a . Зважаючи на те, що поглинаючий апарат вмонтований у конструкцію вагону таким чином, що завжди працює на стискання, а автозчеплення має деякий зазор δ_a , то в графічному вигляді характеристика міжвагонного зв'язку може бути представлено у вигляді рис. 3.4.

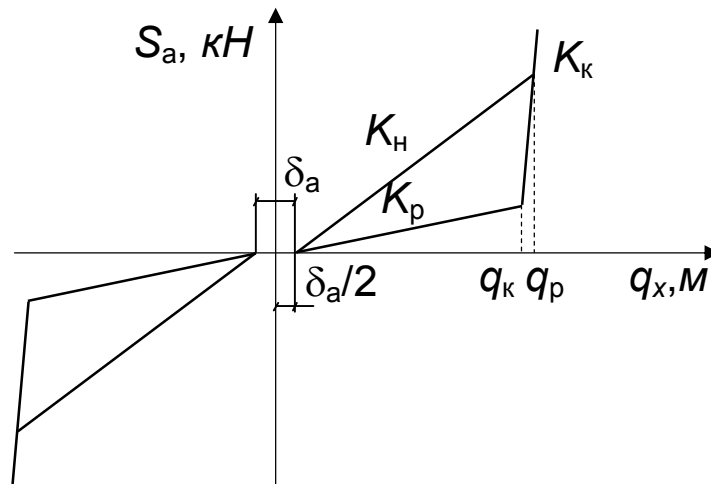


Рис. 3.4. Характеристика міжвагонного зв'язку

Величина зусилля у міжвагонному з'єднанні для деякої величини деформації $q_x = s_{B1} - l_{B1} - s_{B2}$ визначається за допомогою виразу

$$\begin{cases} S_{ax} = 0, \text{ при } q_x \leq \delta_a/2; \\ S_{ax} = K_n(q_x - \delta_a/2), \text{ при } \delta_a/2 < q_x \leq q_p \text{ та } q_x > q_n; \\ S_{ax} = K_k(q_x - \delta_a/2), \text{ при } q_p < q_x; \\ S_{ax} = K_k(q_x - \delta_a/2), \text{ при } q_k < q_x < q_n; \\ S_{ax} = K_k(q_x - \delta_a/2), \text{ при } \delta_a/2 < q_x < q_k \text{ та } q_x < q_n. \end{cases}$$

Питомі зусилля в автозчепі визначаються за допомогою виразу

$$s_a = S_a / Q.$$

3.4.2. Рішення диференціального рівняння руху в одновимірній моделі. Рух відчепа як системи взаємопов'язаних вагонів може бути представлено у вигляді системи диференціальних рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{v}_{B,n} = g'(i(x_{B,n}) - w_0 - w_{CK}(x_{B,n}, v_{B,n}) - w_{CB}(v_{B,n}) + s_{a,n} - s_{a,n+1}) \cdot 10^{-3}; \\ \dot{x}_{B,n} = v_{B,n}; \\ s_{a,n} = f(x_{B,n} - x_{B,n+1} - \frac{l_{B,n} + l_{B,n+1}}{2}, v_{B,n} - v_{B,n+1}); \\ s_{a,1} = s_{a,N} \equiv 0; \\ n = \overline{1, N} \end{array} \right. \quad (3.2)$$

Для рішення рівняння (3.2) використовується метод чисельного інтегрування. Якщо прийняти припущення про постійне значення ухилу, сил опору та зусиль у міжвагонних з'єднаннях на кроці інтегрування, то для окремого вагона у відчепі отримаємо рівняння:

$$\int_{t_0}^{t_1} dt = \frac{1}{g'(i_3 - w_0 - w_{CK} - w_{CB} + s_{B1} - s_{B2}) \cdot 10^{-3}} \int_{v_0}^{v_1} dv.$$

Рішенням цього рівняння є вираз

$$v_1 = v_0 + g'(i_3 - w_0 - w_{CK} - w_{CB} + s_{B1} - s_{B2}) \Delta t \cdot 10^{-3},$$

який використовується для визначення швидкості на наступному кроці інтегрування. При переході до наступного кроку поточне значення деформації міжвагонного з'єднання $q_{\Pi i}$ зберігається у відповідній структурі g_i , а координата першої осі кожного вагона відчепи після переміщення за час Δt визначається по його середній швидкості:

$$s_1 = s_0 + \frac{(v_0 + v_1) \Delta t}{2}.$$

3.5. Моделювання просторового руху вагона у відчепі, що скочується з гірки

Математична модель просторових коливань вантажного вагона дозволяє визначати лінійні та кутові переміщення елементів вагона та зусилля між елементами його конструкції, а також визначати зусилля при взаємодії коліс вагона з колією, що необхідно для оцінки показників безпеки руху при скочуванні відчепів на сортувальних гірках.

3.5.1. Формування вертикальних та поперечних сил у міжвагонних з'єднаннях відчепа. При розформуванні поїздів в одному відчепі можуть знаходитись вагони, які мають різне навантаження і, через різницю величин прогину пружинних комплектів, автозчепи цих вагонів можуть знаходитись на різній висоті (див. рис. 3.5).

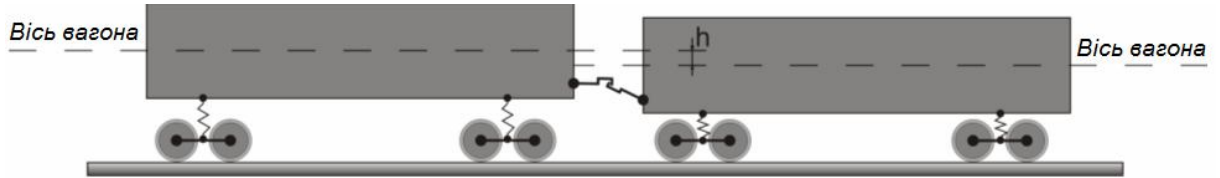


Рис. 3.5. – Вертикальне зміщення осей вагонів у відчепі в залежності від їх навантаженості

Таким чином виникає сила, що діє у вертикальному напрямку та розвантажує задній за ходом візок вагона. Величина цієї сили дорівнює проекції поздовжньої сили в автозчепі на вертикальну вісь (див. рис. 3.6)

$$S_z = S_a \sin \varphi. \quad (3.3)$$

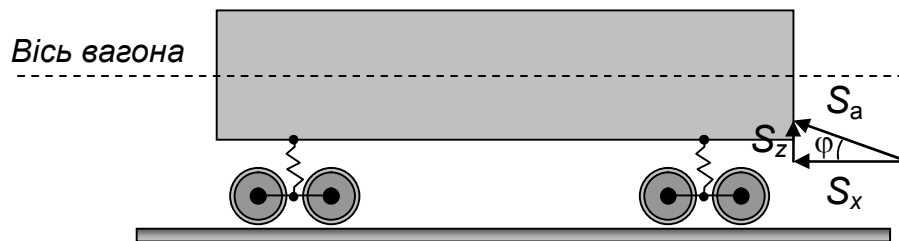


Рис. 3.6. Розрахункова схема для визначення сил, що розвантажують вагон

Величина кута φ визначається із співвідношення:

$$\varphi = \arctg \frac{h}{L_a}, \quad (3.4)$$

де h – різниця висот автозчепів;

L_a – довжина автозчепів.

Різниця висот автозчепів для вагонів однакової конструкції може бути визначена за допомогою формули

$$h = \frac{\Delta W}{C_v}, \quad (3.5)$$

де ΔW – різниця маси вагонів;

C_v – вертикальна жорсткість ресорних комплектів вагона.

Під час руху відчепа по спускній частині гірки він проходить значну кількість стрілочних переводів та кругових кривих. Через те, що при проходженні кривих осі вагонів розташовуються вздовж дотичних до кривих, то взаємодія їх автозчепів відбувається під деяким кутом (рис. 3.7).

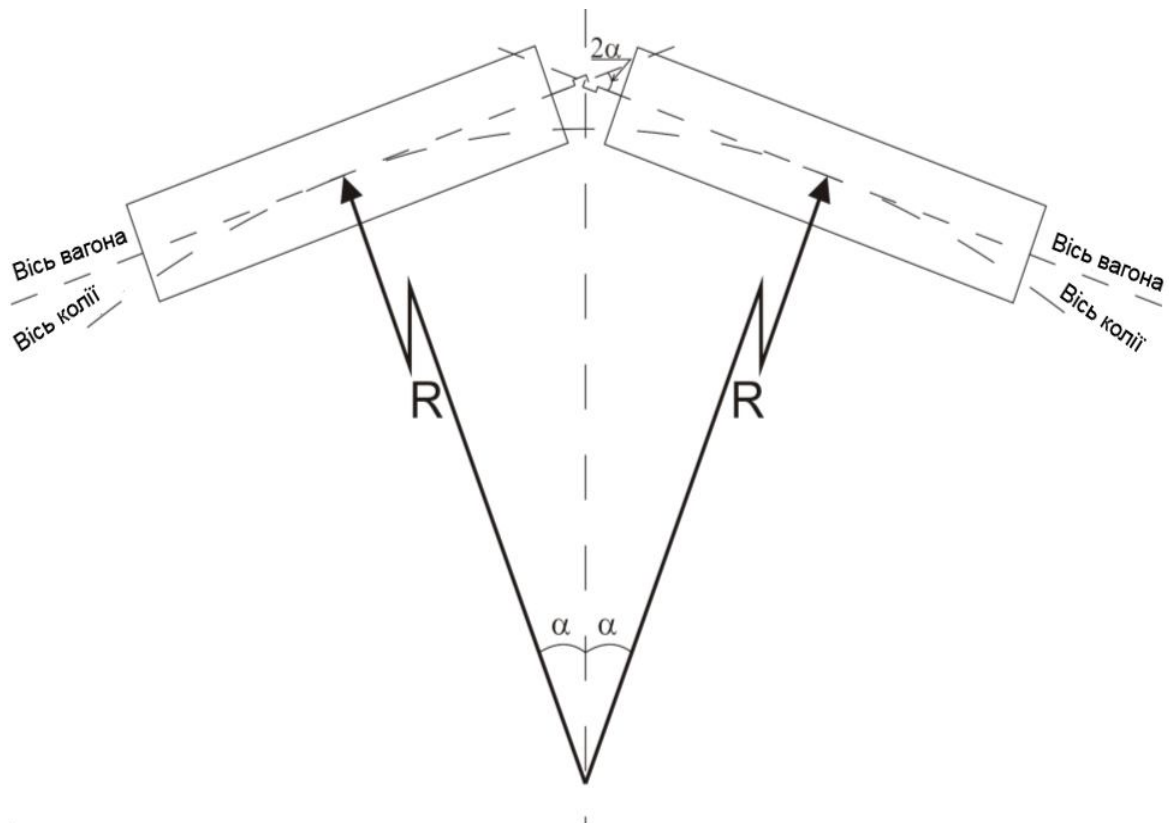


Рис. 3.7. Взаємодія вагонів відчепа при проходженні кривих

Таким чином, поздовжні сили взаємодії сусідніх вагонів викликають поперечні сили, які спрямовані до зовнішньої рейки кривої (рис. 3.8). Величина поперечної сили може бути визначена з виразу

$$S_y = S_a \sin 2\alpha .$$

Величина кута α може бути визначена як

$$\alpha = \arctg \frac{l_6 + 2l_a}{2R},$$

де l_6 – база вагона;

l_a – відстань від п'ятника кузова вагона до осі автотзепу.

При розрахунку вертикальних та поперечних сил у міжвагонних з'єднаннях відчепа величини поздовжніх сил отримують на основі моделювання руху одномірної моделі відчепа.

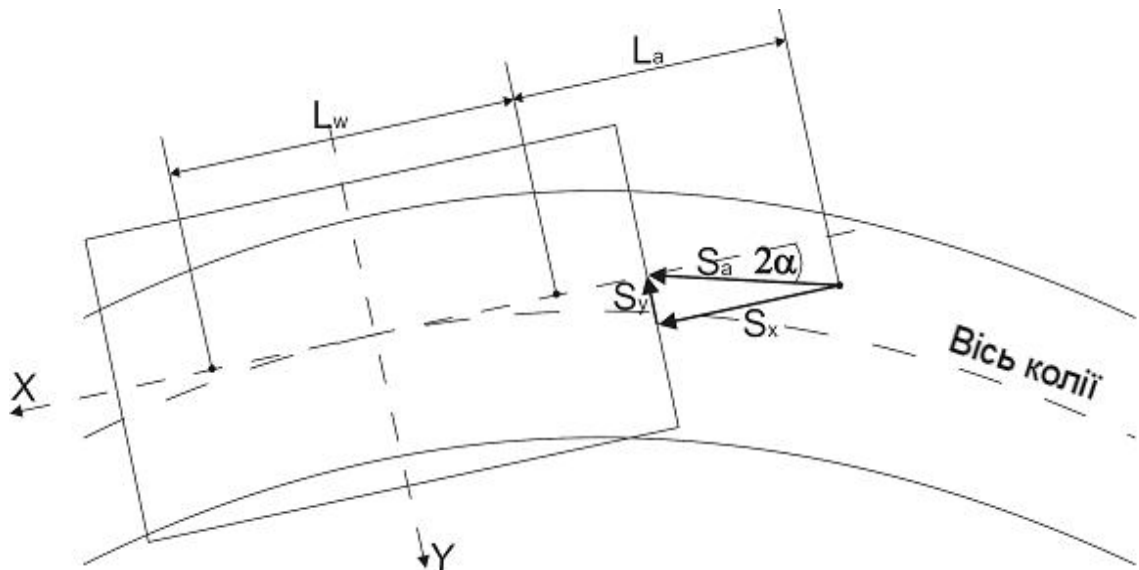


Рис. 3.8. Схема утворення поперечної складової поздовжньої сили взаємодії сусідніх вагонів відчепа

3.5.2. Формування вертикальних сил у буксових вузлах при проходженні кривих. При проходженні вагоном кривих ділянок колії через дію відцентрових сил та вітрового навантаження може виникати нахил кузова, що приводить до перерозподілу ваги вагона між сторонами візка. При цьому можливі варіанти опирання кузова не лише на п'ятник, а і на ковзуни, що буде призводити до зміни умов перерозподілу навантаження від кузова на візки. Для оцінки ступеню розвантаження візка необхідно з'ясувати, при яких умовах можлива перевалка кузова на п'ятнику і, як наслідок, перерозподіл вертикальних навантажень між лівою та правою сторонами візка. Розрахункова схема дії сил під час перевалки кузова на п'ятнику зображена на рис. 3.9. При проходженні вагоном кривої на нього діє

поперечна сила F_{Π} , яку створюють відцентрова сила $F_{и}$ та вітрове навантаження $F_{в}$, які спрямовані на нахил кузова та замикання ковзунів зі сторони зовнішньої рейки. При цьому точка опирання п'ятника кузова переміщується з центру на його край, в точку B .

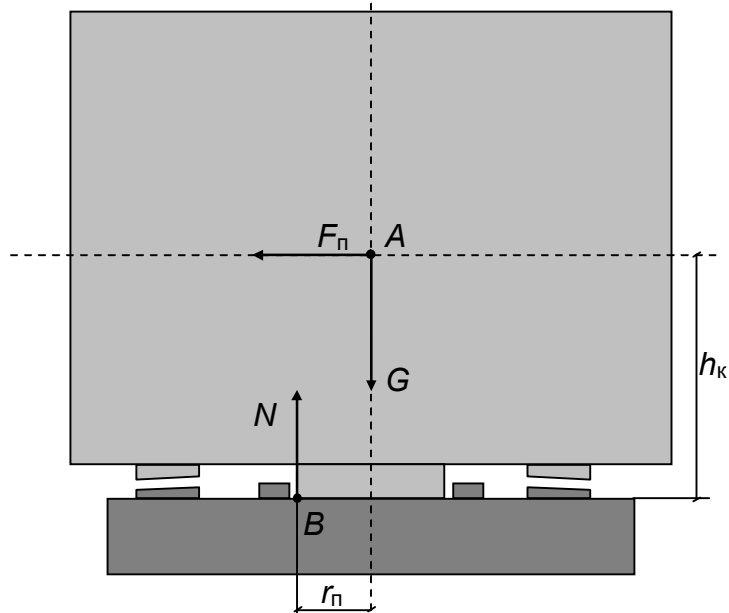


Рис. 3.9. Розрахункова схема дії сил під час перевалки кузова на п'ятнику

В результаті виникає момент сили, що нахиляє кузов та момент сили, що повертає кузов у вертикальний стан. Умова нахилу кузова записується як

$$F_{\Pi} h_{\kappa} > 2Nr_{\Pi},$$

де $F_{\Pi} = F_{и} + F_{в}$;

$F_{и} = \frac{mV^2}{R}$ – відцентрова сила, що діє на кузов, масою m при русі зі

швидкістю V по кривій радіусом R ;

$F_{в}$ – вітрове навантаження;

h_{κ} – висота центра маси кузова, відносно точки опирання;

$2N = G$ – реакція в точках опирання кузова, що дорівнює вазі кузова;

r_{Π} – радіус п'ятника.

Величина вітрового навантаження F_B може бути визначена з виразу [62]

$$F_B = p_B S_K,$$

де p_B – питоме вітрове навантаження;

S_K – площа кузова вагона.

Наведений вираз дає змогу визначити швидкість руху вагона в кривих, при якій виникає нахил кузова

$$V = \sqrt{\frac{G}{m} \frac{Rr_{II}}{h_K} - \frac{Rp_B S_K}{m}}.$$

Зважаючи на те, що вага кузова дорівнює $G=mg$, отримаємо:

$$V = \sqrt{g \frac{Rr_{II}}{h_K} - \frac{Rp_B S_K}{m}}$$

Результати розрахунків швидкостей руху для завантаженого та порожнього вагонів наведено на рис. 3.10.

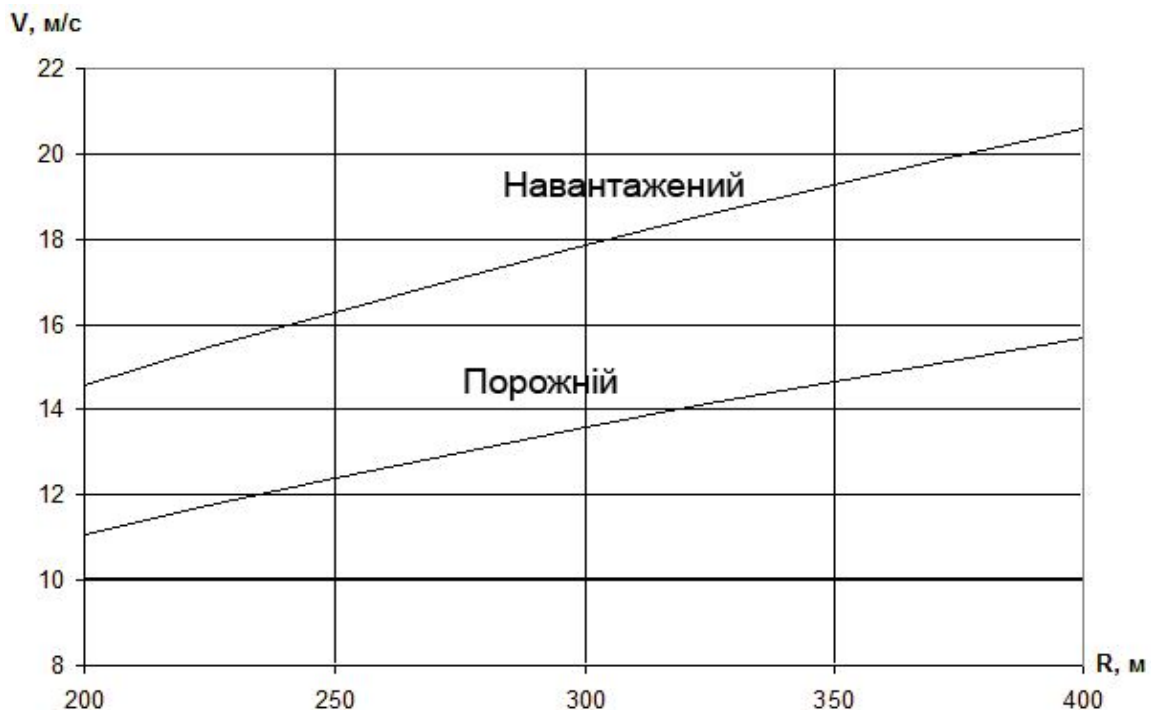


Рис. 3.10. Швидкості руху вагонів, при яких відбувається нахил кузова та опирання п'ятники

Зважаючи на те, що швидкість руху відцепів на сортувальних гірках не перевищує 8 м/с, а радіус кривих є не меншим ніж 140 м, то в умовах скочування відцепів з гірки опираючись кузов на п'ятники та на ковзуни не відбувається і при розрахунках вертикальних зусиль можуть використовуватись лише вирази (3.3-3.5).

3.5.3. Формування вертикальних та поперечних сил в місцях контакту колеса та рейки. При русі вагона сили взаємодії його коліс з рейками визначаються силами, що діють на колісну пару з боку рами візка. Зважаючи на те, що рама спирається на колісну пару у двох буксових вузлах, то на колісну пару будуть діяти дві вертикальні сили у буксах (V_{61} та V_{62}) і одна поперечна сила (H_p). Розрахункова схема сил, що діють на колісну пару в момент контакту гребеня одного з коліс (лівого) рейкою наведена на рис. 3.11.

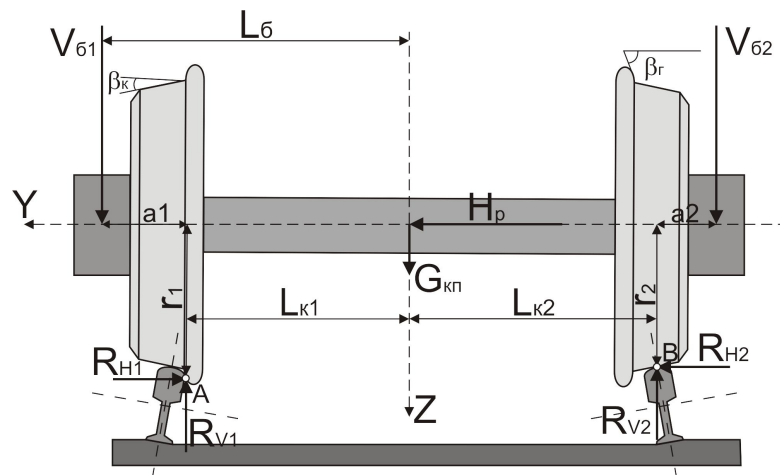


Рис. 3.11. Розрахункова схема колісної пари

В місцях контактів діють сили R_{H1} , R_{V1} , R_{H2} , R_{V2} , що являють собою поперечні та вертикальні складові нормальних реакцій лівої та правої рейки. При цьому, через невелике значення ухилу поверхні кочення ($\beta_k=0,05$ рад) поперечна реакція правої рейки R_{H2} є незначною і нею можна знехтувати.

Реакції лівої та правої рейок можуть бути виражені через величини вертикальних сил у буксах V_{61} та V_{62} , рамну силу H_p та вагу колісної пари $G_{кп}$ через рівняння рівноваги відносно поперечної сили Y і моментів сил відносно точок A та B .

Рівняння рівноваги поперечних сил виглядає наступним чином

$$H_p - R_{H1} - \mu R_{V1} - \mu R_{V2} = 0. \quad (3.6)$$

Рівняння моментів сил відносно точки A

$$-R_{V2}(L_{k1} + L_{k2}) + V_{\delta 2}(2L_{\delta} - a_1) - H_p r_1 - V_{\delta 1} a_1 + G_{кп} L_{k1} = 0. \quad (3.7)$$

Рівняння моментів сил відносно точки B

$$R_{V1}(L_{k1} + L_{k2}) - V_{\delta 1}(2L_{\delta} - a_2) - H_p r_2 + V_{\delta 2} a_2 - G_{кп} L_{k2} = 0. \quad (3.8)$$

Величина сили R_{H1} може бути отримана з виразу (3.6)

$$R_{H1} = H_p - \mu R_{V2} - \mu R_{V1}.$$

В свою чергу величини R_{V2} та R_{V1} можуть бути визначені з (3.7) та (3.8). З урахуванням того, що $a_2 = L_{\delta} - L_{k2}$ наведені вирази можуть бути представлені як

$$R_{V2} = \frac{V_{\delta 2} 2L_{\delta} - H_p r_1 - (V_{\delta 1} + V_{\delta 2}) a_1 + G_{кп} L_{k1}}{L_{k1} + L_{k2}}, \text{ та} \quad (3.9)$$

$$R_{V1} = \frac{V_{\delta 1} 2L_{\delta} + H_p r_2 - (V_{\delta 1} + V_{\delta 2})(L_{\delta} - L_{k2}) + G_{кп} L_{k2}}{L_{k1} + L_{k2}}. \quad (3.10)$$

Після постановки виразів (3.9) та (3.10) у (3.8) отримано вираз для визначення R_{H1}

$$R_{H1} = H_p - \mu \frac{(V_{\delta 1} + V_{\delta 2})(2L_{\delta} - a_1 - a_2) - H_p(r_1 - r_2) + G_{кп}(L_{k1} + L_{k2})}{L_{k1} + L_{k2}}. \quad (3.11)$$

Зважаючи на те, що згідно з розрахунковою схемою, яка зображена на рис. 3.11

$$2L_{\delta} - a_1 - a_2 = L_{k1} + L_{k2},$$

і при нехтуванні величиною $r_1 - r_2$ через її малість вираз (3.11) може бути представлений у вигляді:

$$R_{H1} = H_p - \mu(V_{\delta 1} + V_{\delta 2} + G_{кп}).$$

Величина рамної сили H_p може бути визначена виходячи з сум моментів сил відносно точки B , величини сил у автозчепках (S_{y1} та S_{y2}), сили інерції усіх елементів конструкції вагона, що створюють навантаження на колісну пару F_{Π} та реакцій у п'ятниках вагонів (R_{h1} та R_{h2}). Розрахункову схему для визначення рамної сили зображена на рис. 3.12.

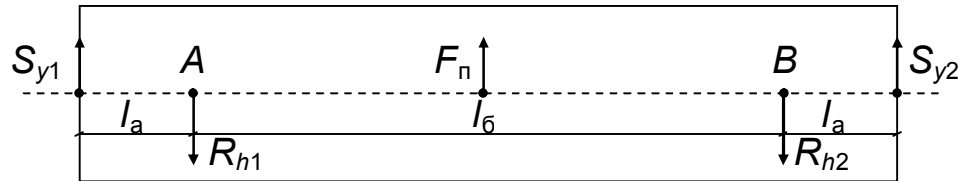


Рис. 3.12. Розрахункова схема для визначення рамної сили

Сума моментів сил відносно точки B

$$S_{y1}(l_a + l_b) + F_{\Pi} l_b / 2 - S_{y2} l_a - R_{h1} l_a = 0.$$

Таким чином, отримано наступне рівняння

$$R_{h1} = \Delta S_y + \frac{l_b(2 + F_{\Pi})}{2l_a}, \text{ де } \Delta S_y = S_{y1} - S_{y2}.$$

Через те, що до рейки притискається лише одне переднє набігаюче колесо, то практично вся поперечна сила у п'ятнику передається на нього і справедливим є вираз

$$H_p = R_{h1} = \Delta S_y + \frac{l_b(2 + F_{\Pi})}{2l_a}.$$

Вертикальні сили у буксових вузлах можуть бути розраховані на підставі ваги всіх елементів конструкції вагона, що розташовані над колісною парою та сил інерції, що діють на ці елементи при проходженні кривих.

Вага всіх елементів конструкції вагона, що припадає на одну колісну пару складає

$$G = \frac{G_k - S_{z1} - S_{z2} + 2G_{\text{нб}} + 4G_{\text{бп}}}{4},$$

де G_k – вага кузова;

S_{z1}, S_{z2} – вертикальні сили, що діють на кузов зі сторони автозчепів;

$G_{нб}$ – вага надресорної балки;

$G_{бр}$ – вага бокової рами візка.

Величина реакції у буксових вузлах може бути визначена за допомогою розрахункової схеми, що зображена на рис. 3.13 на підставі моментів сил у точках A та B .

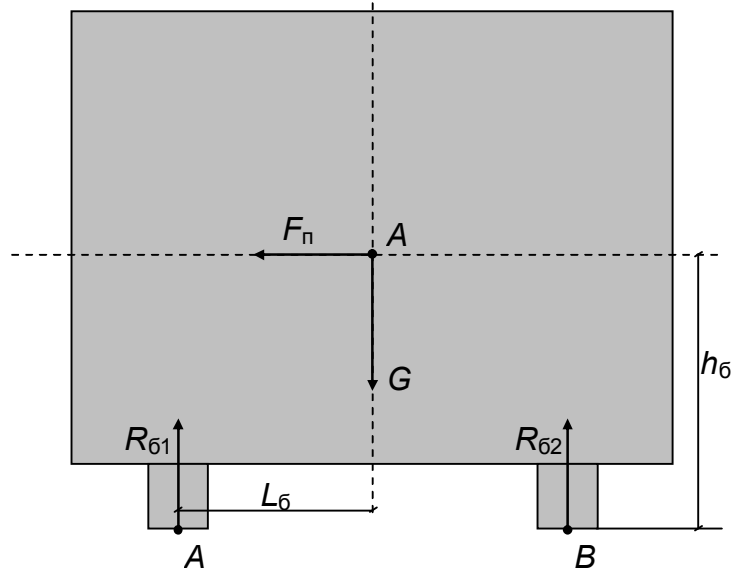


Рис. 3.13. Розрахункова схема для визначення величини реакції у буксових вузлах

Рівняння моментів сил відносно точки A

$$-F_n h_б + GL_б - R_{б2} 2L_б = 0.$$

Рівняння моментів сил відносно точки B

$$-F_n h_б - GL_б + R_{б1} 2L_б = 0.$$

Відповідно, величини вертикальних сил у буксах $V_{б1}$ та $V_{б2}$ можуть бути визначені із виразів

$$V_{б1} = R_{б1} = \frac{GL_б + F_n h_б}{2L_б} \text{ та } V_{б2} = R_{б2} = \frac{GL_б - F_n h_б}{2L_б}. \quad (3.12)$$

Таким чином, при скочуванні ліві та праві колісні пари знаходяться у різних умовах – з однієї сторони колісні пари за рахунок нахилу кузова будуть довантажуватись ($V_{б1}$), а з іншої обвантажуватись ($V_{б2}$). При цьому в

більш небезпечному стані знаходяться колеса, що розташовані зі сторони дії поперечного навантаження.

3.5.4. Моделювання руху розрахункового вагона. Побудова просторової моделі здійснюється на підставі даних одновірної моделі для вагона з найбільшими зусиллями у автозчехах. Моделювання руху вагона здійснюється з використанням рівняння Лагранжа II роду [107]

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.13)$$

де T , Π , Φ – відповідно кінетична, потенціальна енергія та функція розсіювання системи;

$$Q_i = Q_i(q_1, q_2, \dots, q_{n_y}, \dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_{n_y}, t) \quad (i = 1, 2, \dots, n_y) - \text{узагальнені сили,}$$

що залежать від узагальнених координат, узагальнених швидкостей та часу;

$$\dot{q}_n, q_n - \text{узагальнені швидкості та пересування елементів системи екіпажу;}$$

пажу;

$$n_y - \text{кількість диференціальних рівнянь руху.}$$

Кінетична енергія системи „вагон-рейкова колія” в загальному випадку представляється як сума кінетичної енергії екіпажу T_e та кінетичної енергії колії T_n [163]

$$T = T_e + T_n = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (I_y \dot{\phi}^2 + I_z \dot{\psi}^2) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (m_{0_y} \dot{y}_{0_j}^2 + m_{0_z} \dot{z}_{0_j}^2)$$

де k та n – кількість твердих тіл, що входять до складу екіпажу;

$$y_{0_j} \text{ та } z_{0_j} - \text{переміщення колії під } j\text{-м колесом екіпажу в поперечно-}$$

му та вертикальному напрямках;

$$m_{0_y} \text{ та } m_{0_z} - \text{приведені маси колії, що припадають на одне колесо.}$$

Кінетична енергія системи в досліджуемому контакті представлена виразом

$$K = \frac{1}{2} \left[m_K \dot{y}_K^2 + J_K \dot{\psi}_K^2 + m_T \sum_{m=1}^2 \dot{y}_{T(m)}^2 + J_T \sum_{m=1}^2 \dot{\psi}_{T(m)}^2 + m_{\text{кп}} \sum_{m=1k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \dot{y}_{(km)}^2 + J_z \sum_{m=1k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \dot{\psi}_{(km)}^2 + J_y \sum_{m=1k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \dot{\phi}_{(km)}^2 + m_p \sum_{m=1k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \dot{y}_{p(jkm)}^2 \right],$$

де m_K - маса кузова;

m_T - маса рами візка з комплектом ресорного підвішування;

$m_{\text{кп}}$ - маса колісної пари з комплектами буксових вузлів;

m_p - приведена маса рейки;

y_T – поперечне переміщення рам візків;

y_k – поперечне переміщення колісних пар;

y_p – поперечне відтиснення рейок;

ψ_T – кутове переміщення рам візків навколо вертикальної осі;

ψ_k – кутове переміщення колісних пар навколо вертикальної осі ;

ϕ_k – кутове переміщення колісних пар навколо власної поздовжньої осі.

J_K - момент інерції кузова відносно вертикальної осі, що проходить через його центр тяжіння;

J_T - моменти інерції рам візків з комплектами ресорного підвішування відносно вертикальних осей, що проходять через центри шворневих вузлів;

J_z - момент інерції колісної пари з комплектом буксових вузлів відносно вертикальної осі симетрії колісної пари;

J_y - момент інерції колісної пари відносно її осі обертання.

m – номер візка за напрямком руху;

k - номер колісної пари у візку;

j - номер колеса в колісній парі ($j = 1$ – ліве колесо, $j = 2$ – праве колесо);

Частинні похідні за узагальненими швидкостями від кінетичної енергії визначаються за виразами

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{y}_K} = m_K \dot{y}_K;$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{\psi}_K} = J_K \dot{\psi}_K;$$

$$\frac{\partial \mathcal{K}}{\partial \dot{y}_{T(m)}} = m_T \dot{y}_{T(m)};$$

$$\frac{\partial \mathcal{K}}{\partial \dot{\psi}_{T(m)}} = J_T \dot{\psi}_{T(m)};$$

$$\frac{\partial \mathcal{K}}{\partial \dot{y}_{(km)}} = m_{kp} \dot{y}_{(km)};$$

$$\frac{\partial \mathcal{K}}{\partial \dot{\psi}_{(km)}} = J \dot{\psi}_{(km)};$$

$$\frac{\partial \mathcal{K}}{\partial \dot{y}_{p(jkm)}} = m_p \dot{y}_{p(jkm)}.$$

Потенційна енергія системи в досліджуємому контакті представлена виразом

$$\Pi = \frac{1}{2} \left[\begin{aligned} & \mathcal{J}_T \sum_{m=1}^2 \Delta_{T(m)}^2 + \mathcal{J}_{\delta y} \sum_{m=1}^2 \sum_{k=1}^2 \Delta_{\delta y(km)}^2 + \\ & + \mathcal{J}_{\delta x} \sum_{m=1}^2 \sum_{k=1}^2 \Delta_{\delta x(km)}^2 + \mathcal{J}_p \sum_{m=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \Delta_{p(jkm)}^2 \end{aligned} \right],$$

де $\Delta_{T(m)}$ - деформація пружних елементів сполучення візків з кузовом при їх відносному поперечному переміщенні в напрямку координат $y_k, y_{T(1)}, y_{T(2)}, \psi_k$;

$\Delta_{\delta y(km)}$ - деформації буксових елементів в поперечному напрямку при відносних переміщеннях колісних пар та візків у напрямку координат $y_{(km)}, y_{T(m)}, \psi_{T(m)}$;

$\Delta_{\delta x(km)}$ - деформації буксових елементів в поздовжньому напрямку при відносних переміщеннях колісних пар та візків у напрямку координат $\psi_{(km)}, \psi_{T(m)}$;

$\Delta_{p(jkm)}$ - відтискання рейкових ниток в контактах з колесами;

$\mathcal{J}_T, \mathcal{J}_{\delta y}, \mathcal{J}_{\delta x}, \mathcal{J}_p$ - жорсткості пружних елементів відповідно між візком і кузовом, в буксових вузлах та між колесом і рейкою.

Деформація $\Delta_{T(m)}$ визначається за виразами (див. рис. 3.14)

$$\begin{cases} \Delta_{T(1)} = y_K - y_{m(1)} + D\psi_K; \\ \Delta_{T(2)} = y_K - y_{m(2)} - D\psi_K. \end{cases}$$

де D – половина бази вагона.

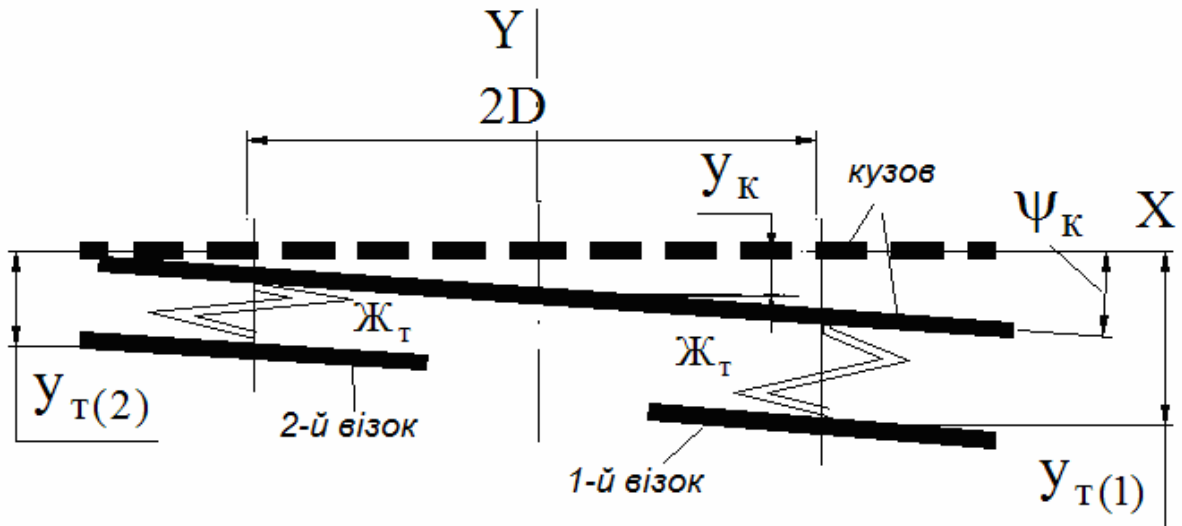


Рис. 3.14. Схема відносних переміщень кузова та візків у напрямку координат y_K , $y_{T(1)}$, $y_{T(2)}$, ψ_K

Деформація $\Delta_{\delta y(km)}$ визначається за виразами

$$\begin{cases} \Delta_{\delta y(11)} = y_{11} - y_{T1} + E\psi_{T1}; \\ \Delta_{\delta y(21)} = y_{21} - y_{T1}; \\ \Delta_{\delta y(31)} = y_{31} - y_{T1} - E\psi_{T1}; \\ \Delta_{\delta y(12)} = y_{12} - y_{T2} - E\psi_{T2}; \\ \Delta_{\delta y(22)} = y_{22} - y_{T2}; \\ \Delta_{\delta y(32)} = y_{32} - y_{T2} + E\psi_{T2}, \end{cases}$$

де E – половина відстані між колесами однієї колісної пари.

Деформація $\Delta_{\delta x(km)}$ визначається як (див. рис. 3.15)

$$\Delta_{\delta x(km)} = 2B(\psi_{(km)} - \psi_{T(m)}),$$

де B – половина відстані між буксами однієї колісної пари.

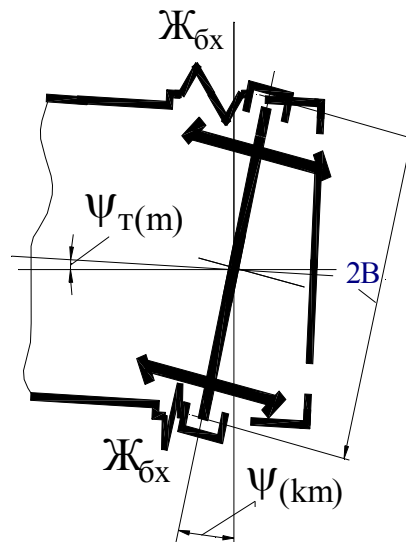


Рис. 3.15. Схема відносних кутових переміщень рам візків та колісних пар по координатам $\Psi_{(km)}$, $\Psi_{T(m)}$

Наведені деформації пов'язані з переміщенням елементів екіпажу наступними співвідношеннями:

$$\Delta_{p(jkm)} = y_{p(jkm)} \cdot$$

Частинні похідні за узагальненими координатам від потенційної енергії мають вигляд

$$\frac{\partial \Pi}{\partial y_k} = \mathcal{J}_T (2y_k - y_{T(1)} - y_{T(2)});$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \psi_k} = D\mathcal{J}_T (-y_{T(1)} + y_{T(2)} + 2D\psi_k);$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial y_{T(m)}} = -\mathcal{J}_T y_k + (\mathcal{J}_T + 3\mathcal{J}_{\delta y}) y_{T(m)} + (2m - 3)\mathcal{J}_T D\psi_k - \mathcal{J}_{\delta y} \sum_{k=1}^3 y_{km};$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \psi_{T(m)}} = (12\mathcal{J}_{\delta x} B^2 + 2\mathcal{J}_{\delta y} E^2) \psi_{T(m)} - 4\mathcal{J}_{\delta x} B^2 \sum_{k=1}^3 \psi_{(km)} + \mathcal{J}_{\delta y} E(2m - 3)(y_{(3m)} - y_{(1m)});$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial y_{(km)}} = \mathcal{J}_{\delta y} (y_{(km)} - y_{T(m)} + (k - 2)(2m - 3)E\psi_{T(m)});$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \Psi_{(km)}} = 4\mathcal{J}_{\delta x} B^2 (\Psi_{(km)} - \Psi_{\tau(m)});$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial Y_{p(jkm)}} = \mathcal{J}_p Y_{p(jkm)}.$$

В загальному випадку [163] при визначенні функції розсіювання передбачається, що паралельно кожному пружному елементу екіпажу встановлено демпфери в'язкого та сухого тертя, а паралельно пружним елементам приєднаних мас колії – демпфери в'язкого опору. При цьому функція розсіювання системи вагон-рейкова колія представлена наступним чином

$$\Phi = \sum_{n=1}^l \left(\frac{1}{2} \beta_n \dot{\Delta}_n^2 + F_{cn} \dot{\Delta}_n \text{sign} \Delta_n \right) + \sum_{j=1}^n \left(\beta_{0y} \dot{y}_{0j}^2 + \beta_{0z} \dot{z}_{0j}^2 \right),$$

де β_n, F_n – відповідно, коефіцієнт в'язкого опору та сила (момент) сухого тертя n -го демпфера;

β_{0y}, β_{0z} – коефіцієнт в'язкого опору рейкових ниток під j -м колесом в поперечній площині.

В окремих випадках, коли деякі демпфери відсутні, відповідні коефіцієнти в'язкого опору або сили (моментів) сухого тертя приймаються рівними нулю.

Відповідно, в представлений математичній моделі прийнятий наступний вид функції розсіювання

$$\Phi = \frac{1}{2} \left[\beta_{\tau} \sum_{m=1}^2 \dot{\Delta}_{\tau(m)}^2 + \beta_{\delta y} \sum_{m=1}^2 \sum_{k=1}^2 \dot{\Delta}_{\delta y(km)}^2 + \right. \\ \left. + \beta_{\delta x} \sum_{m=1}^2 \sum_{k=1}^2 \dot{\Delta}_{\delta x(km)}^2 + \beta_p \sum_{m=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \dot{\Delta}_{p(jkm)}^2 \right],$$

де $\dot{\Delta}_{\tau(m)}$ - швидкості деформації пружних елементів сполучення візків з кузовом;

$\dot{\Delta}_{\delta x(km)}$ - швидкості деформації буксових елементів в поздовжньому на-

прямку;

$\dot{\Delta}_{\delta y(km)}$ - швидкості деформації буксових елементів в поперечному на-

прямку;

$\dot{\Delta}_{p(jkm)}$ - швидкості відтиснення рейкових ниток в контактах з колесами.

ми.

Швидкості деформації пружно-дисипативних елементів пов'язані з швидкостями переміщення елементів вагону наступними співвідношеннями

$$\dot{\Delta}_{T(1)} = \dot{y}_k - \dot{y}_{T(1)} + D\dot{\psi}_k;$$

$$\dot{\Delta}_{T(2)} = \dot{y}_k - \dot{y}_{T(2)} - D\dot{\psi}_k;$$

$$\dot{\Delta}_{\delta x(km)} = 2B(\dot{\psi}_{(km)} - \dot{\psi}_{T(m)});$$

$$\dot{\Delta}_{\delta y(11)} = \dot{y}_{11} - \dot{y}_{T1} + E\dot{\psi}_{T1};$$

$$\dot{\Delta}_{\delta y(21)} = \dot{y}_{21} - \dot{y}_{T1};$$

$$\dot{\Delta}_{\delta y(12)} = \dot{y}_{12} - \dot{y}_{T2} - E\dot{\psi}_{T2};$$

$$\dot{\Delta}_{\delta y(22)} = \dot{y}_{22} - \dot{y}_{T2};$$

$$\dot{\Delta}_{p(jkm)} = \dot{y}_{p(jkm)}.$$

Частинні похідні за узагальненими координатами від функції енергії розсіювання мають вигляд

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_k} = \beta_T (2\dot{y}_k - \dot{y}_{T(1)} - \dot{y}_{T(2)});$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\psi}_k} = D\beta_T (-\dot{y}_{T(1)} + \dot{y}_{T(2)} + 2D\dot{\psi}_k);$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_{T(m)}} = -\beta_T \dot{y}_k + (\beta_T + 3\beta_{\delta y}) \dot{y}_{T(m)} + (2m - 3)\beta_T D\dot{\psi}_k - \beta_{\delta y} \sum_{k=1}^3 \dot{y}_{km};$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\psi}_{T(m)}} = (12\beta_{\delta x} B^2 + 2\beta_{\delta y} E^2) \dot{\psi}_{T(m)} - 4\beta_{\delta x} B^2 \sum_{k=1}^3 \dot{\psi}_{(km)} + \beta_{\delta y} E(2m - 3)(\dot{y}_{(3m)} - \dot{y}_{(1m)});$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_{(km)}} = \beta_{\sigma y} (\dot{y}_{(km)} - \dot{y}_{T(m)} + (2m-3)(k-2)\dot{\psi}_{T(m)});$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\psi}_{(km)}} = 4\beta_{\sigma x} B^2 (\dot{\psi}_{(km)} - \dot{\psi}_{T(m)}).$$

При формуванні системи рівнянь зовнішні сили, що діють на елементи вагона, визначаються згідно з методами, представленими в п. 3.5.1-3.5.3. Після цього здійснюється формування диференціальних рівнянь (3.14), що описують просторові коливання вагона при скочування вагона з гірки.

3.6. Програмна реалізація моделі скочування відчепа з гірки як динамічної системи

Автором розроблено математичну модель, яку реалізовано для виконання теоретичних досліджень у вигляді програмного комплексу «Скочування одиночного відчепа» в середовищі *Builder C++*. Комплекс містить основну програму *rolling.exe*, що виконує імітаційне моделювання процесу скочування відчепа з гірки, а також сервісні програми, які забезпечують підготовку вихідних даних для моделювання та аналіз його результатів. Головне вікно програми зображено на рис. 3.17, де показано графіки швидкості та часу для першої осі першого вагона десятивагонного відчепа.

Розрахункові експерименти виконані для гірки великої потужності. Схема маршруту скочування наведена на рис. 3.16.

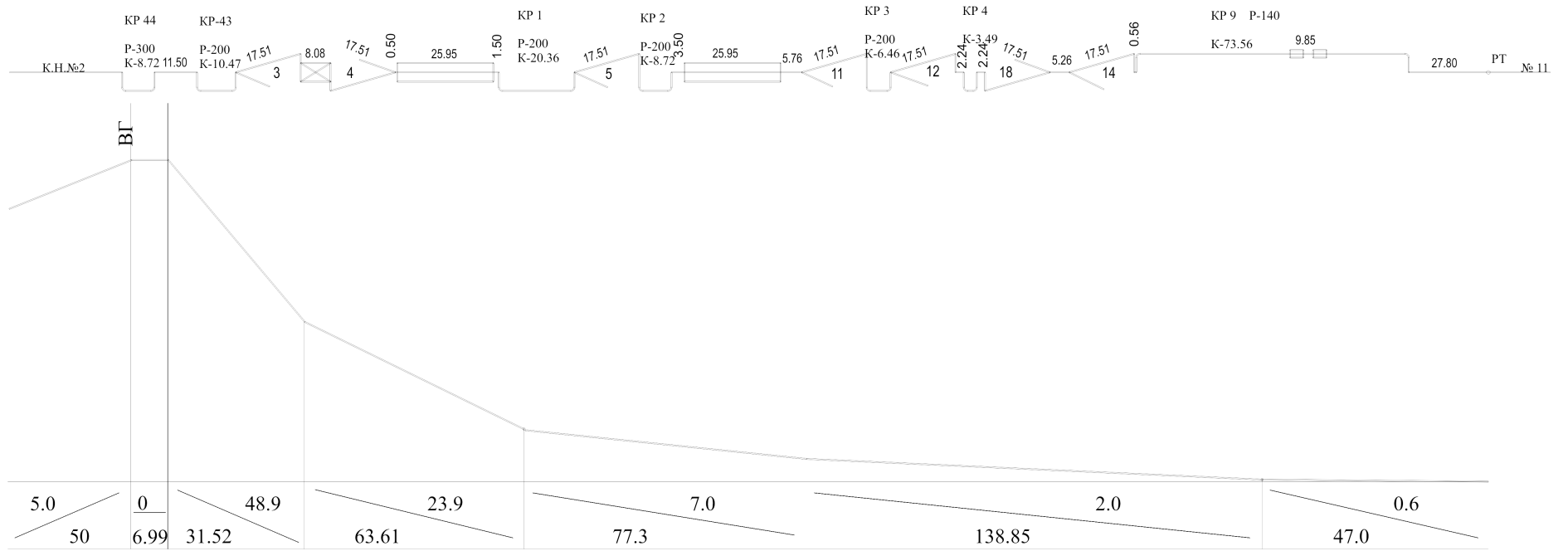


Рис. 3.16. Схема маршруту скочування відчепів з сортувальної гірки

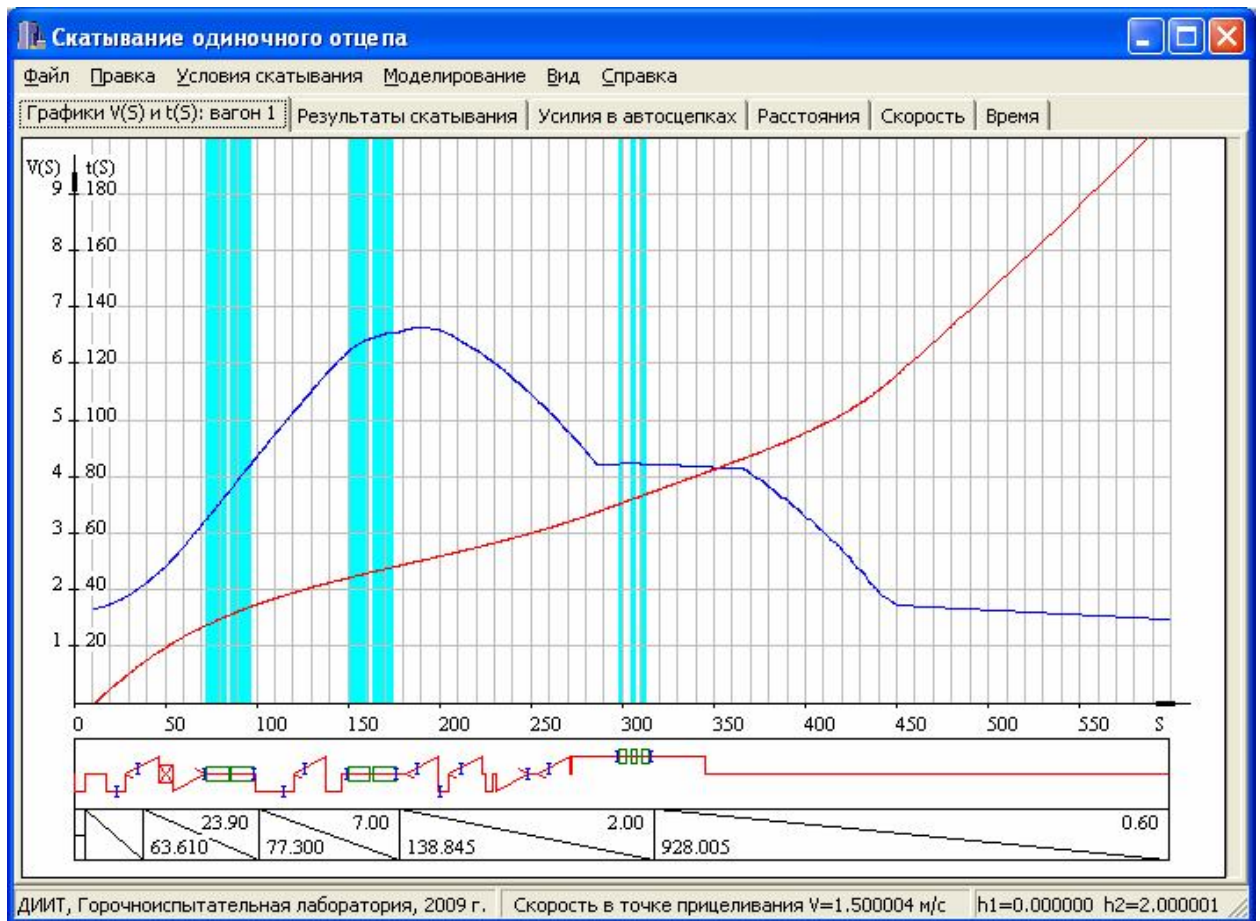


Рис. 3.17. Графічне зображення результатів моделювання скочування 10-ти вагонного відчепа з сортувальної гірки

Результатами імітації скочування відчепа є протокол моментів заняття та звільнення розділових елементів і зусиль в автозчепах по маршруту скочування. При цьому спостерігається деяка відмінність від результатів моделювання скочування відчепа як нерозтяжного гнучкого стержня, що виникає через стискання та розтягнення відчепа під час гальмування, але вона є незначною і для десятивагонного відчепа складає 0,1 - 0,3 с.

Приклад графіку зміни зусиль у автозчепах за маршрутом скочування наведено на рис 3.18.

Можливість отримання зусиль у автозчепах суттєво відрізняє розроблену модель від існуючих моделей скочування вагонів з гірки, тому що це дає нову інформацію, яка необхідна для рішення задач, пов'язаних з визначенням показників безпеки руху при скочування вагонів з гірки. При вільному скочуванні відцепів під час проходження стрілок і кривих в плані і профі-

лі величина зусиль у між вагонних з'єднаннях досягає 75 кН. В процесі гальмування величина зусиль суттєво збільшується і може переаищувати 200 кН.

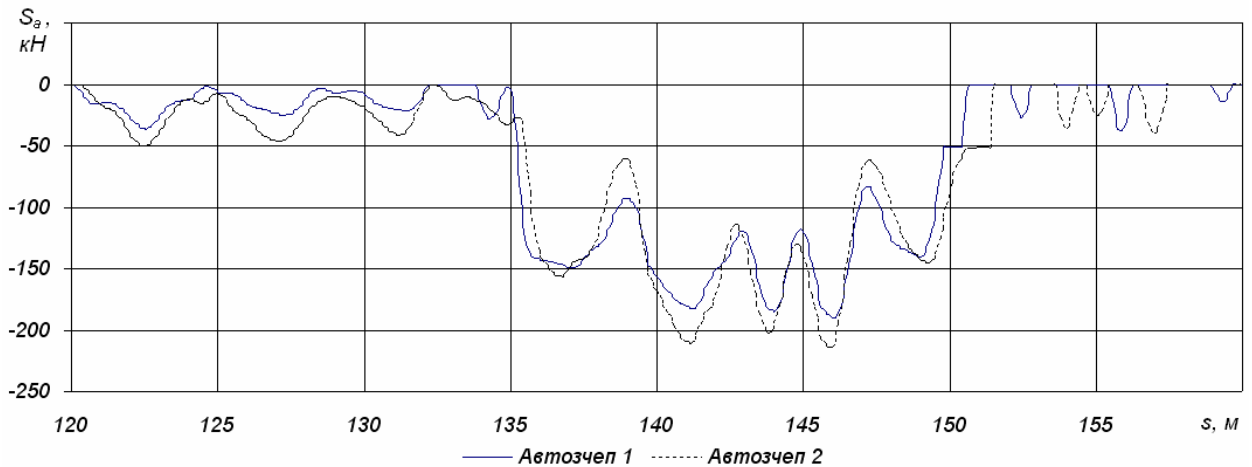


Рис. 3.18. Величини зусиль у автозчепках другого вагона десятивагонного відчепа під час входу відчепа на другу гальмову позицію

Величини вказаних сил недостатньо для того, щоб безпосередньо викликати втрату стійкості вагонів. В той же час наведені сили приймають досить суттєві значення і, в несприятливих умовах, зі збігу обставин, (рух вагонів у кривій, ексцентриситет осей автозчепів, невдале розташування вантажу або його зсув вздовж чи поперек осі вагона) у комплексі з іншими зусиллями, сприяють вкочуванню коліс на головки рейок та шини уповільнювачів. Тим самим створюються умови для виникнення небезпечних ситуацій і можливого сходу вагонів з рейок.

Дані отримані при застосуванні одномірної моделі відчепа використовуються для побудови моделі просторового руху вагона у відчепі. Результатами цього моделювання є протоколи переміщень елементів конструкції вагона, їх прискорень та просторові зусилля у всіх зв'язках моделі, зокрема між колесами вагонів та рейками, а також зусилля в буксових вузлах вагонів.

Для ілюстрації на рис. 3.19. представлено графіки зміни зусиль у буксових вузлах вагона легкої вагової категорії при гальмуванні його уповільнювачем, що розташований за 3,5 м після кругової кривої.

Вхід відчепа в уповільнювач відбувається на відстані 135,8 м від вершини гірки. При цьому, в наслідок удару, відбуваються різкі зміни наванта-

ження на рейку. Необхідно відмітити, що вказані зусилля мають короткочасний характер і не можуть призводити до втрати стійкості вагона. В той же час, вони викликають коливання конструкції вагона, що сприяють обезвантаженню коліс вагона.

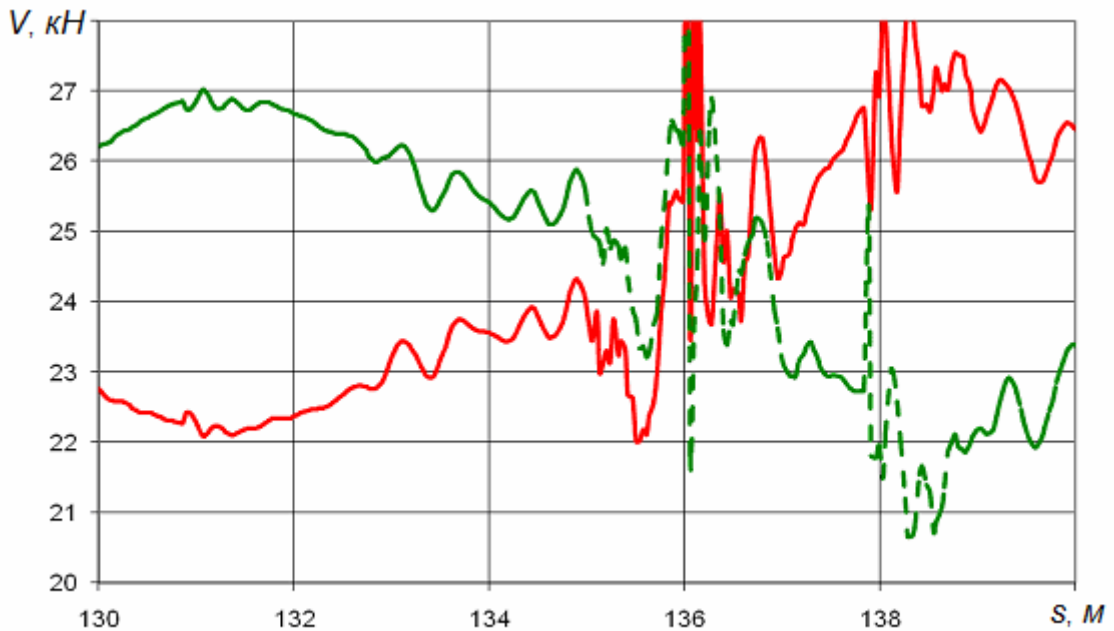


Рис. 3.19. Графік зміни навантаження на колесо при розташуванні уповільнювача за круговою кривою на відстані 3,5 м в умовах штилю

Результати теоретичних досліджень просторових коливань вантажного чотиривісного вагона у складі відчепа вантажних вагонів з урахуванням впливу сусідніх вагонів, нерівностей колії, гальмових зусиль з боку уповільнювачів та розташування вагона на певній точці плану та профілю колії, дозволяють отримувати залежності основних показників безпеки руху від швидкості скочування з урахуванням типу вантажного вагона та його завантаженості [92]. При цьому, показано, що при розгляді руху вантажних вагонів коліями сортувальної гірки необхідно враховувати повздовжні зусилля, що виникають між вагонами відчепа, тому що це дає можливість визначити показники безпеки руху із умов взаємодії коліс та рейок не тільки у вільному скочуванні вагонів, а і з урахуванням впливу на певний вагон сусідніх вагонів та стану рейкової колії з розташованими на ній гальмовими уповільнювачами.

чами. Врахування повздовжньої динаміки та просторових коливань вантажних вагонів у відчепі на сортувальній гірці дозволяє спрогнозувати небезпечні ситуації та розробити заходи запобігання згоду вагонів з рейок під час маневрової роботи і підвищення загального рівня безпеки руху на залізницях.

3.7. Висновки по розділу 3

1. Існуюча модель регульованого скочування, в якій відчеп розглядається як гнучкий нерозтяжний стержень, не дозволяє оцінювати показники безпеки руху відчепів на гірках. Тому автором виконано удосконалення математичної моделі скочування відчепу вантажних вагонів коліями сортувальної гірки з урахуванням впливу сусідніх вагонів та збурень з боку елементів верхньої будови колії та гальмових уповільнювачів.

2. В дисертації розроблено математичну модель процесу скочування, в якій відчеп розглядається як просторова динамічна система недеформуємих об'єктів та множини зв'язків, що об'єднують ці об'єкти у єдину конструкцію. Запропонована модель дозволяє визначати зусилля між вагонами у відчепях, зусилля у елементах конструкції вагона та його взаємодію з колією, що дає можливість оцінювати показники безпеки руху при скочуванні відчепів.

3. Запропоновано оригінальний математичний опис визначення просторових коливань вантажного вагона у складі відчепа, що дозволяє врахувати технічні характеристики самого вагона, рейкової колії та розташованих на ній пристроїв регулювання швидкості. Це дозволяє оцінювати конструктивні особливості сортувальних гірок з точки зору показників безпеки руху.

РОЗДІЛ 4

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ СКОЧУВАННІ ВІДЧЕПІВ З СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

4.1. Постановка задачі дослідження умов забезпечення безпеки руху під час регульованого скочування відчепів з гірки

Однією з основних умов виконання сортувального процесу є забезпечення безпечних умов скочування відчепів. У порівнянні з умовами поїзного руху для сортувальних гірок характерними є порівняно невеликі швидкості руху (до 8 м/с). В той же час, у зв'язку з необхідністю створення сприятливих умов для розділення відчепів сортувальні гірки мають специфічну конструкцію колійного розвитку, для якої характерними є значні ухили (до 50‰), висока щільність розташування стрілочних переводів та кривих у плані, які укладаються без прямих вставок та без підуклонки. Така конструкція погіршує умови руху на гірках у порівнянні з рухом по головним та приймально-відправним коліям.

Одним з найбільш складних процесів, що відбувається на гірках є процес гальмування вагонів гальмовими уповільнювачами. При цьому оператор чи автоматизована система управління розпуску діє в умовах суттєвої невизначеності, яка пов'язана з відсутністю точної інформації про розміри коліс, коефіцієнт тертя колеса об шини та з інертністю уповільнювачів. Використання низьких ступенів гальмування погіршує умови розділення відчепів, а також може призводити до підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях на підвищених швидкостях. В той же час, використання високих ступенів гальмування призводить до виникнення значних сил у взаємодії вагонів з колією та з уповільнювачами і може призводити до втрати стійкості вагонів.

Згідно з [166] при виборі необхідного ступеню гальмування оператору сортувальної гірки рекомендується:

- повновагові вагони починати гальмувати на високому ступені гальмування, а по мірі зниження швидкості переходити на більш низькі ступені га-

льмування для забезпечення точності реалізації випуску відчепа з гальмової позиції;

- легковагові вагони необхідно гальмувати на меншому ступені натиснення, а при необхідності переходити на більш високий ступінь, що виключає можливість витискання легковагових вагонів;

- при ускладненнях з вибором необхідного ступеня гальмування рекомендується використовувати двоетапне гальмування коли спочатку застосовується короткочасне гальмування на низькому ступені для визначення ефективності гальмування, а потім основне гальмування на більш високому ступені.

В той же час, згідно з дослідженнями виконаними в [21], час проходження відчепа по гальмовій позиції суттєво впливає на величину інтервалів на розділових елементах і найкращі умови розділення відчепів забезпечують режими, що передбачають гальмування відчепа повною потужністю з його голови чи з хвоста. У зв'язку з цим зміна ступеню під час гальмування погіршує умови розділення відчепів на стрілках.

Наведені в [166] рекомендації являють собою приклад нечітких формулювань [42]. Використання подібних правил допустиме при ручному управлінні процесом скочування операторами, але вони не дозволяють розробляти алгоритми для автоматизованих систем управління розпуском, а також аналізувати правильність дій операторів і відповідність технічного стану гірки характеру та обсягам роботи. Окрім того, існуючі методи не дозволяють аналізувати безпеку процесу регульованого скочування відчепів з гірки при відхиленні проекту від вимог [159], наприклад у випадках, що мали місце при реконструкції станцій Вайдотай (Литва) [119, 134], Черняхівськ та Лужская (Російська Федерація) [44].

У зв'язку з цим, проблема гальмування відчепів уповільнювачами вимагає вивчення з позиції безпеки руху.

Умови скочування відчепа можуть бути охарактеризовані величинами сил, що діють між окремими частинами вагона, між окремими вагонами відчепа та між відчепом та рейковою колією.

Для розробки методів оцінки безпеки руху на сортувальних гірках та аналізу закономірностей виконані дослідження умов руху відчепів на трьох-позиційній сортувальній гірці схема та поздовжній профіль якої зображено на рис. 3.16.

В якості розрахункових відчепів розглядалися відчепи різної довжини з порожніх та навантажених піввагонів.

4.2. Умови сходу вагонів з рейок в процесі скочування з гірки

Під час проходження відчепа по гірковим коліям можливі три варіанти втрати стійкості:

- витискання вагона, що знаходиться в середині відчепа під час проходження головними вагонами цього відчепа кривих у плані та уповільнювачів;
- вкочування коліс вагона на рейку;
- вкочування коліс вагона на шину уповільнювача.

При цьому умови витискання та вкочування коліс вагонів на рейки визначаються в [144].

4.2.1. Витискання вагона. Для визначення умови вкочування колеса на рейку під час витискання вагона на рис. 4.1 наведена розрахункова схема взаємодії колеса та рейки після вибору зазору в колії. На рис. 4.1 позначено: V – вертикальна сила в точці контакту гребеня колеса та рейки; H – поперечна сила в точці контакту гребеня колеса та рейки; β_r – кут нахилу гребеня колеса до горизонталі.

Умова вкочування колеса на рейку при витисканні вагона визначається відношенням поперечної сили H до вертикальної V , що діє у зоні контакту. В звичайних умовах контакт колеса та рейки відбувається або в одній точці A на поверхні кочення, або у двох – точка A на поверхні кочення та точка B на боковій поверхні гребеню.

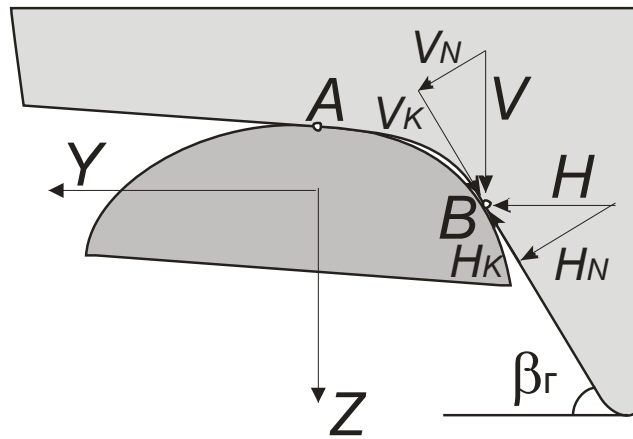


Рис. 4.1. Розрахункова схема взаємодії колеса та рейки

Небезпечною з позиції вкочування колеса на рейку ситуація стає у випадку, коли відбувається розрив контакту у точці A . В такій ситуації на колесо діє сила, що рухає його вверх по рейці

$$F_B = V_K - H_K = V \sin \beta_r - H \cos \beta_r,$$

та сила тертя, що перешкоджає такому руху

$$F_t = V_N + H_N = \mu_p (V \cos \beta_r + H \sin \beta_r),$$

де μ_p – коефіцієнт тертя колеса об рейку.

Формування вертикальної та поперечної сил в точці контакту колеса та рейки залежить від умов скочування вагона як одно вагонного чи багатовагонного відчепа.

У випадку скочування одновагонного відчепа вертикальна сила формується статистичним навантаженням колеса на рейку G та динамічною добавкою D , що виникає у процесі руху вагона. Поперечна сила у цьому випадку виникає в процесі поперечних коливань та впливання колісних пар під дією поперечних сил та моментів сил інерції.

У випадку скочування багатовагонного відчепа на величину вертикальної сили впливають також проекції поздовжніх сил, що виникають в автозчепках на вертикальний напрямок. Величина вертикальної проекції визначається різницею висот автозчепів сусідніх вагонів, яка виникає через розташування поруч вагонів різного технічного стану, з різним навантаженням та через переміщення автозчепів у центруючому пристрої (для автозчепів СА-3 таке пе-

реміщення складає 0,14 рад). Поздовжня сила в автотчепі впливає також на формування поперечної сили. Поперечна проекція виникає через неспіввісне розташування вагонів у плані колії та через поперечне переміщення автотчепів у центруючому пристрої (для автотчепів СА-3 таке переміщення складає 0,21 рад).

Для того, щоб після розриву контакту в точці A колесо продовжувало рух ввєрх по рейці, необхідно, щоб виконувалась умова

$$F_t < V_K - H_K.$$

Виходячи з цього, критична величина поперечної сили, що необхідна для витискання вагону буде дорівнювати

$$H > V \frac{\operatorname{tg}\beta_r + \mu_p}{1 - \mu_p \operatorname{tg}\beta_r}. \quad (4.1)$$

Для профілю колеса з кутом ухилу гребеня 60° та коефіцієнта тертя колеса об рейку $\mu_p = 0,25$ умова (4.1) приймає вигляд

$$H > 3,5 V.$$

Величина β нормується [162] і може змінюватись в процесі експлуатації у межах $55^\circ < \beta < 65^\circ$. Величина μ_p залежить від багатьох факторів таких як стан колії та коліс, погодні умови та ін., і може змінюватись у межах

$0,1 < \mu_p < 0,3$. Залежності величини $K = V \frac{\operatorname{tg}\beta_r + \mu_p}{1 - \mu_p \operatorname{tg}\beta_r}$ від β_r та μ_p наведено на

рис. 4.2.

Аналіз наведених залежностей показує, що для витискання вагону поперечна сила повинна у декілька раз перевищувати вертикальну.

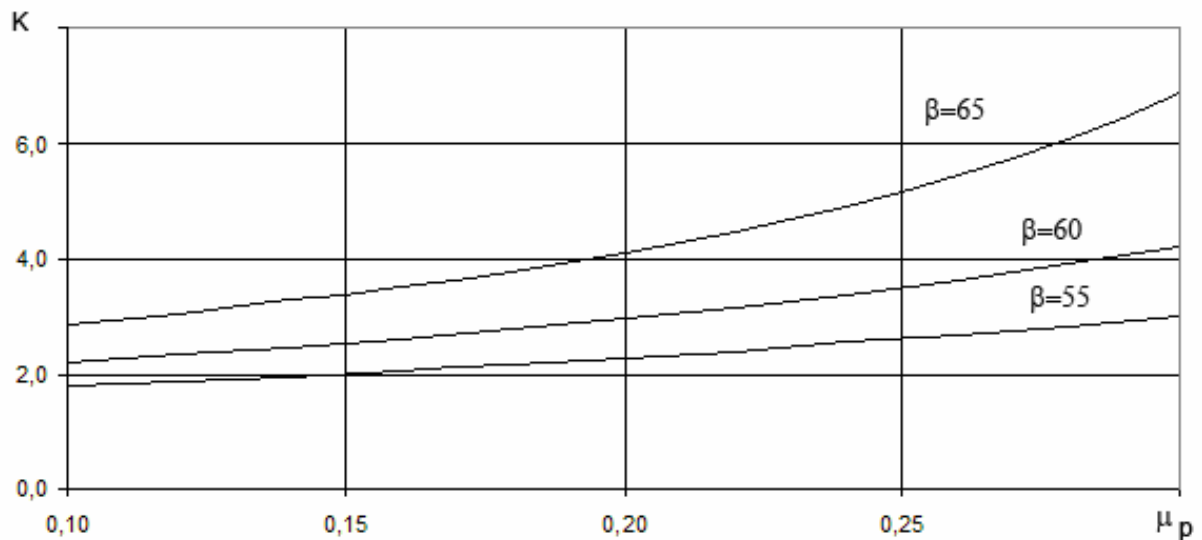


Рис. 4.2. Величина коефіцієнту K

4.2.2. Вкочування колеса на рейку. Вкочування колеса на рейку виникає через те, що в процесі обертання колеса, що рухається по рейці з деяким кутом набігання виникає миттєвий цент обертання, що знаходиться попереду вертикальної осі колеса. Якщо в процесі руху цей центр не зміщується вниз по рейці то відбувається поступове вкочування колеса на рейку. Такий процес стає можливим, якщо сила тертя буде меншою суми сил, що переміщують центр обертання вниз по рейці

$$F_t \geq V_K - H_K.$$

При цьому критична величина поперечної сили може бути визначена за формулою Надаля

$$H \geq V \frac{tg\beta_{\Gamma} - \mu_p}{1 + \mu_p tg\beta_{\Gamma}}.$$

Величини коефіцієнту $K' = \frac{tg\beta_{\Gamma} - \mu_p}{1 + \mu_p tg\beta_{\Gamma}}$ для цього випадку наведені на

рис. 4.3.

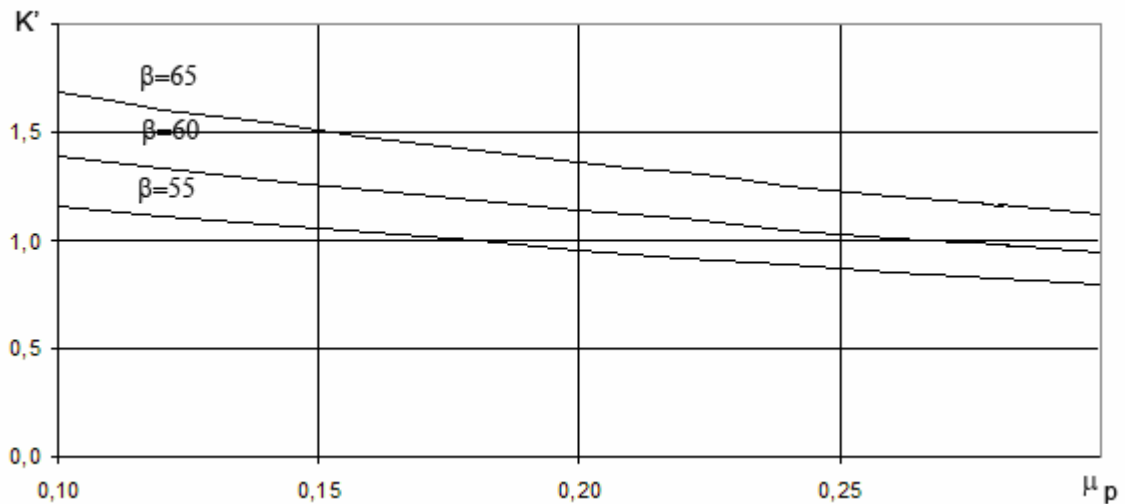


Рис. 4.3. Величина коефіцієнта K'

З наведеного рисунку видно, що для вкочування колеса на рейку величина поперечної сили, навіть при нормальному гребені ($\beta = 60^0$), може бути меншим вертикальної при великих значеннях коефіцієнту тертя. Таким чином умови для виникнення вкочування колеса на рейку при скочування вагонів з гірки є більш м'якими, ніж для витискання вагона і в подальшому буде аналізуватися саме процес вкочування.

Наявність значних поперечних сил, що діють у контактї колес з рейками підтверджується зносом рейкової колії в межах кривих, які передують гальмовим уповільнювачам (див. рис. 4.4).



Рис. 4.4. Стан колії в кривій, що передують уповільнювачу

4.3. Аналіз сил, що діють на колісні пари вагонів при скочуванні відчепа з гірки

4.3.1. Статичні умови вкочування колеса на рейку. Розглянемо умови взаємодії вагона та колії у випадку, коли враховується дія лише статичних сил. При цьому реакції R_{V1} та R_{H1} можуть бути розраховані на основі виразів (3.9-3.12) як

$$R_{V1} = \frac{\left(S_{y1} + \frac{l_a}{l_6} \Delta S_y \right) r_2 + F_{\Pi} \left(h_6 + \frac{r_2}{2} \right) + (G + G_{\text{кп}}) L_{\text{к2}}}{L_{\text{к1}} + L_{\text{к2}}}; \quad (4.2)$$

$$R_{H1} = S_{y1} + \frac{l_a}{l_6} \Delta S_y + \frac{1}{2} F_{\Pi} - \mu_p (G + G_{\text{кп}}). \quad (4.3)$$

Так як $H=R_{H1}$ та $V=R_{V1}$ то умова вкочування колеса на рейку (4.3) може бути представлена у вигляді наступного виразу:

$$\frac{H}{V} = \frac{\left(S_{y1} + \frac{l_a}{l_6} \Delta S_y + \frac{1}{2} F_{\Pi} - \mu_p (G + G_{\text{кп}}) \right) (L_{\text{к1}} + L_{\text{к2}})}{\left(S_{y1} + \frac{l_a}{l_6} \Delta S_y \right) r_2 + F_{\Pi} \left(h_6 + \frac{r_2}{2} \right) + (G + G_{\text{кп}}) L_{\text{к2}}} \geq \frac{\text{tg}\beta_{\Gamma} - \mu_p}{1 + \mu_p \text{tg}\beta_{\Gamma}}.$$

На рис. 4.5 наведено залежність величини H/V для порожнього та завантаженого піввагона за умови дії на них поздовжньої сили в одному з автозчепів.

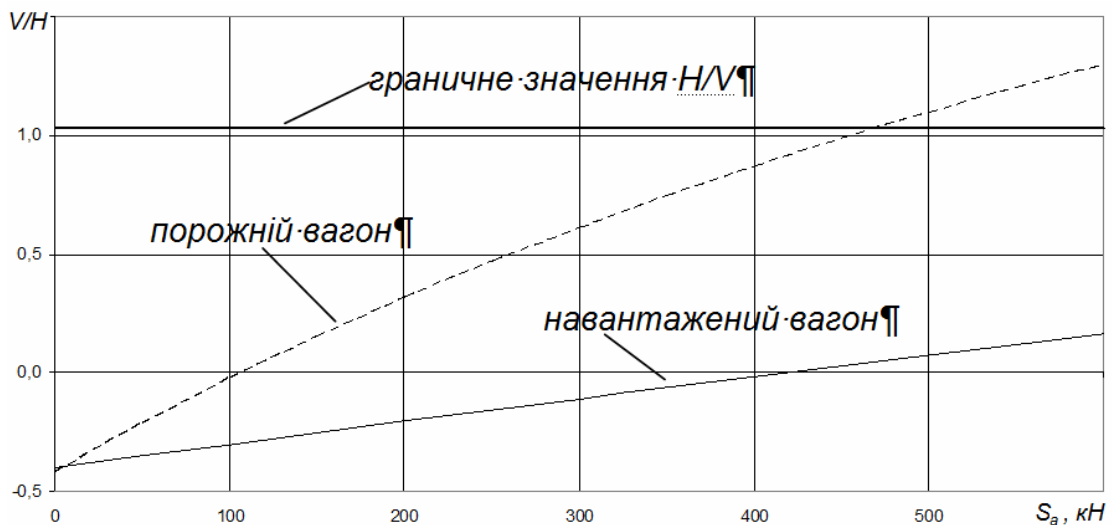


Рис. 4.5. Залежність співвідношення H/V від величини поздовжньої сили (статичні умови)

При цьому поперечна та вертикальна складова сили визначається для найгіршого випадку, тобто для найбільших можливих кутів кутових відхилень автозчепів СА-3 [162], що дорівнюють $\varphi=0,07$ рад, $\alpha=0,105$ рад.

Аналіз рис. 4.5 показує, що вкочування на рейку коліс завантаженого вагона відбувається при значно більших зусиллях у автозчехах, ніж ті, що спостерігаються на сортувальних гірках. Умова вкочування колеса на рейку для порожніх вагонів виконується при величині поздовжньої сили порядку 470 кН, що також перевищує величини сил у автозчехах, які мають місце при скочуванні відчепів на гірках.

4.3.2. Динамічні умови вкочування колеса на рейку. Під час руху відчепа по колії його вагони здійснюють просторові коливання, тому величини навантажень на букси будуть відрізнятись від статичних (3.12) на величину динамічних добавок до статичних навантажень, що можуть сприяти вкочуванню коліс на рейки при значно менших величинах поздовжніх сил. У цьому випадку вирази для визначення величини вертикальних сил приймають вигляд

$$V_{\delta 1} = \frac{GL_{\delta} + F_{\Pi} h_{\delta}}{2L_{\delta}} (1 + K_{\text{двн}}),$$

$$V_{\delta 2} = \frac{GL_{\delta} - F_{\Pi} h_{\delta}}{2L_{\delta}} (1 + K_{\text{двнн}}),$$

де $K_{\text{двн}}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесі;

$K_{\text{двнн}}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки на не набігаючому колесі.

Наведені коефіцієнти є додатними у випадку збільшення навантаження на буксовий вузол («довантаження») та від'ємними у випадку зменшення («розвантаження»).

Таким чином, вертикальні та поперечні реакції можуть бути визначені за допомогою виразів

$$R_{V1} = \frac{\left(S_{y1} + \frac{l_a}{l_6} \Delta S_y \right) r_2 + F_{\Pi} \left(h_6 \left(1 + K_{дв1} + \frac{L_{к2}}{L_6} K_{дв2} \right) + \frac{r_2}{2} \right) + G(L_6 K_{дв2} + (1 + K_{дв1}) L_{к2}) + G_{кп} L_{к2}}{L_{к1} + L_{к2}},$$

$$R_{H1} = \frac{F_{и}}{2} - \mu_p \left(G(1 + K_{дв1}) + F_{\Pi} \frac{h_6}{L_6} K_{дв2} + G_{кп} \right) + S_{y1} + \frac{l_a}{l_6} \Delta S_y,$$

де $K_{дв1} = \frac{K_{двн} + K_{двнн}}{2}$, $K_{дв2} = \frac{K_{двн} - K_{двнн}}{2}$.

При цьому критерій вкочування колеса на рейку буде мати вигляд

$$\frac{\left(S_{y1} + \frac{l_a}{l_6} \Delta S_y + \frac{F_{и}}{2} - \mu_p \left(G(1 + K_{дв1}) + F_{\Pi} \frac{h_6}{L_6} K_{дв2} + G_{кп} \right) \right) (L_{к1} + L_{к2})}{\left(S_{y1} + \frac{l_a}{l_6} \Delta S_y \right) r_2 + F_{и} \left(h_6 \left(1 + K_{дв1} + \frac{L_{к2}}{L_6} K_{дв2} \right) + \frac{r_2}{2} \right) + G(L_6 K_{дв2} + (1 + K_{дв1}) L_{к2}) + G_{кп} L_{к2}} \geq \frac{tg\beta_{\Gamma} - \mu_p}{1 + \mu_p tg\beta_{\Gamma}}. \quad (4.4)$$

З урахуванням необхідних запасів умова стійкості колісної пари від сходу з рейок може бути оцінена за коефіцієнтом стійкості від сходу з рейок (за умовою вкочування)

$$K_{ст} \geq K_{ст}^{доп} \text{ при}$$

$$K_{ст} = \frac{tg\beta_{\Gamma} - \mu_p}{1 + \mu_p tg\beta_{\Gamma}} \cdot \frac{k_6 S_{a1} + k_7 S_{a2} + (k_8 K_{двн} + k_9 K_{двнн} + k_{10}) F_{и} + k_{11} K_{двн} + k_{12} K_{двнн} + k_{13}}{S_{a1} + k_1 S_{a2} + k_2 F_{и} + k_3 (K_{двн} + K_{двнн}) + k_4 (F_{и} + F_{в}) (K_{двн} - K_{двнн}) + k_5},$$

де $k_1 - k_{13}$ – коефіцієнти, що характеризують конструкційні особливості вагона;

$K_{ст}^{доп}$ – допустиме значення коефіцієнту стійкості від сходу з рейок.

На рис. 4.6 наведена залежність величини H/V в умовах врахування динамічних складових навантаження вагона. При цьому значення величин $K_{двн}$ та $K_{двнн}$ прийнято найгіршими з допустимих згідно [144]: $K_{двн} = -0,8$ та $K_{двнн} = 0,8$. Аналіз рис. 4.6 показує, що навіть при врахуванні динамічних навантажень викочування коліс завантажених вагонів на рейки неможливе. В той же час для порожніх вагонів величина поздовжньої сили, при якій можливе вкочування колеса на рейку зменшилось до 245 кН. В цих умовах величини сил, що діють під час вільного скочування (до 75 кН) також недостатньо для втрати стійкості вагонів. Небезпечні випадки можуть мати місце лише

при гальмуванні багатовагонних відцепів до складу яких входять порожні вагони.

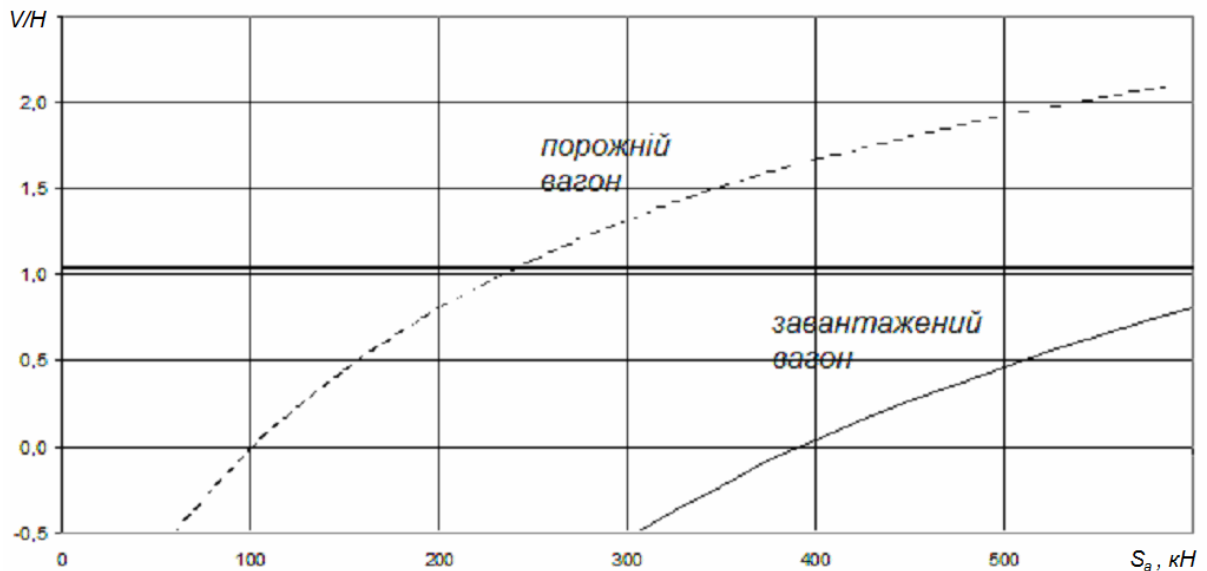


Рис. 4.6. Залежність співвідношення H/V від величини поздовжньої сили (динамічні умови)

Суттєвим фактором, що впливає на умови втрати стійкості вагона є не лише величина, а і тривалість дії сил. Для вкочування умова (4.4) повинна виконуватись протягом часу, достатнього для підйому колеса на головку рейки. Для стандартного профілю колеса і швидкостей, що характерні для гірок цей час відповідає відстані близько 56 мм.

4.3.3. У м о в и в к о ч у в а н н я к о л е с а н а ш и н и у п о в і л ь н ю в а ч і в . Під час гальмування вагона уповільнювачем на його колісні пари діють додаткові поперечні сили тиску шин. Наведені сили, створюючи силу тертя між колесом та шиною уповільнювача, сприяють вкочуванню колеса на рейку і в подальшому на шину [134]. При гальмуванні можливі декілька різних варіантів розташування колеса в уповільнювачі. Розрахункова схема розташування колеса під час входу в уповільнювач наведена на рис. 4.7. На цій схемі позначено: C – точка опирання колеса на рейку; A – точка контакту колеса с шиною уповільнювача (миттєвий центр обертання); R_H – зовнішній радіус обода колеса; r – відстань від точки опирання колеса на

рейку до точки контакту колеса з шиною уповільнювача; y – висота шини уповільнювача над головкою рейки.

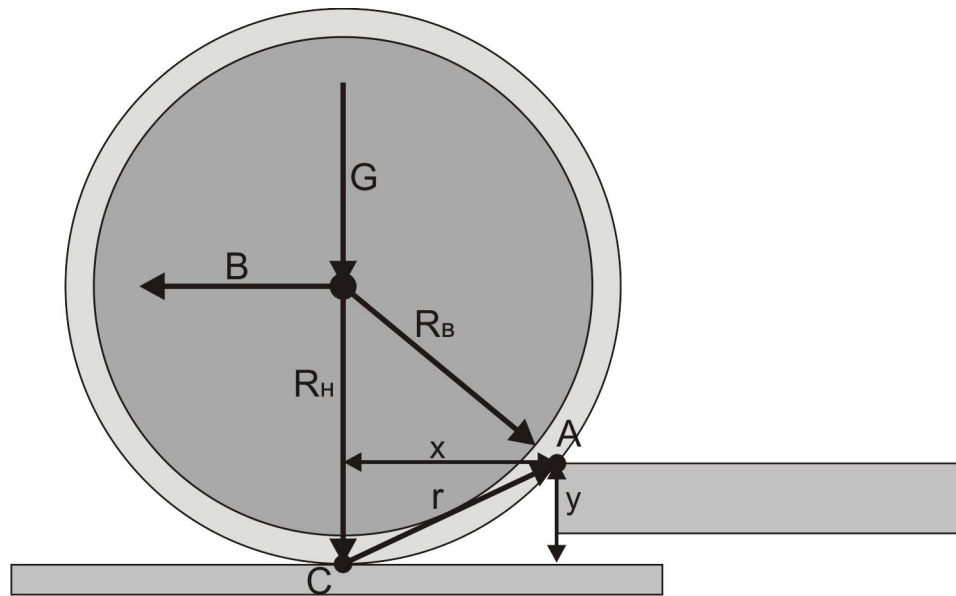


Рис. 4.7. Схема сил, що діють на колесо під час входу в уповільнювач

При цьому гальмова сила може бути визначена за формулою

$$B_{\Gamma} = 2P_{\text{шк}} \mu_{\text{ш}} \varphi, \quad (4.5)$$

де $P_{\text{шк}}$ - сила натиснення шини уповільнювача на колесо;

$\mu_{\text{ш}}$ - коефіцієнт тертя колеса об шину уповільнювача;

$\varphi = \frac{r}{R_H}$ - коефіцієнт приведення.

Вкочування колеса на шину уповільнювача стає можливим у випадку коли виконується умова

$$B_{\Gamma}(R_H - y) < Gx \text{ або} \\ P_{\text{шк}} < \frac{GxR_H}{2\mu_{\text{ш}}r(R_H - y)}. \quad (4.6)$$

У (4.6) невідомими величинами є x та r , які можуть бути визначені з виразів

$$x = \sqrt{2R_H y - y^2} \text{ та } r = \sqrt{2R_H y}.$$

В результаті сила натиснення шин уповільнювача на колесо не повинна перевищувати величину

$$P_{\text{шк}} < G \frac{\sqrt{R_{\text{н}}(2R_{\text{н}} - y)}}{2\sqrt{2}\mu_{\text{ш}}(R_{\text{н}} - y)}. \quad (4.7)$$

На рис. 4.8 наведено графіки залежності допустимої сили натиснення шини уповільнювача від навантаження на вісь при несприятливих значеннях параметрів $R_{\text{н}}=0,475$ м, $y=0,11$ м, $\mu_{\text{ш}}=0,17$.

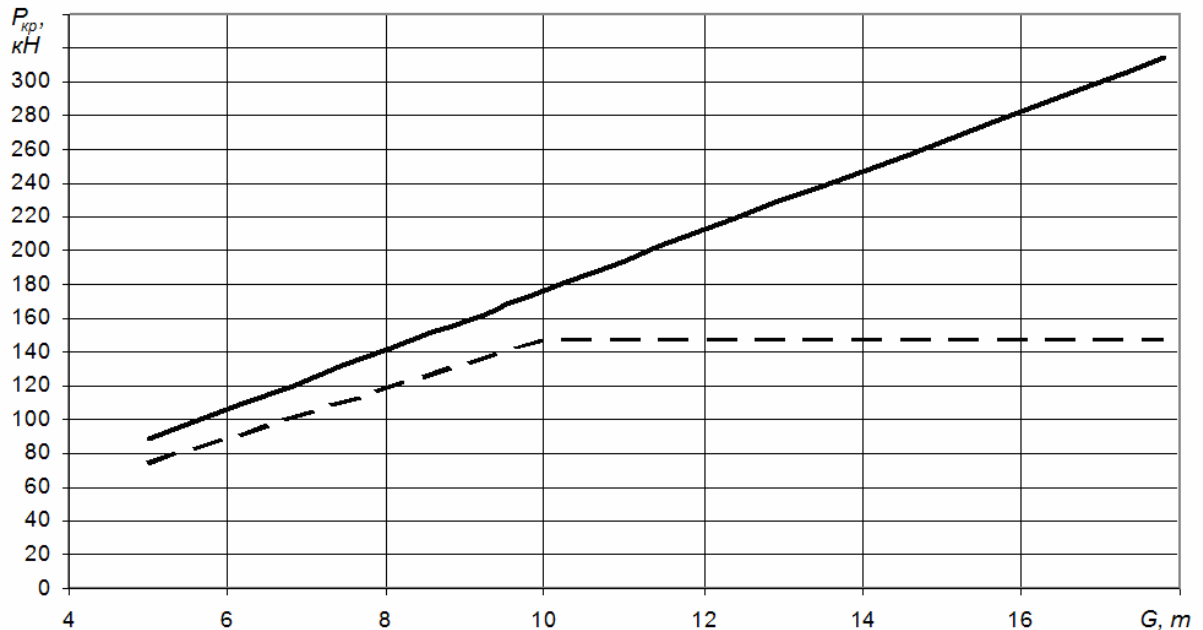


Рис. 4.8. Максимально допустимі сили натиснення шин на колеса під час входу вагона в уповільнювач

При цьому суцільною лінією зображено залежність, що отримана за виразом (4.7), а пунктирною – згідно з [46]. Різниця між графіками виникає через те, що при розрахунку нормативного значення [46] прийнято коефіцієнт запасу 1,2.

Розрахункова схема розташування колеса при гальмуванні в уповільнювачі наведена на рис. 4.9.

Контакт між колесом та шиною уповільнювача відбувається по заштрихованій області обода колеса, а миттєвий центр обертання знаходиться в центрі ваги даною площадки у точці А. При цьому, викочування колеса на шину уповільнювача відбувається при виконанні умови (4.6). Але змінюються вирази для визначення x та r .

$$x = \sqrt{\frac{R_B^2 - 3R_H^2 + R_H(2R_B + 8y)}{4} - y^2},$$

$$r = \frac{\sqrt{R_B^2 - 3R_H^2 + R_H(2R_B + 8y)}}{2}.$$

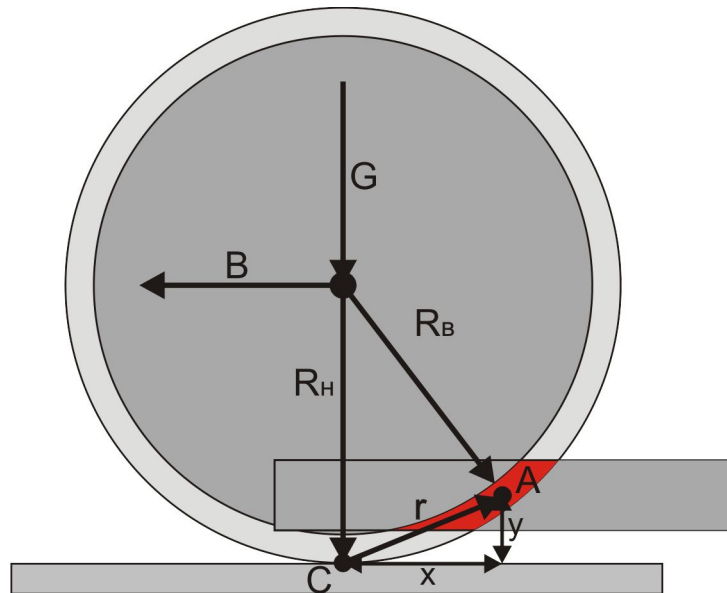


Рис. 4.9. Схема сил, що діють на колесо в уповільнювачі

В результаті умова вкочування колеса на шину уповільнювача буде виглядати як:

$$P_{\text{шк}} < G \frac{R_H \sqrt{(R_B + R_H)^2 - 4(R_H - y)^2}}{2\mu_{\text{ш}}(R_H - y) \sqrt{(R_B + R_H)^2 - 4R_H(R_H - 2y)}}. \quad (4.8)$$

На рис. 4.10 наведено графіки залежності допустимої сили натиснення шини уповільнювача від навантаження на вісь при розташуванні колеса в уповільнювачі.

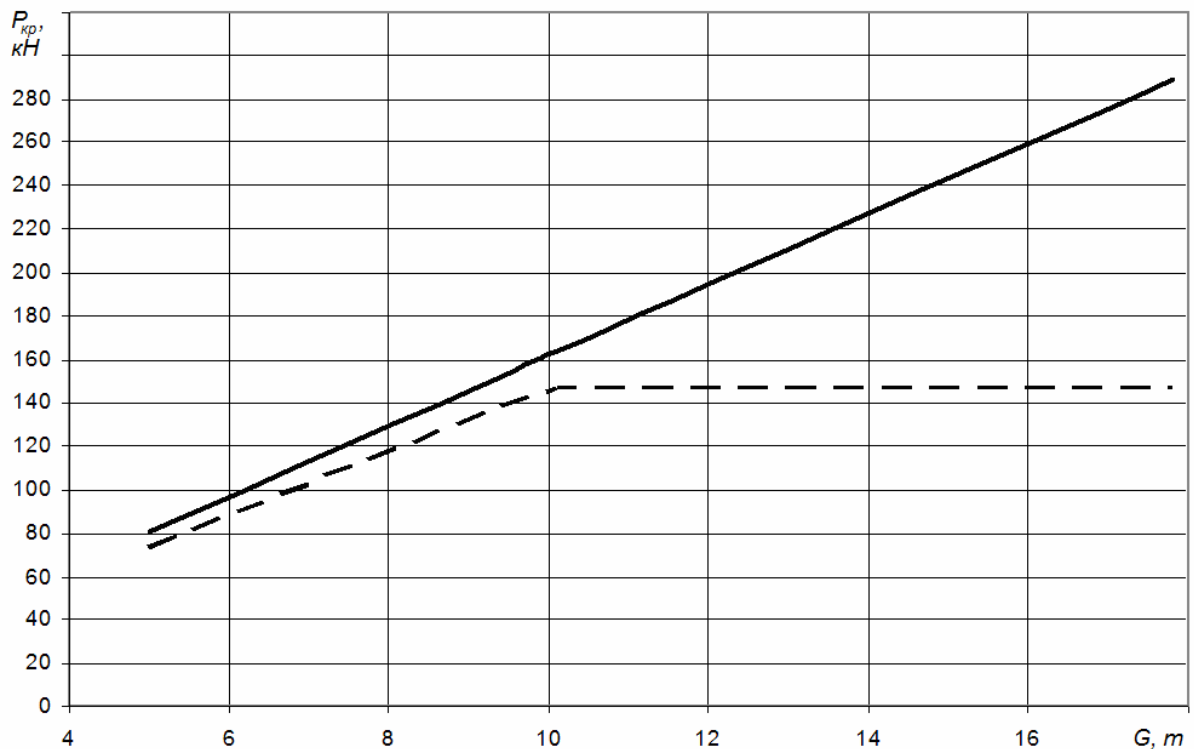


Рис. 4.10. Максимально допустимі сили натиснення шин на колеса під час входу вагона в уповільнювач

Гальмові уповільнювачі на спускній частині сортувальних гірок розташовуються на прямих ділянках. В той же час довжина прямої ділянки перед уповільнювачем може складати 0,5 м, тобто в момент входу в уповільнювач вагон може знаходитись в круговій, чи стрілочній кривій (див. рис. 4.11) і на нього буде впливати відцентрова сила.

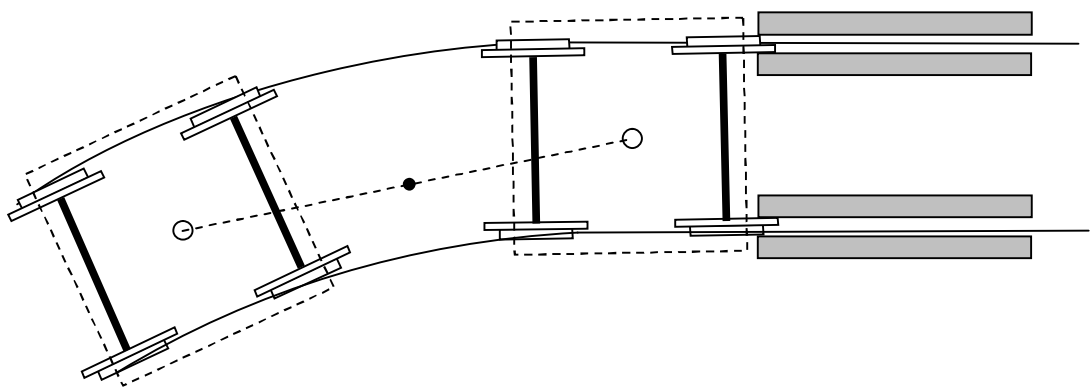


Рис. 4.11. Вхід вагона в уповільнювач, що розташований безпосередньо за кривою

Спостереження за технічним станом уповільнювачів показує, що при її розташуванні безпосередньо за кривими ділянками колії поперечні сили можуть досягати значної величини і викликати інтенсивний знос їхніх шин. Так на рис. 4.12 для порівняння наведено технічний стан уповільнювачів парної сортувальної гірки станції Нижньодніпровськ-Вузол, що укладені в прямій ділянці колії і безпосередньо за круговою кривою.



Рис. 4.12. Уповільнювачі парної сортувальної гірки станції Нижньодніпровськ-Вузол: *a* – відстань до кривої більше бази вагона; відстань до кривої 3,5 м

Додатково у поперечному напрямку на вагон може впливати і вітрове навантаження. Наявність поперечних сил відповідно до п. 3.5.3 викликає перерозподіл сил між різними колесами візка. В результаті умова (4.7) прийме вигляд

$$P_{\text{шк}} < V_{\text{min}} \frac{R_{\text{н}} \sqrt{(R_{\text{в}} + R_{\text{н}})^2 - 4(R_{\text{н}} - y)^2}}{2\mu_{\text{ш}}(R_{\text{н}} - y) \sqrt{(R_{\text{в}} + R_{\text{н}})^2 - 4R_{\text{н}}(R_{\text{н}} - 2y)}}.$$

Графік залежності допустимих сил натиснення шини уповільнювача на колесо в залежності від навантаження на вісь для випадку розташування уповільнювача безпосередньо за кривою наведено на рис. 4.13.

Аналіз отриманих залежностей показує, що при розташуванні уповільнювача за кривою повністю використовується прийнятий в [46] коефіцієнт запасу навіть при статичних розрахунках.

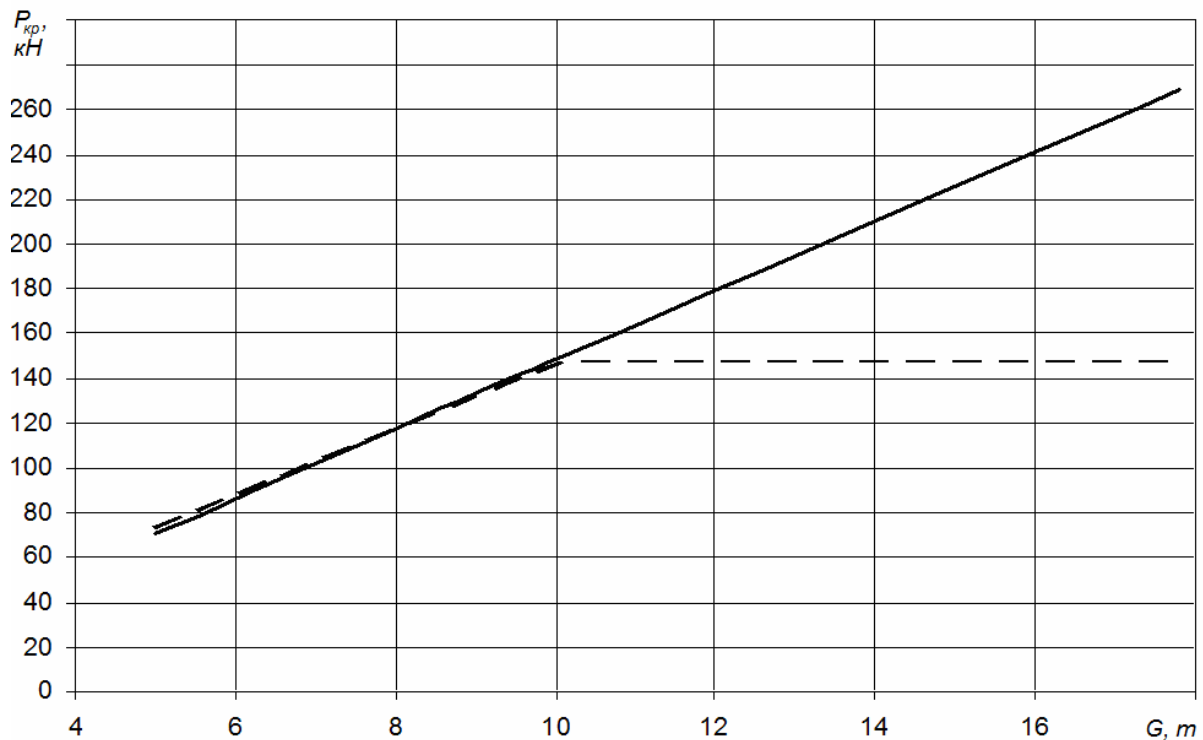


Рис. 4.13. Допустимі сили натиснення шини уповільнювача на колесо при розташуванні уповільнювача безпосередньо за круговою чи стрілочною кривою

Під час скочування відцеп являє собою динамічну систему, в якій вагони взаємодіють між собою та з рейковою колією. Наявність нерівностей колії викликає динамічні коливання, що сприяють вкочування вагонів на рейку.

Відповідно до [164] динамічні коливання при аналітичних розрахунках враховуються коефіцієнтом динаміки, який в залежності від стану колії, рухомого складу, умов руху може приймати значення в межах $-0,8, +0,8$. Результати аналітичних розрахунків максимально допустимої величини натиснення шин уповільнювача на колесу при врахуванні динамічних процесів під час скочування вагона наведено на рис. 4.14.

Аналіз отриманих графіків показує, що динамічні процеси суттєво впливають на величину допустимих зусиль натиснення шин уповільнювачів на колесо.

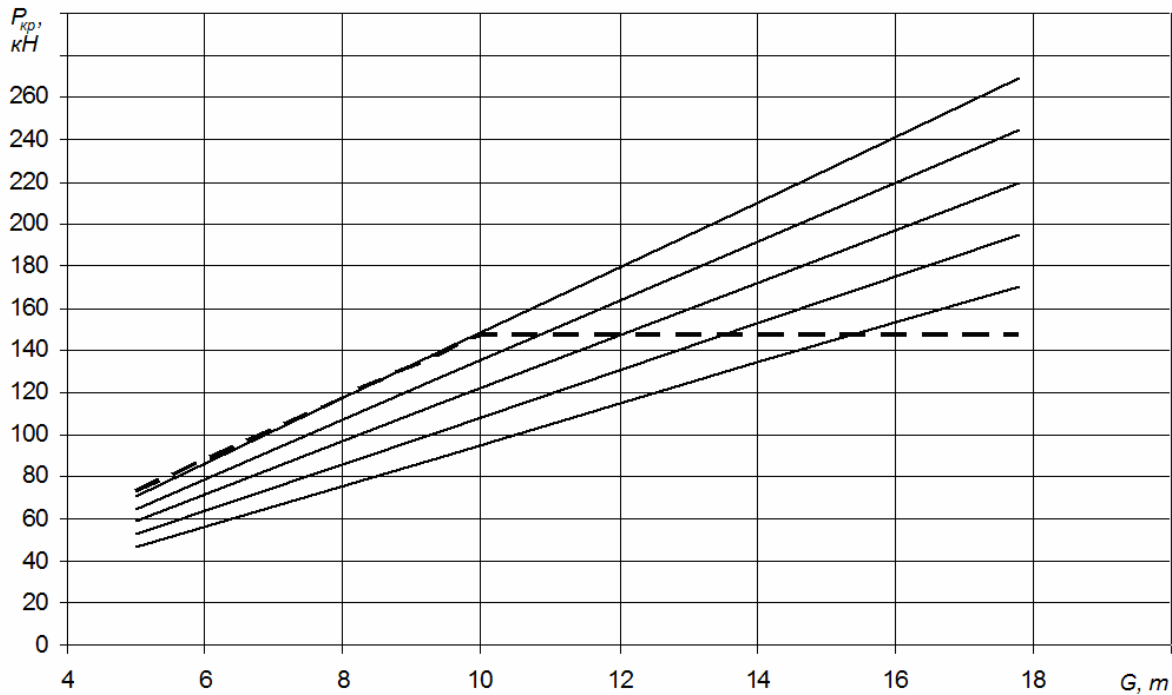


Рис. 4.14. Допустимі сили натиснення шини уповільнювача на колесо при врахуванні динамічних зусиль під час руху вагона

4.4. Дослідження умов скочування багатовагонних відцепів

При скочуванні з гірки відцепів з декількох вагонів у міжвагонних з'єднаннях виникають поздовжні сили, що викликані різницею в характеристиках та умовах скочування окремих вагонів (наприклад різницею ухилів поздовжнього профілю, навантаження на вісь, різницею типів вагонів та ін). Тому під час гальмування у відцепі будуть виникати стискуючі зусилля, що можуть сприяти вкочуванню коліс на рейки. Так, в момент входу першого вагону в уповільнювач на нього діє гальмова сила B_{Γ} , а поздовжні сили, що діють на інші вагони, в статичній постановці визначаються за виразом

$$S_k = \frac{B_{\Gamma} \sum_{i=k}^n q_{\text{вГ}i}}{\sum_{i=1}^n q_{\text{вГ}i}}, \quad (4.9)$$

де k – порядковий номер вагона у відцепі.

Найбільше поздовжнє стискуюче зусилля виникає у задньому автозцепі головного вагона і потім це зусилля поступово зменшується по відцепу. При

цьому збільшення маси вагонів приводить до збільшення стискуєчих сил. В той же час, у результаті аналізу, виконаного у п. 4.3.2, встановлено, що вкочування коліс на рейки завантажених вагонів на гірках практично неможливе. Тому у якості несприятливих составів прийнято змішані состави у складі яких є порожні та завантажені вагони. Найбільш несприятливими є випадки гальмування порожнього вагона уповільнювачем за яким слідує група завантажених вагонів та знаходження порожнього вагона у групі завантажених вагонів, коли гальмують завантажений.

Розглянемо зусилля у автозчепах першого вагона, що входить у уповільнювач. При цьому, вертикальна складова поперечної сили у випадку, коли вона спрямована вгору і розвантажує колісну пару, сприяє вкочуванню колеса на рейку, а у випадку коли ця сила спрямована вниз та довантажує колісну пару - перешкоджає. Аналіз впливу поперечної сили є більш складним. Відповідно до (4.2) та (4.3) ця сила з однієї сторони зменшує поперечну силу в силу в точці контакту колеса з рейкою, а з іншої – обезвантажує набігаюче колесо. Для визначення впливу поздовжньої сили на умови вкочування колеса на рейку розраховано величини $P_{кр}$ для різних напрямків поперечної сили. У табл. 4.1 наведено порівняння отриманих значень з величиною $P_{кр}$ для одновагонного відчепа. Аналіз цієї таблиці показує, що для вагонів з низьким навантаженням на вісь додаткові сили у автозчепах несуттєво впливають на величини допустимого тиску уповільнювачів, а для завантажених вагонів зміни допустимих сил у наведених межах не можуть ніяким чином вплинути на умови витискання.

Іншим несприятливим випадком є випадок, коли в уповільнювачі гальмується завантажений вагон, а порожній вагон знаходиться за ним. У такому випадку сила тиску уповільнювача відповідає навантаженню на вісь завантаженого вагона, а на порожній вагон діє поздовжня стискуєча сила. Величина цієї сили визначається за формулою (4.9).

Допустимі сили натиснення уповільнювача на колеса вагонів
одновагонного та багатовагонного відчепа

Навантаження на вісь q , т	Одновагонний відцеп	Багатовагонний відцеп	
	$P_{кр}$, кН	$P_{кр(+)}$, кН	$P_{кр(-)}$, кН
5,5	80,9	78,0	76,2
7	102,9	99,3	97,1
11	147,2	147,2	147,2

Розраховані значення H/V для статичного випадку ($K_{двн}=0$) наведено на рис. 4.15, де суцільною лінією показано залежність для другого вагона у відчепі, а пунктиром - третього.

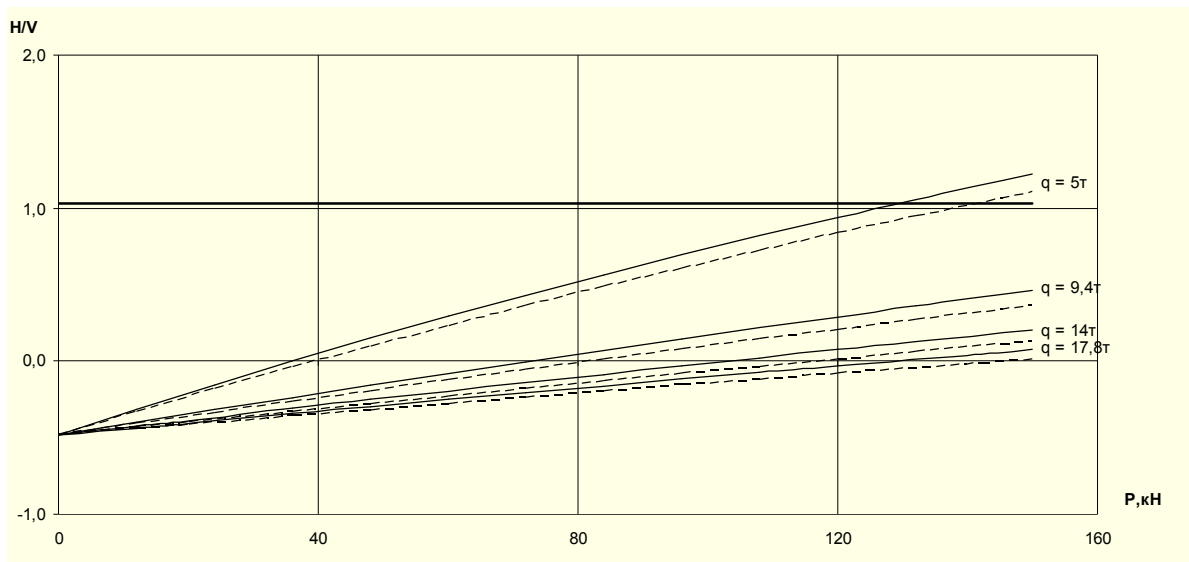


Рис. 4.15. Залежності H/V від сили тиску уповільнювача $P_{шк}$ при різних величинах навантаження на вісь (статичні умови)

Розраховані значення H/V для динамічних умов для порожнього вагона, що слідує другим у відчепі при різних значеннях $K_{двн}$ наведено на рис. 4.16.

Наведені залежності показують, що при слідуванні порожнього вагона другим, чи третім у багатовагонному відчепі можуть виникати поздовжні зусилля, які можуть бути причиною викочування коліс на рейки під час гальмування першого вагона.

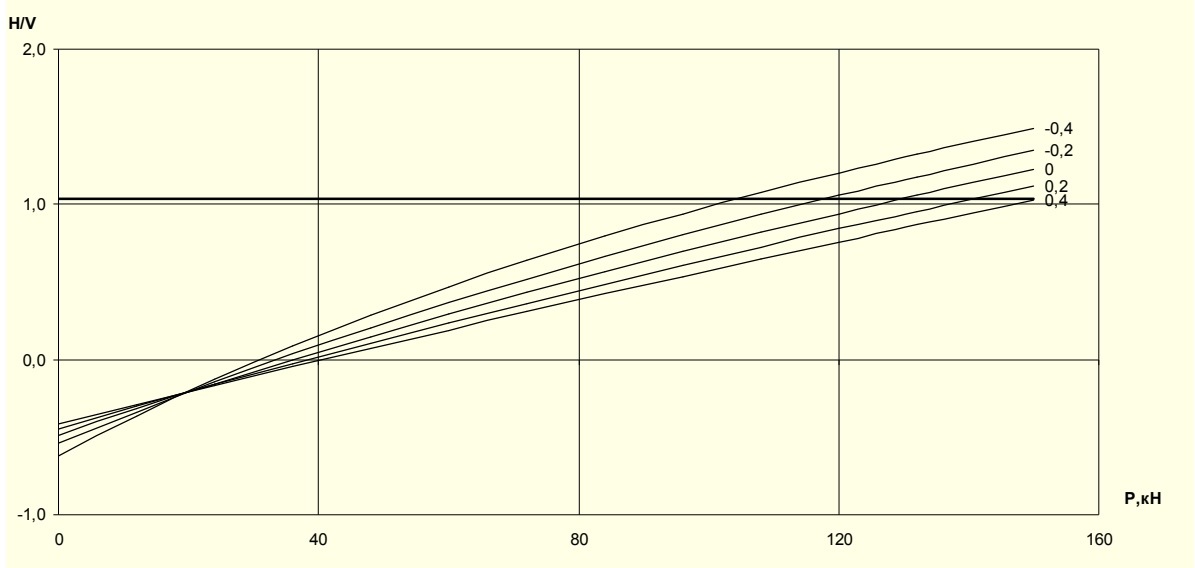


Рис. 4.16. Залежності H/V від сили тиску уповільнювача $P_{шк}$ (динамічні умови)

4.5. Визначення показників безпеки руху вагонів на основі моделювання скочування відчепів з гірки

Виконані аналітичні розрахунки показують, що при гальмуванні відчепів можуть виникати зусилля, які загрожують безпеці процесу розпуску составів. В той же час, як відмічалось раніше, для аналізу рівня небезпеки необхідно оцінювати не лише величину, а і тривалість дії сил. Виконати подібні розрахунки аналітично не представляється можливим, тому для аналізу використовувалась імітаційна модель процесу скочування відчепа з гірки як динамічної системи (див. р. 3) [75].

Оцінка умов стійкості колісної пари від сходу з рейок здійснюється за коефіцієнтом стійкості від сходу з рейок (за умовою вкочування) $K_{ст}$ згідно з «Нормами розрахунку та проектування вагонів» [144]

$$K_{ст} = \frac{\text{tg}\beta_r - \mu_p}{1 + \mu_p \text{tg}\beta_r} \cdot \frac{V}{H} \geq K_{ст}^{доп}. \quad (4.10)$$

При цьому значення величин V та H обираються на основі моделювання скочування відчепа з гірки з використанням імітаційної моделі, представленій в р. 3. В якості прикладу наведено результати моделювання скочування

десятивагонного відчепа, що складається з вагонів важкої, легкої та ще восьми вагонів важкої вагової категорії. На рис. 4.17 представлено графіки зміни коефіцієнта стійкості $K_{ст} = f(s)$ (тут s – відстань скочування від вершини гірки) для другого вагона відчепа при гальмуванні першого його вагона четвертим ступенем на другій гальмовій позиції. Нульові значення коефіцієнта стійкості вказують на небезпеку вкочування коліс другого вагона на рейку і необхідність використання менших ступенів гальмування.

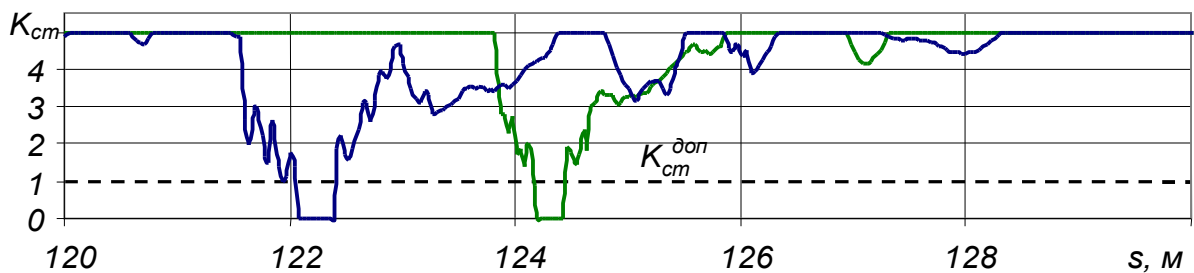


Рис. 4.17. Графік зміни коефіцієнта стійкості для другого вагона десятивагонного відчепа

Для оцінки допустимого рівня тиску шин уповільнювача на колесо вагона по аналогії з (4.10) пропонується використовувати коефіцієнт стійкості від вкочування на шину уповільнювача $K_{шу}$, що визначається як

$$K_{шу} = \frac{V_{\min}}{P_{шк}} \cdot \frac{R_H \sqrt{(R_B + R_H)^2 - 4(R_H - y)^2}}{2\mu_{ш}(R_H - y)\sqrt{(R_B + R_H)^2 - 4R_H(R_H - 2y)}} \geq K_{шу}^{\text{доп}},$$

де $P_{шк}$ – сила тиску шини уповільнювача на колесо при обраному ступені гальмування;

$K_{шу}^{\text{доп}}$ – допустиме значення коефіцієнту стійкості від вкочування на шину уповільнювача;

V_{\min} – менше з навантажень на ліве та праве колесо колісної пари.

В якості розрахункових відцепів використовувались одно- та десятивагонні відчепа, що склалися з вагонів легкої та важкої та вагової категорії.

В якості розрахункових умов прийнято, що гальмування відбувається уповільнювачем, який розташований за 3,5 м від кругової кривої. Швидкість вітру складає 7 м/с.

На рис. 4.18, *а* представлено графік зміни допустимого тиску шин уповільнювача на колесо одновагонного відчепа. Коливання кузова вагона призводять до обезвантаження його візків та, в несприятливих умовах, можуть викликати необхідність зменшення тиску шин уповільнювача на колесо на 10%.

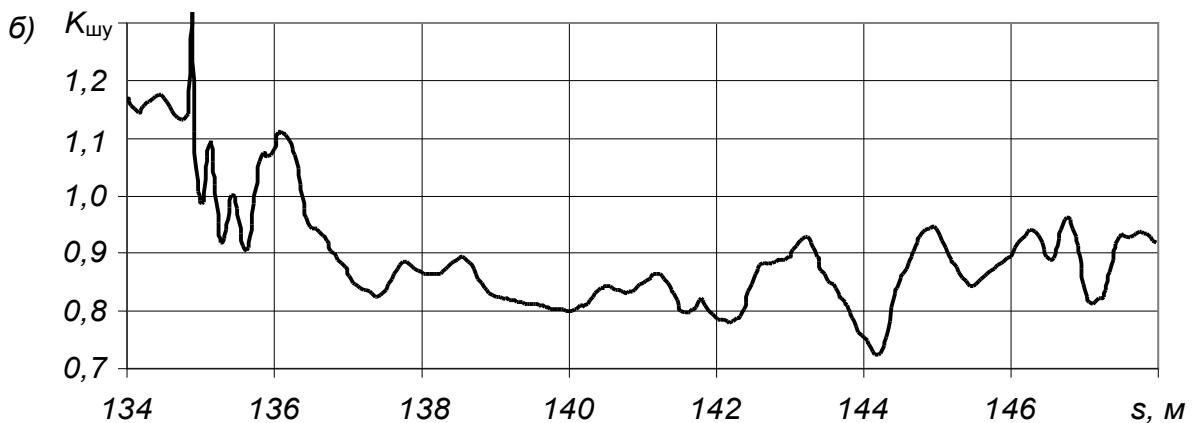
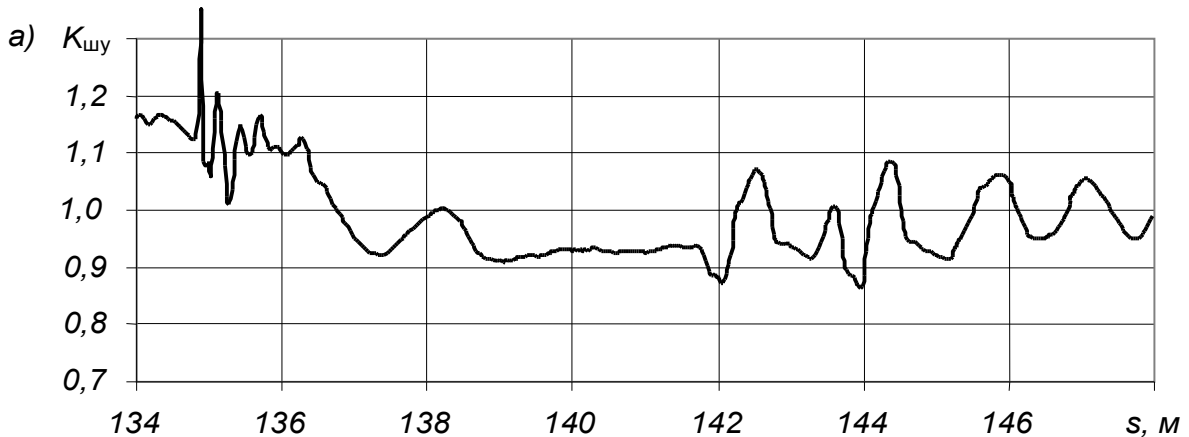


Рис. 4.18. Графіки зміни допустимого тиску шин уповільнювача на колесо: *а* – одновагонний відчеп; *б* – багатовагонний відчеп

На рис. 4.18, *б* представлено графік зміни допустимого тиску шин уповільнювача на колесо десятивагонного відчепа, що складається з вагона легкої вагової категорії, порожнього вагона та ще восьми вагонів важкої вагової категорії. Коливання кузова вагона та динамічна взаємодія вагонів у відчепі призводить до обезвантаження його візків та, в несприятливих умовах, можуть викликати необхідність зменшення тиску шин уповільнювача на колесо на 25%.

4.6. Висновки по розділу 4

1. Величини сил, які діють при вільному скочуванні відчепів в умовах знаходження колії в межах встановлених нормативів, або у третьому та четвертому ступені несправності, недостатньо для того, щоб спричинити втрату стійкості вагона. Втрата стійкості вагонів на сортувальних гірках можлива лише під час їх гальмування гальмовими уповільнювачами. Причиною втрати стійкості вагонів може бути викочування коліс на рейку чи шину уповільнювача під час гальмування.

2. В якості показників для оцінки безпеки процесу регульованого скочування відчепів на сортувальних гірках можуть використовуватись коефіцієнти стійкості вагона від вкочування колеса на рейку та на уповільнювач. В дисертації розроблено методи оцінки вказаних коефіцієнтів на підставі математичного моделювання скочування відчепів з гірки.

3. Встановлено, що сили, які діють на сортувальних гірках, можуть призводити до втрати стійкості лише вагонів легкої вагової категорії. Неприятливі погодні умови, технічний стан залізничної колії, взаємне розташування елементів плану колійного розвитку та вагонів у відчепі можуть вимагати обмеження сили тиску шин уповільнювачів на колеса до 25% по відношенню до діючих нормативів. Вказані обмеження повинні бути враховані в автоматизованих системах керування процесом розформування составів на сортувальних гірках.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ В УМОВАХ ДІЇ ВИПАДКОВИХ ФАКТОРІВ

В сучасних мовах оцінка конструкції сортувальних гірок та умов їх експлуатації виконується в основному на підставі скочування розрахункової групи відчепів при відомих їх параметрах та відомих умовах зовнішнього середовища. Наведена методика застосовується на етапі проектування і дозволяє перевіряти роботоспроможність гірок, але, через прийняті спрощення, не дозволяє оцінювати їх техніко-експлуатаційні показники і використовувати її при розв'язанні експлуатаційних задач. Вирішення цих задач повинно ґрунтуватися на детальному врахуванні умов роботи сортувальних гірок, а особливо систем їх управління.

5.1. Опір руху вантажних вагонів

Під час скочування відчепа на нього діють сили опору руху різної природи: основний опір, опір стрілок та кривих, опір середовища та вітру. Величини наведених опорів носять випадковий характер, і при розв'язанні задач проектування сортувальних гірок для розрахунків використовують або їх математичні очікування, або граничні значення. Моделі для техніко-експлуатаційної оцінки сортувальних гірок повинні враховувати стохастичний характер моделюємої системи, для чого необхідне адекватне моделювання випадкових величин опору руху.

5.1.1. Основний опір руху вантажних вагонів. Основний опір руху є результатом дії ряду факторів: тертя осей колісних пар у буксах, тертя кочення між колесами вагона та рейками, удари коліс на стиках, нерівномірності зносу бандажів, перекоосу осей та ін.

При імітаційному моделюванні процесу розформування составів випадкове значення основного питомого опору руху одиночного вагона згідно з [159] визначається за виразом (1.3).

5.1.2. Опір руху вантажних вагонів від стрілок та кривих. Додатковий опір від кривих та стрілочних переводів виникає через підвищене тертя коліс об рейки під час вписування в криві, ударів об гостряки та у хрестовинах.

В детермінованих моделях робота сил опору руху від стрілок та кривих визначається за формулою (1.4). При імітаційному моделюванні, відповідно до [159], робота сил опору руху від стрілок та кривих в межах скочування відчепа може розглядатись як випадкова величина та визначатись за допомогою виразу (1.5).

Враховуючи структуру моделі скочування відчепа та рівняння руху (1.7) при імітаційному моделюванні використовується значення питомого опору стрілок та кривих, що визначається за допомогою виразу

$$w_{\text{ск}}(v) = v^2 \sum_{j=1}^{m_{\text{отц}}} q_{\text{в}j} \sum_{i=\alpha_j}^{\omega_j} \frac{C_{\text{ск}i}}{l_{\text{ск}i}},$$

де $m_{\text{отц}}$ – кількість вагонів у відчепі;

$q_{\text{в}j}$ – вага відчепа, т;

$l_{\text{ск}i}$ – довжина ділянки дії опору стрілок та кривих, м.

При цьому випадкове значення $C_{\text{ск}i}$ для окремої стрілки чи кривої визначається за формулою [85]:

$$C_{\text{ск}i} = -\frac{0,56\theta + 0,23\varphi_n}{8} \ln \prod_{k=1}^8 R_k,$$

де θ_n – тип n -го елемента ($\theta_n=0$ – крива; $\theta_n=1$ – стрілка);

φ_n – кут повороту кривої n -го елемента, град;

5.1.3. Опір руху вантажних вагонів від середовища та вітру. Суттєвим фактором, що впливає на процес скочування відчепа з сортувальної гірки, є опір повітряного середовища та вітру. При розрахунках висоти сортувальної гірки опір середовища та вітру визначається згідно з [159] за формулою (1.6). В той же час, на відміну від основного опору руху та опору стрілок і кривих, в [159] відсутня методика моделювання опору середовища та вітру як випадкової величини. Детальні

дослідження вітру, в тому числі і як випадкового процесу, виконано в галузі будівництва [45, 118]. Результати цих досліджень можуть бути використані і для аналізу гіркових процесів.

Утворення вітру викликається нерівномірністю нагріву поверхні землі. Важливою властивістю атмосферного повітря є його в'язкість, тобто властивість будь-якого газу опиратися зусиллям зсуву, які виникають при переміщенні повітряних мас. У вільному потоці в'язкість повітряних мас практично не проявляється. Лише під час руху вітрового потоку поруч з поверхнями твердих тіл (будівель, споруд, рухомого складу) та поверхнею землі в'язкість грає визначальну роль в утворенні полів аеродинамічних сил. Стан атмосфери характеризується її густотою – важливим параметром, який визначає силовий вплив атмосфери на будь яку перешкоду. Для стандартної атмосфери густина складає $1,225 \text{ кг/м}^3$. Практично густина повітря відрізняється від наведеного значення і залежить від температури та висоти над рівнем моря.

Традиційно, в тому числі і при розрахунку висоти сортувальної гірки та перевірці її профілю, для врахування впливу вітру застосовується статичний метод, в якому використовується усереднене значення швидкості вітру [159]. На рис. 5.1 наведено графік зміни швидкості вітру, яка визначалась термомоанемометром ST-618 №02 (свідоцтво про державну метрологічну атестацію №22-157 від 12.02.2009 р) на парній сортувальній гірці станції Нижньодніпровськ-Вузол протягом одного розпуску.

Спеціальні дослідження вітру у приземних шарах атмосфери та питання, що пов'язані з усередненням швидкості вітру розглянуті в роботі [45]. Результати, що отримані в цій роботі свідчать про необхідність врахування реальної швидкості вітру. Тому для адекватного врахування вітрового навантаження при моделюванні скочування вагонів необхідна розробка методів моделювання в яких вітер розглядається як динамічний процес.



Рис. 5.1. Графік зміни швидкості вітру протягом розпуску

При динамічному розрахунку в якості основних припущень приймається, що вітрове навантаження складається із статичної та пульсуючої складової. Одним з основних факторів, що визначає вплив приземних шарів атмосфери на відчепи, що скочуються з гірки є пориви вітру, тобто різке, короткочасне збільшення швидкості вітру. Результати досліджень, що наведені в [45] свідчать про те, що у приземному шарі атмосфери повітряна течія характеризується високими рівнями турбулентності. При цьому відношення миттєвого значення швидкості вітру до середньої швидкості вітру має закон, що відрізняється від нормального. У зв'язку з цим, згідно з [45] швидкість вітру визначається як

$$v_B = \gamma_B \bar{v}_B,$$

де \bar{v}_B – середня швидкість вітру;

γ_B – випадкова величина відношення реальної швидкості вітру до середньої, що має функцію щільності розподілу

$$p(\gamma_B) = \frac{1}{\sigma_\gamma \sqrt{2\pi}} \left(e^{-\frac{(\gamma_B-1)^2}{2\varepsilon^2}} + e^{-\frac{(\gamma_B+1)^2}{2\varepsilon^2}} \right),$$

де σ_γ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини γ_B ;

ε – рівень турбулентності вітрового потоку.

5.1.4. Гальмовий опір руху вантажних вагонів. Процес скочування відчепів з гірки є керованим. При цьому на сортувальних гірках України це досягається за рахунок використання гальмових засобів (уповільнювачів чи гальмових башмаків). В існуючих методиках математичного опису процесу скочування відчепа цю дію прийнято враховувати через величину діючого на відчеп питомого гальмового опору:

$$b_{\Gamma} = \frac{B_{\Gamma}}{Q}, \text{ (кгс/тс)},$$

де B_{Γ} – повна величина діючої на відчеп гальмової сили, тс;

При цьому проблемою є визначення величини B_{Γ} (відповідно, і b_{Γ}), що залежить від великої кількості факторів: сили тиску шин уповільнювача на колеса вагона, розмірів коліс вагонів та шин уповільнювачів, коефіцієнта тертя коліс об шини (4.5); характер дії цих факторів в даний час повністю не вивчений та не формалізований. У зв'язку з цим, при виконанні науково-технічних розрахунків в дослідження процесів розформування составів [130, 126] величина b_{Γ} визначається опосередкованим шляхом – з використанням енергетичної висоти (h_{Γ} , м ен. в.), що погашається на гальмовій позиції, та визначається як

$$b_{\Gamma} = \frac{h_{\Gamma}}{l_{\text{р.гп}}} 10^3, \text{ (кгс/тс)}, \quad (5.1)$$

де $l_{\text{р.гп}}$ – робоча довжина гальмової позиції, м.

Суттєвим фактором, що впливає на величину енергетичної висоти, що погашається уповільнювачем є робота системи його управління при реалізації заданої швидкості виходу відчепа. Згідно з [205] відхилення фактичної швидкості виходу відчепа $v_{\text{ф}}$ від заданої $v_{\text{з}}$ (похибка реалізації заданої швидкості виходу) має нормальний розподіл. Натурні експерименти з уповільнювачами на сортувальній станції Ясинувата Донецької залізниці [87] показали, що гальмова потужність уповільнювача є також випадковою величиною, що розподілена за нормальним законом. У зв'язку з цим використовується наступна методика визначення питомого гальмового опору. На першому етапі

визначається потрібна швидкість виходу відчепа з гальмової позиції $v_{пу}$ та гальмова потужність уповільнювача $H_{пу}$:

$$v_{пу} = v_3 + \sigma_v z,$$

$$h_{пу} = \frac{Q_{вп} (\bar{H}_r + \sigma_h z)}{Q},$$

де \bar{H}_r - математичне очікування випадкової величини гальмової потужності уповільнювача для розрахункового повновагового вагона;

$Q_{вп}$ – маса розрахункового повновагового вагона;

σ_v, σ_h – середнє квадратичне відхилення відповідно похибки реалізації заданої швидкості виходу відчепа з гальмової позиції та її гальмової потужності;

z – нормально розподілене випадкове число.

Визначення опору руху здійснюється за наступним алгоритмом.

Крок 1. Здійснюється скочування відчепа без гальмування $w_r=0$ та визначається відповідна швидкість виходу з гальмової позиції $v_{вв}$. Якщо $v_{вв} < v_{пу}$, то кінець алгоритму.

Крок 2. Здійснюється скочування відчепа при гальмуванні повною гальмовою потужністю $h_{пу}$. Питомий гальмовий опір визначається за виразом (5.1). Якщо $v_{вв} > v_{пу}$, то кінець алгоритму.

Крок 3. Здійснюється ітеративний пошук такої величини w_r , що забезпечує потрібну швидкість виходу відчепа з гальмової позиції. Для коригування режиму гальмування після чергової ітерації визначається величина залишкової енергетичної висоти Δh , яку потрібно додатково погасити на гальмовій позиції на наступній ітерації:

$$\Delta h = \frac{v_{вв}^2 - v_{пу}^2}{2g'}.$$

При цьому питомий гальмовий опір визначається за виразом (5.1). Якщо $v_{вв} = v_{пу}$, то кінець алгоритму, інакше перейти до кроку 3.

5.2. Модель скочування відчепа з гірки, що враховує стохастичний характер гіркових процесів

Модель скочування відчепа з гірки містить модель відчепа, модель сортувальної гірки, модель пересування відчепів та інформаційну модель.

5.2.1. Модель відчепа. Модель відчепа являє собою сукупність відомостей, що необхідні для імітації регульованого скочування при прийнятому способі описання руху відчепа та моделі сортувальної гірки. Відповідно до досліджень, виконаних у п. 3.6, динамічна взаємодія вагонів у відчепі несуттєво впливає на умови заняття і звільнення ним елементів сортувальної гірки. У зв'язку з цим в якості моделі відчепа прийнята осьова модель [23, 16, 130] в якій відчеп розглядається як недеформуємий гнучкий стержень. В пам'яті ЕОМ відчеп представляється структурою

$$c_o = \{V_o, v_{vo}, x_o, p_\Gamma, l_{\text{прц}}\},$$

де V_o – вагони відчепа;

v_{vo} – поточна швидкість відчепа;

x_o – координата першої осі відчепа;

p_Γ – колія призначення відчепа;

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

Параметри кожного вагону $v_{o,n} \in V_o$, $n = \overline{1, N}$ в моделі відчепа представлені структурою

$$v_{o,n} = \{A, q_{\text{вг}}, w_0, K_{\text{св}}\}.$$

Параметризація моделі відчепа здійснюється на основі шаблону відчепа, який представляється структурою

$$c_{\text{ош}} = \{V_{\text{ош}}\},$$

де кожен шаблон вагона $v_{\text{ош}} \in V_{\text{ош}}$ описується структурою

$$v_{\text{ош},n} = \{t_{\text{вг}}, b_{\text{вг}}\},$$

де $b_{\text{вг}}$ – вагова категорія вагона.

Вектор міжосьових відстаней \mathbf{A} та коефіцієнт K_{CB} визначається на підставі типу вагона. Маса та основний питомий опір вагона визначається на підставі вагової категорії відчепа. Відповідно до досліджень виконаних в [85] в межах вагових категорій Л, ЛС, С та СТ випадкова величина q_{BG} розподілена за рівномірним законом і моделюється як

$$q_{BG,n} = q_{BKM}(b_{BG}) + R_j(q_{BK\bar{O}}(b_{BG}) - q_{BKM}(b_{BG})),$$

де $q_{BK\bar{O}}(b_{BG})$, $q_{BKM}(b_{BG})$ – максимальна та мінімальна маса відчепа у ваговій категорії b_{BG} .

Маса вагона важкої вагової категорії визначається за виразом

$$q_{BG,n} = q_T + q_{BP} - \bar{\varepsilon} \ln R_j,$$

де q_T , q_{BP} – відповідно, маса тари та вантажопідйомність вагона, т;
 $\bar{\varepsilon}$ – математичне очікування величини недовантаження вагона, т;
 R_j – випадкове число, що рівномірно розподілене в інтервалі (0, 1).

Основний питомий опір відчепа моделюється за допомогою виразу (1.3).

5.2.2. Модель сортувальної гірки. Модель гірки містить дані про план, поздовжній профіль, розділові стрілки, уповільнювачі та сортувальні колії, що дозволяє моделювати керований рух відчепа з використанням чисельних методів рішення диференціальних рівнянь. Топологічна структура гіркової горловини може бути представлена у вигляді бінарного дерева $G_T = (V_T, E_T)$ з коренем $r \in V_T$. Вершинами дерева є характерні елементи гіркової горловини: вершина гірки V_{TH} , точки початку і закінчення стрілочних переводів V_S , точки початку і закінчення кругових кривих у плані V_C , точки початку і закінчення гальмових уповільнювачів V_R , ізольовані стики стрілочних переводів V_{IS} та гальмових уповільнювачів V_{IR} , точки перелому поздовжнього профілю V_P , кінці колій V_E .

Дуги дерева $e_T = (v_T, u_T)$ відповідають ділянкам колії між вершинами. Структура дерева G_T представляється списками інцидентності, коли кожній вершині v_T у відповідність поставлено список вершин u_T таких, що $v_T \rightarrow u_T$.

При цьому для стрілочних переводів ($\deg(v_i)=2$ при $v_i \in V_S$) вказуються вершини, що відповідають продовженню його лівої та правої колії; для кінців колій вершин ($\deg(v_i)=0$ при $v_i \in V_E$) інцидентні вершини відсутні; для інших вершин ($\deg(v_i)<1$ при $v_i \notin V_S$ та $v_i \notin V_E$) вказується вершина, що знаходиться справа від даної.

Кожній вершині у відповідність поставлено тип t_Γ і довжину ділянки $l_{дг}$, а також вектор технічних параметрів \mathbf{X}_Γ , що залежать від типу вершини.

Для вершин $v_i \in V_S$ (початки та кінці стрілочних переводів) повинні бути задані номер $n_{гс}$ та марка стрілочного переводу $\tau_{гс}$: $\mathbf{X}_\Gamma^S = \{n_{гс}, \tau_{гс}\}$.

Для вершин $v_i \in V_C$ (початки і кінці кругових кривих у плані) повинен бути заданий радіус повороту, при цьому $R_\Gamma > 0$ відповідає повороту кривої вправо, $R_\Gamma < 0$ відповідає повороту кривої вліво, $R_\Gamma = 0$ відповідає закінченню кривої: $\mathbf{X}_\Gamma^C = \{R_\Gamma\}$.

Для вершин $v_i \in V_R$ (початки і кінці гальмових уповільнювачів) повинні бути задані номер $n_{гг}$ і тип уповільнювача $\tau_{гг}$, номер гальмової позиції $n_{гп}$: $\mathbf{X}_\Gamma^R = \{n_{гг}, \tau_{гг}, n_{гп}\}$.

Для вершин $v_i \in V_{IS}$ (ізолювані стики стрілочних переводів) та $v_i \in V_{IR}$ (ізолювані стики гальмових уповільнювачів) повинні бути задані номер стрілочного переводу $n_{гс}$ чи уповільнювача $n_{гг}$ та довжина ізолюваної ділянки $l_{ід}$. V_{IR} : $\mathbf{X}_\Gamma^{IS} = \{n_{гс}, l_{ід}\}$, $\mathbf{X}_\Gamma^{IR} = \{n_{гг}, l_{ід}\}$.

Для вершин $v_i \in V_R$ (точка перелому поздовжнього профілю) повинні бути задані ухил елемента після даної вершини та i_Γ та радіус вертикальної кривої $R_{вг}$: $\mathbf{X}_\Gamma^P = \{i_\Gamma, R_{вг}\}$.

Для вершин $v_i \in V_E$ (кінці колій) повинен бути заданий номер колії $n_{гк}$: $\mathbf{X}_\Gamma^E = \{n_{гк}\}$.

Для скочування відчепа на підставі даних моделі сортувальної гірки G здійснюється побудова моделі маршруту скочування $\mathbf{A}_{гк}$. Модель маршруту

скочування представляється множиною прямолінійних та криволінійних ділянок

$$a_{Гk} = \{l_k, \theta_{П}, R_k, \bar{K}_{СК}, K_{СК}, b_{Г}, n_{ГП}\}, a_{Гk} \in \mathbf{A}_{Г}, k = \overline{1, s_{Г}},$$

де $K_{СК}$ – коефіцієнт опору стрілок та кривих на ділянці,

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

У відповідність гальмовим позиціям ставляться типи уповільнювачів $\tau_{Гу}$, що входять до їх складу, задана швидкість виходу відчепа з гальмової позиції v_3 та середнє квадратичне відхилення швидкості виходу відчепа від заданої σ_v . Визначення гальмового опору ділянки $b_{Г}$ здійснюється за методикою, представленою у п. 5.1.4, при цьому математичне очікування гальмової потужності уповільнювачів гальмових позицій $\bar{H}_{Г}$ та її середнє квадратичне відхилення обирається згідно з типом уповільнювача $\tau_{Гу}$.

Модель сортувальної гірки містить також інформацію, необхідну для моделювання опору руху відчепа від середовища та вітру: температура навколишнього середовища $t_{нс}$, математичне очікування та середнє квадратичне відхилення швидкості вітру, відповідно \bar{v}_B та σ_{vB} , математичне очікування та середнє квадратичне відхилення напрямку вітру, відповідно $\bar{\alpha}_B$ та $\sigma_{\alpha B}$.

5.2.3. Моделювання скочування відчепів. З метою моделювання руху відчепів на попередньому етапі здійснюється пошук кореня дерева G , яким являється вершина v_k така, що не існує іншої вершини $v_i \rightarrow v_k$. Далі здійснюється обхід дерева G з метою побудови маршруту від його кореня v_k до кінця колії такого, що $n_{ГK}(v_i) = p_{Г}$, який відповідає маршруту скочування відчепа. Перед кожним скочуванням здійснюється параметризація відчепа, та моделі маршруту скочування згідно з заданими параметрами розподілу випадкових величин.

Рух відчепа представляється диференціальним рівнянням, незалежною змінною в якому є шлях (1.7).

5.3. Програмна реалізація моделі скочування одиночних відчепів в умовах невизначеності інформації про їх ходові характеристики та умови скочування

Розроблена модель реалізована в вигляді програми «Скатывание одиночного отцепа «VS» [19].

Вихідними даними для імітаційного моделювання скочування відчепа є файл з описанням моделі сортувальної гірки та файли з описанням моделей відчепів. Формальна структура файлу моделі сортувальної гірки дозволяє здійснювати його автоматизоване формування за допомогою програмних засобів автоматизованого проектування планів сортувальних гірок [17]. Головне вікно програми з кривими швидкості та часу скочування десяти відчепів важкої вагової категорії представлено на рис 5.2.

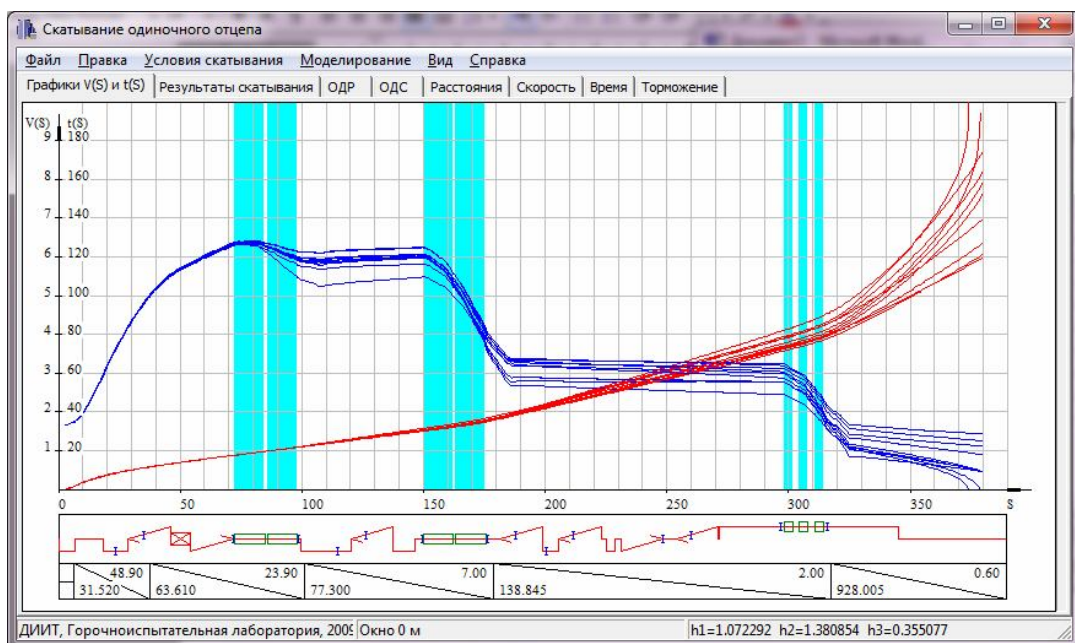


Рис. 5.2. Головне вікно програми моделювання скочування одиночного відчепа з графіками часу та швидкості

Результатами моделювання є протокол швидкості скочування відчепів в контрольних точках по маршруту (див. рис. 5.3) та протокол заняття і звільнення відчепом контрольних точок по маршруту скочування (див. рис. 5.4).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	OTR	C1<	C1>	T1<	Ç1>	T1>	C2<	C2>	T2<	Ç2>	C3<	T2>	C3>	C4<	C4>	C5<	C5>	T3<	Ç3>	T3>	PRC	
2	1,7	3,63	5,53	6,38	6,05	5,89	5,95	6,01	6,06	4,18	3,73	2,91	2,91	2,91	2,88	2,85	2,83	2,8	2,03	1,05	0,49	
3	1,7	3,65	5,54	6,4	6,01	5,82	5,88	5,96	6,01	4,1	3,65	2,8	2,82	2,82	2,81	2,81	2,81	2,8	1,99	0,88	0,48	
4	1,7	3,63	5,52	6,37	6,08	5,94	5,99	6,05	6,09	4,35	3,94	3,22	3,21	3,21	3,16	3,11	3,08	3,02	2,18	1,1	0,46	
5	1,7	3,61	5,5	6,34	6,04	5,9	5,95	6	6,04	4,07	3,6	2,7	2,69	2,69	2,63	2,58	2,54	2,47	1,84	1,07	0	
6	1,7	3,64	5,53	6,39	6,22	6,14	6,19	6,25	6,28	4,46	4,04	3,28	3,28	3,28	3,24	3,21	3,19	3,15	2,37	1,45	1,14	
7	1,7	3,63	5,53	6,38	6,21	6,13	6,18	6,23	6,27	4,51	4,11	3,4	3,39	3,39	3,35	3,31	3,28	3,22	2,46	1,59	1,28	
8	1,7	3,62	5,51	6,35	6,09	5,97	6,02	6,07	6,11	4,41	4,02	3,33	3,32	3,31	3,25	3,19	3,14	3,06	2,23	1,18	0,48	
9	1,7	3,63	5,52	6,38	6,02	5,86	5,91	5,98	6,02	4,16	3,72	2,91	2,91	2,91	2,88	2,85	2,83	2,79	2,12	1,35	0,92	
10	1,7	3,65	5,55	6,4	5,65	5,26	5,33	5,44	5,51	4,17	3,87	3,37	3,37	3,37	3,34	3,32	3,3	3,26	2,52	1,69	1,46	
11	1,7	3,6	5,49	6,32	5,91	5,7	5,76	5,81	5,85	4,24	3,87	3,22	3,2	3,19	3,12	3,05	2,99	2,9	2,12	1,13	0	
12																						

Рис. 5.3. Протокол швидкості скокування відчепів в контрольних точках

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	OTR	C1<	C1>	T1<	Ç1>	T1>	C2<	C2>	T2<	Ç2>	C3<	T2>	C3>	C4<	C4>	C5<	C5>	T3<	Ç3>	T3>	PRC
2	0	8,93	13,6	18,2	21,8	24,1	25,1	28,8	30,9	35,3	36,2	39,2	43,3	44	51,6	60,8	68,5	78,4	84,1	92,5	165
3	0	8,98	13,7	18,2	21,8	24,1	25,2	28,8	31	35,4	36,3	39,5	43,7	44,5	52,2	61,6	69,4	79,3	85	94,1	175
4	0	8,91	13,6	18,1	21,8	24	25,1	28,7	30,9	35,1	36	38,8	42,5	43,1	50	58,4	65,5	74,6	79,9	87,8	159
5	0	8,86	13,6	18,1	21,8	24,1	25,1	28,8	30,9	35,3	36,2	39,5	43,9	44,7	52,9	63	71,5	82,7	89,1	97,9	228
6	0	8,95	13,7	18,2	21,8	24	24,9	28,5	30,6	34,7	35,5	38,3	41,9	42,5	49,3	57,4	64,2	73	78	84,8	128
7	0	8,95	13,7	18,2	21,8	24	25	28,5	30,6	34,7	35,5	38,2	41,7	42,4	48,9	56,8	63,4	72	76,9	83,2	122
8	0	8,88	13,6	18,1	21,8	24	25	28,7	30,8	35,1	35,9	38,7	42,2	42,8	49,5	57,7	64,6	73,6	78,8	86,4	153
9	0	8,92	13,6	18,2	21,8	24,1	25,1	28,8	31	35,4	36,2	39,3	43,4	44,1	51,7	60,9	68,6	78,5	84,1	91,5	140
10	0	8,98	13,7	18,2	21,9	24,4	25,6	29,6	32	36,6	37,5	40,3	43,8	44,4	51	58,9	65,5	74	78,8	84,8	120
11	0	8,86	13,6	18,2	21,9	24,2	25,3	29	31,3	35,7	36,6	39,4	43,1	43,8	50,7	59,2	66,5	76	81,4	89,4	195
12																					

Рис. 5.4. Протокол заняття і звільнення відчепом контрольних точок по маршруту

Також результатами скокування є протокол роботи гальмових позицій та показників прицільного регулювання швидкості скокування відчепів (див. рис. 5.5).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	H1	V1	H2	V2	H3	V3	Lok	Vпрс
2	1,015	5,892	1,623	2,908	0,345	1,047		0,49
3	1,081	5,821	1,634	2,803	0,371	0,882		0,484
4	0,972	5,938	1,537	3,223	0,4	1,1		0,462
5	0,966	5,9	1,656	2,702	0,246	1,067	5	
6	0,87	6,136	1,65	3,284	0,4	1,452		1,136
7	0,865	6,125	1,598	3,397	0,4	1,593		1,278
8	0,939	5,966	1,505	3,332	0,4	1,184		0,48
9	1,033	5,856	1,598	2,911	0,302	1,352		0,923
10	1,409	5,263	1,157	3,368	0,4	1,693		1,459
11	1,072	5,704	1,381	3,22	0,355	1,128	0	
12								

Рис. 5.5. Протокол роботи гальмових позицій та показників прицільного регулювання швидкості скочування відчепів

Приклад протоколів моделювання скочування одновагонного відчепа важкої вагової категорії на відстань 600 м від вершини гірки з заданими швидкостями виходу з гальмових позицій, відповідно 6, 4 та 2 м/с представлено у Додатку Д.

5.4. Дослідження впливу випадкових параметрів відчепів на час та швидкість їх руху в межах гіркової горловини

Зважаючи на те, що більшість характеристик відчепів та умов скочування є випадковими величинами, швидкість $v(s)$ та час $t(s)$ руху відчепів є також випадковими величинами [73, 85].

Для дослідження впливу випадкових параметрів відчепів на час та швидкість регульованого скочування відчепів використано програмний комплекс «Скатывание одиночного отцепя «VS». Результатами моделювання є сімейство залежностей швидкості $v(s)$ та часу $t(s)$ скочування відчепа. Приклад таких залежностей представлено на рис. 5.6.

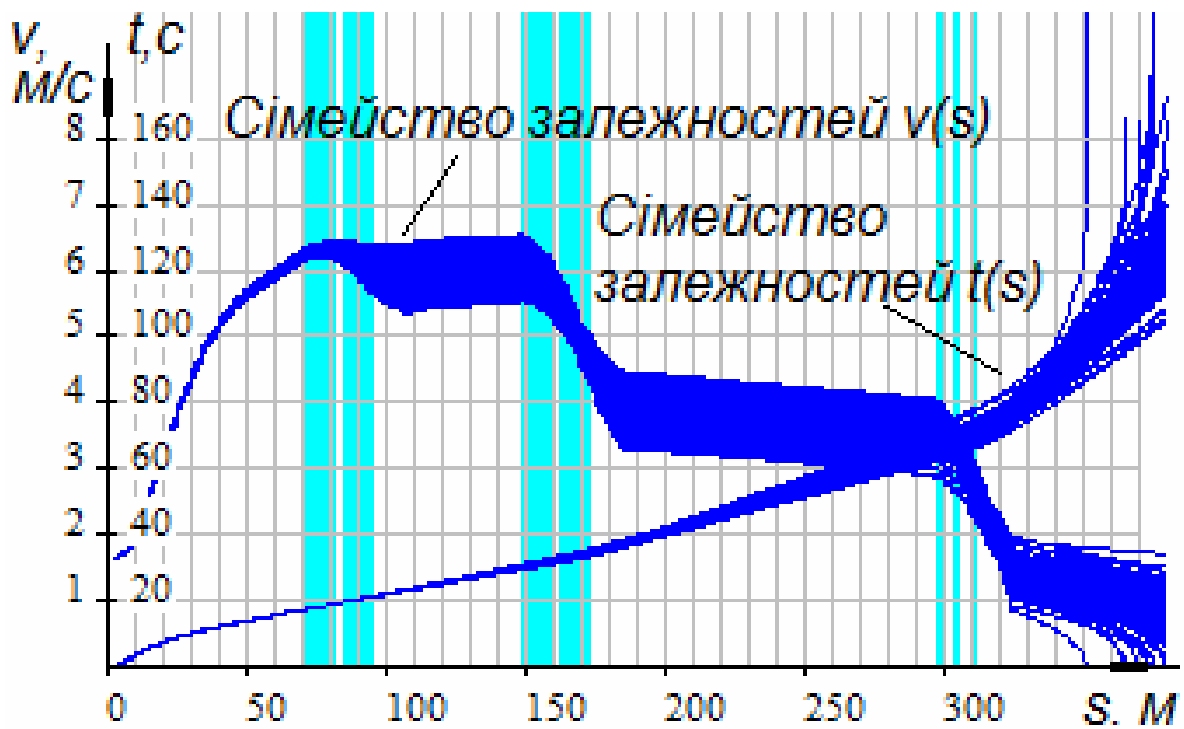


Рис. 5.6. Статистичне моделювання регульованого скочування відчепа

Обробка результатів скочування для деякої координати s дозволяє визначити параметри розподілу випадкових величин часу входу та виходу відчепів на розділові елементи, швидкості входу відчепів в уповільнювачі та їх підходу до вагонів на сортувальних коліях і т.п.

Для визначення залежності середнього квадратичного відхилення часу скочування відчепа σ , від різних факторів виконані імітаційні експерименти з моделлю сортувальної гірки.

Приклад гістограм функцій щільності розподілу швидкості та часу скочування представлено на рис. 5.7 а та б, відповідно. При цьому статистична обробка результатів розрахункових експериментів показала, що випадкова величина швидкості скочування відчепа має нормальний, а часу скочування – логарифмічно-нормальний розподіл.

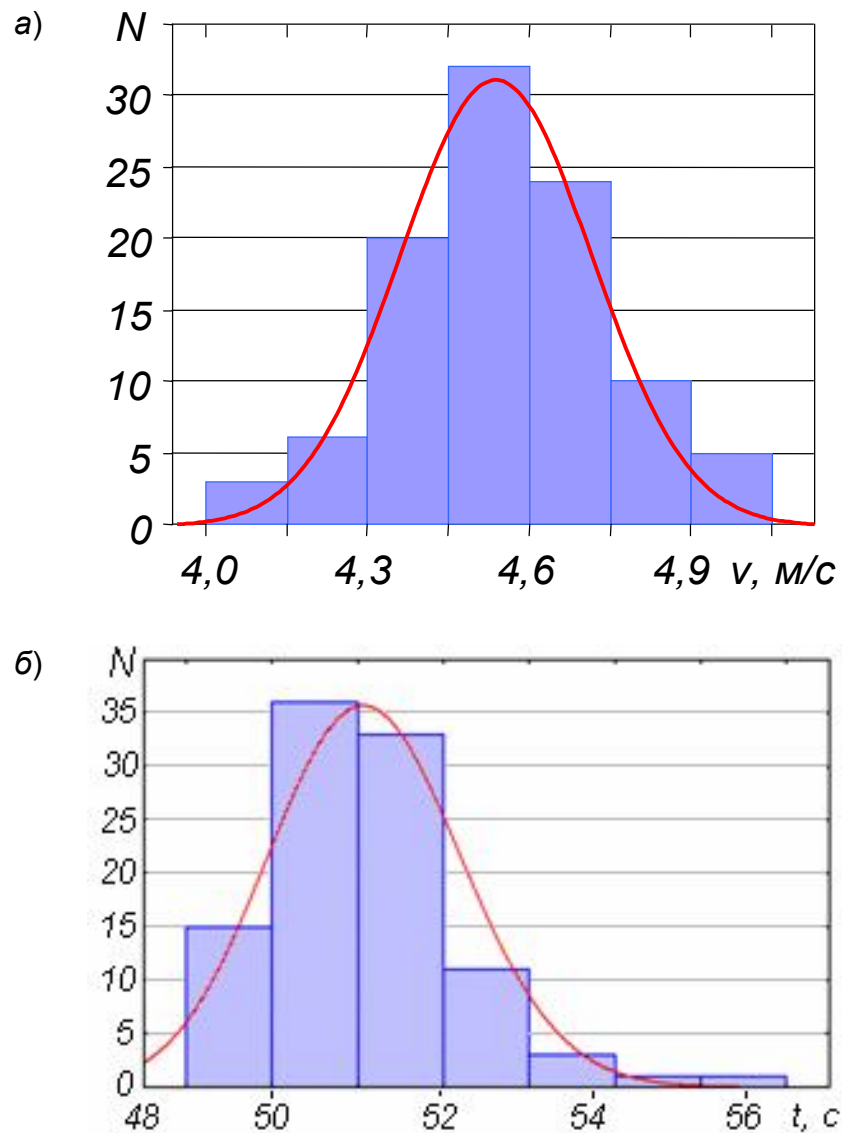


Рис. 5.7. Гістограми та функції щільності розподілу випадкових величин швидкості і часу скокування в момент входу відчепа на 5-ту розділову стрілку: а) швидкості скокування; б) часу скокування

Одним із основних факторів, що впливає на середнє квадратичне відхилення випадкової величини часу скокування відчепа до деякої точки на маршруті є відстань нерегульованого скокування. На рис. 5.8, а представлено залежності σ_t для різних відстаней скокування відчепів. Аналіз цих залежностей показує, що вони мають суттєво нелінійний характер.

При близькій до постійної швидкості руху відчепа по стрілочній зоні (що є справедливим для вагонів важкої вагової категорії) похибка визначення швидкості руху може бути розрахована за формулою

$$\Delta t = \frac{S}{v_{ТП}} - \frac{S}{v_{ТП} + \Delta v_{ТП}} = \frac{S \Delta v_{ТП}}{v_{ТП}^2 - v_{ТП} \Delta v_{ТП}},$$

де S – відстань від точки виходу відчепа з гальмової позиції до точки за-
няття (звільнення) розділового елемента;

$V_{ТП}$ – задана швидкість виходу відчепа з гальмової позиції;

$\Delta V_{ТП}$ – різниця між фактичною та заданою швидкістю виходу відчепа з
гальмової позиції.

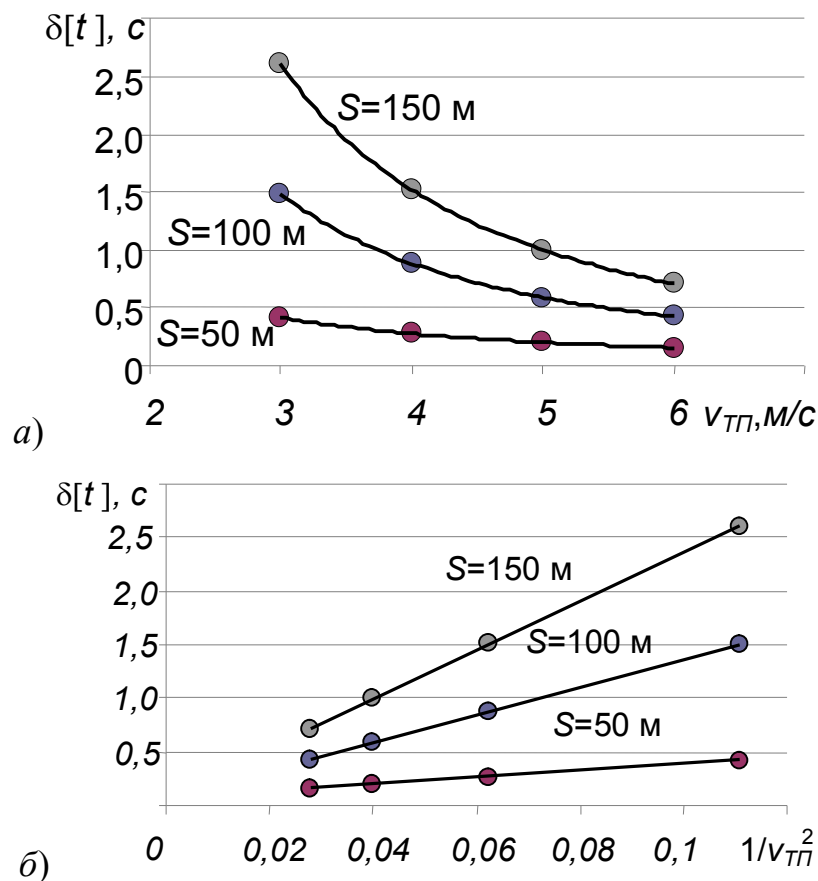


Рис. 5.8. Залежності середнього квадратичного відхилення часу скочу-
вання відчепа від заданої швидкості його виходу з гальмової позиції: a -
 $\sigma_t = f(v_{ТП})$, b - $\sigma_t = f(1/v_{ТП}^2)$

Аналіз отриманого виразу показує, що у випадках, коли швидкість ви-
ходу відчепа з гальмової позиції суттєво перевищує похибку її реалізації, по-
хибка визначення часу руху відчепа по стрілочній зоні прямо пропорційна
величинам S та $\Delta V_{ТП}$ і обернено пропорційна квадрату величини $V_{ТП}$. У цьому
зв'язку побудовано також залежності $\sigma_t = f(1/v_{ТП}^2)$, які представлені на рис.

5.8, б. Аналіз цих залежностей показує, що величина σ_t лінійно залежить від величини $1/v_{ГП}^2$.

Виконані в [76, 85] експерименти показали, що величина σ_t також залежить від вагової категорії відчепів та кількості вагонів у відчепі. У зв'язку з цим, для ідентифікації моделі $\sigma_t = f(n_{\text{від}}, q_{\text{від}}, \sigma_v, s, 1/v_{ГП}^2)$ проведена серія факторних експериментів [190] з використанням плану 2^5 . Рівні варіювання факторів представлені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Фактори та рівні їх варіювання в експериментах по ідентифікації моделі

$$\sigma_t = f(n_{\text{від}}, q_{\text{від}}, \sigma_v, s, 1/v_{ГП}^2)$$

Фактор	Нижній рівень $x=-1$	Середній рівень $x=0$	Верхній рівень $x=1$
Кількість вагонів у відчепі, x_1	1	2	3
Математичне очікування маси вагона у відчепі, x_2	25	54	83
Середнє квадратичне відхилення швидкості виходу відчепа з гальмової позиції, x_3	0,1	0,2	0,3
Відстань нерегульованого скочування, x_4	50	100	150
$1/v_{ГП}^2$, x_5	$1/6^2$	$1/3,795^2$	$1/3^2$

Після обробки результатів експериментів отримано поліном першого ступеня, що характеризує залежність між середнім квадратичним відхиленням часу руху відчепа від факторів, які на нього впливають

$$\sigma_t = 1,1 - 0,21x_1 - 0,22x_2 + 0,44x_3 + 0,79x_4 + 0,64x_5 + 0,33x_3x_4 + 0,27x_3x_5 + 0,55x_4x_5 + 0,22x_3x_4x_5.$$

Аналіз коефіцієнтів наведеного полінома показує, що основними чинниками, які впливають на середнє квадратичне відхилення часу скочування відчепа є відстань нерегульованого скочування та задана швидкість виходу відчепа з гальмової позиції. Таким чином, величина σ_t суттєво залежить від умов скочування відчепа, що повинно бути враховано при виборі режимів його гальмування.

5.5. Висновки по розділу 5

1. Існуючі методи визначення раціональних режимів гальмування базуються на моделюванні скочування розрахункових відчепів з постійними і відомими експериментатору величинами маси відчепа Q , питомого опору його руху та при точній реалізації уповільнювачами заданих швидкостей виходу відчепа з гальмових позицій $v_{ГП}$. Ці методи не дозволяють аналізувати динаміку скочування відчепів з гірки в реальних умовах, коли практично всі фактори, що впливають на умови руху, мають стохастичний характер.

2. Для дослідження процесу розпуску составів в умовах дії випадкових факторів удосконалено імітаційну модель скочування відчепа за рахунок урахування випадкового характеру величин маси відчепа, опору його руху та швидкості виходу з гальмових позицій. При цьому прийнято, що значення вказаних величин під час скочування є постійними, але невідомими експериментатору.

3. Удосконалено методи аналізу динаміки скочування відчепів з сортувальних гірок. При цьому скочування відчепів розглядається як випадковий процес і характеризується параметрами розподілу випадкової величини швидкості та часу скочування відчепів в окремих точках маршруту. Встановлено, що швидкість скочування у деякій точці маршруту являє собою випадкову величину, що розподілена за нормальним, а час – за логнормальним законом. При цьому середнє квадратичне відхилення часу скочування суттєво залежить від відстані скочування та режимів гальмування.

4. Умови розділення відчепів при однакових значеннях математичного очікування величини інтервалів можуть суттєво відрізнитись за рахунок різного значення середнього квадратичного відхилення часу скочування, і тому задача вибору режимів гальмування відчепів повинна розв'язуватись у стохастичній постановці.

РОЗДІЛ 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА УМОВИ ЇХ СКОЧУВАННЯ З СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

6.1. Проблеми вибору режимів регулювання швидкості скочування відчепів

Показники роботи сортувальної гірки суттєво залежать від вибору режимів регулювання швидкості скочування відчепів. В загальному випадку при розформуванні составів на сортувальних гірках розв'язуються дві взаємопов'язані та частково суперечливі задачі інтервального і прицільного регулювання швидкості скочування відчепів.

В сучасних умовах вибір режимів гальмування відчепів ґрунтується на вирішенні задачі оптимізації у детермінованій постановці для розрахункових відчепів та умов скочування і точною реалізацією уповільнювачами заданих режимів гальмування. Показники інтервального і прицільного регулювання швидкості скочування відчепів визначаються для отриманих режимів на моделі із випадковими характеристиками відчепів і умов їх скочування та неточної реалізації уповільнювачами обраних швидкостей виходу з гальмових позицій.

Графічне вирішення оптимізаційної задачі вибору режимів гальмування у детермінованій постановці представлено на рис. 6.1.

При цьому в якості управляючих параметрів розглядаються енергетичні висоти, що погашаються на гальмових позиціях спускної частини гірки h' та h'' , або швидкості виходу відчепів з них v' та v'' . Режим гальмування відчепа на парковій гальмовій позиції h''' (або v''') визначається з умови забезпечення вимог прицільного регулювання швидкості його скочування. Оцінка ефективності режимів гальмування здійснюється за величиною інтервала на розділових стрілках. В якості критерія оптимальності використовується критерій (1.12), що фактично являє собою критерій Вальда [206] і для розрахункової групи з трьох відчепів виглядає як.

$$\min(\delta t_1(v_2), \delta t_2(v_2)) \rightarrow \max, v_2 \in \Theta_2$$

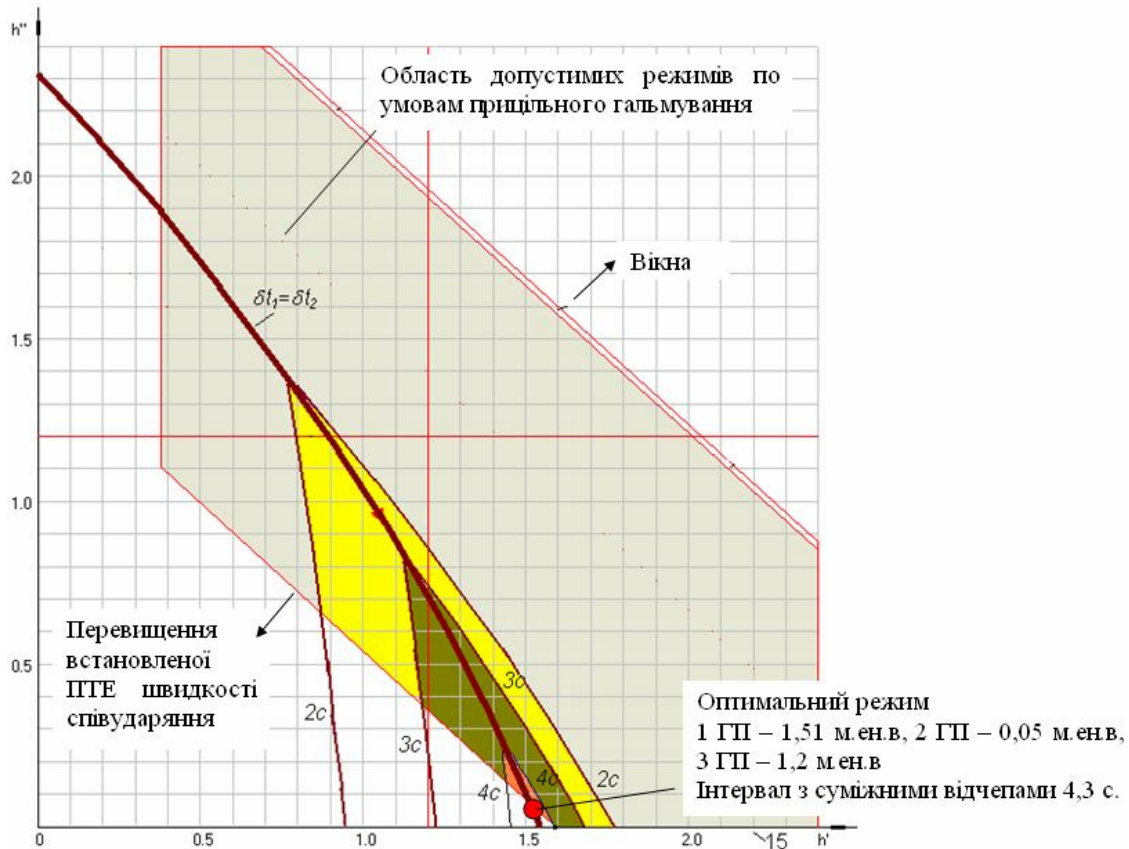


Рис. 6.1. Вибір режиму гальмування у детермінованій постановці

Допустимими режимами гальмування вважаються режими, що забезпечують вхід відчепа на уповільнювачі з допустимими швидкостями та його докочування до розрахункової точки зі швидкістю, яка встановлена ПТЕ [20]. Множина таких режимів утворює область допустимих режимів гальмування (ОДР) Θ .

Режими, що забезпечують рівну величину розділових інтервалів на стрілках у розрахункових групах утворюють лінію \overline{U} .

Оптимальному режиму гальмування середнього відчепа розрахункової групи відповідає точка перетину лінії \overline{U} з межею області Θ , або одна з вершин області Θ , якщо вона не перетинається лінією \overline{U} .

Пошук оптимального розподілу інтервалів у складі здійснюється за рахунок використання ітераційного [21], чи інших методів оптимізації на підставі багатократного розв'язання задачі оптимізації режимів у розрахункових групах.

Збільшення інтервалів у порівнянні з мінімально необхідним забезпечує створення резервів часу на розділових елементах потрібних для розділення відчепів в умовах відхилення фактичних параметрів відчепів і умов скочування від розрахункових значень та неточній реалізації гальмовими позиціями заданих режимів гальмування.

Наведена методика має ряд недоліків, що пов'язані з неврахуванням стохастичного характеру задачі при виборі оптимальних режимів гальмування.

Розрахунок параметрів ОДР показує, що через невизначеність параметрів відчепів і умов їх скочування площа ОДР або сильно зменшується (див. рис. 6.2), або взагалі відсутня (див. рис. 6.3). Практично в таких умовах отримати точне рішення задачі прицільного регулювання швидкості скочування відчепів неможливо.

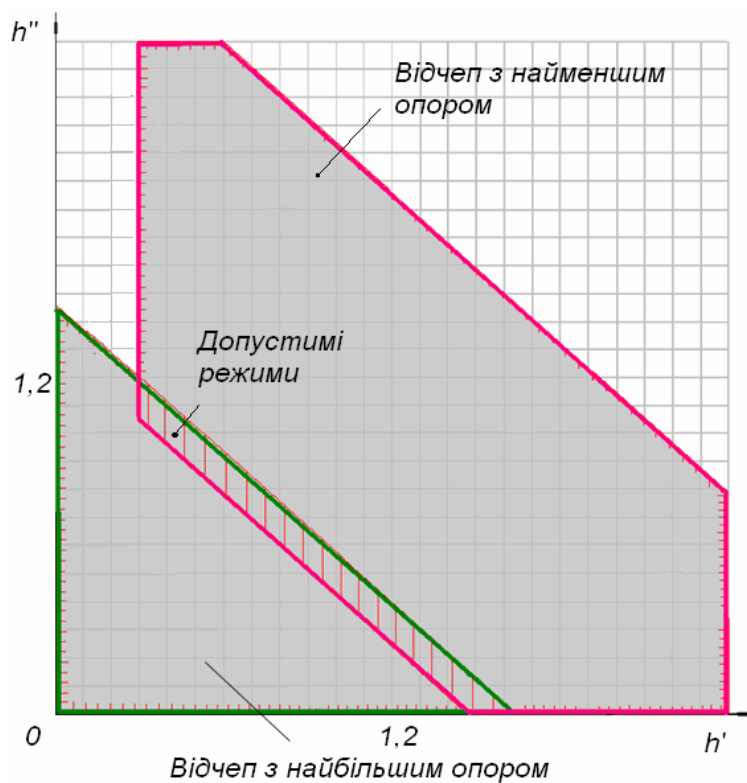


Рис. 6.2. Допустимі режими гальмування відчепу важкої вагової категорії при відсутності точної інформації про його характеристики

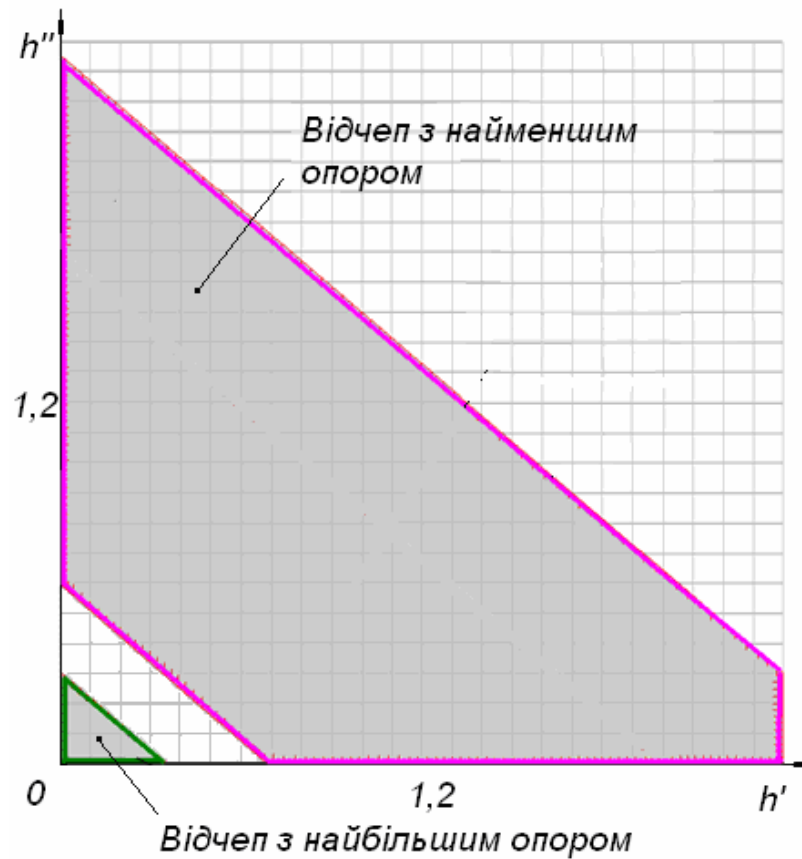


Рис. 6.3. Допустимі режими гальмування відчепів легко-середньої вагової категорії при відсутності точної інформації про його характеристики

Критерій Вальда може успішно застосовуватись в задачах аналізу конструкції плану та поздовжнього профілю гірок [10]. В той же час, при рішенні цілого ряду прикладних задач, таких як визначення переробної спроможності гірки, мінімізація енергії на розформування составів, визначення вимог до засобів автоматизації гірок, оперативне управління розпуском составів, величина інтервалів на розділових елементах розглядається як обмеження. Тобто в наведених задачах виникає необхідність оцінки величини δt_{\min} в нерівності (1.11). При відомих параметрах відчепів та точній реалізації уповільнювачами заданих режимів гальмування інтервал часу між відчепами повинен бути достатнім для спрацьовування пристроїв гіркової автоматики та переведення розділової стрілки

$$\delta t_{\min} = t_{\text{рз}}$$

Так на рис. 6.4 представлено результати моделювання скочування розрахункової групи з трьох одновагонних відчепів, у якій середній відчеп має ходові характеристики, що відповідають математичному очікуванню параметрів відчепа важкої вагової категорії. Розділовими стрілками у першій та другій парях являються, відповідно, п'ята та третя стрілки по маршруту скочування.

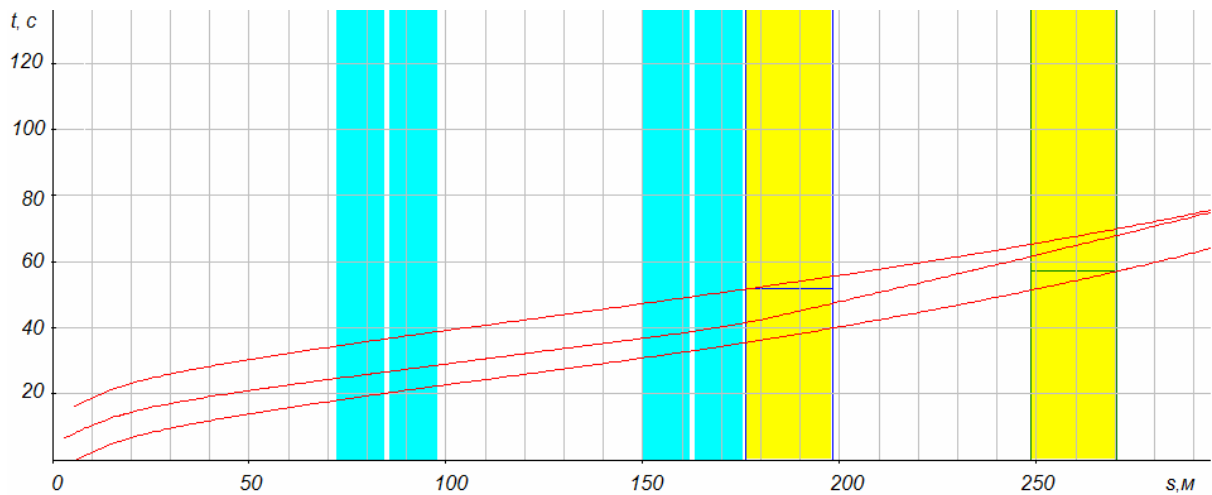


Рис. 6.4. Криві часу скочування групи з трьох відчепів з відомими ходовими характеристиками

При оптимальних за критерієм (1.12) режимах гальмування на розділових стрілках 3 та може бути досягнуто інтервали у 4,4 с.

Результати моделювання скочування розрахункової групи із трьох відчепів, коли параметри середнього відчепа обирались випадковими в межах параметрів відчепів важкої вагової категорії, представлено на рис. 6.5. В даних експериментах застосовано ті ж режими гальмування, що і у експерименті, результати якого представлено на рис. 6.4. Середнє квадратичне відхилення швидкості виходу відчепів із гальмових позицій прийнято 0,2 м/с.

Аналіз результатів моделювання показав, що у першій парі мінімальне значення інтервалу складає 3,1 с, а у другій парі – 0,4 с, і з імовірністю 0,01 величина інтервалу є меншою за 1 с. Функції щільності розподілу випадкової величини інтервалу у першій та другій парях представлено на рис. 6.6.

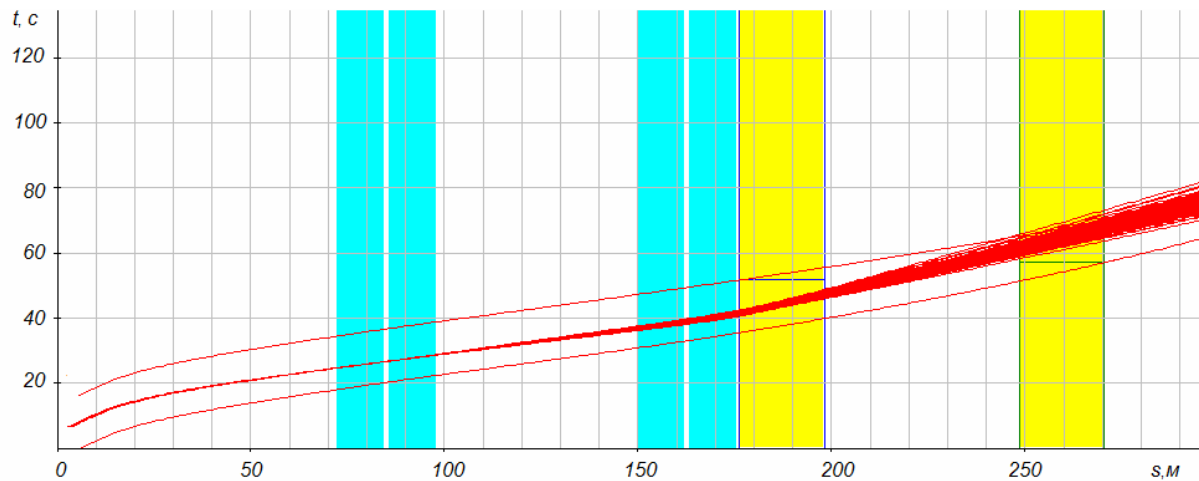


Рис. 6.5. Криві часу скочування групи з трьох відчепів з невідомими ходовими характеристиками середнього відчепа

Виконані дослідження [94] показують, що при однаковій величині математичного очікування розділового інтервалу умови розділення відчепів на різних стрілками можуть суттєво відрізнитись через різні середні квадратичні відхилення величини розділового інтервалу.

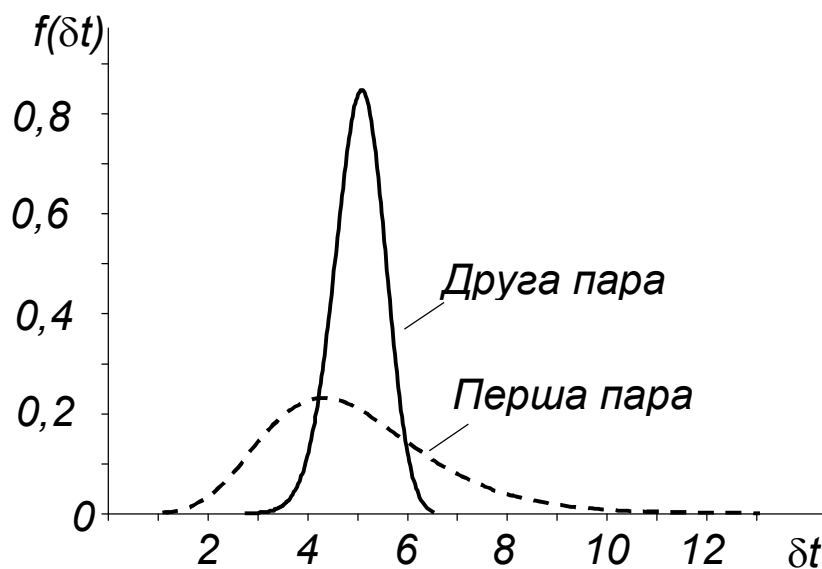


Рис. 6.6. Графіки щільності функцій розподілу розділових інтервалів у першій та другій парах відчепів

Таким чином, при випадкових параметрах відчепів та неточній реалізації уповільнювачами заданих режимів гальмування інтервал часу між i та $i-1$ відчепами $\delta t_{\min, i}$ повинен включати додатковий резерв $t_{\text{рез}, i}$ для компенсації

похибок у визначенні моментів звільнення та заняття ними розділових елементів

$$\delta t_{\min, i} = t_{\text{прз}} + t_{\text{рез}, i}$$

Так, як середнє квадратичне відхилення часу скочування відчепів згідно з п. 5.4 суттєво залежить від заданих швидкостей їх виходу з гальмових позицій швидкість виходу відчепів, то і величина $t_{\text{рез}, i}$ буде залежати від режимів гальмування.

Таким чином, при виборі режимів гальмування повинні враховуватись дії випадкових факторів, що мають місце при розпуску составів. Вирішення цієї проблеми вимагає розробки критеріїв оцінки якості прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відчепів та формалізації та розробки методів вирішення оптимізаційної задачі вибору режимів гальмування у стохастичній постановці [93].

6.2. Оцінка якості прицільного регулювання швидкості скочування відчепів у стохастичних умовах

Визначення потрібної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції (ПГП) для забезпечення вимог прицільного гальмування базується на достатньо простому рівнянні, яке є наслідком закону збереження енергії

$$v''' = \sqrt{v_{\text{прц}}^2 - 2a(l_{\text{прц}} - l_{\text{ПГП}})},$$

де v''' , $v_{\text{прц}}$ – відповідно, швидкості відчепа в момент його виходу из ПГП та в точці прицілювання;

a – прискорення відчепа на ділянці після ПГП;

$l_{\text{прц}}$, $l_{\text{ПГП}}$ – відстань від вершини гірки відповідно до точки прицілювання та точки виходу з ПГП.

В цих умовах головним питанням реалізації прицільного гальмування є визначення координати точки прицілювання $l_{\text{прц}}$ та величини прискорення відчепа a . Параметр $a = g'(i-w)10^{-3}$ інтегрально включає всі складові: приведене прискорення вільного падіння g' , ухил колії i , сумарну величину пито-

мого опору руху w . Результати моделювання керованого скочування відчепів важкої вагової категорії на відстань 800 м від вершини гірки до точки прицілювання при відомих значеннях w та точній реалізації заданої швидкості виходу відчепів з ПГП наведено на рис. 6.7. Як видно з рис. 6.7 при таких умовах може бути досягнуто докочування усіх відчепів до розрахункової точки із встановленою швидкістю. Виключення складають відчепи, для яких ухил сортувальної колії є прискорюючим, та відчепи, енергії яких недостатньо для досягнення розрахункової точки навіть при вільному скочуванні. Тому при детермінованому вирішенні задачі вибору режимів гальмування виконання вимог прицільного регулювання розглядається як обмеження.

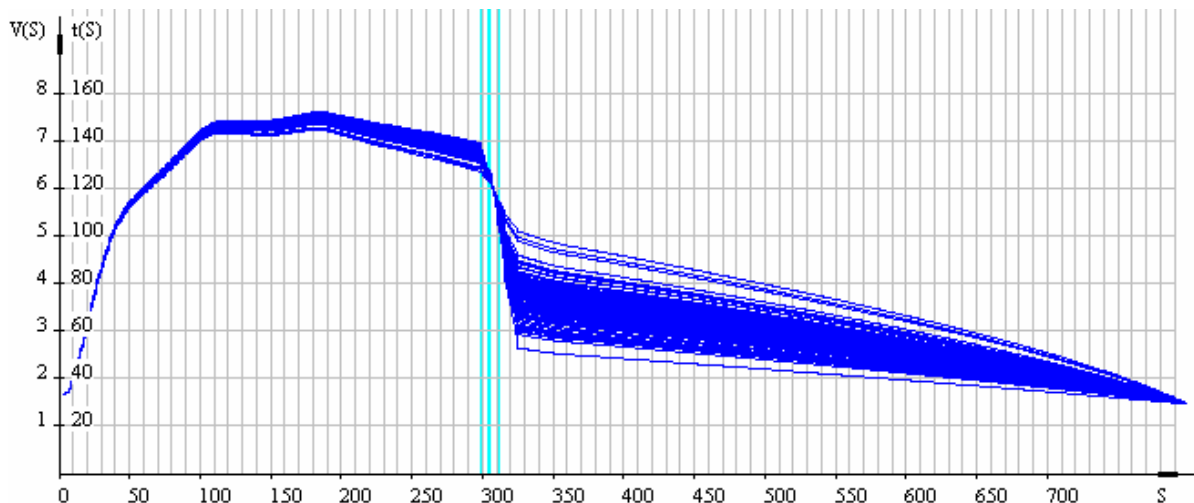


Рис. 6.7. Моделювання скочування відчепів важкої вагової категорії при відомому питомому опору руху та точній реалізації заданої швидкості виходу з ПГП

Складність рішення задачі прицільного регулювання швидкості пов'язана з тим, що сортувальні гірки працюють в умовах невизначеності вхідної інформації про відчепи та умови скочування, а також через неточність реалізації заданих швидкостей виходу відчепів з ПГП. В цих умовах швидкість відчепа в точці прицілювання є випадковою величиною; в той же час при недостатній швидкості виходу відчепа з ПГП на сортувальних коліях утворюються вікна випадкової величини. Для ілюстрації на рис. 6.8 представлено результати моделювання скочування відчепів важкої вагової категорії на відстань 800 м від вершини гірки при невідомому питомому опору руху та

неточній реалізації заданої швидкості виходу відчепів з ПГП. Математичне очікування швидкості виходу відчепа з ПГП прийнято $v''' = 3,85$ м/с, що забезпечує докочування відчепа з середніми ходовими характеристиками до точки прицілювання з встановленою ПТЕ швидкістю 1,5 м/с. При проведенні розрахункових експериментів прийнято, що середнє квадратичне відхилення швидкості виходу відчепів з ПГП складає 0,3 м/с.

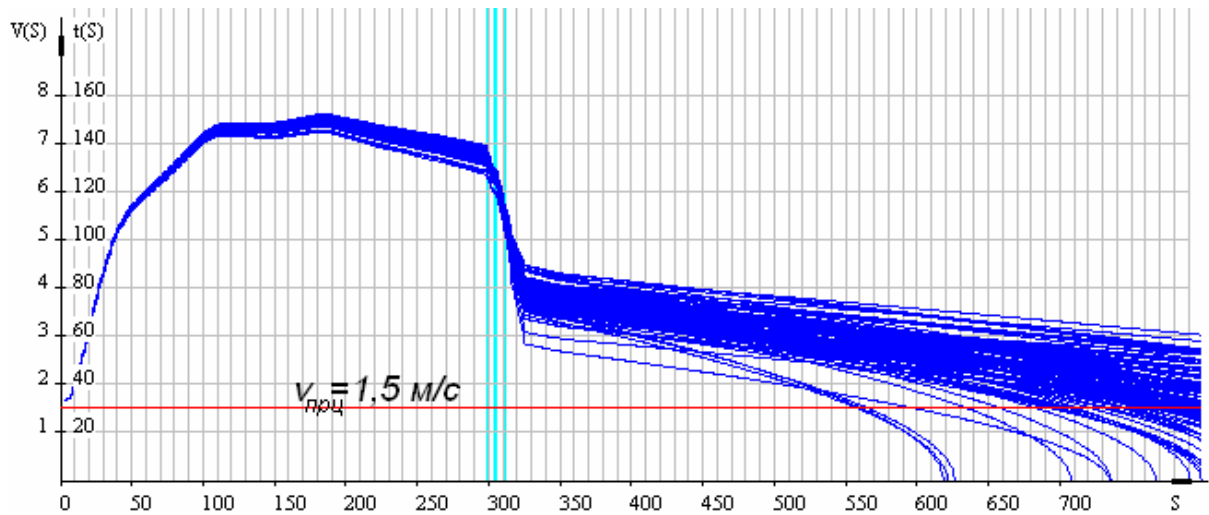


Рис. 6.8. Моделювання скочування з гірки відчепів важкої вагової категорії в умовах дії випадкових факторів при $v''' = 3,85$ м/с

Наслідком невизначеності інформації є поява відчепів, які у точці прицілювання мають недопустиму швидкість та відчепів, що утворюють вікна на сортувальних коліях. Для оцінки результатів прицільного регулювання швидкості в цих умовах можуть бути використані такі критерії як імовірність перевищення встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях $p_{п}$ та середня величина вікна, що припадає на один розформований вагон $\bar{l}_в$. В результаті статистичної обробки даних розрахункових експериментів, представлених на рис. 6.8, встановлені значення $\bar{l}_в = 9,8$ м та $p_{п} = 0,62$.

Таким чином, вибір вказаного режиму гальмування є неприпустимим по умовам безпеки. Для забезпечення вимог ПТЕ швидкість виходу відчепа з ПГП повинна бути зменшена. Залежності показників $p_{п}$ та $\bar{l}_в$ від v''' представлені на рис. 6.9.

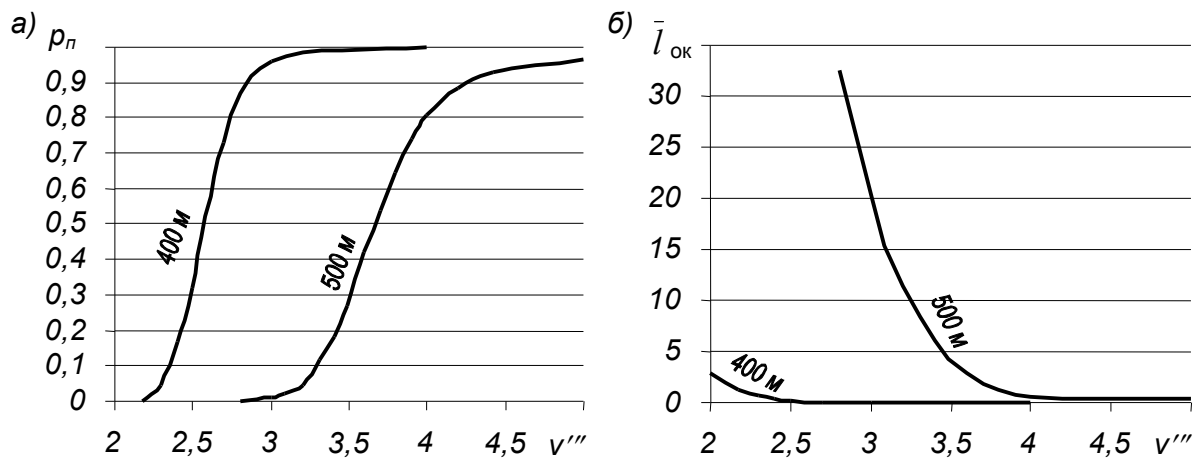


Рис. 6.9. Залежності показників прицільного регулювання швидкості скочування відчепів від їх швидкості виходу з ПГП: а - імовірність перевищення встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях; б- середня величина вікна

Рекомендоване в [205] значення $p_c=0,1$ може бути досягнуто при математичному очікуванні швидкості виходу відчепів з ПГП $v''' = 3,0\text{ м/с}$ (див. рис.). Наслідком зменшення швидкості v''' є збільшення середньої величини вікна, що у експериментах, представлених на рис. 6.10 досягає 70,2 м.

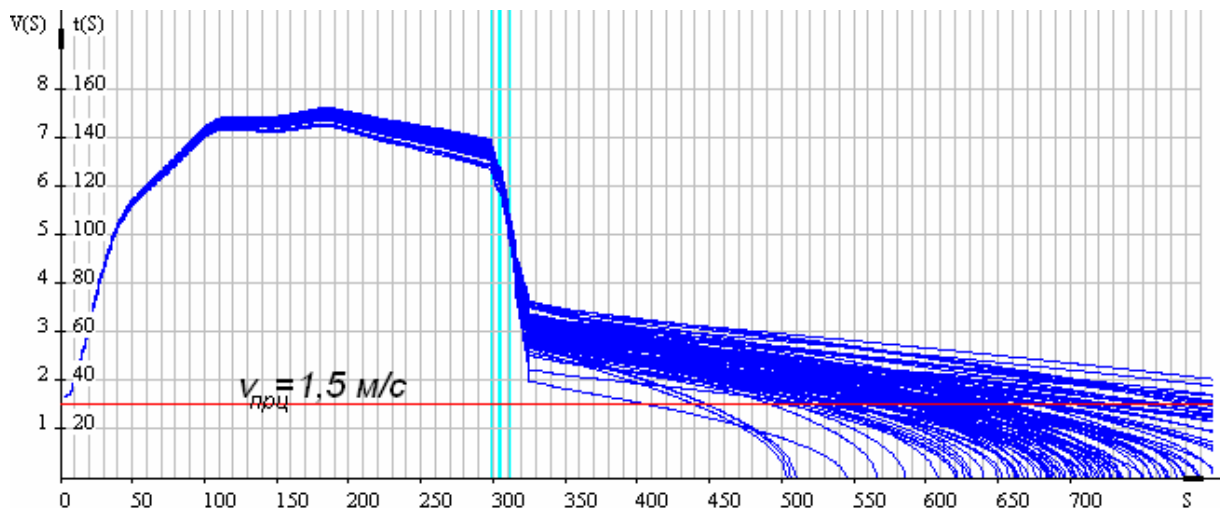


Рис. 6.10. Моделювання скочування з гірки відчепів важкої вагової категорії в умовах дії випадкових факторів при $M[v_{ПГП}] = 3,0\text{ м/с}$

Наслідком подальшого зменшення швидкості виходу відчепів з ПГП може бути поява випадків зупинки відчепів в уповільнювачах ПГП. Це може бути причиною пошкодження вагонів та вантажів через нерегульований характер їх скочування на ділянці від другої гальмової позиції (СГП) до ПГП і

вимагає зупинки розпуску та виконання операції осаджування. Для оцінки такого явища пропонується ввести критерій імовірність зупинки відчепа в уповільнювачі паркової гальмової позиції p_y .

Критерії p_{Π} , p_y та \bar{l}_B по різному характеризують енергію відчепа в момент його виходу з паркової гальмової позиції, і між ними можуть бути встановлені залежності. Для прикладу на рис. 6.11, *a* та *б* наведено взаємозв'язок між величинами p_{Π} та $\bar{l}_{ок}$ для одновагонних відчепів легкої та важкої вагової категорії, відповідно.

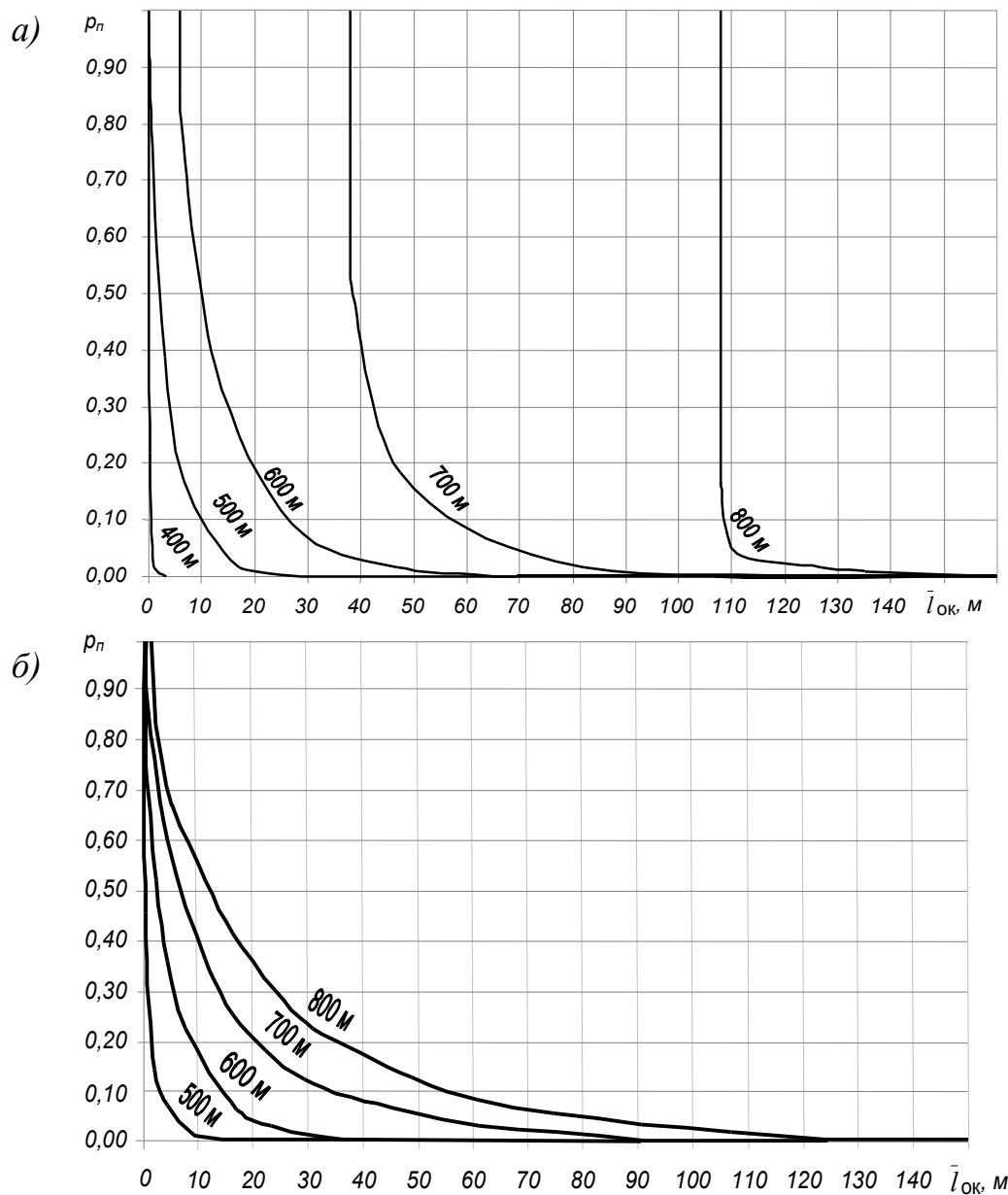


Рис. 6.11. Залежність між величиною вікна та імовірністю перевищення встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях: *a* - вагової категорії Л; *б* - вагової категорії Т

При цьому величина \bar{l}_B характеризує експлуатаційні витрати на маневрову роботу по осаджуванню (підтягуванню) вагонів на сортувальних коліях $E_{до} = f(\bar{l}_B)$; величини $p_{п}$ та $p_{у}$ пов'язані з витратами E_6 , що викликаються пошкодженням вагонів та вантажів, зсувом вантажів при підвищених швидкостях співударяння.

Отримати залежність $E_6 = f(p_{п}, p_{у})$ для конкретної гірки практично неможливо, так як на цю величину впливають не лише швидкість співударяння, а і тип та стан вагона, тип вантажу, тип та стан кріплення вантажу у вагоні. Через те, що величини $p_{п}$ та $p_{у}$ характеризують дотримання умов безпеки руху і економічно оцінити їх досить складно, то значення цих критеріїв пропонується нормувати на деяких допустимих рівнях, відповідно, $p_{пд}$ та $p_{уд}$ і оцінювати якість прицільного гальмування по величині \bar{l}_B .

Одним із суттєвих факторів, який впливає як на умови прицільного, так і інтервального гальмування є швидкість виходу відчепа з другої гальмової позиції v'' . При цьому, для кожного значення v'' може бути обраний такий режим гальмування відчепа на ПГП, що забезпечує досягнення найкращих у даних умовах показників прицільного гальмування. При цьому, для кожного значення величини v'' може бути знайдено таке значення v''' , що забезпечує досягнення найкращих показників прицільного гальмування. На рис. 6.12. представлено залежності показників прицільного регулювання швидкості скочування відчепа від v'' .

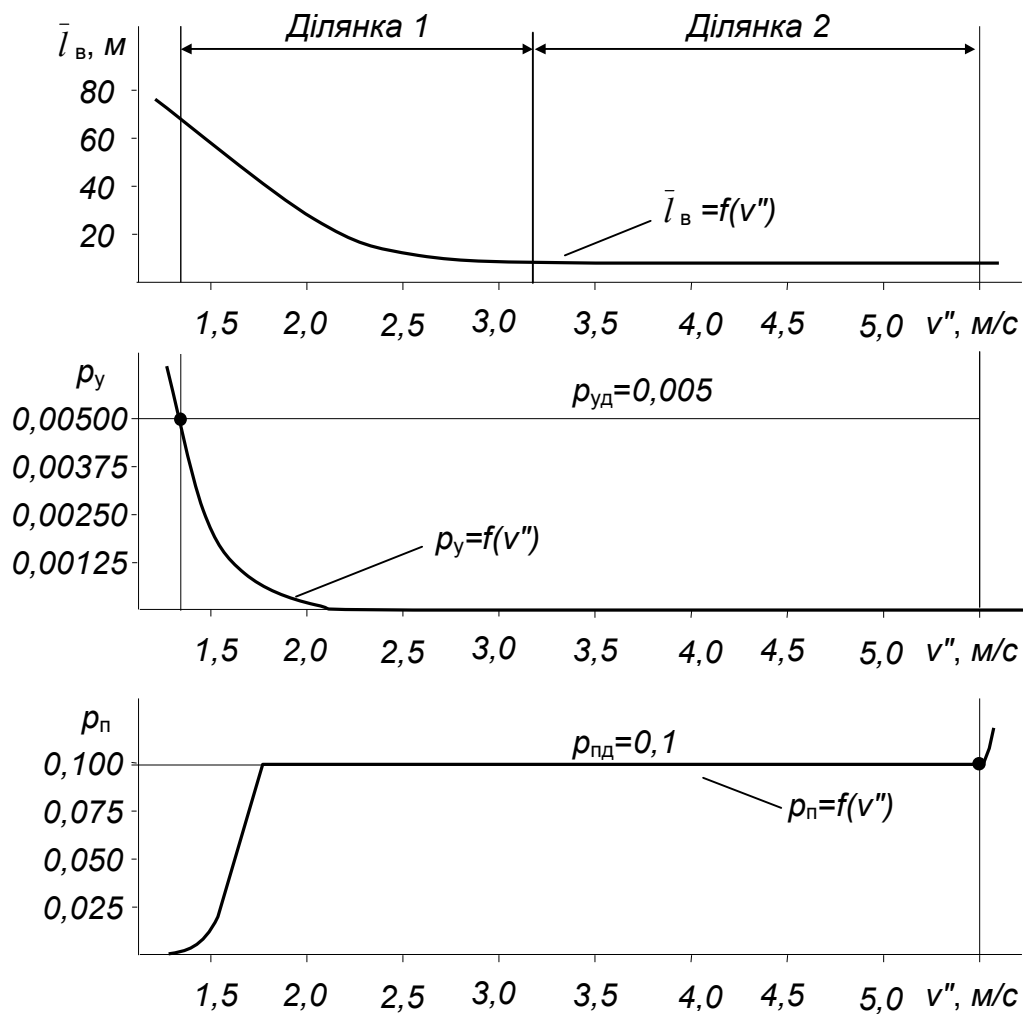


Рис. 6.12. Залежності показників прицільного гальмування від швидкості виходу відчепа з СГП

При цьому, для кожного значення v'' режим гальмування на ПГП обирався з умови

$$\bar{l}_v(v'') \rightarrow \min, \text{ при } p_n(v'') \leq p_{нд} \text{ та } p_y(v'') \leq p_{уд}.$$

Допустимими швидкостями виходу відчепів з СГП по умовам прицільного регулювання швидкості надалі вважаються такі режими, що забезпечують виконання вимог безпеки сортувального процесу. Так, у прикладі представленому на рис. 6.12, допустимими є швидкості виходу відчепа з СГП в діапазоні від 1,35 до 5,5 м/с, при цьому в межах ділянки 1 (діапазон швидкостей 1,35-3,2 м/с) виникають суперечності між умовами інтервального та прицільного гальмування. Величина вікна в діапазоні швидкостей, що відповідають ділянці 2, визначається виключно роботою системи прицільного регулювання швидкості відчепа.

В якості управляючих параметрів на трьохпозиційних гірках можуть бути прийняті швидкості виходу відчепів з першої (ВГП) та другої гальмових позицій, відповідно, v' и v'' . При цьому, швидкість виходу відчепа з третьої гальмової позиції v''' є залежною від v'' і обирається з умови забезпечення найкращих показників прицільного гальмування.

Приклад залежності $\bar{l}_B = f(v', v'')$ представлено на рис. 6.13.

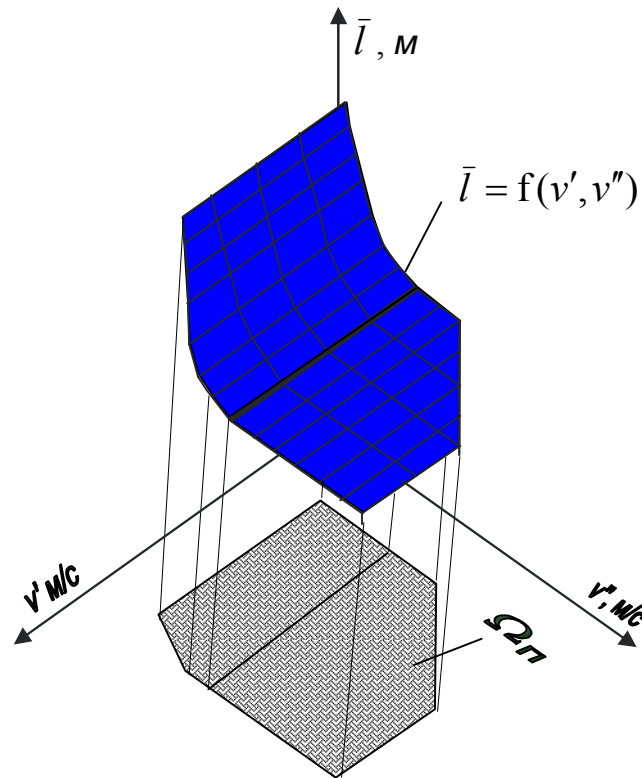


Рис. 6.13. Залежність математичного очікування величини вікна на сортувальній колії від режимів гальмування

Вектор значень $v = \{v', v''\}$, можна розглядати як точку на площині; при цьому вся множина точок v утворює область Ω можливих швидкостей виходу відчепа з гальмових позицій спускної частини гірки. Режимми гальмування відчепів, при яких виконуються умови прицільного регулювання швидкості їх скочування та умови забезпечення допустимої швидкості входу на уповільнювачі, утворюють в Ω підобласть $\Omega_{П}$ [80, 89]. Приклад області $\Omega_{П}$ представлено на рис. 6.14. При цьому мають місце наступні обмеження: 1, 2 та 3 – відповідно, по потужності ВГП, СГП і ПГП та по допустимій величині тиску

шин їх уповільнювачів на колеса вагона (див. р. 4); 4 - по імовірності зупинки відчепа в уповільнювачі ПГП; 5 – по імовірності перевищення встановленої швидкості входу підчепа на уповільнювач СГП; 6 – по величині прискорення на ділянці між ВГП та СГП.

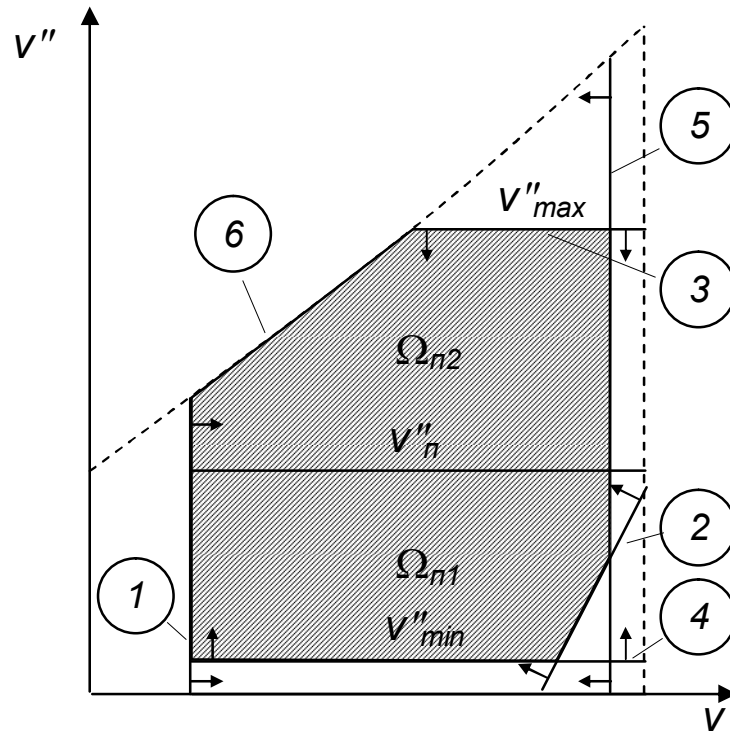


Рис. 6.14. Конфігурація області Ω_n

Область Ω_n складається з двох підобластей, які відповідають ділянкам прицільного регулювання швидкості скочування відчепа: Ω_{n1} – де є суперечності між умовами інтервального та прицільного регулювання швидкості відчепа, та Ω_{n2} – де суперечності між умовами інтервального та прицільного регулювання швидкості немає, і величина вікон визначається роботою паркової гальмової позиції. При цьому в межах області Ω_{n1} величина \bar{l}_v змінюється в залежності від v'' так що

$$\bar{l}(v'_1, v''_1) > \bar{l}(v'_1, v''_2) \text{ при } v''_1 < v''_2 \text{ де } \mathbf{v} \in \Omega_{n1}. \quad (6.1)$$

В області Ω_{n1} математичне очікування величини вікна на сортувальній колії не залежить від режимів гальмування відцепів на гальмових позиціях спускної частини гірки і має постійне значення. При цьому має місце залежність $\bar{l}(\mathbf{v}_1) \geq \bar{l}(\mathbf{v}_2)$, якщо $\mathbf{v}_1 \in \Omega_1$, $\mathbf{v}_2 \in \Omega_2$.

Основним фактором, що впливає на величину прискорення відчепа на ділянці між ВГП та СГП, є ухил відповідного елемента поздовжнього профілю $i_{МП}$. Для прикладу, на рис. 6.15. представлено вплив $i_{МП}$ на положення обмеження 6 відчепа важкої вагової категорії.

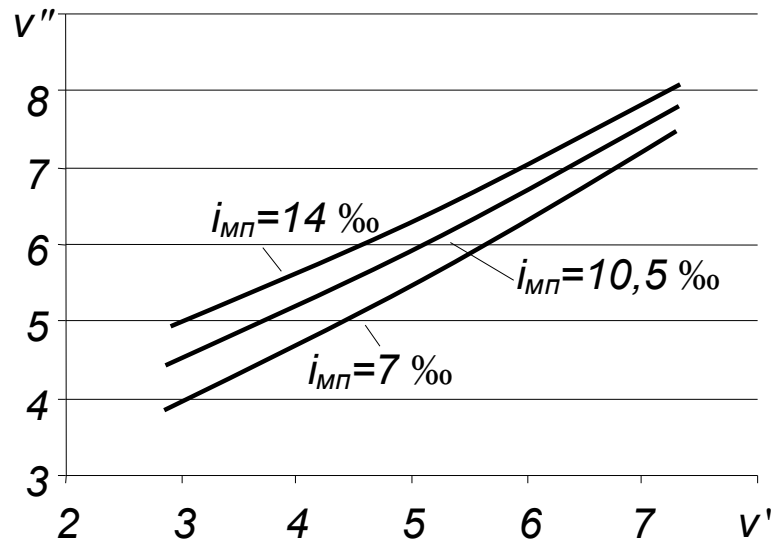


Рис. 6.15. Розташування обмеження 6 в залежності від ухилу елемента профілю між ВГП та СГП

В той же час, збільшення ухилу елемента поздовжнього профілю між ВГП та СГП призводить до зменшення допустимої швидкості виходу відчепа з ВГП і, відповідно, до зміни положення обмеження 5. Так, при допустимій швидкості входу відчепа на СГП у 7 м/с, збільшення ухилу $i_{МП}$ призвело до збільшення частоти появи обмеження 5 серед активних у 4 рази.

Рішенням цієї проблеми є збільшення допустимих швидкостей входу відчепів на уповільнювачі СГП. На рис. 6.16. представлено залежності між допустимою швидкістю входу відчепів на СГП та потрібною швидкістю виходу відчепів з ВГП при різних значеннях $i_{МП}$ та різній точності реалізації ВГП заданої швидкості виходу відчепів. Залежності побудовані з умови забезпечення допустимої швидкості входу на СГП із ймовірністю $p_{вх}=0,95$. Аналіз отриманих результатів показує, що використання уповільнювачів нових конструкцій з допустимою швидкістю входу у 8 м/с, таких як УВСК [87], дозволяє практично виключити обмеження 5 із активних.

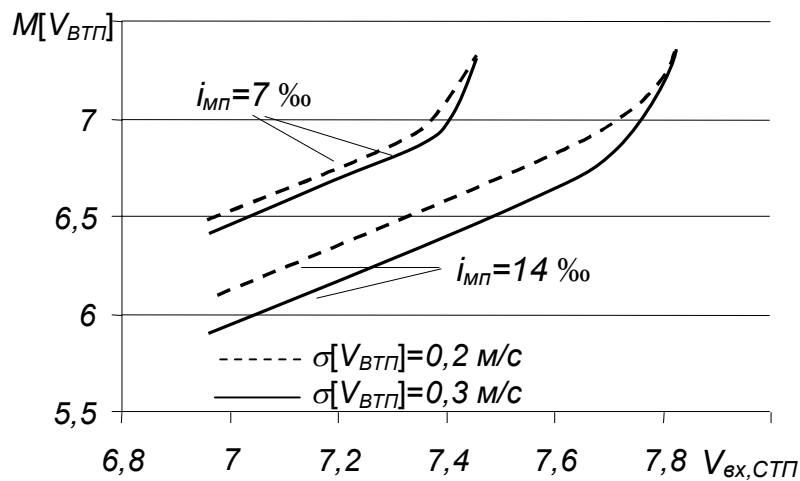


Рис. 6.16. Залежності між допустимою швидкістю входу відчепів на СГП та потрібною швидкістю виходу відчепів з ВГП

Збільшення величини v''_{\max} , і відповідно, зменшення частоти попадання обмеження 3 до переліку активних досягається за рахунок збільшення потужності ПГП. Так, збільшення потужності ПГП до 2 м.ен.в. практично забезпечує виключення обмеження 3 з переліку активних.

Положення лінії v''_{Π} визначається потенціальною енергією відчепа в момент його виходу з ПГП (середнім ухилом сортувальної колії $i_{\text{СК}}$). В той же час, збільшення величини $i_{\text{СК}}$ призводить до того, що для частини відчепів ухил стає прискорюючим і, як наслідок в умовах функціонування трьохпозиційних сортувальних гірок, до збільшення величини \bar{i}_v в межах області $\Omega_{\Pi 1}$.

Тому зменшення величини v''_{Π} може досягатися за рахунок комплексних заходів зі збільшення ухилу $i_{\text{СК}}$ разом з впровадження регульованого скочування відчепів на сортувальних коліях за рахунок спорудження додаткових гальмових позицій, чи реалізації квазінеперервного регулювання швидкості [205, 215].

6.3. Імовірнісний критерій оцінки якості інтервального регулювання швидкості скочування відчепів

При розформуванні составів в умовах дії випадкових факторів мають місце нерозділення відчепів на стрілками, що пов'язано з можливістю пору-

шення безпеки руху через співударяння вагонів на підвищених швидкостях та додатковою маневровою роботою по перестановці вагонів на колії призначення. Таким чином, прийняття рішення по вибору режиму інтервального регулювання швидкості скочування відчепів пов'язано з ризиком їх нерозділення. Для створення ефективних систем управління розпуском составів ризику нерозділення відчепів повинні бути оцінені за допомогою кількісних характеристик та обмежені на допустимому рівні.

В сучасних умовах при оптимізації режимів гальмування оцінка показників інтервального регулювання швидкості скочування відчепів здійснюється на основі математичного очікування величини розділових інтервалів. При розформуванні состава утворюється потік відчепів, тому необхідно оцінювати множину взаємопов'язаних інтервалів. Використання з цією метою критерію Вальда (1.12) дозволяє максимально збільшити математичне очікування мінімального інтервалу між відчепами, а отже, і зменшити імовірність їх нерозділення на стрілках. В теорії ігор критерій Вальда відбиває позицію крайньої обережності (песимізму). Даний критерій застосовується у тих випадках, коли гру з природою ведуть як гру з розумним противником, тобто передбачається найбільш несприятливий стан природи. Застосування критерію Вальда є обґрунтованим, якщо рішення приймається в наступних умовах:

- необхідно виключити будь-який ризик;
- рішення реалізуються лише один раз;
- імовірність появи станів природи невідома.

Повна ліквідація вказаних ризиків нерозділення відчепів на стрілках теоретично можлива, однак це пов'язано або зі значним падінням переробної спроможності гірки, або з необґрунтованим збільшенням вартості систем управління розпуском. У зв'язку з цим ризику допускаються вже на стадії проектування сортувальних гірок [159]. Вибір режимів гальмування під час розформування составів здійснюється багаторазово. При цьому експериментальні дослідження, дозволяють встановити розподіл випадкових величин опорів руху відчепів.

Відповідно до досліджень, виконаних у п. 6.1 встановлено, що умови розділення відчепів суттєво залежать від швидкостей їх руху по маршруту скочування. В цих умовах оцінку умов інтервального регулювання швидкості скочування відчепів у i -й розрахунковій парі доцільно здійснювати не за математичним очікуванням величини розділового інтервалу $\delta \bar{t}_i$, а за імовірністю їх нерозділення на стрілці

$$p_{\text{Ні}} = p(\delta t_i < t_{\text{pe}}).$$

Для комплексної оцінки режимів інтервального регулювання швидкості скочування відчепів складається може бути застосований критерій Байеса-Лапласа [206]

$$r = \sum_{i=1}^k p_{c,i} a_{c,i} \rightarrow \min, \sum_{i=1}^k p_{c,i} = 1, \quad (6.2)$$

де p_c – імовірність знаходження системи у деякому стані;

a_c – кількісна оцінка знаходження системи у деякому стані.

В задачі управління швидкістю скочування відчепів вираз (6.2) може бути зведений до вигляду

$$r_3 = p'_p \cdot 0 + p'_1 C_1 + p'_2 C_2 + \dots + p'_n C_n + p'_{1,2} C_{1,2} + p'_{1,3} C_{1,3} + \dots + p'_{n-1,n} C_{n-1,n} + \dots \quad (6.3)$$

де p_p – імовірність того, що розділення відбудуться у всіх парах відчепів;

p'_1, p'_2, p'_n – імовірності того, що нерозділення відбудуться відповідно лише у першій, лише у другій, лише у n парі відчепів;

$p'_{1,2}, p'_{1,3}, p'_{n-1,n}$ – імовірності того, що нерозділення відбудеться відповідно, одночасно лише у першій та другій, лише в першій та третій, лише в $n-2$ та $n-1$ парах відчепів;

C – додаткові витрати, що пов'язані з нерозділенням відчепів.

В роботі прийнято, що витрати C лінійно залежать від кількості вагонів, які прослідували в результаті розпуску на колії, що не відповідають їх призначенню. В цих умовах величина r_3 являється оцінкою ризику нерозділення відчепів і показує імовірну кількість вагонів на состав, що прослідують

на сортувальні колії з порушенням плану розпуску [95].

Для групи із трьох відчепів вираз (6.3) буде виглядати як

$$r(\mathbf{q}) = e_n p'_1 m_2 + e_n p'_2 m_3 + e_n p'_{1,2} (m_2 + m_3) \rightarrow \min, \quad (6.4)$$

де e_n – середні витрати, що пов'язані з ліквідацією слідування відчепа не за призначенням;

m_2, m_3 – відповідно, кількість вагонів у другому та третьому відчепів розрахункової групи.

Результати обчислювальних експериментів показали, що при випадкових параметрах відчепів і умов їх скочування та при неточній реалізації режимів гальмування уповільнювачами зв'язок між величинами розділових інтервалів у першій та другій парях є слабкою. Приклад відповідного поля точок представлено на рис. 6.17.

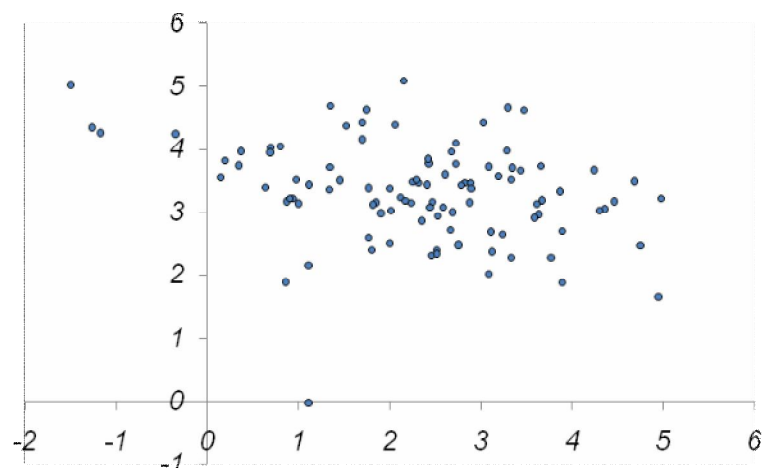


Рис. 6.17. Поле точок, що характеризує зв'язок між інтервалами у першій та другій парях розрахункової групи відчепів

В цьому випадку для групи з трьох відчепів справедливими є вирази

$$p'_1 = p_1 - p_1 p_2, \quad p'_2 = p_2 - p_1, \quad p'_{1,2} = p_1 p_2,$$

де p_1, p_2 – імовірності нерозділення відчепів відповідно у першій та другій парях.

Таким чином, вираз (6.4) може бути представлено у вигляді

$$\begin{aligned} r_n &= e_n ((p_1 - p_1 p_2) m_2 + (p_2 - p_1) m_3 + p_1 p_2 (m_2 + m_3)) = \\ &= e_n (p_1 m_2 + p_2 m_3) \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Постійний елемент e_n може бути виключений з оптимізаційного виразу так, як його значення не впливає на вибір режимів.

Оцінка ризику нерозділення для состава з n відчепів може бути виконана за допомогою виразу

$$r_H = \sum_{j=1}^{c-1} r_{j,j+1} = \sum_{j=1}^{c-1} p_j m_{j+1} \rightarrow \min,$$

де $r_{j,j+1}$ – ризик нерозділення відчепів у j -й парі.

Розглянемо розрахункову групу з трьох одновагонних відчепів з другим керованим відчепом. У якості критерію оптимізації режиму гальмування керованого відчепа може бути прийнято вираз

$$r_H = p(\delta t_1 < t_{pэ}) + p(\delta t_2 < t_{pэ}) \rightarrow \min. \quad (6.5)$$

Величина інтервалів на розділовому елементі δt_1 та δt_2 є випадковими величинами. Приклад результатів імітаційних експериментів по визначенню випадкової величини δt_1 наведено у Додатку Е.

З виразу (1.10) слідує, що нерозділення відчепів відбувається при виконанні однієї з умов

$$\begin{aligned} t_{pэ} &> t_{1,2} + t_2(\mathbf{v}, s_1) - \tau_1(s_1), \\ t_{pэ} &> t_{2,3} + t_3(s_2) - \tau_2(\mathbf{v}, s_2). \end{aligned} \quad (6.6)$$

Через малість середніх квадратичних відхилень випадкової величини початкових інтервалів між відчепами на вершині гірки вони можуть бути представлені своїми математичними очікуваннями. У цьому випадку вираз (6.6) може бути зведено до вигляду

$$\begin{aligned} t_{1,2} - t_{pэ} &< \tau_1(s_1) - t_2(\mathbf{v}, s_1), \\ t_{2,3} - t_{pэ} &< \tau_2(\mathbf{v}, s_2) - t_3(s_2). \end{aligned}$$

Враховуючи, що величини τ_i і t_{i+1} є незалежними, то випадкова величина $d_i = \tau_i - t_{i+1}$ має математичне очікування $M[d_i] = M[\tau_i] - M[t_{i+1}]$ та дисперсію $D[d_i] = D[\tau_i] - D[t_{i+1}]$.

Приклад гістограми та функції щільності розподілу випадкової величини d_i представлені на рис. 6.18.

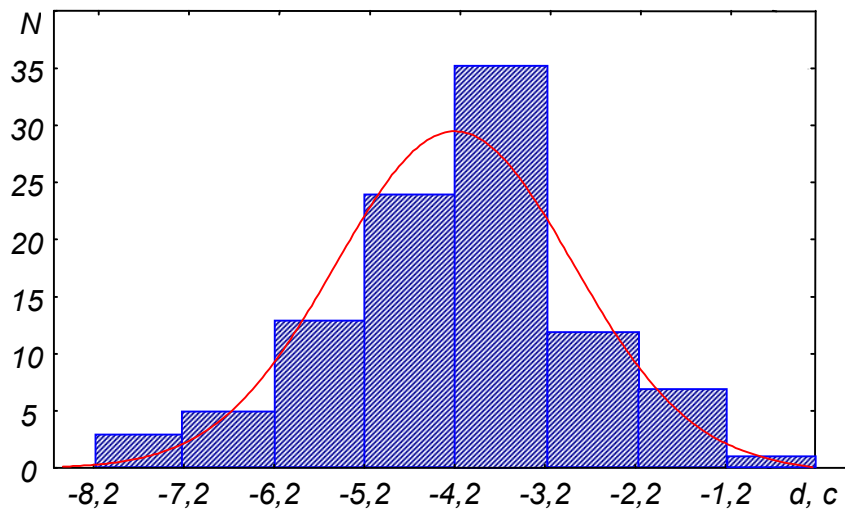


Рис. 6.18. Гістограма та функція щільності розподілу випадкової величини d_i

Статистична обробка результатів імітаційного моделювання показала, що немає підстав відкидати гіпотезу про нормальний розподіл величини d_i . У зв'язку з цим ризик нерозділення відчепів у розрахунковій групі з трьох відчепів може бути оцінено за допомогою виразу

$$r_H = r_1 + r_2 = \Phi\left(\frac{t_{pe} - \delta\bar{t}_1}{\sigma_{t,1}}\right) + \Phi\left(\frac{t_{pe} - \delta\bar{t}_2}{\sigma_{t,2}}\right), \quad (6.7)$$

де $\Phi(x)$ – функція Лапласа.

Враховуючи розподіл випадкових величин часу скочування окремих відчепів вираз (6.7) може бути зведено до вигляду

$$r_H = \Phi\left(\frac{t_{1,2} - t_{pe} - M[\tau_1] + M[t_2]}{\sqrt{D[\tau_1] + D[t_2]}}\right) + \Phi\left(\frac{t_{2,3} - t_{pe} - M[\tau_2] + M[t_3]}{\sqrt{D[\tau_2] + D[t_3]}}\right).$$

У якості прикладу виконано пошук оптимального режиму гальмування середнього відчепа у розрахунковій групі з трьох одновагонних відчепів. Розділовим елементом в першій парі є 5-та стрілка, а у другій - 4-та. Середнім (керованим) відчепом у групі є відчеп вагової категорії. Крайніми відчепами у групі є відчепи легкої вагової категорії, які скочуються без гальмування на першій гальмовій позиції, а на другій гальмовій позиції гальмуються з умови виходу першого відчепа зі швидкістю 5 м/с та третього зі швидкістю 6 м/с. Середнє квадратичне відхилення швидкості виходу відчепів з гальмових позицій прийнято рівним 0,3 м/с. Залежності між швидкістю виходу

середнього відчепа з СГП та ризиком його нерозділення с суміжними відчепами на розділових стрілочних переводах наведено на рис. 6.19.

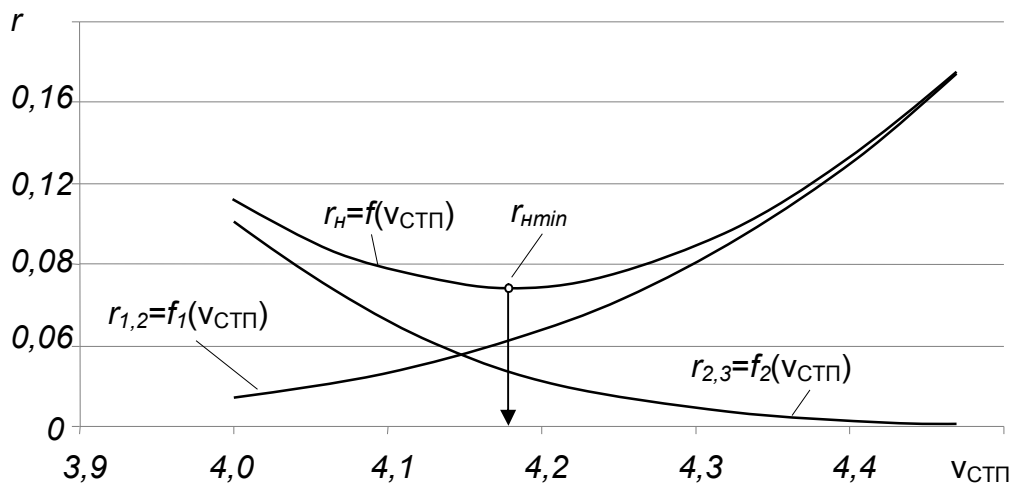


Рис. 6.19. Оптимізація режиму гальмування у розрахунковій групі з трьох відчепів

Мінімальне значення ризику нерозділення визначено методами прямого пошуку і складає $r_{Hmin} = 0,069935$. Вказане значення досягається при заданій швидкості виходу відчепів з СГП 4,18 м/с. Подальше зменшення ризику нерозділення відчепів вимагає зміни режимів гальмування крайніх відчепів у розрахунковій групі.

Ризик нерозділення при розформуванні состава з n відчепів може бути оцінений за допомогою адитивного виразу

$$r_H(\mathbf{v}) = \sum_{i=1}^{n-1} \Phi \left(\frac{t_{i,i+1} - t_{pэ} - M_{\tau,i}(\mathbf{v}_i) + M_{t,i+1}(\mathbf{v}_{i+1})}{\sqrt{D_{\tau,i}(\mathbf{v}_i) + D_{t,i+1}(\mathbf{v}_{i+1})}} \right) m_{i+1}. \quad (6.8)$$

В залежності від умов задачі вираз (6.8) може розглядатися і як цільова функція і як обмеження.

6.4. Дослідження впливу режимів гальмування на якість інтервального регулювання швидкості відчепів

Відповідно до [21] вибір режиму гальмування відчепів состава можна звести до ітераційного процесу вирішення задач вибору режиму гальмування

у розрахункових групах із трьох відчепів з середнім керованим відчепом. Метою даного підрозділу є дослідження впливу режимів гальмування на запропоновані у п. 6.3 імовірнісні показники якості інтервального регулювання їх швидкості скочування.

В [21] виконано дослідження умов розділення відчепів при детермінованій постановці задачі вибору режимів гальмування. Зокрема, розроблено методи виділення області $\Theta_{\text{н}}$, яку утворюють режими гальмування \mathbf{v} , що задовольняють умові

$$\min(\delta t_1(\mathbf{v}), \delta t_2(\mathbf{v})) \geq t_{\text{pe}}. \quad (6.9)$$

В стохастичній постановці задачі вибору раціональних режимів гальмування допустимими, з позиції інтервального регулювання швидкості скочування відчепів, є режими, що з заданою імовірністю забезпечують слідування відчепів за призначеннями у відповідність з планом розпуску $r_{\text{н}} \leq r_{\text{д}}$ (тут $r_{\text{д}}$ - допустимий ризик нерозділення).

Для аналізу впливу режимів гальмування на умови розділення відчепів на стрілках побудовано поверхні $r_{\text{н}}(\mathbf{v}) = f(v', v'')$. В рамках розрахункового експерименту розглядалась група з трьох одновагонних відчепів, відповідно, легкої, важкої та легкої вагової категорії; другий відчеп розрахункової групи є керованим, а режими гальмування першого та третього відчепів постійні. При цьому перший відчеп скочується без гальмування на ВГП, на СГП буда задана швидкість його виходу 6 м/с; третій відчеп скочується без гальмування. Такі режими гальмування крайніх відчепів розрахункової групи прийняті для зменшення області допустимих режимів гальмування середнього відчепу. Фактична швидкість виходу відчепів групи з уповільнювачів розглядається як нормально-розподілена випадкова величина з середнім квадратичним відхиленням 0,2 м/с. Параметри відчепів моделюються як випадкові величини, що залежать від вагової категорії [85].

Під час експериментів варіювались задані швидкості виходу керованого відчепу з ВГП та СГП з кроком 0,1 м/с у межах [4-7,5] м/с. Величина t_{pe}

прийнята рівною 1 с, а максимально допустимий ризик нерозділення - $r_d=0,005$. Загальний вигляд отриманої поверхні представлено на рис. 6.20

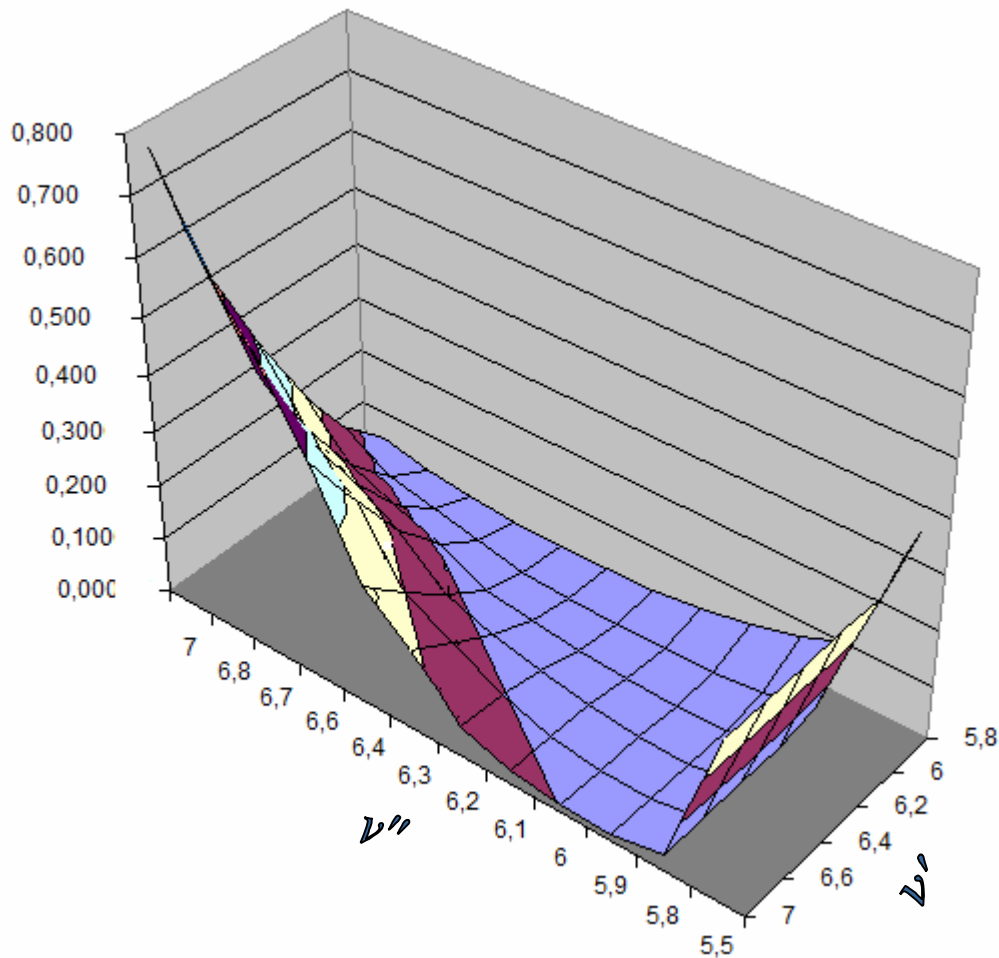


Рис. 6.20. Поверхня $r_n(\mathbf{v}) = f(v', v'')$

За результатами експериментів для кожного значення v' встановлена швидкість $v''_M(v')$, при якій ризик нерозділення (6.5) має мінімальне значення, а також два значення $v''_H(v')$ та $v''_B(v')$, при яких ризики нерозділення досягають гранично допустимих значень r_d . Отримані дані дозволяють побудувати в Ω лінію мінімальних ризиків \bar{R} , що складається з множини точок $v''_M(v')$, та виділити область Ω_n яка складається з множини режимів, що задовольняють умові $r_n(\mathbf{v}) \leq r_d$, $\mathbf{v} \in \Omega_n$. При цьому, зверху та знизу область Ω_n обмежується лініями R_H та R_B , що складаються відповідно з множини точок $v''_H(v')$ і $v''_B(v')$. У якості прикладу на рис. 6.21, а представлено області Ω_n при розділових

стрілках $v_1=5$ в першій парі та $v_2=4$ у другій, на рис. 6.21 а, б – при розділових стрілках $v_1=4$ и $v_2=5$, а також лінії $\overline{\overline{R}}$ для цих умов.

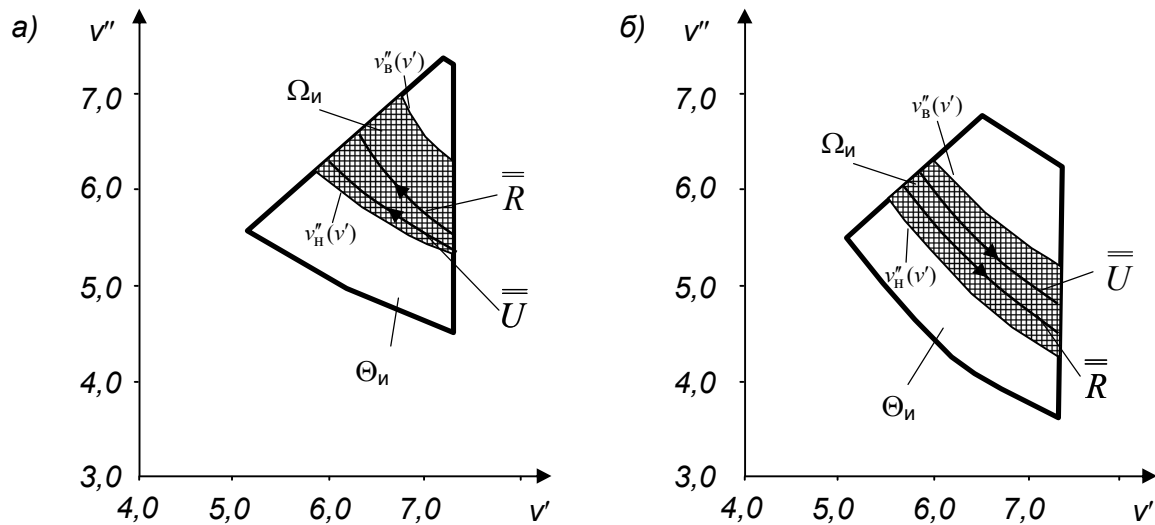


Рис. 6.21. Области допустимих швидкостей виходу керованого відчепа з гальмових позицій по умовам інтервального регулювання швидкості скочування відчепів: а – розділові стрілки 4-5; б – розділові стрілки 5-4

Для порівняння, на тих же рисунках представлено межі областей Θ_n та лінії рівних інтервалів $\overline{\overline{U}}$ [21] при скочуванні відчепів з середніми ходовими характеристиками у відповідній ваговій категорії в умовах точної реалізації уповільнювачами заданих режимів гальмування. Аналіз отриманих результатів показує, що область Ω_n є частиною області Θ_n , лінія мінімальних ризиків $\overline{\overline{R}}$ зміщена відносно лінії рівних інтервалів $\overline{\overline{U}}$, а напрям зростання інтервалів на лінії $\overline{\overline{U}}$ співпадає з напрямком зменшення ризиків на лінії $\overline{\overline{R}}$.

З метою зменшення кількості імітаційних експериментів, необхідних для побудови ліній R_n , R_b та $\overline{\overline{R}}$ здійснено дослідження можливості апроксимації залежностей $v''_n(v')$, $v''_b(v')$ та $v''_m(v')$ різними кривими (див. Додаток Ж). В результаті встановлено, що вони можуть бути апроксимовані поліномами другого ступеня, для побудови яких потрібно проведення трьох експериментів.

Розглянемо різницю в умовах розділення відцепів у групі при рішенні задачі у детермінованій та стохастичній постановках. Для прикладу на рис. 6.22, наведено випадок, коли перша пара відцепів у групі розділяється на стрілці v_1 , що розташована далі від вершини гірки, ніж розділова стрілка v_2 другої пари відцепів; при цьому $s_{\text{вх}}(v_1) > s_{\text{вх}}(v_2)$.

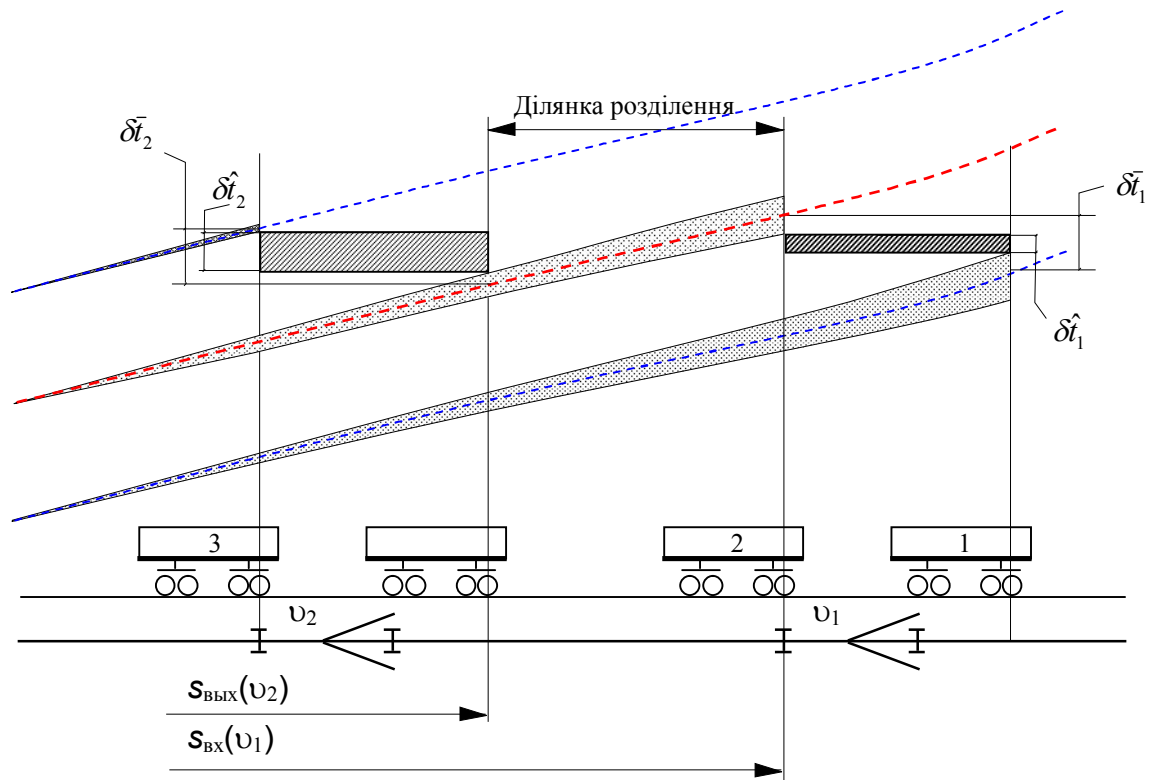


Рис. 6.22. Розділення відцепів на стрілках при $s_{\text{вх}}(v_1) > s_{\text{вх}}(v_2)$

Швидкості виходу із гальмових позицій середнього відчепа вибрані з умови забезпечення рівних інтервалів у першій та другій парях; вказані інтервали отримані для скочування відцепів в детермінованих умовах.

Через те, що реальні ходові характеристики відцепів є випадковими величинами, а гальмові позиції реалізують задані швидкості виходу відцепів з деякою похибкою, то фактичні величини інтервалів на розділових стрілках δt є також випадковими.

Згідно з (6.7), якщо $\sigma_{\delta\tau,1} \neq \sigma_{\delta\tau,2}$, а $\delta\bar{t}_1 = \delta\bar{t}_2$, то ризики нерозділення в першій r_1 та другій r_2 парях будуть відрізнятися. Ці відмінності дають потенційну можливість зниження загального ризику нерозділення в розрахунковій групі за рахунок зміни режимів гальмування середнього відчепа.

Принципово можливі два способи зменшення ризику нерозділення відчепів. Так, зменшення ризику в першій парі може бути досягнуто за рахунок збільшення математичного очікування величини інтервалу у ній, тобто за рахунок зменшення швидкості руху керованого (другого відчепа). Наслідком цього способу є зменшення математичного очікування величини розділового інтервалу у другій парі та збільшення середнього квадратичного відхилення величини інтервалів в обох парах. Іншим способом зменшення ризику нерозділення є зменшення середнього квадратичного відхилення величини інтервалів між відчепами, що досягається за рахунок збільшення швидкості руху керованого відчепа. В результаті цієї дії зменшується математичне очікування величини інтервалу в першій парі та збільшується у другій.

Через те, що на ризик нерозділення відчепів впливають різні фактори, то покращення умов розділення в кожному конкретному випадку може досягатись як при збільшення, так і при зменшення швидкостей виходу керованого відчепа з гальмових позицій.

Порівняння умов розділення відчепів при режимах, отриманих в результаті рішення задачі у детермінованій та стохастичній постановці [15], наведено у табл. 6.1.

Аналіз отриманих результатів показує, що при розділенні відчепів склада на стрілках 2-2, 2-3, 2-4, 3-2, 3-3, 4-2, 4-3, 5-2 можуть бути утворені значні резерви часу, які суттєво зменшують можливість нерозділень. Надлишкові інтервали часу на цих стрілках можуть бути зменшені для створення більших резервів часу у інших групах без погіршення умов розділення в даній групі.

Таблиця 6.1

Порівняння умов розділення відчепів при режимах, отриманих в результаті рішення задачі у детермінованій та стохастичній постановці

Розділова стрілка	Детермінована постановка задачі					Стохастична постановка задачі					$\frac{r_d}{r_c}$
	Швидкість виходу, м/с		Середній інтервал, с		Ризик нерозділення, r_d	Швидкість виходу, м/с		Середній інтервал, с		Ризик нерозділення, r_d	
	ВГП	СГП	1-2	2-3		ВГП	СГП	1-2	2-3		
2-2	5,6	-	4,63	4,63	0	5,6	-	4,63	4,63	0*	-
2-3	5,9	6,3	4,40	4,40	0	5,9	6,3	4,40	4,40	0*	-
2-4	6,0	6,3	4,36	4,36	0	6,0	6,3	4,36	4,36	0*	-
2-5	6,0	6,4	4,34	4,34	0,000003	6,3	6,4	4,17	4,94	0*	∞
3-2	6,1	3,2	5,25	5,25	0	6,1	3,2	5,25	5,25	0*	-
3-3	6,0	6,3	4,58	4,58	0	6,0	6,3	4,58	4,58	0*	-
3-4	6,0	6,4	4,50	4,50	0,000003	6,3	6,4	4,03	4,89	0*	∞
3-5	6,1	6,4	4,46	4,46	0,0022	6,6	6,5	3,47	5,72	0,0000002	11000
4-2	7,0	3,2	6,56	6,22	0	7,0	3,2	6,56	6,22	0*	-
4-3	7,0	4,4	4,46	4,46	0	7,0	4,4	4,46	4,46	0*	-
4-4	6,0	6,3	4,30	4,30	0,000003	6,1	6,4	3,96	4,65	0,0000006	5
4-5	6,0	6,3	4,22	4,22	0,0025	6,3	6,5	3,52	5,20	0,00003	83
5-2	7,0	3,2	13,3	6,22	0	7,0	3,2	13,3	6,22	0*	-
5-3	7,0	4,9	5,05	5,05	0,00007	7	4,2	7,53	4,25	0*	∞
5-4	7,0	5,1	4,30	4,30	0,0008	7,0	4,8	5,30	3,55	0,00007	11
5-5	5,9	6,2	3,63	3,63	0,10	6,1	6,3	3	4,3	0,03	3,3

*Наведено один з можливих режимів.

Умови розділення відчепів на стрілках 2-5, 3-4, 3-5, 4-5, 5-3, 5-4 можуть бути суттєво покращені при урахуванні випадкових умов процесу скочування шляхом зміни режимів гальмування.

Можливості покращення умов розділення у випадках, коли і перша і друга пара відчепів розділяються на одній і тій же стрілці, що знаходиться на значній відстані від гальмової позиції (4-4 и 5-5) за рахунок зміни режимів гальмування керованого відчепа, суттєво обмежені. Причиною цього є незначна довжина ділянки розділення. Покращення умов розділення у таких парах може досягатись шляхом коригування режимів гальмування крайніх відчепів

розрахункової групи, в першу чергу, за рахунок зменшення надлишкових інтервалів між відчепами інших груп.

6.5. Допустимі режими гальмування відчепів

При вирішенні задачі управління швидкістю скочування відчепи допустимими є такі режими гальмування, що із заданою імовірністю забезпечують вимоги прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відчепів. Вказані режими утворюють область допустимих режимів Ω_d яка являє собою перетин областей $\Omega_{п1}$ і $\Omega_{п2}$: $\Omega_d = \Omega_{п1} \cap \Omega_{п2}$.

Приклад поділу області Ω на підобласті наведено на рис. 6.23.

При цьому, враховуючи властивості лінії \bar{R} , мінімальний ризик нерозділення серед допустимих режимів гальмування досягається на межі області $\Omega_{п1}$.

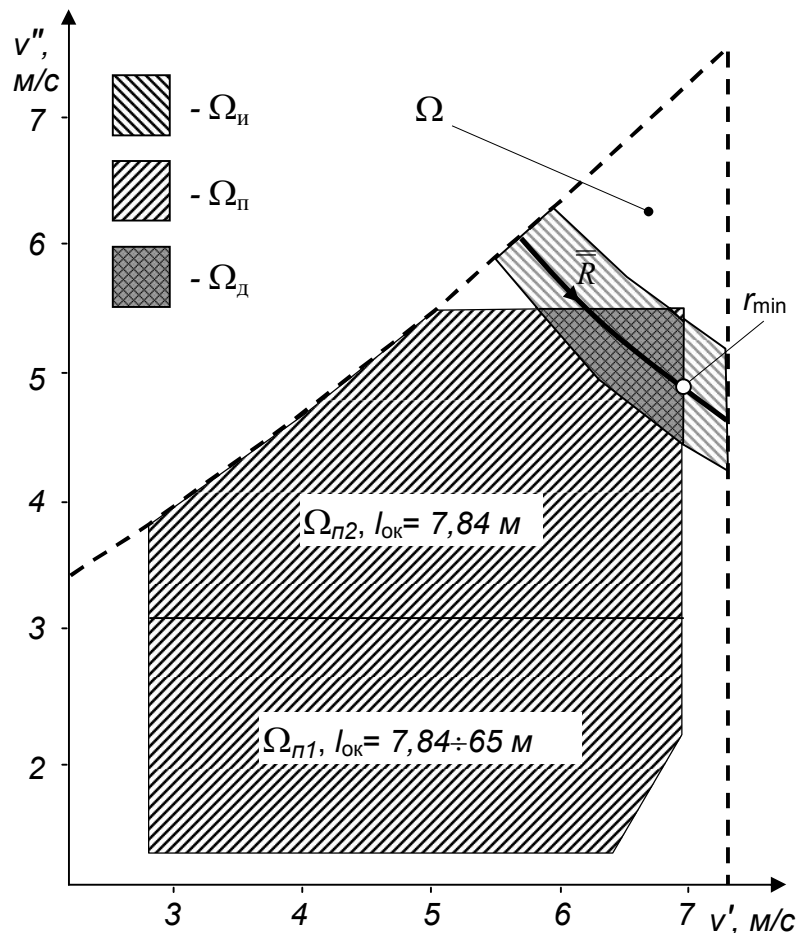


Рис. 6.23. Поділ області Ω на підобласті

Для визначення області допустимих швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій Ω_d може бути використано наступний алгоритм:

Крок 1: в області можливих швидкостей Ω виділяється область Ω_{Π} та виконується побудова лінії рівних інтервалів \bar{U} [21].

Крок 2: в якості початкових точок пошуку приймаються точки \mathbf{u}_1 та \mathbf{u}_2 перетину лінії рівних інтервалів \bar{U} та межі області Ω_{Π} (див. рис. 6.24, а та б) або вершина межі Ω_{Π} з максимальним значенням критерію $\min(\delta t_1, \delta t_2)$ $\mathbf{u}_1 = \mathbf{u}_2$ (див. рис. 6.24, в), якщо лінія \bar{U} не має спільних точок з областю Ω_{Π} .

Крок 3: на межі Ω_{Π} в поруч з точками \mathbf{u}_1 і \mathbf{u}_2 методами прямого пошуку встановлюються точки \mathbf{v}_{M1} і \mathbf{v}_{M2} , в яких ризики (6.4) досягають мінімальних значень, а також точки \mathbf{v}_{H1} , \mathbf{v}_{B1} , \mathbf{v}_{H2} , і \mathbf{v}_{B2} в яких ризики мають гранично допустимі значення r_d .

Крок 4: якщо $r_3(\mathbf{v}_{M1}) > r_d$ та $r_3(\mathbf{v}_{M2}) > r_d$, то при заданих режимах гальмування крайніх відчепів групи досягти необхідної імовірності розділення відчепів неможливо, і робота алгоритму припиняється.

Крок 5: якщо $r_3(\mathbf{v}_{M1}) < r_d$ та $r_3(\mathbf{v}_{M2}) < r_d$, то лінії R_H і R_B не мають перетину між собою в межах області Ω_{Π} . Для побудови ліній R_H та R_B визначаються режими $v_{H3}'' \left(\frac{v'_{H1} + v'_{H2}}{2} \right)$ і $v_{B3}'' \left(\frac{v'_{B1} + v'_{B2}}{2} \right)$, для яких $r_3(\mathbf{v}_{H3}) = r_d$ та $r_3(\mathbf{v}_{B3}) = r_d$. Межі області Ω_{Π} отримують в результаті апроксимації точок \mathbf{v}_{H1} , \mathbf{v}_{H2} , \mathbf{v}_{H3} та \mathbf{v}_{B1} , \mathbf{v}_{B2} , \mathbf{v}_{B3} поліномом другого порядку.

Крок 6: якщо $r_3(\mathbf{v}_{M1}) < r_d$ та $r_3(\mathbf{v}_{M2}) > r_d$ або $r_3(\mathbf{v}_{M1}) > r_d$ та $r_3(\mathbf{v}_{M2}) < r_d$, то лінії R_H та R_B мають перетин між собою в межах області Ω_{Π} . Пошук точки перетину \mathbf{v}_d ліній R_H та R_B здійснюється вздовж ліній \bar{R} . Подальший порядок дій аналогічний описаному на кроці 5.

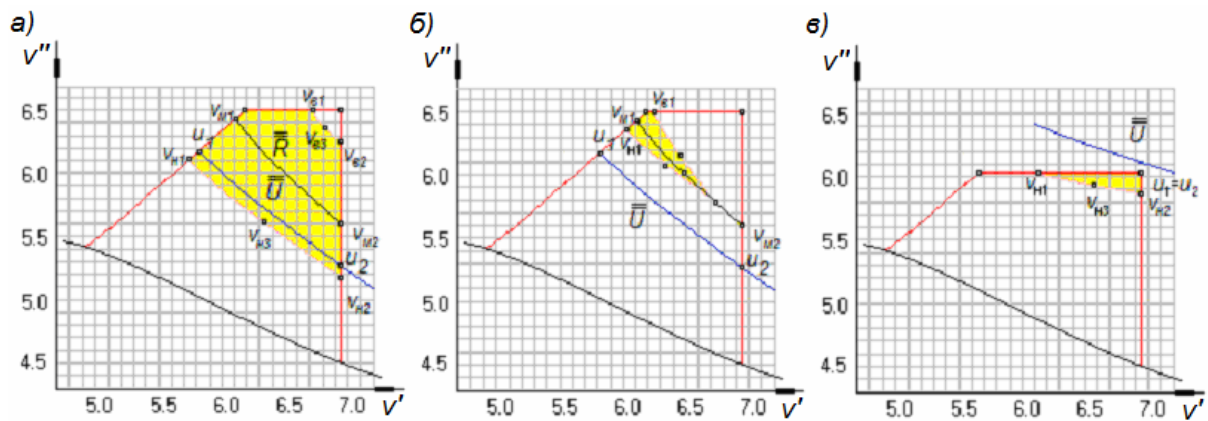


Рис. 6.24. Варіанти відносного розташування області допустимих швидкостей виходу відчепу з гальмових позицій: *a* – лінія \overline{R} перетинає область $\Omega_{\text{п}}$, $R_{\text{н}}$ та $R_{\text{в}}$ не мають перетину між собою в межах області $\Omega_{\text{п}}$; *б* - лінія \overline{R} перетинає область $\Omega_{\text{п}}$, $R_{\text{н}}$ та $R_{\text{в}}$ мають перетин між собою в межах області $\Omega_{\text{п}}$; *в* - лінія \overline{R} не перетинає область $\Omega_{\text{п}}$.

Характеристикою області $\Omega_{\text{д}}$ може виступати її площа S_{Ω} . В рамках дослідження на підставі імітаційних експериментів виконано оцінку впливу розташування розділових стрілочних переводів по маршруту скочування на площу області $\Omega_{\text{д}}$. Приклади областей $\Omega_{\text{д}}$ представлено на рис. 6.25.

Результати обчислювальних експериментів наведено в табл. 6.2. Виконані дослідження показали, що положення розділових стрілок по маршруту скочування суттєво впливає на площу області допустимих режимів гальмування відчепів. Так, у випадку, коли розділення відчепів у обох парах відбувається на другій стрілці по маршруту скочування, то площа області $\Omega_{\text{д}}$ складає 75% від площі області $\Omega_{\text{п}}$, а у випадку, коли розділення відчепів у обох парах відбувається на п'ятій стрілці по маршруту скочування, то області допустимих режимів гальмування не існує.

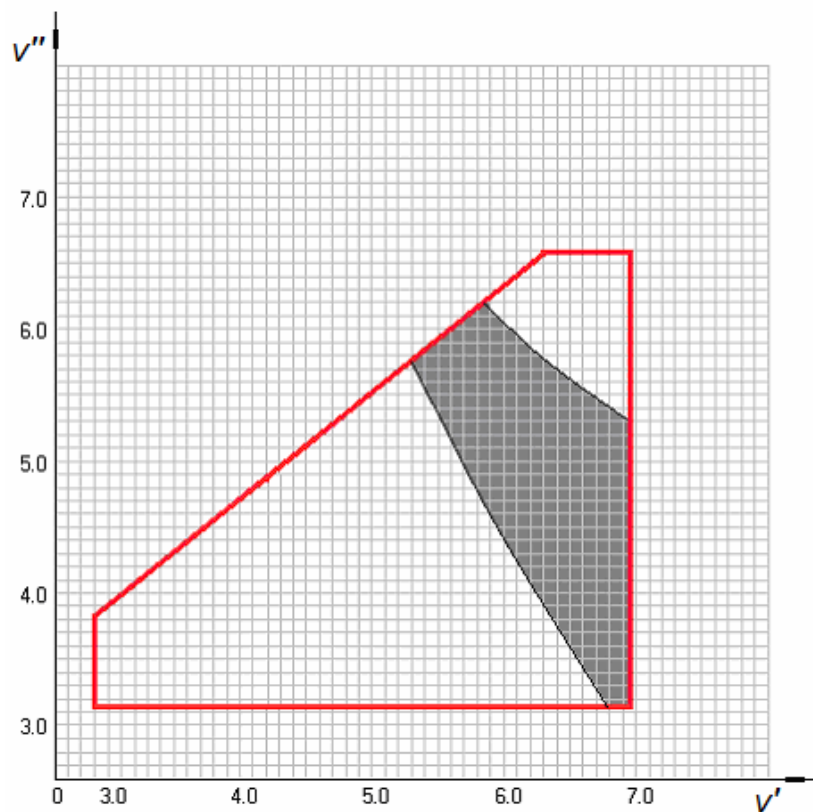
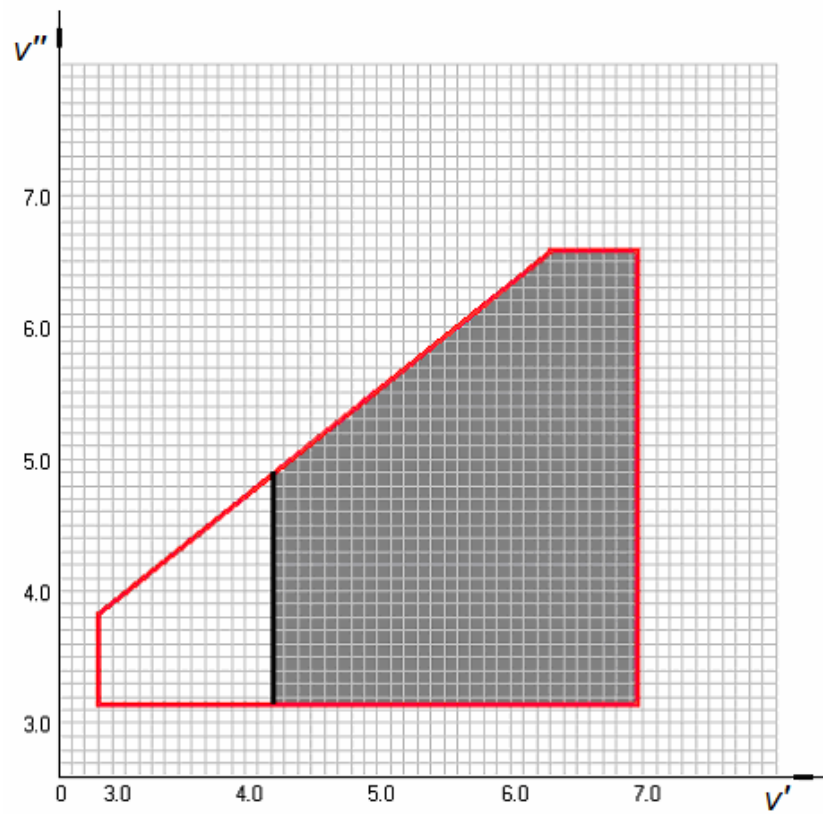


Рис. 6.25. Области допустимих режимів гальмування середнього відчепу розрахункової пари при різних розділових стрілках: *а* - стрілки 4-2; *б* - стрілки 4-5.

Залежність площі області допустимих режимів гальмування відчепів
від номерів розділових стрілок по маршруту скочування

Розділова стрілка в першій парі відчепів	Розділова стрілка в другій парі відчепів	Площа області Ω_d , м ² /с ²
1	1	9,33
1	2	6,99
1	3	3,27
1	4	1,86
1	5	0,67
2	1	9,33
2	2	6,99
2	3	3,27
2	4	1,86
2	5	0,67
3	1	9,33
3	2	6,99
3	3	3,27
3	4	1,86
3	5	0,67
4	1	9,33
4	2	6,99
4	3	3,27
4	4	1,86
4	5	0,67
5	1	8,69
5	2	6,35
5	3	2,40
5	4	1,12
5	5	0

Імовірності подій розділення відчепів на різних стрілочних переводах та математичне очікування площі області Ω_d визначено у табл. 6.3.

Визначення математичного очікування площі області допустимих режимів
гальмування відчепів

Розділові стрілки в парах відчепів		Імовірності розділення відчепів на стрілочних зонах		Ω_d	$\Omega_d p_{c1} p_{c2}$
1	2	p_{c1}	p_{c2}		
1	1	0,516129	0,516129	9,33	2,485
1	2	0,516129	0,258065	6,99	0,931
1	3	0,516129	0,129032	3,27	0,218
1	4	0,516129	0,064516	1,86	0,062
1	5	0,516129	0,032258	0,67	0,011
2	1	0,258065	0,516129	9,33	1,243
2	2	0,258065	0,258065	6,99	0,466
2	3	0,258065	0,129032	3,27	0,109
2	4	0,258065	0,064516	1,86	0,031
2	5	0,258065	0,032258	0,67	0,006
3	1	0,129032	0,516129	9,33	0,621
3	2	0,129032	0,258065	6,99	0,233
3	3	0,129032	0,129032	3,27	0,054
3	4	0,129032	0,064516	1,86	0,015
3	5	0,129032	0,032258	0,67	0,003
4	1	0,064516	0,516129	9,33	0,311
4	2	0,064516	0,258065	6,99	0,116
4	3	0,064516	0,129032	3,27	0,027
4	4	0,064516	0,064516	1,86	0,008
4	5	0,064516	0,032258	0,67	0,001
5	1	0,032258	0,516129	8,69	0,145
5	2	0,032258	0,258065	6,35	0,053
5	3	0,032258	0,129032	2,40	0,010
5	4	0,032258	0,064516	1,12	0,002
5	5	0,032258	0,032258	0	0,000
Разом					7,161

Таким чином, математичне очікування площі області Ω_d складає 76,7% від площі $\Omega_{ц}$, що створює умови для вирішення задачі вибору режимів галь-

мування при відсутності точної інформації про ходові характеристики відчепів та умови їх скочування.

6.6. Ефективні режими гальмування відчепів

В умовах невизначеності інформації про ходові характеристики відчепів та умови їх скочування оцінка ефективності режимів їх гальмування уповільнювачами здійснюється за двома імовірнісними показниками: математичне очікування величини вікна, що утворюється на сортувальній колії \bar{l}_b та ризик нерозділення відчепів r_n . Задача регулювання швидкості скочування середнього відчепа у розрахунковій групі з трьох відчепів полягає у пошуку таких режимів гальмування \mathbf{v} , що забезпечують досягнення найкращих показників інтервального та прицільного гальмування при безумовному виконанні показників безпеки руху і формулюється як задача мінімізації критеріїв

$$\bar{l}_b(\mathbf{v}) \rightarrow \min \quad \text{та} \quad r_n(\mathbf{v}) \rightarrow \min, \quad \text{при} \quad \mathbf{v} \in \Omega_d. \quad (6.10)$$

Критерії \bar{l}_b та r_n не є компромісними. Так у прикладі, представленому на рис. 6.26, виконано оцінку режимів гальмування $\mathbf{v}_1 = \{2,8; 3,1\}$ та $\mathbf{v}_2 = \{2,8; 2,5\}$ за вказаними критеріями.

При використанні режиму \mathbf{v}_1 математичне очікування величини вікна на сортувальній колії складає 7,84 м, а ризик нерозділення 0,0048. Використання режиму \mathbf{v}_2 , який передбачає зменшення швидкості виходу відчепа з СГП з 3,1 до 2,5 м/с, що дозволяє збільшити інтервал між першим та другим відчепами розрахункової групи і зменшити ризик не розділення відчепів до 0,000027. В той же час, це призводить до збільшення математичного очікування величини вікна на сортувальній колії до 14,2 м.

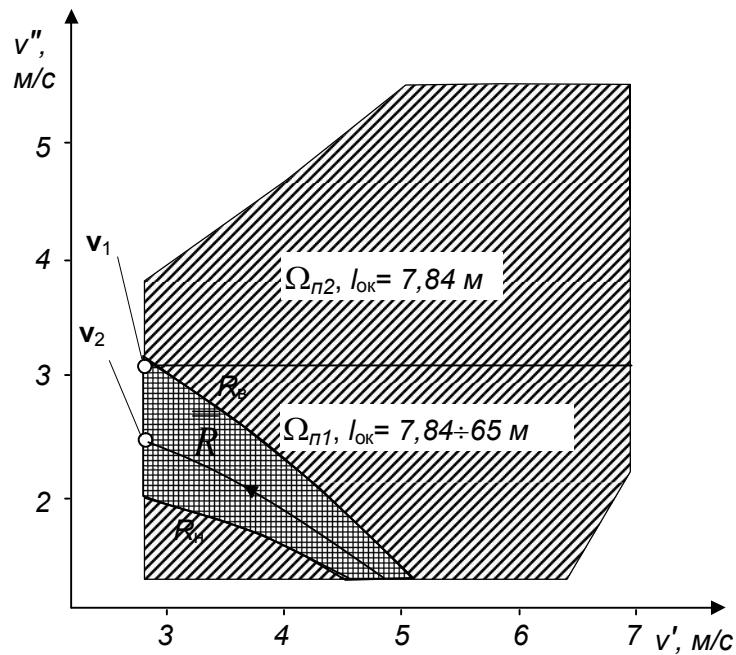


Рис. 6.26. Положення режимів, що забезпечують мінімум критеріїв \bar{l}_B та r_H в Ω_D

Нехай \mathbf{d} – векторний критерій, що характеризує режим гальмування $\mathbf{d} = (\bar{l}_B, r_H)$, який приймає значення із деякого простору оцінок R^2 . Будь яке значення $\mathbf{d}(\mathbf{v}) = (\bar{l}_B(\mathbf{v}), r_H(\mathbf{v})) \in R^2$ векторного критерію \mathbf{d} при деякому $\mathbf{v} \in \Omega_D$ являє собою векторну оцінку режиму гальмування \mathbf{v} . При цьому, $\mathbf{d}(\mathbf{v}_1) \succ \mathbf{d}(\mathbf{v}_2) \Leftrightarrow \mathbf{v}_1 \succ \mathbf{v}_2$ якщо $\bar{l}_B(\mathbf{v}_1) \leq \bar{l}_B(\mathbf{v}_2)$ та $r_H(\mathbf{v}_1) < r_H(\mathbf{v}_2)$.

Враховуючи, що для оцінки режимів гальмування використовується два критерії, то виникає задача пошуку ефективних (незрівнянних по Парето) рішень Ψ_e

$$\Psi_e = P_{\mathbf{d}}(\Omega_D) = \left\{ \mathbf{v}^* \in \Omega_D \mid \text{не існує такого } \mathbf{v} \in \Omega_D, \text{ що } \mathbf{d}(\mathbf{v}) \succ \mathbf{d}(\mathbf{v}^*) \right\}.$$

Конфігурація області Ψ_e залежить від взаємного розташування області Ω_{π} та лінії мінімальних ризиків \bar{R} .

Для розрахункових груп із трьох відчепів можуть мати місце наступні варіанти.

Варіант 1: режим, що забезпечує мінімальний ризик нерозділення $\mathbf{v}_{\text{мр}}$ належить області Ω_{π} $\mathbf{v}_{\text{мр}} \in \Omega_{\pi 2}$ (див. рис. 6.27, а та б) Враховуючи, що

$r(\mathbf{v}_{\text{мр}}) = \min_{\mathbf{v} \in \Omega_{\text{п}}} r(\mathbf{v})$ та $\bar{l}_{\text{в}}(\mathbf{v}_{\text{мр}}) \leq \bar{l}_{\text{в}}(\mathbf{v}), \mathbf{v} \in \Omega_{\text{п}}$, то не існує такого режиму гальмування, що $\mathbf{v} \succeq \mathbf{v}_{\text{мр}}, \mathbf{v} \in \Omega_{\text{п}}$. Таким чином, режим $\mathbf{v}_{\text{мр}}$ є оптимальним.

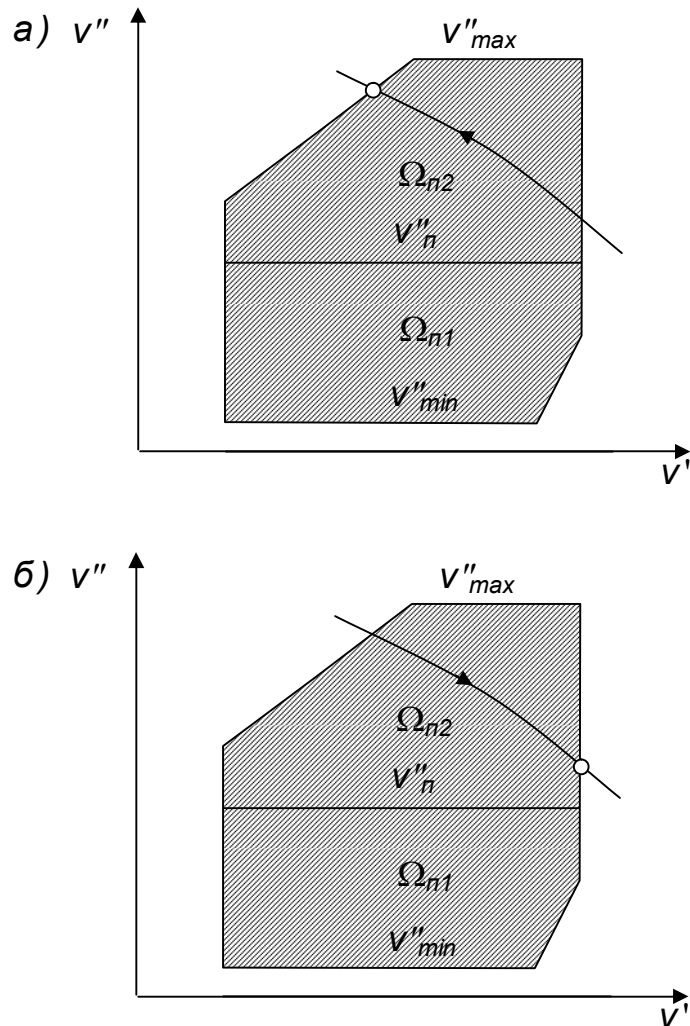


Рис. 6.27. Оптимальні режими гальмування відчепів при $\mathbf{v}_{\text{мр}} \in \Omega_{\text{п2}}$:

$$a - s_{\text{вх}}(v_1) < s_{\text{вих}}(v_2); s_{\text{вх}}(v_1) > s_{\text{вих}}(v_2)$$

Інші випадки мають місце, коли $\mathbf{v}_{\text{мр}} \in \Omega_{\text{п1}}$. В цих умовах обмеження швидкості виходу відчепів з СГП, яке необхідне для зменшення ризику нерозділення відчепів на стрілках, призводить до збільшення математичного очікування величини вікон на сортувальних коліях; тобто мають місце суперечності між умовами інтервального та прицільного регулювання швидкості скочування відчепа. При цьому мають місце наступні варіанти:

Варіант 2: режим \mathbf{v}_{MP} відповідає точці перетину лінії $\overline{\overline{R}}$ з верхньою межею $\Omega_{\text{п1}}$ (див. рис. 6.28). Такі випадки можуть мати місце, коли $s_{\text{ВХ}}(v_1) < s_{\text{ВІХ}}(v_2)$ та $\Omega_{\text{п2}} = \emptyset$. В цих умовах $v''_{\text{MP}} = \max_{v \in \Omega} \{v''\}$ і, згідно з (6.1), в ОДР відсутні режими такі, що $\bar{l}_{\text{В}}(\mathbf{v}) < \bar{l}_{\text{В}}(\mathbf{v}_{\text{MP}})$. Враховуючи, що $r_{\text{Н}}(\mathbf{v}_{\text{MP}}) = \min_{v \in \Omega} \{r_{\text{Н}}(\mathbf{v})\}$, то не існує такого режиму гальмування, що $\mathbf{v} \succeq \mathbf{v}_{\text{MP}}$, $\mathbf{v} \in \Omega_{\text{п}}$ і режим \mathbf{v}_{MP} є оптимальним.

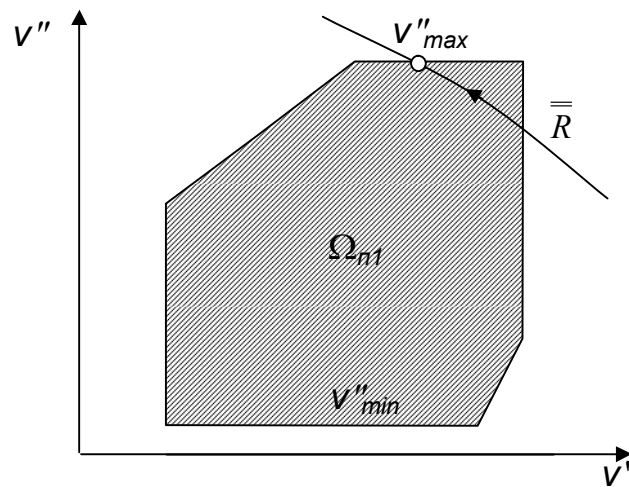


Рис. 6.28. Оптимальні режим гальмування відчепу в умовах, коли режим \mathbf{v}_{MP} відповідає точці перетину лінії $\overline{\overline{R}}$ з верхньою межею $\Omega_{\text{п1}}$

Варіант 3: режим \mathbf{v}_{MP} відповідає точці перетину лінії $\overline{\overline{R}}$ з лівою межею $\Omega_{\text{п1}}$ (див. рис. 6.29). Такі випадки мають місце при $s_{\text{ВХ}}(v_1) < s_{\text{ВІХ}}(v_2)$. Враховуючи умову (6.1), та те що $v''_{\text{MP}} = \max_{v \in \Omega} \{v''\}$, то серед режимів таких що $v'' < v''_{\text{MP}}$ не може бути ефективних. Режими, такі що $v'' > v''_{\text{MP}}$ переважають режим \mathbf{v}_{MP} за критерієм $\bar{l}_{\text{В}}$.

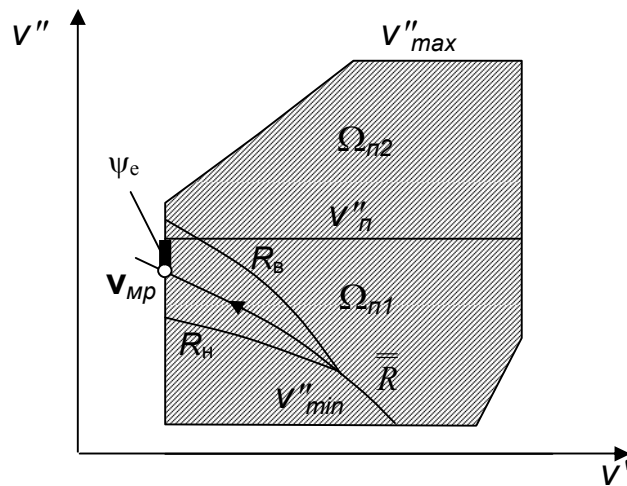


Рис. 6.29. Ефективні режими гальмування відчепу в умовах, коли режим v_{MP} відповідає точці перетину лінії \bar{R} з лівою межею $\Omega_{п1}$

Серед режимів таких, що $v'' > v''_n$ не може бути ефективних так як, враховуючи (6.1) та гладкість поверхні відгуку, для будь якого режиму із області $\Omega_{п2}$ на верхній межі області $\Omega_{п1}$ можна знайти режим такий, що $\bar{l}(v'_1, v''_n) < \bar{l}(v'_1, v''_2)$ та $r_n(v'_1, v''_n) < r_n(v'_1, v''_2)$.

Для аналізу впливу швидкості виходу відчепів з ВГП v' на умови їх розділення з суміжними виконано моделювання скочування відчепів при фіксованих значеннях v'' за умов

$$\begin{cases} v'' > v''_{MP} \\ s_{ВХ}(v_1) < s_{ВХ}(v_2) \end{cases} \quad (6.11)$$

Приклад результатів моделювання наведено на рис. 6.30. Аналіз отриманих результатів показав, що при виконанні умов (6.11) справедливим є твердження $s_{ВХ}(v_1) < s_{ВХ}(v_2)$

$$r_n(v_1) < r_n(v_2) \text{ якщо } v'_1 < v'_2 \text{ та } v''_1 = v''_2. \quad (6.12).$$

Із (6.12) слідує, що ефективний режим гальмування для кожного значення v'' відповідає мінімально допустимому значенню v' і знаходиться на лівій межі $\Omega_{п1}$. Таким чином, при виконанні умов (6.11) для деякого фіксованого значення v'' переважним буде режим з мінімальним допустимим значенням v' , так як усі режими, що мають однакове значення v'' мають однакові

значення критерію \bar{l}_B , а значення критерію r_H зменшується зі зменшенням v' .

В результаті можна зробити висновок, що при $s_{\text{вх}}(v_1) < s_{\text{вих}}(v_2)$ область ефективних режимів визначається умовою $v''_{\text{мр}} \leq v'' \leq v''_a$, $v' = \min\{v'(v'')\}$, $v \in \Omega_{\text{и}} \cup \Omega_{\text{д1}}$, при цьому ефективні режими завжди розташовуються на лівій межі ОДР.

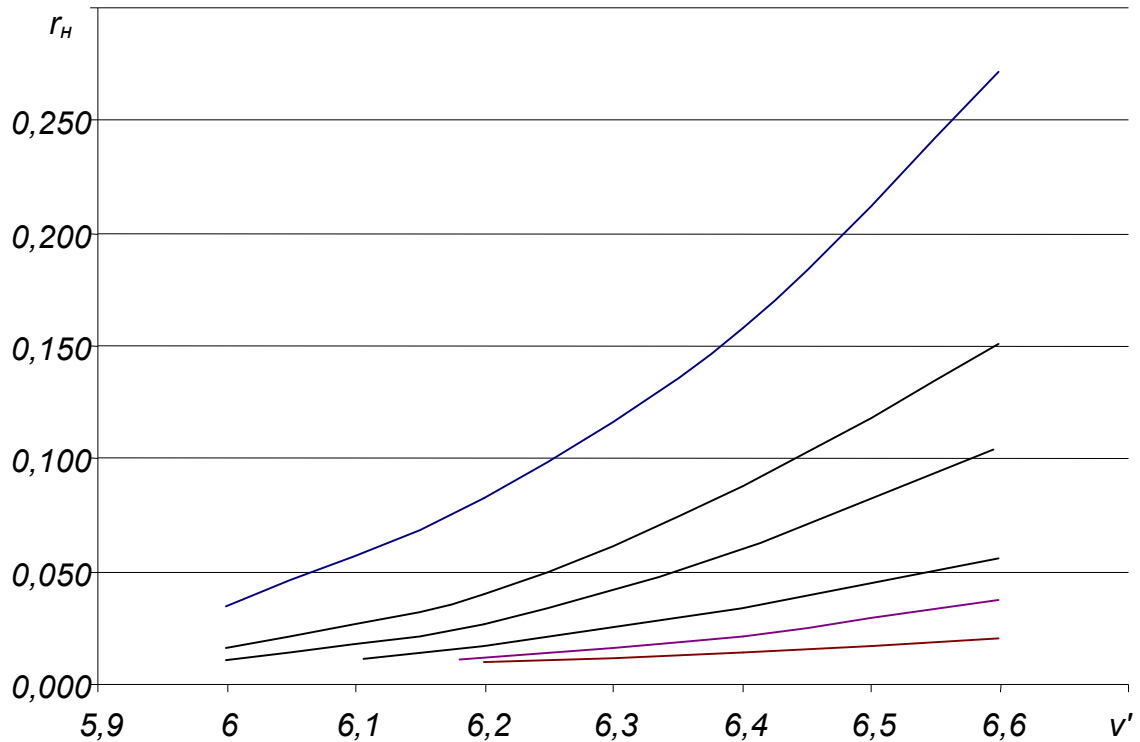


Рис. 6.30. Залежності $r_H=f(v')$ при $s_{\text{вх}}(v_1) < s_{\text{вих}}(v_2)$ та $v'' > v''_{\text{мр}}$

Варіант 4: режим $v_{\text{мр}}$ відповідає точці перетину лінії \bar{R} з правою (див. рис. 6.31, а) чи нижньою (див. рис. 6.31, б) межею $\Omega_{\text{п1}}$. Нехай v_a – інша точка перетину \bar{R} з $\Omega_{\text{п1}}$.

Враховуючи умову (6.1), та те що $v''_{\text{мр}} = \max_{v \in \Omega} \{v''\}$, то серед режимів таких, що $v'' < v''_{\text{мр}}$, не може бути ефективних. Режими такі, що $v'' > v''_{\text{мр}}$, переважають режим $v_{\text{мр}}$ за критерієм \bar{l}_B . Враховуючи те, що для кожного значення v'' $v''_{\text{мр}} < v'' \leq v''_a$ мінімальний ризик досягається на лінії \bar{R} , то справедливим є

твердження, що не існує таких режимів гальмування, для яких

$$v \succ v^*, v \in \Omega_{п1} \cup \Omega_{и} \cup \bar{R}, v''_{mp} < v'' \leq v''_a.$$

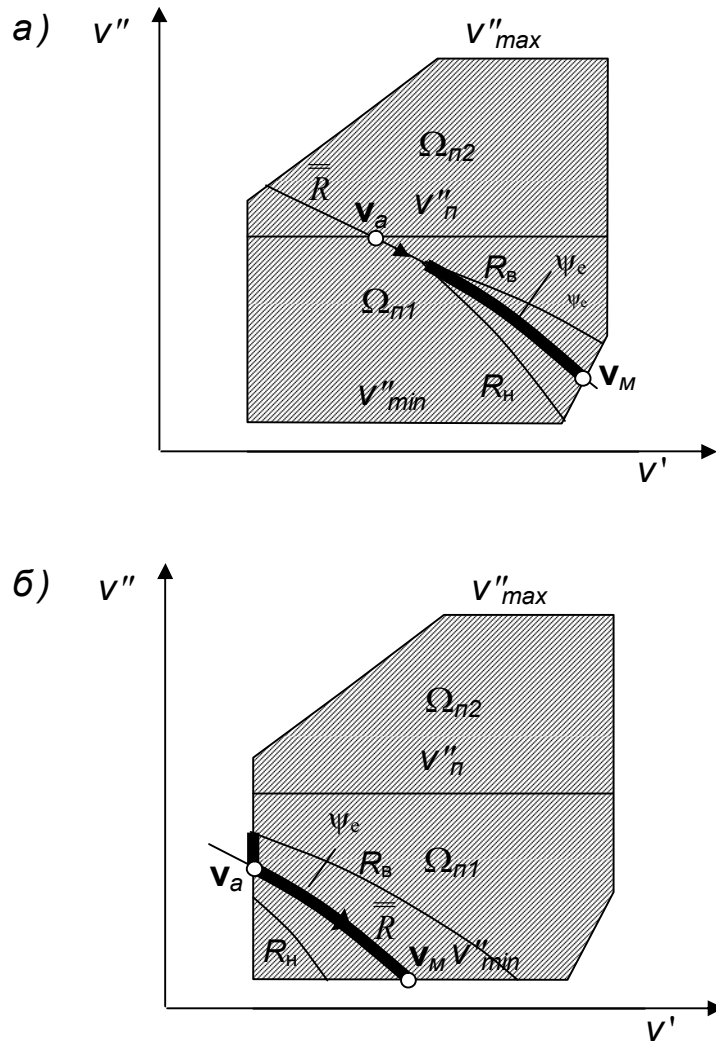


Рис. 6.31. Ефективні режими гальмування відчепів при $s_{вх}(v_1) > s_{вх}(v_2)$: а - лінія \bar{R} перетинає ліву межу $\Omega_{п1}$; б - лінія \bar{R} перетинає нижню межу $\Omega_{п1}$

Для аналізу впливу швидкості виходу відчепів з ВГП v' на умови їх розділення з суміжними виконано моделювання скочування відчепів при фіксованих значеннях v'' за умов

$$\begin{cases} v'' > v''_a \\ s_{вх}(v_1) > s_{вх}(v_2) \end{cases} \quad (6.13)$$

Приклад результатів моделювання наведено на рис. 6.32.

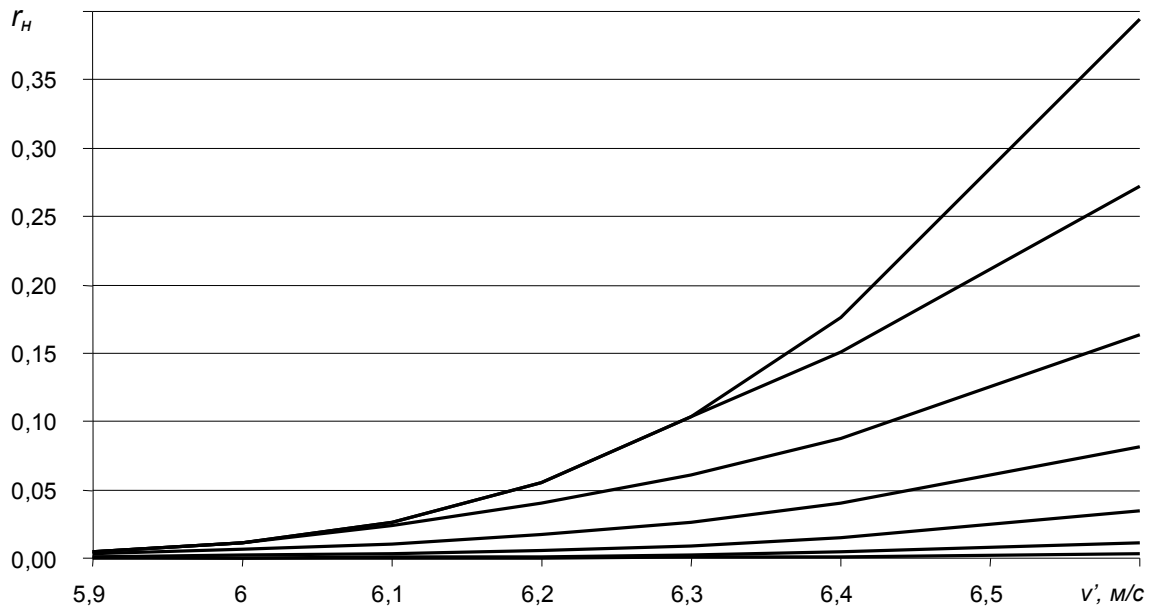


Рис. 6.32. Залежності $r_H=f(v')$ при $s_{\text{вх}}(v_1) > s_{\text{вих}}(v_2)$ та $v'' > v''_{\text{мр}}$

Аналіз отриманих результатів показав, що при виконанні умов (6.13) справедливим є твердження

$$r_H(\mathbf{v}_1) < r_H(\mathbf{v}_2) \text{ якщо } v'_1 < v'_2 \text{ та } v''_1 = v''_2. \quad (6.14).$$

Звідси слідує, що при $v'' > v''_a$ ефективні режими розташовуються вздовж лівої межі $\Omega_{\text{п}}$.

В умовах розформування можуть мати місце такі випадки, що коли в області можливих режимів гальмування відсутні режими, що одночасно задовольняють вимогам прицільного і інтервального гальмування відчепів $\Omega_{\text{д}} = \Omega_{\text{и}} \cup \Omega_{\text{п}} = \emptyset$. В цих умовах у якості найбільш ефективного режиму приймається режим, що забезпечує мінімальний ризик нерозділення відчепів при виконанні умов прицільного гальмування

Таким чином, область ефективних режимів гальмування визначається умовою

$$\Psi_{e,i} = \begin{cases} \mathbf{v}_{\text{мр}} \text{ при } \mathbf{v}_{\text{мр}} \in \Omega_{\text{п2}} \cup \Omega_{\text{и}} \text{ або } \Omega_{\text{д}} = \emptyset \\ v'' > v''_{\text{мр}}, v' = \min(v'(v'')), \mathbf{v} \in \Omega_{\text{и}} \cup \Omega_{\text{п2}}, s_1 < s_2 \\ v''_{\text{мр}} \leq v'' \leq v''_a, \mathbf{v} \in \Omega_{\text{и}} \cup \Omega_{\text{п2}} \cup \overline{R}, s_1 > s_2 \\ v'' > v''_a, v' = \min(v'(v'')), \mathbf{v} \in \Omega_{\text{и}} \cup \Omega_{\text{п2}}, s_1 > s_2 \end{cases}, i=2..n-1. \quad (6.15)$$

В составі також присутні два відчепи, умови управління скочуванням яких суттєво відрізняються від інших – це перший та останній відчепи.

Умови управління скочуванням першого відчепа у составі відрізняються від умов управління скочуванням інших відчепів тим, що для нього відсутній попередній відчеп. У зв'язку з цим для першого відчепа состава оптимальним є швидкий режим скочування $\mathbf{v}_{1\text{опт}} = \left\{ \max(v'), v''_{\text{max}} \right\}$ (див. рис. 6.33).

$$\mathbf{v}_{1\text{опт}} = \left\{ \max(v'), v''_{\text{max}} \right\} \quad (\text{див. рис. 6.33}).$$

По-перше, цей режим передбачає мінімально допустиме гальмування відчепа уповільнювачами спускної частини гірки та забезпечує найшвидше звільнення стрілочної зони і найменший ризик нерозділення першого та другого відчепа состава. По-друге, у зв'язку з тим, що режиму $\mathbf{v}_{1\text{опт}}$ відповідає максимально допустима швидкість виходу відчепа з СГП, то, з урахуванням (6.1), в $\Omega_{\text{п}}$ не може бути такого режиму, що $\bar{l}_{\text{в}}(\mathbf{v}) < \bar{l}_{\text{в}}(\mathbf{v}_{1\text{опт}})$

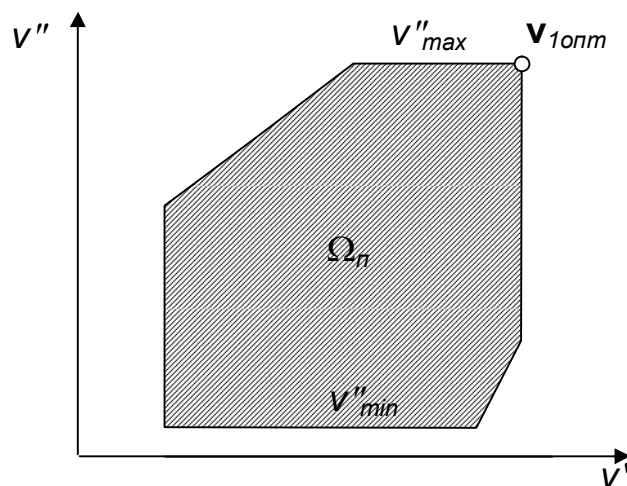


Рис. 6.33. Область ефективних режимів гальмування першого відчепа состава

Відповідно область ефективних режимів першого відчепа состава визначається умовою

$$\Psi_{\text{е,1}} = \mathbf{v}_{1\text{опт}} = \left\{ \max(v'), v''_{\text{max}} \right\}. \quad (6.16)$$

Умови управління скочуванням останнього відчепа у составі відрізняються від умов управління скочуванням інших відчепів тим, що для нього відсутній наступний відчеп. В цих умовах найменший ризик нерозділення відчепів забезпечує повільний режим скочування відчепів

$\mathbf{v}_{\text{мро}} = \left\{ \min_{\mathbf{v} \in \Omega_{\text{п}}} (v'), v''_{\text{min}} \right\}$, що передбачає мінімальну швидкість виходу відчепа

з гальмових позицій спускної частини гірки (див. рис. 6.34).

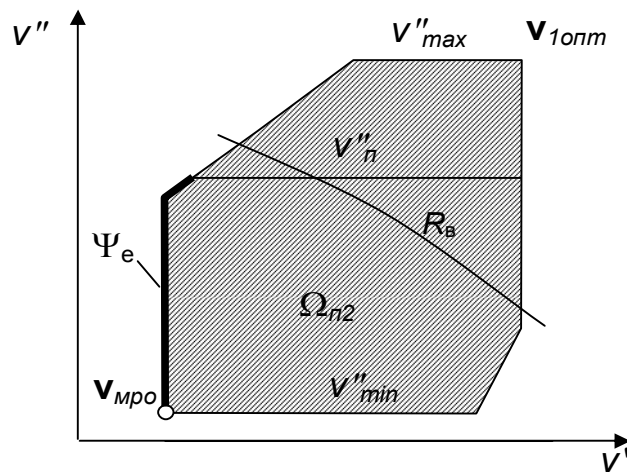


Рис. 6.34. Область ефективних режимів гальмування останнього відчепа состава

Згідно з (6.1) будь який режим гальмування такий, що $v'' > v''_{\text{мро}}$, переважає режим $\mathbf{v}_{\text{мро}}$ за критерієм \bar{l}_B . При цьому для двох будь-яких режимів \mathbf{v}_1 та \mathbf{v}_2 справедливим є твердження, що $r_H(\mathbf{v}_1) < r_H(\mathbf{v}_2)$ при $v'_1 < v'_2$ та $v''_1 = v''_2$. Серед режимів таких, що $v'' > v''_n$, не може бути ефективних, так як для будь якого такого режиму на верхній межі області $\Omega_{\text{п1}}$ можна знайти режим такий, що $\bar{l}(v'_1, v''_n) < \bar{l}(v'_1, v''_2)$ та $r_H(v'_1, v''_n) < r_H(v'_1, v''_2)$. В результаті, область ефективних режимів останнього відчепа состава розташовується на лівій межі ОДР та визначається умовою

$$\Psi_{e,0} = \left\{ \mathbf{v} \in \Omega_{\text{д}} \mid v'' \leq v''_n, v' = \min(v'(v'')) \right\}.$$

Таким чином, ефективні режими завжди розташовуються на лівій чи верхній межі області $\Omega_{\text{п}}$, або на лінії мінімальних ризиків. При цьому одному значенні v'' не може відповідати два ефективних режими. Враховуючи, що область ефективних режимів Ψ_e являє собою неперервну лінію з прямолінійних та криволінійних ділянок, то кожен її режим може бути заданий параметричним виразом $\mathbf{v}_e = \mathbf{f}(v'', \Psi_e)$.

Виділення області ефективних режимів гальмування Ψ_e для кожного відчепа дозволяє суттєво скоротити тривалість вирішення задачі управління швидкістю скочування відчепів состава.

6.7. Оптимізація режимів гальмування відчепів у стохастичних умовах

Існуючі методи вибору режимів гальмування окремих відчепів состава спираються на розв'язання відповідної задачі у детермінованій постановці, що не забезпечує отримання оптимального рішення в умовах дії випадкових факторів. У зв'язку з цим у дисертації сформульовано двокритеріальну задачу оптимізації режимів гальмування відчепів у стохастичній постановці

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^c \bar{l}_B(v_j'') \rightarrow \min, \\ \sum_{j=1}^c r_H(v_j'') \rightarrow \min, \\ \mathbf{v}_j \in \Psi_j, j = 1..c. \end{cases} \quad (6.17)$$

Необхідно відмітити, що при гальмуванні відчепів може бути реалізований лише один режим гальмування. У зв'язку з цим виникає задача вибору єдиного режиму з Ψ_e . Для вирішення подібних задач використовуються різні методи [157]: лінійне згортання; максимінне згортання, метод головної компоненти, метод лексикографічного упорядкування критеріїв.

Для вибору режиму гальмування в Ψ_e використано метод лексикографічного упорядкування критеріїв. В подальшому прийнято, що

$$\begin{aligned} \mathbf{d}(v_1'') \succ^{lex} \mathbf{d}(v_2'') &\Leftrightarrow q_1 \succ^{lex} q_2 \text{ якщо } \bar{l}_B(v_1'') < \bar{l}_B(v_2'') \\ \text{або } \bar{l}_B(v_1'') = \bar{l}_B(v_2'') &\text{ та } r_H(v_1'') < r_H(v_2'') \end{aligned} \quad (6.18)$$

Такий порядок переваги критеріїв обрано через те, що величина допустимого ризику нерозділення відчепів нормується згідно з виразом (6.15), а подальше зменшення ризику призводить до суттєвого зростання математичного очікування величини вікна на сортувальних коліях

При цьому загальна оцінка режимів гальмування групи відчепів складає $\mathbf{d}_{1,c}$ визначається за виразом

$$\mathbf{d}_{1,c}(\mathbf{v}_{1,c}) = \sum_{j=1}^c \mathbf{d}_j(\mathbf{v}_j'') = \left\{ \frac{\sum_{j=1}^c \bar{l}_{\text{в}j}(\mathbf{v}_j'') m_j}{\sum_{j=1}^c m_j}; \sum_{j=1}^c r_{\text{н}j}(\mathbf{v}_j'') \right\}, \mathbf{v}_j \in \Psi_{\text{e}j}.$$

В результаті умова (6.17) зводиться до виду

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{d}_{1,c}(\mathbf{v}_{1,c}) = \sum_{j=1}^c \mathbf{d}_j(\mathbf{v}_j'') \rightarrow \min \\ \mathbf{v}_j \in \Psi_j \\ j = 1..c \end{array} \right.$$

При застосуванні наведеного в (6.18) порядку переваги критеріїв оптимальні режими гальмування можуть розташовуватись в наступних місцях області $\Omega_{\text{п}}$. При $s_{\text{вх}}(v_1) < s_{\text{вих}}(v_2)$ ефективні режими завжди розташовуються на лівій межі області $\Omega_{\text{п}}$ чи на лінії \bar{R} в точці її перетину з верхньою межею $\Omega_{\text{п}}$. У зв'язку з цим при $s_{\text{вх}}(v_1) < s_{\text{вих}}(v_2)$ пошук оптимальних режимів гальмування необхідно здійснювати на лівій та верхній межі області $\Omega_{\text{п}}$. При $s_{\text{вх}}(v_1) > s_{\text{вих}}(v_2)$ ефективні режими можуть розташовуватись на правій або нижній межі області $\Omega_{\text{п}2}$ чи на лівій межі області $\Omega_{\text{п}1}$ або у точці перетину лінії \bar{R} з обмеженням $r_{\text{н}}(\mathbf{v})=r_{\text{д}}$ (див. рис. 6.27, б та 6.31, а, б). При цьому розташування оптимального режиму на правій чи нижній межі області $\Omega_{\text{п}1}$ визначається умовою

$$\Omega_{\text{п}1} \cup \Omega_{\text{н}} \neq \emptyset. \quad (6.19)$$

Перевірка виконання умови (6.19) може бути виконана шляхом визначення величини ризику нерозділення в першій парі розрахункової трійки відчепів при використанні режиму гальмування, що відповідає точці перетину нижньої та правої межі області $\Omega_{\text{п}2}$.

Состав, який розформується, може розглядатися як деяка фізична система S , що покроково змінює свій стан в процесі розпуску. Окремим кро-

ком є скочування одного відчепа. Процес розпуску є керованим; управління на j -му кроці можна представити режимом гальмування $\mathbf{v}_j \in \Psi_e$ j -го відчепа на гальмових позиціях спускної частини гірки.

Управління розпуском всього состава з c відчепів можна представити сукупністю покрокових управлінь:

$$\mathbf{v}_{1,c} = (v_1'', v_2'', \dots, v_c'').$$

Враховуючи властивості задачі вона може бути розв'язана методами динамічного програмування.

Процедура пошуку оптимального режиму виконується в два етапи. На першому етапі (умовна оптимізація) для кожного відчепа здійснюється пошук умовно оптимальних керувань $\mathbf{v}_{1,j}^*$, що враховують лише стан системи до його скочування. На другому етапі (безумовна оптимізація) для кожного відчепа визначається безумовно оптимальне управління.

Умовно оптимальне управління на j -му кроці являє собою залежність $\mathbf{d}_{1,j}(\mathbf{v}_j^*)$ яка характеризує стан системи перед j -м кроком. Вказана функція визначає мінімальне значення оцінки режимів гальмування при оптимальному управлінні на попередніх $1..j-1$ кроках і має рекурентний вигляд

$$\mathbf{d}_{1,j}(\mathbf{v}_j^*) = \min(\mathbf{d}_{1,j}(\mathbf{v}_{j-1}^*) + \mathbf{d}_j(\mathbf{v}_j)).$$

Область ефективних режимів першого відчепа у составі складається з одного режиму \mathbf{v}_{1opt} і не залежить від режимів гальмування інших відчепів.

Методика пошук оптимального режиму гальмування проілюстровано на прикладі вибору режиму гальмування у составі з п'яти одновагонних відчепів, характеристики якого наведені в табл. 6.4.

Характеристики вагонів розрахункового состава

№ п/п	Вагова категорія відчепа	Відстань до точки прицілювання, м	Стрілка поділу відчепа з наступним
1	Л	450	5
2	Т	510	5
3	Л	690	4
4	Л	765	2
5	ЛС	720	-

Попередньо вирішено задачу оптимізації режимів гальмування відцепів розрахункового состава у детермінованій постановці. При цьому параметри відцепів прийняті рівними їх математичних очікуванням і режими гальмування. Режими гальмування відцепів обиралися у відповідних областях Θ . Згідно з визначеними швидкостями виходу відцепів з гальмових позицій виконано розформування составів із випадковими характеристиками і отримано імовірнісні оцінки режимів гальмування (див. табл. 6.5).

Аналіз отриманого рішення показує, що для досягнення оптимального значення критерію (1.12) було вирівняно інтервали в другій та третій парах. Імовірність підходу відцепів до вагонів на сортувальних коліях є недопустимою і складає 0,32-0,62.

Таблиця 6.5

Результати вирішення задачі оптимізації режиму гальмування відцепів у детермінованій постановці при $v_j \in \Theta_j$

№ відчепа	v'	v''	v'''	δt	\bar{l}_B	p_{Π}	r_H
1	6,77	7,18	3,20	5,6	9,95	0,42	0
2	6,53	6,14	2,60	4,41	0,81	0,62	0,006
3	6,77	6,68	5,16	4,41	24,95	0,33	0
4	6,77	7,22	5,65	6,45	21,91	0,46	0
5	4,33	5,57	4,48	-	45,79	0,32	-
Узагальнені показники					20,7	0,43	0,0012

Для забезпечення вимог безпеки руху виконано оптимізацію режимів гальмування відчепів за критерієм (1.12) при цьому режими гальмування відчепів обиралися в межах відповідних областей Ω_{Π} . Згідно з визначеними швидкостями виходу відчепів з гальмових позицій виконано розформування составів із випадковими характеристиками. Отримані імовірнісні оцінки режимів гальмування наведені у табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Результати вирішення задачі оптимізації режиму гальмування відчепів у детермінованій постановці при $v_j \in \Omega_{\Pi j}$

№ відчепу	v'	v''	v'''	δt	\bar{l}_B	p_{Π}	r_H
1	6,77	7,22	4,12	5,86	29,5	0,1	0
2	6,52	5,65	1,60	4,61	31,0	0,1	0,008
3	6,66	6,00	4,56	4,61	58,7	0,1	0
4	6,15	6,73	5,21	7,42	67,8	0,1	0
5	3,06	4,78	3,78	-	96,1	0,1	-
Узагальнені показники					56,6	0,1	0,002

Аналіз отриманого рішення показує, що для досягнення оптимального значення критерію (1.12), також було вирівняно інтервали в другій та третій парах, відповідно на п'ятій та четвертій розділових стрілках. Імовірність підходу відчепів до вагонів на сортувальних прийняла допустиме значення 0,1. Наслідком зменшення імовірності порушення встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях стало збільшення середньої величини вікна, що припадає на один вагон з 20,7 м до 56,6 м.

Для порівняння здійснено пошук рішення в стохастичній постановці. При цьому для першого відчепу безумовно оптимальним режимом є швидкий режим скочування $v_1 = \{6,77, 7,22\}$. Розділовими стрілками у першій трійці відчепів є стрілки 5-5, у зв'язку з цим ефективні режими гальмування розташовуються на лівій або на верхній межі області Ω_{Π} (див. рис. 6.27, а, 6.28, 6.29). Дослідження величини $d_{1,2}(v_2)$ вздовж вказаних меж ОДР показало,

що показники регулювання швидкості скочування не змінюються і складають $\mathbf{d}_{1,2} = \{30,25, 0\}$.

Розділовими стрілками у другій трійці відчепів є стрілки 5-4. У зв'язку з цим пошук ефективних режимів гальмування здійснювався на правій та на нижній межі області $\Omega_{п2}$ (див. рис. 6.27, б).

Дослідження величини $\mathbf{d}_{1,3}(v_3)$ вздовж вказаних меж ОДР показало, що середня величина вікна вікна в групі не змінюється і складає 39,7 м. Ризик нерозділення залежить від режиму гальмування третього відчепа, і ця залежність представлена на рис. 6.35.

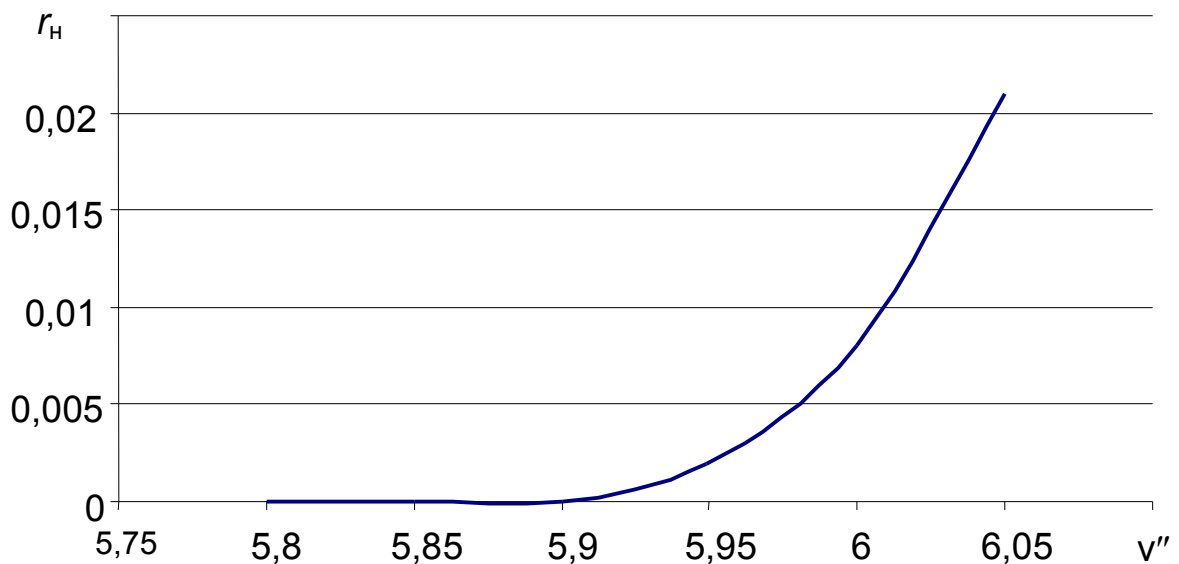


Рис. 6.35. Залежність ризику нерозділення у групі з трьох перших відчепів состава від режиму гальмування третього відчепа

Аналогічним чином отримано умовно-оптимальні рішення для іншої частини состава. Рішення задачі вибору режиму гальмування відчепів состава у стохастичній постановці приведено у табл. 6.7.

Результати вирішення задачі оптимізації режиму гальмування
відчепів у стохастичній постановці

№ від- чепів	v'	v''	v'''	δt	\bar{l}_B	p_{Π}	r_H
1	6,77	7,22	4,12	5,86	29,5	0,1	0
2	6,52	5,65	1,60	5,38	31,0	0,1	0
3	6,66	5,90	4,56	4,16	58,7	0,1	0
4	6,15	6,73	5,21	7,42	67,8	0,1	0
5	3,06	4,78	3,78	-	96,1	0,1	-
Узагальнені показники					56,62	0,1	0

Для перевірки ефективності розробленої методики виконано оптимізацію режимів гальмування при розпуску дослідних составів. Встановлено, що вирішення задачі у стохастичній постановці у порівнянні з рішенням задачі у детермінованій постановці за рахунок перерозподілу інтервалів на розділових елементах дозволяє скоротити кількість недопустимих ризиків нерозділення відчепів на 70-77% без погіршення показників прицільного регулювання швидкості відчепів.

6.8. Висновки по розділу 6

1. При розформуванні составів на сортувальних гірках розв'язуються дві взаємопов'язані та частково суперечливі задачі інтервального і прицільного регулювання швидкості скочування відчепів. В якості управляючих параметрів на трьохпозиційних гірках можуть бути прийняті швидкості виходу відчепів з першої та другої гальмових позицій. При цьому швидкість виходу відчепа з третьої гальмової позиції обирається з умови забезпечення вимог прицільного гальмування.

2. Оцінка якості прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відчепів повинна здійснюватись на підставі комплексу імовірнісних показників: імовірність перевищення встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях, імовірність зупинки відчепів у гальмових уповільнювачах паркової гальмової позиції, середня величи-

на вікна, що припадає на один розформований вагон, ризик нерозділення відчепів на розділових елементах. При цьому перші два показники характеризують безпеку руху і їх значення повинні бути нормовані.

3. Область допустимих швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій являє собою частину області можливих значень їх швидкостей, в якій додатково враховуються обмеження по імовірності перевищення допустимої швидкості входу відчепів на уповільнювачі, обмеження по імовірності перевищення встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях, обмеження по імовірності зупинки відчепа в уповільнювачі паркової гальмової позиції, обмеження ризику нерозділення відчепів із суміжними відчепами. Область допустимих швидкостей виходу відчепів складається із двох підобластей: підобласті з постійним значенням середньої величини вікна, що припадає на один розформований вагон $\bar{l}_в$, та підобласті, де величина $\bar{l}_в$ залежить від швидкості виходу відчепа з другої гальмової позиції.

4. В області можливих швидкостей виходу відчепа з гальмових позицій може бути виділена лінія мінімальних ризиків нерозділення; при цьому напрям зменшення ризиків вздовж цієї лінії однозначно залежить від розташування стрілок по маршруту скочування та довжини відчепа, а мінімальне значення ризику нерозділення досягається на межі області допустимих швидкостей виходу відчепа з гальмових позицій. Виконані дослідження показали, що пошук оптимальних режимів гальмування можна обмежити множиною ефективних режимів які відповідають лінії мінімальних ризиків і межі області $\Omega_{п}$. Вказана особливість задачі дозволяє перейти від двомірної задачі пошуку оптимальних швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій в області допустимих режимів до одновірної задачі пошуку оптимального режиму у множині ефективних режимів.

5. Формалізована двокритеріальна задача оптимізації режимів гальмування відчепів у стохастичній постановці. При цьому у якості критеріїв розглядаються середня величина вікна, що припадає на один розформований ва-

гон та ризик нерозділення відчепів на розділових елементах. Запропоновано алгоритм пошуку оптимального режиму гальмування на основі методу динамічного програмування. Розв'язання задачі у стохастичній постановці, у порівнянні з детермінованим рішенням задачі з середніми значеннями параметрів відчепів та умов їх скочування, за рахунок перерозподілу інтервалів у розділових групах. Вирішення задачі у стохастичній постановці у порівнянні з рішенням задачі у детермінованій постановці за рахунок перерозподілу інтервалів на розділових елементах дозволяє скоротити кількість недопустимих ризиків нерозділення відчепів на 70-77% без погіршення показників прицільного регулювання швидкості відчепів.

РОЗДІЛ 7

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК В УМОВАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ

7.1. Загальна структура моделі сортувального процесу

Сортувальна гірка є невід'ємною частиною сортувального комплексу, тому для її комплексної оцінки необхідна модель, що дозволяє імітувати всі елементи гіркового технологічного циклу разом з процесом накопичення вагонів у сортувальному парку. Загальна модель гірки включає модель колійного розвитку, модель технологічного процесу, модель пересування об'єктів, модель системи управління стрілками і уповільнювачами та інформаційну модель [14, 26, 27, 29, 99].

7.2. Модель колійного розвитку сортувальної гірки

Модель колійного розвитку повинна забезпечувати інформацією взаємодіючі з нею моделі комплексу, а також реалізовувати необхідні керуючі команди [83]. Зокрема модель колійного розвитку повинна надавати наступну інформацію: стан і положення стрілочних переводів і гальмових уповільнювачів; стан ділянок колії; положення об'єктів рухомого складу; параметри маршрутів руху об'єктів. Окрім того, модель повинна сприймати наступні команди: змінити стан стрілки чи гальмового уповільнювача; помістити новий об'єкт на ділянку колії; видалити об'єкт з моделі колійного розвитку; перемістити об'єкт на задану відстань у визначеному напрямку.

Для виконання наведених функцій модель колійного розвитку містить інформацію про план та поздовжній профіль колійних ділянок, стрілочні переводи, гальмові уповільнювачі, їх поточний стан та розташування рухомого складу на коліях. В основу моделі колійного розвитку сортувального комплексу покладено універсальну модель колійного розвитку станції [28], яку було удосконалено для можливості моделювання гіркових процесів. До скла-

ду моделі колійного розвитку входить геометрична модель (ГМКР) та модель заняття колійних ділянок (МЗК). Структура ГМКР представлена на основі зваженого орієнтованого графа $G(V, E)$, в якому виділено п'ять підмножин вершин: V^S, V^C, V^W, V^Z, V^P . Вершини $v_i \in V^S$ являються центрами стрілочних переводів (ЦП), вершини $v_j \in V^C$ – світлофорами (СВ), вершини $v_l \in V^W$ – кінцями колій (КП), вершини $v_k \in V^Z$ – стиками колійних ділянок (СТ), вершини $v_n \in V^P$ – точками початку вертикальних кривих (ПВК). Для розподілу множини вершин графа G на підмножини, кожній із них виділені непересічні групи номерів: $N^S = \{1, 2, \dots, 199\}$, $N^C = \{201, 202, \dots, 399\}$, $N^{W,Z} = \{401, 402, \dots, 999\}$, $N^P = \{1001, 1002, \dots, 1099\}$.

Дугам графа $e \in E$ поставлені у відповідність ділянки колій між вершинами. Орієнтований граф G у пам'яті ЕОМ представляється списком дуг. При цьому кожна дуга орграфа $e = (v \rightarrow u)$ позначається упорядкованою парою вершин, де v – початкова, а u кінцева вершина; прийнято, що всі дуги орієнтовані зліва направо.

Орграф $G(V, E)$ є зваженим. Кожній вершині графа у відповідність поставлена її відмітка (апліката) z . Відмітка z може бути задана безпосередньо, або розрахована. Інші параметри визначаються типом вершини. Так, кожній вершині v_i підмножини V^S у поставлено у відповідність вектор параметрів

$$\mathbf{X}^S = \{e_1, e_2, e_3, e_4, s_{\text{ск}}\}.$$

де $e_1 - e_4$ – колійні ділянки, що входять до складу стрілочного переводу; $s_{\text{ск}}$ – положення стрілки ($s_{\text{ск}}=0$ – вліво, $s_{\text{ск}}=1$ – вправо).

Параметри e_2 та e_4 відповідають правій колії стрілочного переводу (див. рис. 7.1). При цьому використовується лише один з них в залежності від напрямку укладки стрілочного переводу (пошерстний чи протишерстний); інший параметр приймає нульове значення. Таке представлення стрілочного переводу дозволяє контролювати його зайнятість рухомим складом та визначати напрям слідування по ньому відцепів.

Для вершин $v_j \in V^C$ (СВ) повинен бути заданий напрямок сигналу (дозволяє прослідкування зліва направо $dr=0$, дозволяє прослідкування справа наліво $dr=1$).

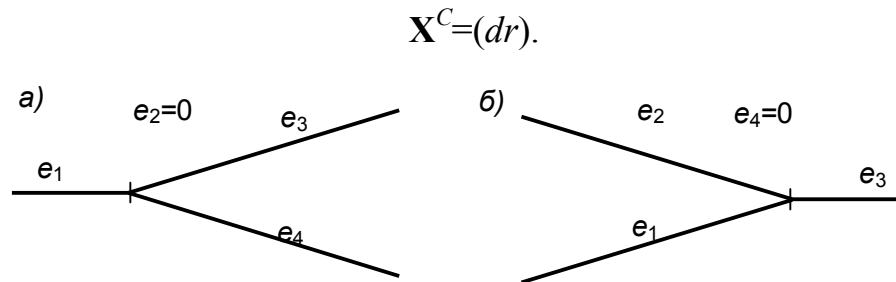


Рис. 7.1. Схема кодування стрілочних переводів: *a* – протишерстний перевід; *б* – пошерстний перевід

Кожна вершина v_n підмножини V^P характеризується вектором параметрів

$$X^P = \{i_{\text{п}}, R_{\text{в}}\},$$

де $i_{\text{п}}$ – ухил елемента поздовжнього профілю, що знаходиться справа від вертикальної кривої, ‰;

$R_{\text{в}}$ – радіус вертикальної кривої, м.

Вершини $v_l \in V^W$ (КП) та $v_k \in V^Z$ (стики) використовуються лише для вказівки меж ділянок і додаткових параметрів не мають.

Кожній дузі оргафа $e \in E$ поставлено у відповідність вектор параметрів

$$Y_{\text{пл}} = \{l_e, w_{\text{ск}}, w_{\text{сі}}, w_3, N_{\text{п}}, P_1, P_2\},$$

де l_e – довжина ділянки колії, м;

$w_{\text{ск}}$ – питомий опір стрілок та кривих на ділянці колії;

$w_{\text{сі}}$ – питомий опір снігу та інею на ділянці колії;

w_3 – питомий опір гальмових уповільнювачів на ділянці колії;

$N_{\text{п}}$ – номер колії у відповідності з прийнятою на станції нумерацією;

P_1, P_2 – ідентифікатори робіт, які повинні бути виконані, при занятті і звільненні колійної ділянки.

Останні три параметри є необов'язковими і наводяться при необхідності.

Додатково в ГМКР описуються гальмові уповільнювачі. При цьому кожен із уповільнювачів представляється структурою

$$\mathbf{R} = \{T_y, s_y, t_y, \mathbf{e}_y, \mathbf{p}_y\},$$

де T_y – тип гальмового уповільнювача;

s_y – стан уповільнювача ($s_y=0$ – розгальмований, $s_y=1$ – загальмовується, $s_y=2$ – загальмований, $s_y=3$ – розгальмовується);

t_y – момент часу подачі команди на зміну стану уповільнювача;

\mathbf{e}_y – список колійних ділянок, що відповідають уповільнювачу;

\mathbf{p}_y – список додаткових параметрів уповільнювача, що залежить від його типу.

В процесі скочування в залежності від типу уповільнювача T_y , його стану s_y та кількості осей рухомого складу, що знаходяться у зоні гальмування встановлюється гальмовий опір w_3 для колійних ділянок \mathbf{e}_y , що входять до його складу. При цьому в перехідних станах ($s_y = 1$ чи $s_y = 3$) гальмовий опір також залежить від різниці між поточним моментом часу та моментом подачі команди на зміну стану t_y .

Для моделювання скочування відчепів необхідно доповнити інформацію про план колійного розвитку, що міститься в ГМКР інформацією про поздовжній профіль. В основу представлення поздовжнього профілю покладена його апроксимація модифікованим кубічним сплайном, що запропонована в [24].

В загальному вигляді задача апроксимації поздовжнього профілю гірки формулюється наступним чином: задано значення відміток профілю гірки $h(s_1), \dots, h(s_n)$ в точках $s_1 < \dots < s_n$. Необхідно побудувати інтерполяційну сплайн-функцію f ступеня m з точками з'єднання (вузлами) s_1, \dots, s_n , яка на відріжку $[s_1, s_n]$ має неперервні похідні до $m-1$ включно і на кожному з інтервалів $[s_i, s_{i+1}]$ представляється багаточленом ступеню m , т.е. $f = P_i(s)$. Кожен багаточлен P_i повинен відповідати вимогам

$$P_i(s_i) = h(s_i), P_i(s_{i+1}) = h(s_{i+1}),$$

$$P_i'(s_i) = K_i, P_i'(s_{i+1}) = K_{i+1}, i = 1, \dots, n-1,$$

де K_1, \dots, K_n – вільні параметри – кутові коефіцієнти дотичних.

Враховуючи, що при моделюванні скочування відчепів відмітки точок переломів $h(s)$ не використовуються, інтерес представляють лише кутові коефіцієнти дотичних.

В моделі сортувальної гірки, запропонованій у [24] сплайн, що описує поздовжній профіль маршруту скочування представляється списком

$$\mathbf{I}_j = \{S_j, K_{1,j}, K_{2,j}, K_{3,j}\}, \quad j = 1, \dots, n_y + 1$$

де S_j – абсциси вузлів сплайна від початку маршруту скочування.

Враховуючи значну кількість можливих варіантів маршрутів скочування відчепів та значну кількість їх спільних ділянок, таке представлення профілю призводить до дублювання інформації. Окрім того, при такому підході ухил колії в деякій точці визначається не лише параметрами колії, а і таким суб'єктивним параметром об'єкта рухомого складу як відстань від початку маршруту скочування, що створює проблеми при моделюванні інших маневрових пересувань з урахуванням поздовжнього профілю. Враховуючи те, що в процесі скочування можуть траплятися випадки нерозділення відчепів на стрілках, то виникає необхідність переходу від одного сплайну до іншого, що не забезпечує у повній мірі неперервність похідних функції f по маршруту скочування.

Зазначені проблеми можуть бути усунені, якщо кутові коефіцієнти сплайнів, що описують поздовжній профіль, поставити у відповідність дугам графа G . Таке представлення поздовжнього профілю дає можливість визначати ухил колії лише за поточним розташуванням вагонів відчепа.

Для побудови поздовжнього профілю на попередньому етапі на підставі даних про відмітки z окремих вершин, а також даних про довжину колійних ділянок та ухил елементів профілю, на яких вони розташовані, виконується розрахунок відміток всіх інших вершин та параметри вертикальних кривих.

У відповідності з [24] коефіцієнти сплайна в межах прямолінійних ділянок поздовжнього профілю приймають значення $K_{1,i}=i$, $K_{2,i}=0$, $K_{3,i}=0$. Вер-

тикальні криві апроксимуються квадратичними параболоми. Коефіцієнти сплайна в межах вертикальних кривих визначаються на підставі списку точок $P_j = \{x_j, y_j\}, j=1, n$ за допомогою виразів

$$\begin{aligned} K_{1,j} &= \phi_{1,j}, \\ K_{2,j} &= 2(\phi_{1,j} - \phi_{2,j} + \phi_{3,j}) / \tau_{x,j}, \\ K_{3,j} &= \frac{\phi_{3,j}}{6\tau_{x,j}^2}, \end{aligned}$$

де $\tau_{x,j} = x_{j+2} - x_j$, $\phi_{1,j} = (y_{j+1} - y_j) / (x_{j+1} - x_j)$, $\phi_{2,j} = (y_{j+2} - y_j) / \tau_{x,j}$, $\phi_{3,j} = \phi_{1,j} + \phi_{1,j+1} - 2\phi_{2,j}$.

У відповідність з запропонованою моделлю колійного розвитку в межах однієї ділянки колії може знаходитись максимум два елементи профілю: кругова крива на його початку та прямолінійна ділянка в кінці. Тому для представлення поздовжнього профілю в моделі дугам орграфа G у відповідність поставлено наступний вектор параметрів

$$Y_{\text{пр}} = \{K_1, K_2, K_3, l_k\},$$

де l_k – довжина вертикальної кривої в межах колійної ділянки.

Необхідно відмітити, що відстань, яка вимірюється по маршруту скочування не дорівнює її проекції, але через невеликі значення кутів повороту вертикальних кривих цією різницею можна знехтувати. Для забезпечення неперервності похідних в якості довжини кривої в моделі приймається довжина її проекції, а залишок (не перевищує 5 мм) відноситься на наступну за нею прямолінійну ділянку.

При подібній організації моделі величина ухилу в деякій точці на ділянці колії, що знаходиться на відстані l від її початку визначається за формулою

$$\begin{aligned} i(l) &= K_1 - K_2 l - \frac{K_3}{2} l^2 \text{ при } l < l_k, \\ i(l) &= K_1 - K_2 l_k - \frac{K_3}{2} l_k^2 \text{ при } l \geq l_k. \end{aligned}$$

Наведене представлення поздовжнього профілю дозволяє отримувати неперервні поверхні скочування по будь-якому із маршрутів, при цьому на спільних ділянках маршрутів профіль є ідентичним.

Модель заняття колійних ділянок рухомим складом (МЗК) дозволяє контролювати заняття кожної колійної ділянки рухомим складом і визначати ідентифікатори об'єктів (локомотивів, составів, відчепів), що знаходяться на даній ділянці колії, а також положення окремих осей рухомого складу на коліях.

До складу МЗК входить список об'єктів, модель розташування рухомого складу на коліях (МРСК) та модель розташування осей рухомого складу на коліях (МОК).

Об'єкти рухомого складу, що знаходяться на коліях представляються структурами

$$O = \{N_{об}, \mathbf{A}\}, \quad (7.1)$$

де $N_{об}$ - ідентифікатор об'єкта рухомого складу;

\mathbf{A} – вектор міжосьових відстаней, в якому також вказується положення крайніх осей відносно вагона.

Для представлення розташування рухомого складу на коліях використовується динамічний список, кожен з елементів якого є структурою

$$\mathbf{Q} = \{N_{кд}, N_{об}, l_{об}, d\},$$

де $N_{кд}$ – номер зайнятої колійної ділянки;

$l_{об}$ – відстань від правого кінця об'єкта до кінця колійної ділянки (у відповідності з прийнятою орієнтацією графа), м;

d – відстань, що займає об'єкт $N_{об}$ на колійній ділянці $N_{кд}$, м.

Для представлення розташування осей рухомого складу на коліях використовується динамічний список кожен з елементів якого є структурою

$$\mathbf{V} = \{N_{кд}, N_{об}, N_{ос}, l_{ос}\},$$

де $N_{ос}$ – порядковий номер осі рухомого складу;

$l_{ос}$ – відстань від даної осі до кінця колійної ділянки, м.

Наявність в МЗК МРСК та МОК дозволяє контролювати як фізичне зайняття колії, що необхідно при моделюванні процесу підходу одного вагону до іншого, так і заняття рейкових кіл, що необхідно для моделювання функцій гиркової автоматики. Осьові моделі рухомого складу використовуються

лише при моделюванні скочування відцепів, при моделюванні інших процесів МОК не ведеться, а зайнятість колійних ділянок визначається по МРСК.

Для прикладу на рис. 7.2, а наведено розташування двох відцепів на колійних ділянках; на рис. 7.2, б приведено представлення цієї ситуації в МЗК.

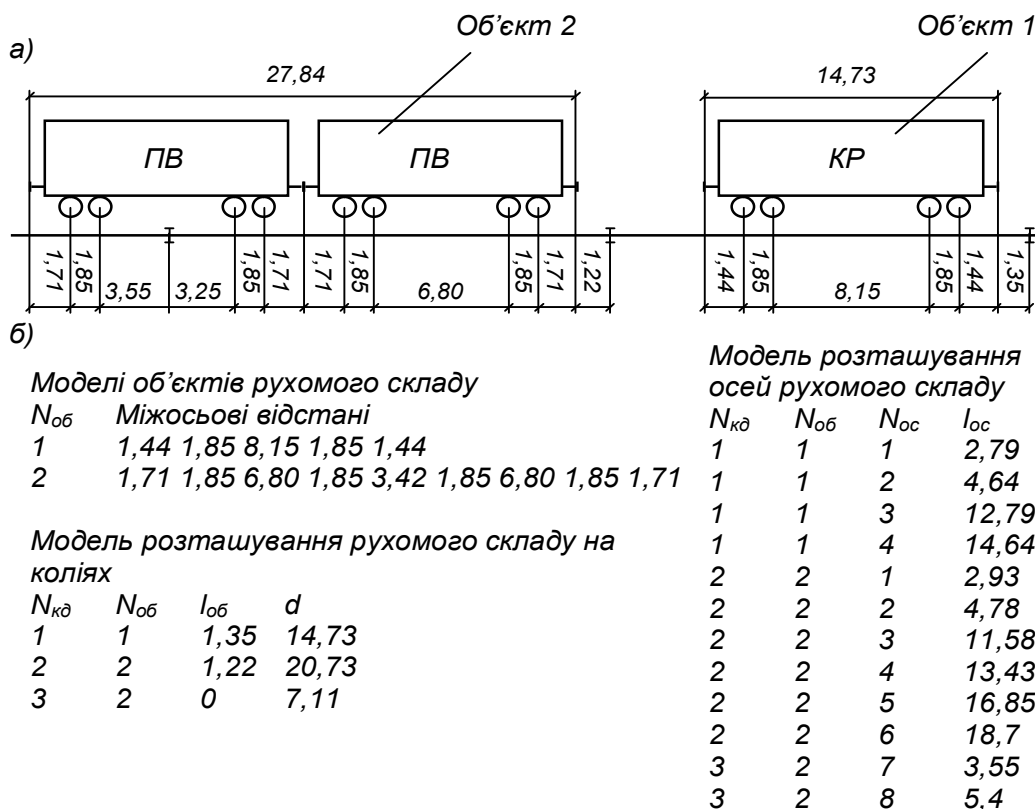


Рис. 7.2. Фрагмент моделі заняття колій: а – схема заняття колійних ділянок; б – модель заняття колій

Оновлення МЗК виконується при додаванні та видаленні об'єктів (готовність состава до розформування, прибирання состава з сортувального парку і т. і.), а також в дискретні моменти системного часу за командами моделі пересувань об'єктів.

Модель колійного розвитку сортувальної гірки реалізована у вигляді компонента Builder C++, побудованого з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. При розробці імітаційної моделі гірки необхідно додати зазначений компонент до головного програмного модуля і, відповідно до викладеної методики, підготувати файл вихідних даних для побудови

ГМКР гірки. Цей файл може бути створений за допомогою програми автоматизованого проектування станцій [17].

7.3. Формалізація процесу гальмування відчепа при скочуванні з гірки

На сортувальних гірках розділення маршрутів на розділових стрілках та безпечне з'єднання вагонів на сортувальних коліях забезпечується шляхом регулювання швидкості скочування з використанням різних технічних засобів: уповільнювачів, прискорювачів та гальмових башмаків.

Традиційно при моделюванні скочування відчепів [33, 126, 130] гальмування вагонів уповільнювачами імітується врахуванням додаткового опору руху, величина якого у перерахунку на одну вісь складає

$$w_{т.в} = \frac{h}{nl_y}, \quad (7.2)$$

де h – задана величина погашаємої енергетичної висоти, м. ен. в.;

n – кількість осей у відчепі;

l_y – робоча довжина уповільнювача.

При цьому витрата енергії на уповільнення відчепів згідно з [5-7] визначається на підставі питомих витрат електроенергії на одиницю погашеної енергетичної висоти

$$E = \varepsilon_h h, \quad (7.3)$$

де ε_h - питомі витрати електроенергії на одиницю погашеної енергетичної висоти кВт-год/м.ен.в.

Традиційний підхід є справедливим з позицій закону збереження енергії, але має і суттєві недоліки:

– не враховуються особливості взаємодії коліс вагонів та уповільнювачів у залежності від принципу їх дії, розташування коліс відносно гальмової позиції, швидкості руху відчепів;

- не враховується вплив параметрів коліс вагонів на величину гальмового опору;
- відсутня можливість реалізації команд управління (включення та вимкнення уповільнювачів на різних ступенях гальмування);
- методика визначення енергетичних витрат на гальмування ґрунтується на статистичних даних роботи гірок і не враховує конкретні умови роботи уповільнювачів.

Тому традиційні моделі можуть використовуватись лише у задачах перевірки висоти сортувальних гірок та потужності гальмових позицій, а вирішення задач визначення техніко-економічних показників та показників безпеки сортувального процесу, розробки алгоритмів для систем автоматизованого управління розпуском составів вимагає удосконалення моделей процесу гальмування відчепів вагонними уповільнювачами.

Зважаючи на суттєву різницю у принципах дії уповільнювачів та їх конструкції, а також на відмінності у задачах, які розв'язуються, побудувати універсальну модель уповільнювача неможливо. У зв'язку з цим при розробці моделі скочування відчепа доцільно в моделі сортувальної гірки виділити незалежну модель вагонного уповільнювача, яка повинна бути реалізована з використанням об'єктно-орієнтованого підходу [30]. Базовим класом уповільнювача при цьому є клас *TRetarderBase*. Методи цього класу забезпечують отримання ним керуючих команд по встановленню певного режиму гальмування, розрахунок питомого гальмового опору для відчепа, які знаходиться в уповільнювачі, та розрахунок енергетичних витрат, що пов'язані з гальмуванням.

Параметрами уповільнювача є його довжина l_y та координата початку уповільнювача $s_{пу}$. В базовому класі імітується рівномірне гальмування відчепа у всій зоні дії уповільнювача, при цьому в якості режиму вказується енергетична висота h , що погашається, а гальмовий опір для однієї осі визначається за виразом (7.2). Загальний питомий опір руху відчепа від гальмових уповільнювачів на кожному кроці моделювання визначається як

$$w_T = \sum_{i=1}^{n_T} w_{T,B,i} , \quad (7.4)$$

де n_T – кількість осей для яких виконується умова (осі, що знаходяться в уповільнювачі)

$$s_{пу} \leq s_0 \leq s_{пу} + l_y . \quad (7.5)$$

В базовому класі *TRetarderBase* енергетичні витрати на уповільнення розраховуються згідно з (7.3).

Розробка методів оптимізації режимів гальмування вимагає більш детального моделювання роботи уповільнювачів. В сучасних умовах на сортувальних гірках України переважно використовуються балкові вагонні уповільнювачі. При цьому управління швидкістю скочування відчепа здійснюється повною чи частиною гальмової потужності уповільнювача шляхом зміни тривалості взаємодії шини та колеса відчепа. Дослідження, виконані в [21], показали, що для адекватного моделювання гіркових процесів необхідно перейти від моделювання рівномірного гальмування відчепа у всій зоні дії уповільнювача до гальмування відчепа номінальною потужністю в регулюємій зоні. Для реалізації такого режиму гальмування розроблено клас балкового уповільнювача *TRetarderBeam*, який є нащадком класу *TRetarderBase*. Додатковими конструктивними параметрами балкового уповільнювача є висота шин b , їх підвищення над головою рейки y , та величина тиску у гальмовій магістралі p_r . В якості керуючих команд для гальмування вказується координата початку зони гальмування відносно початку уповільнювача $s_{пг}$ та довжина цієї зони $l_{гз}$. При цьому умова знаходження осі в уповільнювачі (7.5) буде виглядати як

$$s_{пу} + s_{пг} \leq s_0 \leq \min(s_{пу} + l_T, s_{пу} + s_{пг} + l_{гз}).$$

При зміні режимів гальмування балкових уповільнювачів під вагонами в силу інерційності як самої їх конструкції, так і апаратури управління відбувається поступове зростання або падіння гальмової сили, що здійснює суттєвий вплив на процес гальмування і створює похибки в реалізації заданої

швидкості виходу відчепів з гальмової позиції. Значення тиску в шин уповільнювача на колесо вагона, а, відповідно, і питомого гальмового зусилля може бути визначено за допомогою гальмових динамічних характеристик, що встановлюються на підставі даних експериментальних досліджень і в загальному вигляді можуть бути представлені у вигляді наступних виразів:

- при загальмовуванні уповільнювача

$$F_T = \begin{cases} F_{\text{тп}}, \text{ якщо } t_i \leq t_{31} \\ f_3(t_i, F_{\text{тп}}, F_{\text{т,макс}}), \text{ якщо } t_{31} \leq t_i < t_{31} + t_{32} \\ F_{\text{т,макс}}, \text{ якщо } t_i \geq t_{31} + t_{32} \end{cases}$$

- при відгальмовуванні уповільнювача

$$F_T = \begin{cases} F_{\text{тп}}, \text{ якщо } t_i \leq t_{p1} \\ f_B(t_i, F_{\text{тп}}, F_{\text{т,мін}}), \text{ якщо } t_{p1} \leq t_i < t_{p1} + t_{p2} \\ F_{\text{т,мін}}, \text{ якщо } t_i \geq t_{p1} + t_{p2} \end{cases}$$

де $F_{\text{тп}}$ - сила тиску гальмової шини на поверхню колеса перед отриманням команди на зміну режиму гальмування;

$F_{\text{т, макс}}, F_{\text{т, мин}}$ – значення тиску гальмової шини на поверхню колеса що досягається в кінці перехідного режиму, відповідно, при загальмовуванні та відгальмовуванні уповільнювача;

t_{31} – час від моменту подачі команди на загальмовування до початку взаємодії шин уповільнювача з колесом вагона;

t_{32} – час від моменту початку взаємодії уповільнювача з вагоном до досягнення номінального гальмового зусилля на вищому ступені;

t_{b1} – час від моменту подачі команди на відгальмовування до початку зменшення гальмового зусилля (зона нечуттєвості);

t_{b2} – час від моменту початку зменшення гальмового зусилля до досягнення номінального гальмового зусилля на нижчому ступені;

$f_3(t_i, F_{\text{тп}}, F_{\text{т,макс}})$, $f_B(t_i, F_{\text{тп}}, F_{\text{т,мін}})$ - відповідно, функції зміни тиску від шини на колесо вагона при загальмовуванні та відгальмовуванні уповільнювача.

Для експериментального дослідження процесів роботи уповільнювачів на перехідних режимах виконано серію експериментів з уповільнювачем УВСК, який встановлено на східній сортувальній гірці станції Ясинувата Донецької залізниці [87, 97]. Методика випробувань представлена в Додатку 3. Для визначення часу спрацьовування уповільнювача було виконано серію з 100 дослідів. В кожному досліді металевий вкладиш з месдозою встановлювався в певному (в кожному досліді – іншому) місці між шинами уповільнювача (рис. 7.3). Загальна ширина вкладиша та месدوزи відповідає ширині обода колеса вагона.



Рис. 7.3. Загальний вигляд металевого вкладиша з месдозою

В кожному досліді в реальному масштабі часу реєструвалися поточні значення величини струму на управляючому соленоїді уповільнювача, величина тиску повітря в пневмосистемі, величина тиску на тензорезисторі в месдозі. При цьому дискретність фіксації цих параметрів у часі складала $1/2400$ с. (близько $0,00042$ с). На рис. 7.4 наведено приклад графіків, що ілюструють динаміку зміни вказаних параметрів у часі при виконанні даного дослідження.

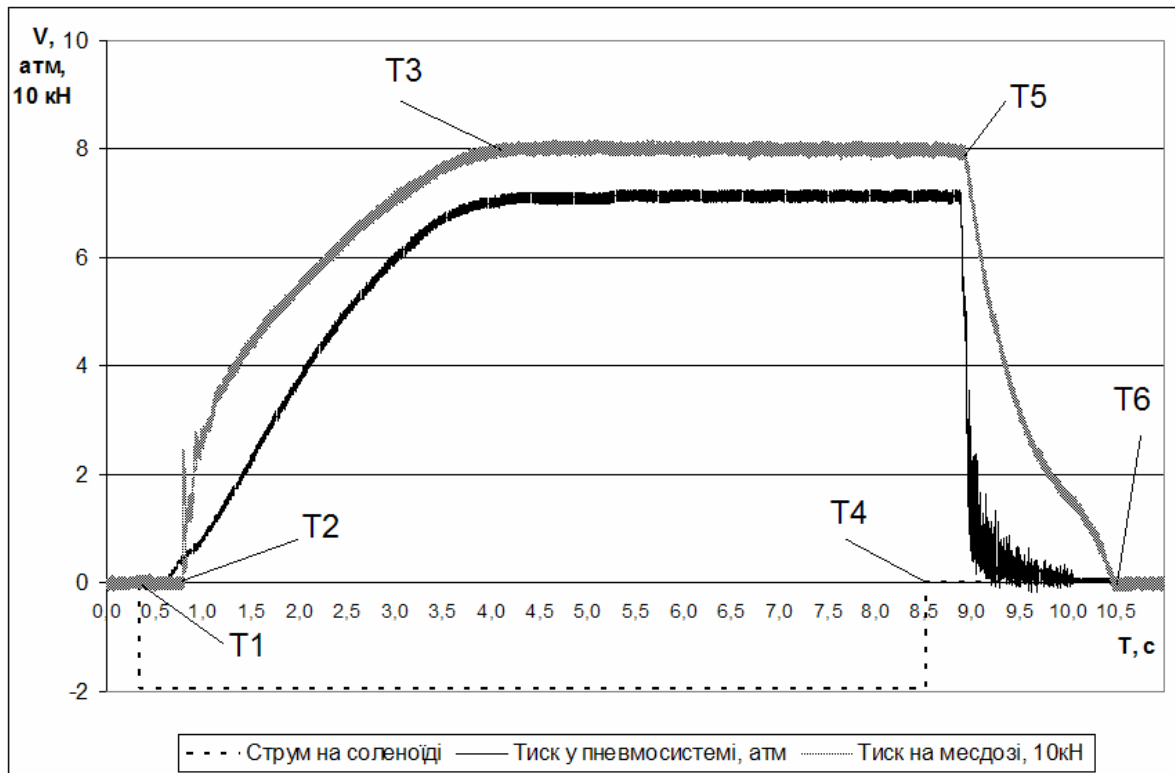


Рис. 7.4. Динаміка зміни параметрів уповільнювача під час досліду

Результати статистичної обробки експериментів по визначенню тривалості знаходження уповільнювача у перехідних режимах наведено у табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Тривалість спрацювання уповільнювача, визначена за результатами серії експериментів

Показник	Загальмування		Відгальмування	
	$t_{31}, \text{с}$	$t_{32}, \text{с}$	$t_{B1}, \text{с}$	$t_{B2}, \text{с}$
Математичне очікування	0,56	3,60	0,40	2,06
Середнє квадр. відхилення	0,164	0,140	0,019	0,174

Ідентифікація функцій $f_3(t_i, F_{\text{тп}}, F_{\text{т,макс}})$, $f_B(t_i, F_{\text{тп}}, F_{\text{т,мін}})$ виконана методами регресійного аналізу. При цьому залежність тиску від часу при загальмуванні може бути апроксимована за допомогою параболи

$$f_3(t_i) = b_0 + b_1 \sqrt{t_i - t_{31}} + b_2 (t_i - t_{31}),$$

а залежність тиску від часу при відгальмовуванні може бути апроксимована за допомогою лінійної залежності

$$f_3(t_i) = b_0 + b_2(t_i - t_{31}).$$

Виконані дослідження показують, що середня тривалість знаходження уповільнювача в перехідних режимах загальмовування та відгальмовування складає відповідно 4,16 та 2,46 с. Зважаючи на те, що тривалість проходу вагоном гальмового уповільнювача на спускній частині гірки 3,3 – 6 сек, то при імітації регульованого скочування відчепів, особливо до складу яких входять вагони різних вагових категорій необхідно враховувати зміну гальмового опору на перехідних режимах.

Для врахування конструктивних особливостей уповільнювачів на основі класу *TRetarderBeam* створені класи натискного *TRetarderPres* та вагового *TRetarderWage* уповільнювачів.

Гальмова потужність балкового уповільнювачів натискного типу, що припадає на одну вісь може бути визначена за формулою

$$w_{\text{тн.в}} = \frac{4F_{\text{т}} \mu \varphi_{\text{пр}}}{Q_{\text{в}}}, \quad (7.6)$$

де $F_{\text{т}}$ – сила тиску гальмової шини на поверхню колеса;

μ – коефіцієнт тертя;

$\varphi_{\text{пр}}$ – коефіцієнт приведення, який залежить від радіуса коліс вагона $R_{\text{н}}$, висоти шини уповільнювача b , її підвищення над головою рейки y та розташування коліс в уповільнювачі [205].

Величина тиску гальмових шин $F_{\text{т}}$ може бути визначена з виразу

$$F_{\text{т}} = k_{\text{пер}} S_{\text{пгц}} (p_{\text{гц}} - p_0), \quad (7.7)$$

де $k_{\text{пер}}$ – коефіцієнт передачі важільної системи;

$S_{\text{п.гц}}$ – площа поршня гальмового циліндра;

$p_{\text{гц}}$ – тиск робочого тіла у гальмових циліндрах;

p_0 – частина тиску, що витрачається на підйом гальмової системи уповільнювача.

Таким чином, питомий гальмовий опір натискного уповільнювача, що діє на кожен вісь вагона, яка знаходиться на ньому, може бути визначений з виразу

$$w_{\text{тн.в}} = \frac{4k_{\text{пер}} S_{\text{гц}} \mu \varphi_{\text{пр}} (p_{\text{гц}} - p_0)}{Q_{\text{в}}}.$$

Параметри μ та $R_{\text{н}}$, які необхідні для розрахунку гальмового опору, отримуються з моделі відчепа. При цьому, в залежності від задач що розв'язуються, вони можуть приймати або фіксовані, або випадкові значення.

Додатково в якості управляючого параметру для натискних уповільнювачів виступає також ступінь гальмування, яка визначає рівень тиску $p_{\text{гц}}$ у гальмових циліндрах.

Процес гальмування вагонів при скочуванні їх з сортувальної гірки вимагає прикладення зовнішніх зусиль, що створюють опір руху. На створення цієї сили витрачаються певні енергоресурси. Так, для приведення в дію пневматичних уповільнювачів використовується стиснене повітря, на виробництво якого витрачається електроенергія. Для натискних уповільнювачів витрати електроенергії, що пов'язані з регулюванням швидкості відчепів, визначаються кількістю включень уповільнювача. Витрати на одне включення можуть бути розраховані за формулою [21]

$$E_{\text{вкл}} = V_{\text{цс}} \Delta p_{\text{гц}} \frac{N_{\text{дк}}}{60\Pi}, \quad (7.8)$$

де $V_{\text{цс}}$ – об'єм гальмових циліндрів та розвідної пневматичної мережі між повітрезбірником та циліндрами.

$N_{\text{дк}}$ – потужність двигуна компресора, кВт;

$\Delta p_{\text{гц}}$ – збільшення тиску в гальмових циліндрах;

Π – продуктивність компресора, м³/хв.

Для розрахунку витрат енергії на гальмування на кожному кроці моделювання скочування відчепа фіксується факт збільшення тиску в гальмових циліндрах кожного уповільнювача у порівнянні з попереднім кроком. При

виконанні умови $\Delta p_{\text{гц}} > 0$ згідно з (7.8) визначаються витрати на спрацьовування уповільнювача.

В імітаційних програмах моделювання скочування відчепів використовуються моделі конкретних типів уповільнювачів з заданими конструктивними параметрами, які є нащадками класу *TRetarderPres*. Так, уповільнювач КНП-5 має чотири ступеня гальмування, величина тиску для яких наведена у табл. 7.2; при цьому величина тиску, яка використовується на підйом гальмової системи складає $p_0 = 0,5$ кгс/см², коефіцієнт передачі $k_{\text{пер}} = 2,37$, площа поршня гальмового циліндра $S_{\text{п.тц}} = 804$ см².

Таблиця 7.2

Розрахункові характеристики ступенів гальмування

Ступінь гальмування	Тиск, кгс/см ²
I	1,24 - 1,86
II	2,27 - 3,31
III	3,93 - 4,96
IV	Повний тиск в гальмовій магістралі

Аналогічно розроблено моделі для інших основних типів натискних уповільнювачів (НК-114, УВСК, КЗ, ВЗПГ, Т-50).

Окремим випадком натискних уповільнювачів є уповільнювачі з плоско-паралельною схемою (наприклад РНЗ-2), для яких величина гальмової сили не залежить від кількості осей, що знаходяться в уповільнювачі. Для врахування конструктивних особливостей таких уповільнювачів створено нащадок класу *TRetarderPres* - клас *TRetarderFlat*. Питомий гальмовий опір при цьому визначається за формулою

$$w_{\text{тп}} = \max_{i=1}^{n_{\text{т}}} \{w_{\text{т.в},i}\}.$$

В вагових уповільнювачах гальмовий опір створюється за рахунок ваги вагона. Додатковим параметром вагових уповільнювачів є їх стан d_y ($d_y = 1$ – загальмований, $d_y = 0$ – розгальмований). При цьому, питомий гальмовий опір, що діє на одну вісь в уповільнювачі, може бути визначено за формулою

$$w_{\text{тв.в}} = \frac{2 \sum_{i=1}^{n_{\text{т}}} q_i k_{\text{пер}} \Phi_{\text{пр}} \mu}{n_{\text{т}} Q_{\text{в}}}.$$

Енергетичні витрати при зміні стану уповільнювача d_y з 0 на 1 визначаються за формулою (7.8).

Окрім балкових, існують і інші конструктивні схеми уповільнювачів. Для можливості використання цих уповільнювачів в імітаційних моделях створюються відповідні класи, що є нащадками класу *TRetarderBase*, або його дочірніх класів. Так, на іноземних залізницях для виконання прицільного гальмування швидкості використовуються точкові уповільнювачі, наприклад системи DOWTY. Ці уповільнювачі автоматично виконують гальмування при перевищенні вагоном деякого порогового значення швидкості V_{Γ} . Для реалізації функцій точкових уповільнювачів розроблено класи *TRetarderPoint* та його нащадки, наприклад *TRetarderDOWTY*. Додатковими параметрами для класу *TRetarderPoint* є значення швидкості V_{Γ} , величина енергетичної висоти $h_{\text{тв}}$, що погашається при гальмуванні вагона масою $Q_{\text{н}}$, яка припадає на одну його вісь, та стан уповільнювача d_y . Стан уповільнювача визначається автоматично під час моделювання руху колеса вагона в зоні дії уповільнювача. При виконанні умови $v_{\text{в}} > V_{\Gamma}$ уповільнювач переводиться в загальмований стан (значення d_y встановлюється рівним 1). Питомий гальмовий опір від загальмованого точкового уповільнювача визначається за виразом

$$w_{\text{тв.в}} = \frac{h_{\text{тв}} Q_{\text{н}}}{l_{\Gamma} Q_{\text{в}}}.$$

В цілому ієрархія класів, що необхідні для моделювання гальмування відчепів на сортувальних гірках представлена на рис. 7.5.

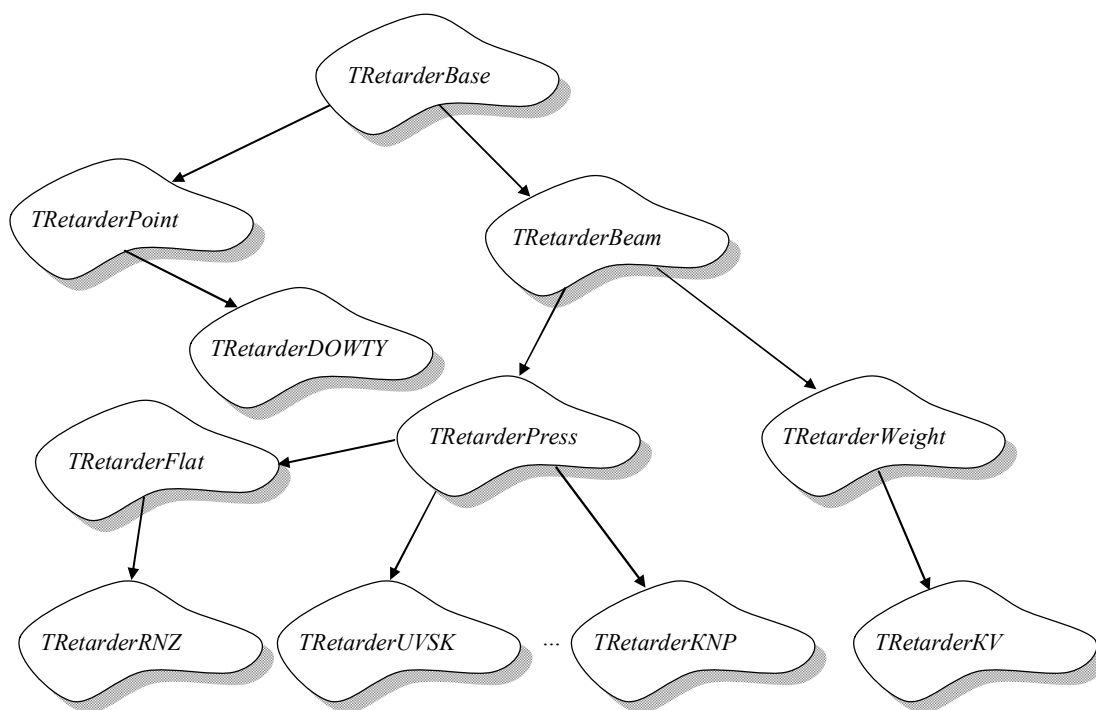


Рис. 7.5. Діаграма класів вагонних уповільнювачів

7.4. Модель системи управління пересуванням рухомого складу

Модель системи управління пересуванням рухомого складу призначена для імітації базових функцій систем гіркової автоматики [84]. Модель контролює стан ізольованих ділянок стрілочних переводів та гальмових уповільнювачів, імітує переведення стрілок, переключення сигналів, загальмовування і розгальмовування уповільнювачів по маршрутам руху об'єктів (насуваємих составів, маневрових локомотивів, відчепів, що скочуються). Під час роботи УПРС взаємодіє з моделлю колійного розвитку (МКР), моделлю технологічного процесу та інформаційною моделлю сортувальної гірки [28, 83]. В основу моделі УПРС покладена модель управління пересуванням рухомого складу на станціях, що обладнані електричною чи маршрутно-релейною централізацією [27], яка була удосконалена для можливості імітації гіркових процесів. При цьому функції та структура даних базової моделі зберігаються для можливості імітації роботи сортувального комплексу в цілому. Необхідно відмітити, що базова модель УПРС імітує лише загальні функції систем гіркової автоматичної централізації та регулювання швидкості відчепів у відповідності з задачами дослідження. При необхідності модель може бути мо-

дифікована для імітації конкретних систем за умови збереження інтерфейсних функцій, які забезпечують її взаємодію з іншими складовими моделі сортувальної гірки.

Модель УПРС побудована на основі зваженого орієнтованого графу $G(V, E)$. Множина вершин V графу G ділиться на чотири підмножини: стрілочні переводи V^S , сигнали V^C , гальмові уповільнювачі V^R , та ізольовані секції колій V^W . Для розподілу множини вершин графу G на підмножини, кожній з них виділені непересічні групи номерів: $N^S = \{1, 2, \dots, 199\}$, $N^C = \{201, 202, \dots, 399\}$, $N^R = \{401, 402, \dots, 599\}$, $N^W = \{601, 602, \dots, 799\}$. Дугам графу $e \in E$ відповідають ділянки маршрутів скочування відчепів між вершинами. Прийнято, що всі дуги орієнтовані зліва направо. Орієнтований граф G у пам'яті ЕОМ представляється списками інцидентності вершин. Для прикладу на рис. 7.6, а наведено геометричну модель колійного розвитку гірки, а на рис. 7.6, б оргграф G моделі УПРС, що їй відповідає.

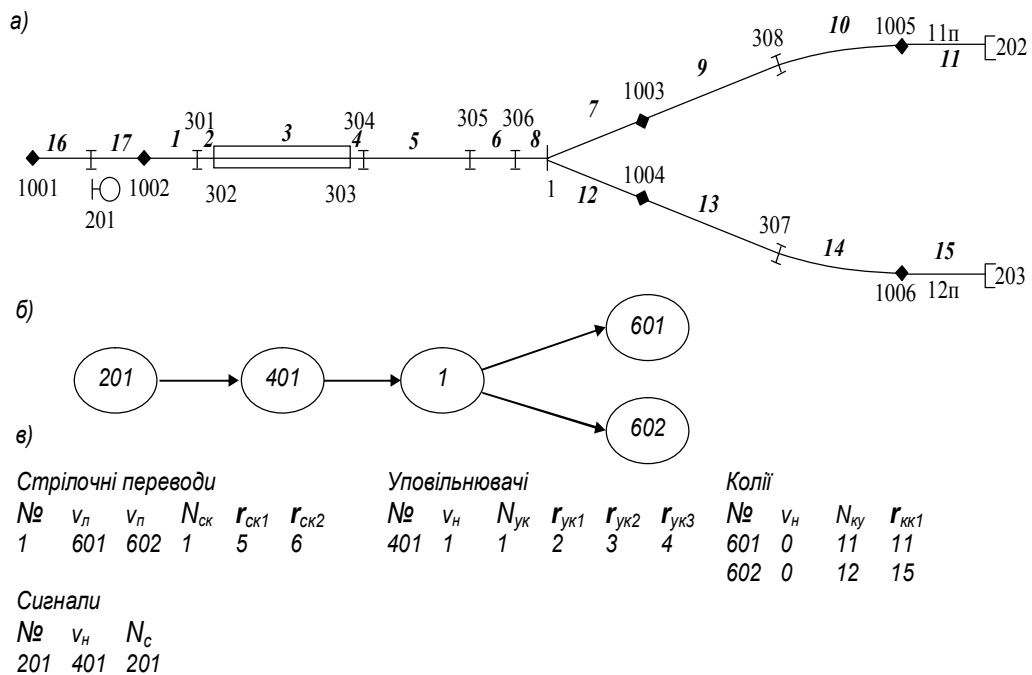


Рис. 7.6. Представлення сортувальної гірки в моделі: а – геометрична модель колійного розвитку; б – граф моделі системи управління пересуванням рухомого складу на сортувальних гірках; в – представлення системи управління пересуванням рухомого складу на сортувальних гірках у вигляді структур даних

Для реалізації заданих функцій граф схеми G доповнюється списками технічних параметрів, що характеризують елементи сортувальної гірки та їх функціональний взаємозв'язок у системі гіркової автоматики.

Таким чином кожній вершині v_i підмножини V^S у поставлено у відповідність вектор параметрів:

$$\mathbf{v}_j^S = \{v_L, v_P, N_{СК}, \mathbf{r}_{СК}, \mathbf{w}_L, \mathbf{w}_P, s_{cy}, m_{cy}, N_{об}\}, \mathbf{v}_j^S \in \mathbf{S}, j = 1, 2, \dots, n_S,$$

де v_L, v_P - номери вершин, що пов'язані з даною вершиною відповідно в напрямку лівої та правої колії хрестовини стрілочного перевodu;

$N_{СК}$ - ідентифікатор стрілочного перевodu в геометричній моделі колійного розвитку (ГМКР);

$\mathbf{r}_{СК}$ - список колійних ділянок в ГМКР, що відповідають ізольованій ділянці стрілочного перевodu;

$\mathbf{w}_L, \mathbf{w}_P$ - списки номерів сортувальних колій, маршрути слідування на які відповідають лівому та правому положенню стрілочного перевodu;

s_{cy} - положення стрілки ($s_{cy}=0$ - вліво, $s_{cy}=1$ - вправо);

m_{cy} - режим управління стрілкою ($m_{cy} = 0$ - ручний, $m_{cy} = 1$ - автоматичний);

$N_{об}$ - ідентифікатор об'єкта, що займає ізольовану ділянку, для вільної ділянки $N_{об} = 0$.

Останні три параметри є динамічними і змінюються під час моделювання. Заповнення списків $\mathbf{w}_L, \mathbf{w}_P$ виконується автоматично на підставі аналізу графа G .

Гірочні сигнали описуються наступними структурами

$$\mathbf{v}_i^C = \{v_H, N_C, \sigma_C\}, \mathbf{v}_i^C \in \mathbf{C},$$

$$i = 1, 2, \dots, n_C;$$

де v_H - номер вершини інцидентної даній;

N_C - ідентифікатор сигналу в ГМКР;

σ_C - поточний стан сигналу.

Для вершин, що відповідають гальмовим уповільнювачам $v_i \in V^R$ повинні бути задані наступні параметри

$$\mathbf{v}_i^r = \{v_H, N_{ук}, \mathbf{r}_{ук}, \sigma_{yy}\}, \mathbf{v}_i^r \in V^R, \\ i=1, 2, \dots, n_r,$$

де $N_{ук}$ – ідентифікатор уповільнювача в ГМКР;

$\mathbf{r}_{ук}$ - список колійних ділянок в ГМКР, що відповідають ізольованій ділянці уповільнювача;

σ_{yy} – стан уповільнювача ($\sigma_{yy}=0$ – розгальмований; $\sigma_{yy}=1$ - загальмований).

Колійні ділянки описуються наступними структурами:

$$\mathbf{v}_i^w = \{v_H, N_{ку}, \mathbf{r}_{кк}\} \mathbf{v}_i^w \in V^W, \\ i=1, 2, \dots, n_w,$$

де $N_{ку}$ – номер колії у відповідності з прийнятою на станції нумерацією;

$\mathbf{r}_{кк}$ – список колійних ділянок в ГМКР, що відповідають даній ізольованій ділянці.

Представлення моделі УПРС у вигляді структур даних наведено на рис. 7.6, в.

Додатково до складу УПРС входить модель маршрутного накопичувача та модуль управління уповільнювачами.

Маршрутний накопичувач представляється списком \mathbf{M} в якому кожному відчепу ставиться у відповідність номер колії його призначення:

$$m_j = \{N_{об}, N_{ку}\}.$$

Заповнення маршрутного накопичувача виконується перед розформуванням кожного состава.

Вибір режимів гальмування відчепів в УПРС забезпечує модуль управління уповільнювачами. В базовій моделі УПРС реалізовано три способи моделювання роботи уповільнювачів: ручне гальмування, автоматичне рівномірне гальмування у всій зоні дії уповільнювачів та автоматичне гальмування повною потужністю уповільнювача в регулюємій зоні [21]. При цьому в двох

останніх випадках режими гальмування визначаються до початку скочування. Кожному уповільнювачу у відповідність ставиться список завдань елементи якого представляються структурами:

- при рівномірному гальмуванні

$$r_{yp} = \{k, N_{об}, w_r\};$$

- при гальмуванні змінною зоною

$$r_{зр} = \{k, N_{об}, l_{пг}, l_3, q_y\},$$

де k – спосіб моделювання роботи уповільнювача;

w_r – питомий гальмовий опір;

$l_{пг}$ – координата точки початку зони гальмування;

l_3 – довжина зони гальмування;

q_y – ступінь гальмування.

Синхронізація УПРС з іншими моделями комплексу виконується за командами системного таймера. На кожному кроці системного часу УПРС виконує контроль поточного стану ізольованих секцій стрілочних переводів, уповільнювачів та колій.

Для ізольованої ділянки кожного стрілочного переводу з МКР визначається ідентифікатор об'єкта, що її займає $N'_{об}$. При цьому виконується порівняння $N'_{об}$ з ідентифікатором об'єкта, що займав стрілочний перевод на попередньому кроці $N_{об}$. У випадку зміни стану ізольованої ділянки ($N_{об} \neq N'_{об}$) виконуються наступні дії:

- при $N_{об} > 0$ та $N'_{об} = 0$ (звільнення ділянки) згідно з даними маршрутного накопичувача **М** визначається напрям скочування наступного відчепу по даному стрілочному переводу i , при необхідності, подається команда в МКР на зміну положення стрілки;

- при $N_{об} > 0$ та $N'_{об} > 0$ фіксується нерозділення відчепів; стрілочний перевод залишається у попередньому стані, а колія призначення відчепа $N'_{об}$ змінюється у відповідності з прийнятим алгоритмом (за замовчуванням направляється на колію попереднього відчепа), режим гальмування відчепа $N'_{об}$

визначається з умови його розділення з попереднім відчепом з мінімальним інтервалом.

Для гальмових уповільнювачів, ізольовані ділянки яких зайняті рухо- мим складом, на кожному кроці системного часу в модуль управління упові- льнювачами подається сигнал. Задане, чи розраховане значення w_T переда- ється в МКР. В базовій моделі УПРС прийнято, що перехід уповільнювача зі стану «розгальмований» до стану «загальмований» та назад відбувається миттєво. У випадку нерозділення відчепів на гальмовому уповільнювачі ре- жим гальмування встановлюється за першим відчепом.

Інформація про стан ізольованих ділянок сортувальних колій в базовій моделі не використовується. У більш складних моделях ця інформація може використовуватись для імітації системи контролю зайняття колій.

7.5. Моделі об'єктів рухомого складу, що приймають участь в про- цесі розформування составів

В процесі розформування поїздів приймають участь різноманітні об'єкти: состави, що насуваються на гірку, відчепи, що скочуються, вагони, що знаходяться на сортувальних коліях. Для представлення наведених об'єктів імітаційна модель розформування містить моделі рухомого складу. Модель рухомого складу являє собою сукупність відомостей, які необхідні для імітації насуву, регулюємого скочування та накопичення вагонів при прийнятому способі описання руху та моделі сортувальної гірки. Елементар- ною одиницею при цьому є модель вагона, в якій кожен вагон представлено за допомогою структур

$$C=(c_r, c_x, \chi, N_{об}, v, w_{пн}, Y),$$

де c_r, c_x – ідентифікатори вагонів, що пов'язані з даним;

χ – категорія об'єкта (состав, відчеп та ін.);

$w_{пн}$ – номер сортувальної колії призначення вагона;

Y – вектор параметрів вагона $Y=(t, Q_b, b, w_0, R_n, \mu)$;

t – ідентифікатор типу вагона;

Q_B – маса вагона;

b – тип підшипників.

Кожен тип вагона представляється структурою:

$$T = (l_B, A, C_x),$$

l_B – довжина вагона;

A – осьова модель вагона;

C_x – вектор коефіцієнтів для визначення опору середовища та вітру.

Моделі состава та відчепів, що скочуються являють собою двозв'язні списки, що об'єднуються за допомогою параметрів c_T и c_x . В МЗП состави та відчепи розглядаються як єдиний об'єкт, довжина якого дорівнює довжині всіх вагонів, що входять до його складу.

7.6. Моделювання випадкового потоку відчепів та вагонів на гірках

Для урахування впливу на процес розпуску випадкових факторів состава та окремих відчепів перед виконанням розпуску виконується статистичне моделювання їх параметрів, а також початковий стан сортувального парку. Потрібно моделювати такі випадкові величини: тип вагона, його вагову категорію, призначення вагона (№ колії в сортувальному парку, куди слідує вагон в процесі розформування).

Більш ранні дослідження інших авторів та приведені в розділі 2 результати власних досліджень показують, що приведені вище випадкові величини не можна розглядати як незалежні.

Для врахування того факту, що призначення не можна розглядати як незалежну випадкову величину, моделювання призначення кожного вагона базується на представленні випадкового числа вагонів у відчепі $n_{\text{відч}}$ за допомогою геометричного розподілу, що відповідає характеру потоку відчепів на діючих гірках [199]. Приклад матриці ймовірностей залежних подій призначень вагонів для гірки з шістьма сортувальними коліями наведено у табл. 7.3.

Умовні ймовірності слідування вагонів на окремі призначення

		Призначення вагону $j=1, \dots, m$					
		1	2	3	4	5	6
Перший вагон		0,364	0,114	0,136	0,023	0,341	0,023
Призначення вагону $i=1, \dots, m$	1	0,693	0,041	0,078	0,009	0,174	0,005
	2	0,101	0,841	0	0,014	0,043	0
	3	0,179	0	0,522	0,030	0,254	0,015
	4	0,400	0,100	0	0,500	0	0
	5	0,080	0,008	0,042	0,002	0,867	0,002
	6	0,111	0	0	0	0,222	0,667

Матриця має розмір $(m + 1) \times m$, де m – в даному випадку кількість призначень плану формування поїздів (кількість колій, на які ведеться розпуск составів). Складається така матриця на основі обробки розмічених ТГНЛ составів поїздів, що прибули в розформування на конкретну станцію чи систему двосторонньої сортувальної станції, або на основі сортувальних листків.

Умовна ймовірність слідування вагона (крім першого в составі) на окрему колію сортувального парку p_{ij} – це умовна ймовірність слідування вагона на j -ту колію, визначена за умови, що попередній вагон слідував на i -ту колію

В нульовому рядку (рядок «перший вагон») вказується безумовна ймовірність p_{0j} слідування першого вагона в составі на j -ту колію.

Як видно з табл. 7.3, ймовірності того, що наступний вагон має те ж призначення, що і попередній, суттєво перевищують інші значення у кожному з рядків.

Матриця умовних ймовірностей призначень вагонів для парної системи станції Нижньодніпровськ-Вузол приведена в додатку Б.

На підставі аналізу ТГНЛ для моделювання залежних подій вагової категорії та типу вагону в составі складаються аналогічні матриці. В якості прикладу в табл. 7.4 та 7.5 приведені матриці для цих випадкових подій, складені для парної системи станції Нижньодніпровськ-Вузол.

Умовні ймовірності вагових категорій вагонів у составах

		Вагова категорія вагона $j=1, \dots, m$					
		Пор	Л	СЛ	С	СВ	В
Перший вагон		0,421	0,009	0,032	0,063	0,113	0,362
Вагова категорія вагона $i=1, \dots, m$	Пор	0,883	0,002	0,009	0,013	0,024	0,069
	Л	0,143	0,556	0,175	0	0,048	0,079
	СЛ	0,155	0,039	0,625	0,063	0,036	0,082
	С	0,16	0	0,044	0,488	0,164	0,144
	СВ	0,214	0,003	0,01	0,081	0,434	0,258
	В	0,151	0,001	0,01	0,019	0,059	0,759

Розмір матриць відповідає кількості вагових категорій та типів вагонів, що виділяються.

Умовна ймовірність вагової категорії вагона (крім першого в составі) p_{ij} – це умовна ймовірність того, що вагон має j -ту вагову категорію, визначена за умови, що попередній вагон мав i -ту вагову категорію. В нульовому рядку вказується безумовна ймовірність p_{0j} j -ої вагової категорії першого вагона.

Таблиця 7.5

Умовні ймовірності типу вагонів у составах

		Тип вагона $j=1, \dots, m$					
		Критий	Платф.	Піввагон	Цистерна	Хопер	8-в. цис.
Перший вагон		0,124	0,034	0,648	0,069	0,097	0,028
Тип вагона $i=1, \dots, m$	Критий	0,57	0,022	0,276	0,079	0,035	0,018
	Платформа	0,071	0,665	0,183	0,066	0,01	0,005
	Піввагон	0,051	0,004	0,899	0,029	0,011	0,006
	Цистерна	0,088	0,015	0,251	0,62	0,015	0,011
	Хопер	0,061	0,007	0,081	0,037	0,81	0,004
	8-в. цистерна	0,102	0,009	0,185	0,157	0	0,546

Умовна ймовірність типу вагона (крім першого в составі) p_{ij} – це умовна ймовірність того, вагон має j -й тип, визначена за умови, що попередній вагон мав i -й тип. В нульовому рядку вказується безумовна ймовірність p_{0j} j -го типу. За відомими типами вагонів составу встановлюється площа лобового січення та моделюється значення питомого опору від середовища та вітру в процесі скокування.

Такий метод моделювання дозволяє одночасно визначати призначення кожного вагона в складі і число вагонів у відчепах. На першому етапі моделюються призначення вагонів складу, на другому етапі формуються багатовагонні відчепи ($m_{\text{від}} > 1$), якщо суміжні вагони слідуєть на одне призначення. Всі багатовагонні відчепи складу можна розділити на дві категорії – однорідні (з вагонів одного типу та однієї вагової категорії) та неоднорідні. Якщо відцеп багатовагонний, то моделюється його категорія – однорідний чи неоднорідний. Для неоднорідного відчепа виконується моделювання параметрів кожного вагону (тип вагону і його вага); якщо ж відцеп однорідний, то параметри всіх його вагонів приймаються однаковими.

Таким чином, в результаті попереднього моделювання отримано склад з відомими типами вагонів, їх ваговими категоріями та призначенням кожного вагона i , відповідно, кількістю вагонів у кожному відчепі.

7.7. Моделювання переміщення складів та відцепів на гірках

Метою моделювання переміщення об'єктів рухомого складу є визначення значень їх швидкості v та координати s , в кінці кроку Δt .

Для імітації переміщення складу та відцепів на кожному кроці Δt використовується рівняння руху, в яких у якості незалежної змінної обрано час. Переміщення складу моделюється спрощено як рівно прискорене

$$v_{i+1} = v_i + a_i \Delta t; \quad \Delta s_{i,i+1} = v_i \Delta t + \frac{a_i \Delta t^2}{2}.$$

При цьому, після прослідування відчепом вершини гірки, на кожному кроці Δt контролюється відрив чергового відчепа від складу.

Переміщення відчепа на кроці Δt описується диференціальним рівнянням другого порядку (1.9) для вирішення якого використовується метод Рунге-Кутта четвертого порядку [181].

У випадку, якщо на деякому кроці фіксується співударання та об'єднання відцепів, то здійснюється коригування моделей цих відцепів:

змінюються ідентифікатори c_x і c_T , відповідно, хвостового вагона в пер-

шому об'єкті та головного вагона у другому;

другий об'єкт виключається з МЗК, а список зайнятих ділянок коригується у відповідність зі збільшеною довжиною першого об'єкту;

коригується швидкість руху відчепа.

Розрахунок швидкості об'єднаного відчепу здійснюється таким чином. Відомо, що при з'єднанні відцепів, що зіткнулися, частина їхньої кінетичної енергії витрачається на подолання сил тертя в поглинальних апаратах автозчеплень. В цьому зв'язку зіткнення відцепів при нагоні можна розглядати як непружне центральне лобове зіткнення. В цьому випадку, відповідно до закону збереження імпульсу, швидкість з'єднаного відчепа після зіткнення можна визначити як

$$v = \frac{v_1 Q_{\text{від1}} + v_2 Q_{\text{від2}}}{Q_{\text{від1}} + Q_{\text{від2}}}.$$

Розроблена модель дозволяє імітувати рух составу на насувній частині сортувальної гірки, одночасне скочування всіх відцепів на спускній частині і на сортувальних коліях, а також зіткнення відцепів і проштовхування вагонів, що стоять на колії.

7.8. Техніко-експлуатаційна оцінка ефективності функціонування сортувальних гірок на основі імітаційного моделювання

На підставі результатів імітаційного моделювання може бути здійснена техніко-економічна оцінка гірки [91, 96, 98]. В імітаційній моделі розформування составів на сортувальній гірці фіксуються наступні показники:

кількість включень уповільнювачів гальмових позицій $K_{\text{вкл}}$;

витрати повітря на включення уповільнювачів $\Sigma P_{\text{св}}$, м^3 ;

розгорнута довжина гальмування $\Sigma D_{\text{тп}}$, осе-м;

загальна довжина вікон між вагонами на сортувальних коліях, що підлягає ліквідації $\Sigma L_{\text{в}}$, м;

кількість операцій осаджування $K_{\text{ос}}$;

кількість вагонів, що прослідували в результаті розпуску на колії не за

призначенням.

Вказані показники фіксуються для усієї сукупності составів, що розформовані за період моделювання, та використовується для визначення економічних показників, що пов'язані з розформуванням составів.

Витрати, що пов'язані з гальмуванням вагонів, можуть бути визначені наступним чином

$$\mathcal{E}_T = c_{\text{эл}} \varepsilon_{\text{св}} \Sigma P_{\text{св}} + e_{\text{вкл}} K_{\text{вкл}} + e_{\text{рв}} \Sigma D_{\text{тп}},$$

де $c_{\text{эл}}$ – вартість 1 кВт·ч електроенергії, грн;

$\varepsilon_{\text{св}}$ – питома витрата електроенергії на 1 м³ вільного повітря;

$e_{\text{вкл}}$ – витратна ставка на одне включення уповільнювача, грн;

$e_{\text{рв}}$ – витратна ставка на 1 осе-м гальмування, грн.

Витрати на маневрову роботу по осаджуванню вагонів на сортувальних коліях для ліквідації вікон

$$\mathcal{E}_{\text{ос}} = e_{\text{лч}} \left(K_{\text{ос}} \frac{t_3}{60} + \frac{\Sigma L_{\text{ок}}}{1000 v_{\text{ос}}} \right),$$

де $e_{\text{лч}}$ – витрати на 1 год маневрової роботи, грн;

t_3 – тривалість піврейса заїзда локомотива на сортувальну колію, хв;

$v_{\text{ос}}$ – швидкість осаджування вагонів на сортувальній колії, км/ч.

Витрати на виконання маневрової роботи з ліквідації наслідків нерозділень відчепів на розділових стрілках

$$\mathcal{E}_H = e_{\text{лч}} K_H \frac{t_{\text{нр}}}{60},$$

де $t_{\text{нр}}$ – тривалість рейсу локомотива з перестановки вагонів у зв'язку з нерозділенням відчепів, хв.

Окрім вказаних економічних показників, за результатами моделювання визначаються показники, що характеризують безпеку функціонування сортувальної гірки:

розподіл швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях

$v_{\text{прц}}$

кількість випадків зупинки вагонів в уповільнювачах паркової гальмової позиції.

Вказані показники можуть використовуватись як для аналізу конкуруючих варіантів при удосконаленні конструкції сортувальних гірок відповідно до задач, що сформульовані в [159], так і для оцінки їх функціонування в умовах експлуатації.

7.9. Дослідження ефективності заходів з підвищення якості сортувального процесу на гірках

Сортувальна гірка являє собою складну систему, показники функціонування якої суттєво залежать від параметрів окремих її елементів. У зв'язку з цим важливою є задача визначення умов, що дозволяють вирішити задачу автоматизації управління швидкістю скочування відчепів [78, 79].

Розглянемо вимоги до системи прицільного регулювання швидкості скочування відчепа. Аналіз області допустимих режимів гальмування (див. рис. 6.14) показує, що принципово задачу управління швидкістю скочування відчепів можна вирішити за рахунок заходів чотирьох напрямків:

- 1 – збільшення допустимої швидкості підходу відчепів до вагонів, що знаходяться на сортувальних коліях (швидкості співударяння);
- 2 – збільшення ОДР за рахунок зони «вікон»;
- 3 – збільшення ОДР за рахунок підвищення допустимої швидкості входу відчепів на уповільнювачі, що розташовані на спускній частині гірки та збільшення потужності паркових гальмових позицій;
- 4 – уточнення характеристик відчепів та підвищення точності гальмування.

По першому напрямку пішли залізниці Північної Америки, для яких допустима швидкість співударяння вагонів складає 9,6 км/год. В сучасних умовах для Укрзалізниці зміна відповідної норми ПТЕ є практично неможливою через необхідність значних вкладень у модернізацію рухомого складу та через те, що на території України працює велика кількість вагонів країн СНД,

вимоги до яких встановлюються міждержавними документами. В той же час, необхідно відмітити, що ПТЕ регламентує швидкість підходу відчепів до вагонів, які знаходяться на сортувальних коліях за умови відсутності інформації про вагони, що співударяються. Наявність у базі даних АСКВП УЗ та в базах даних автоматизованих систем управління роботою сортувальних станцій у електронному вигляді інформації про вагони, які скочуються у складі відчепів та знаходяться на сортувальних коліях, дозволяє у автоматичному режимі встановлювати масу вагона та вантаж, що у ньому перевозиться. В цих умовах допустима швидкість підходу одиночного вагона до групи вагонів на сортувальній колії $v_{\text{прц}}$ може бути визначена з виразу

$$v_{\text{прц}} = v_{\text{ПТЕ}} \sqrt{\frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{в}}}}, \quad (7.9)$$

де $v_{\text{ПТЕ}}$ – нормативна швидкість підходу відчепів до вагонів на коліях;
 $Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{в}}$ – відповідно маса вагона завантаженого до вантажопідйомності та фактична маса вагона, що скочується.

Для завантажених вагонів при визначенні допустимої швидкості співударяння необхідно також здійснювати перевірку стійкості вантажів у них, а для багатовагонних відчепів - виконувати розрахунок зусиль у автозчехах. Впровадження розрахункової швидкості співударяння дозволить суттєво покращити умови регулювання швидкості відчепів із порожніх вагонів, ходові характеристики яких є найменш прогнозованими. Для перевірки ефективності такого заходу виконано серію імітаційних експериментів по скочуванню з гірки відчепів на сортувальну колію ухилом 0,6%. На рис. 7.7 представлено залежності між середньою величиною вікна на сортувальних колії та імовірністю перевищення допустимої швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях при $v_{\text{прц}}=10$ км/год.

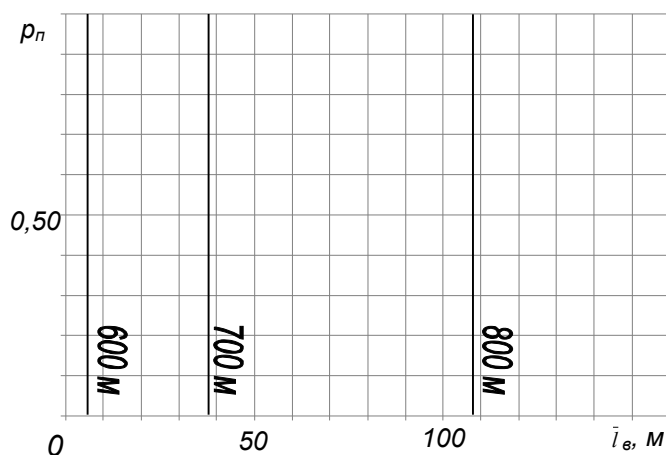


Рис. 7.7. Залежності між середньою величиною вікна та ймовірністю перевищення допустимої ПТЕ при $v_{\text{прц}}=10$ км/год

Аналіз цих залежностей показує, що за відсутності системи уточнення ходових характеристик відчепів дотримання умови $v_{\text{прц}} \leq 5$ км/год приводить до утворення значних вікон так, як через неповну інформацію про характеристики вагонів гальмуванню підлягає і частина відчепів з поганими ходовими характеристиками. При умові $v_{\text{прц}} \leq 10$ км/год величина вікна не впливає на ймовірність перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів так, як вікна утворюються лише через те, що енергії деяких відчепів недостатньо для їх докочування до точки прицілювання. Додатковим резервом збільшення допустимої швидкості співударяння є урахування енергоємності поглинаючих апаратів конкретних вагонів. З цією метою відповідна інформація повинна бути додана в бази даних АСК ВП УЗ. Ефективність наведеного методу для завантажених вагонів є значно меншою так, як для відчепів важкої вагової категорії розрахункова швидкість несуттєво перевищує встановлену ПТЕ, а у вагонах відчепів більш легких категорій перевозять вантажі, що вимагають кріплення і інерційні сили можуть загрожувати схоронності їх перевезень.

Моделювання розпуску потоку составів показує, що запровадження розрахункової швидкості $v_{\text{прц}}$ дозволяє збільшити площу області $\Omega_{\text{п2}}$ в першу чергу для відчепів з порожніх вагонів і зменшити середню величину вікна на 5-7%.

Другий напрямок передбачає ряд заходів, що спрямовані на збільшення ОДР за рахунок зони «вікон». До таких заходів відносяться традиційне осаджування і підтягування маневровими локомотивами, коли вагони з великим опором повинні прослідувати лише за граничний стовпчик і, при необхідності, вікна ліквідуються локомотивом. В умовах невеликих обсягів розформування такий метод є прийнятним, але при значних обсягах сортувальної роботи він викликає збільшення завантаження локомотивів та суттєво зменшує переробну спроможність гірки. Для ліквідації вікон можуть використовуватись і спеціальні технічні засоби - вагоноосаджувачі (див. рис. 7.8, а). При цьому знову достатньо, щоб вагони докотилися лише за граничний стовпчик, а далі вони доводяться до з'єднання з составом вагоноосаджувачем з допустимою швидкістю. Такі системи використовуються на залізницях Швеції, Італії, Японії та Німеччини [118]. Недоліком впровадження вагоноосаджувачів в Україні є значні капітальні вкладення, необхідність додаткових експлуатаційних витрат, які не залежать від обсягів переробки вагонів, складність експлуатації в зимовий період та можливе зниження переробної спроможності гірок.

Розширення ОДР може досягатись також за рахунок збільшення ухилу сортувальних колій та впровадження регульованого скочування відчепів у сортувальному парку, наприклад за допомогою точкових уповільнювачів [215, 112] (див. рис. 7.8, б). Враховуючи, що колії сортувальних парків, де такі уповільнювачі використовуються в якості основних засобів гальмування, для забезпечення просування відчепів з поганими ходовими характеристиками повинні мати ухил 4-8%, то впровадження традиційних систем навряд чи є можливим на сучасному етапі через велику вартість робіт, що пов'язані зі зміною поздовжнього профілю станцій.

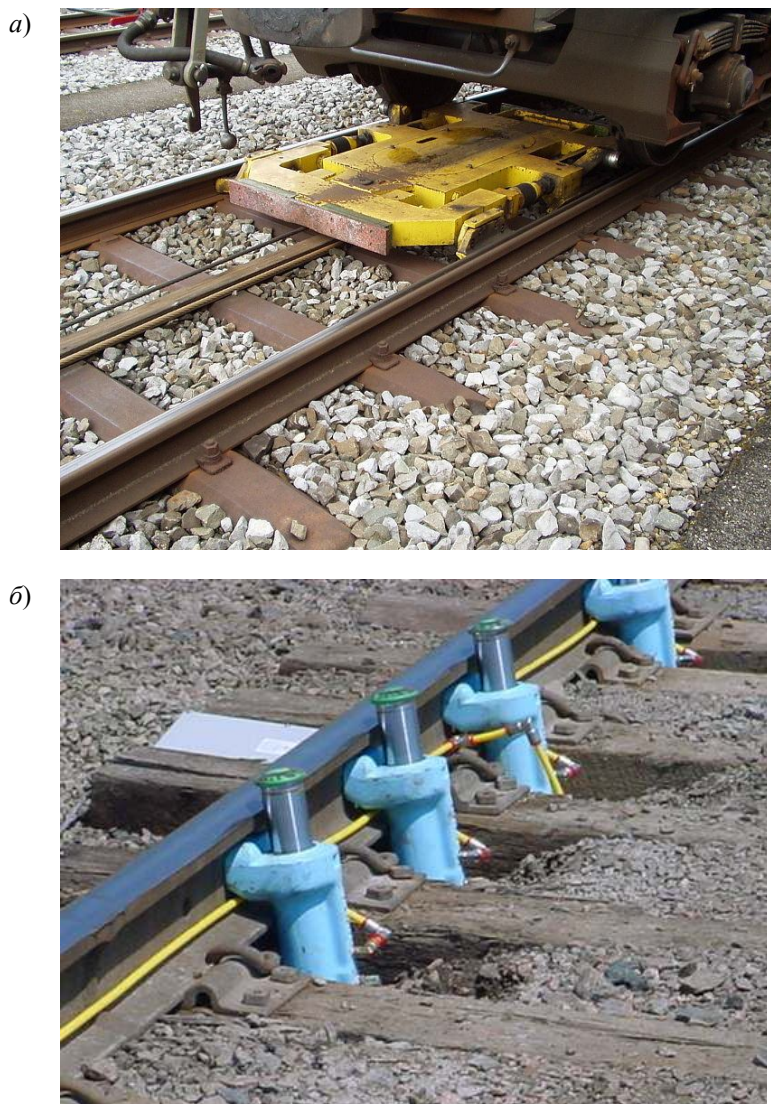


Рис. 7.8. Технічні засоби управління рухом вагонів у сортувальному парку: *а* – вагоноосаджувач; *б* – точкові уповільнювачі

Більш ефективним на сортувальних станціях України може бути використання точкових уповільнювачів у якості додаткових гальмових позицій зі збереженням існуючого профілю сортувальних колій та балочних уповільнювачів, які встановлені на паркових гальмових позиціях. На рис. 7.9 *а, б* наведено залежності середньої величини вікна від дальності скочування, що утворюються при скочуванні одновагонних відцепів легкої та важкої вагової категорії в умовах нерегульованого та регульованого руху по сортувальним коліям.

При виконанні експериментів швидкість виходу відцепів з паркової гальмової позиції обиралась із умови забезпечення ймовірності перевищення

нормативної швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальній колії $p_{\text{п}}=0,1$. Аналіз рис. 7.9, а показує, що основною причиною утворення вікон при скочуванні вагонів легкої вагової категорії є їх погані ходові характеристики. При цьому укладання додаткових гальмових позицій є ефективним лише на відстані до 200 м від граничного стовпчика. Навпаки, основною причиною утворення вікон між вагонами важкої вагової категорії (див. рис. 7.9, б) є похибки у визначенні швидкості виходу вагонів з гальмової позиції через невизначеність їх характеристик. У цьому випадку впровадження регульованого скочування відчепів на сортувальних коліях, виділених для накопичення составів переважно з вагонів важкої вагової категорії, є ефективним, навіть, при існуючих ухилах сортувальних колій. Особливо ефективним такі заходи можуть бути в сортувальних парках, що були запроектовані для вагонів на підшипниках ковзання і мають більший ухил колій.

Для оцінки ефективності заходів третього напрямку виконано моделювання скочування відчепів з типових гірок при різній допустимій швидкості входу на уповільнювачі спускної частини гірки. Аналіз результатів імітаційних експериментів показав несуттєвий вплив цього параметру на показники прицільного гальмування швидкості скочування відчепів так, як відчепи легкої, легко-середньої та середньої вагових категорій на другій гальмовій позиції не перевищують допустиму швидкість, а відчепи середньо-важкої та важкої вагових категорій мають достатній запас енергії для прокочування вглибину парку.

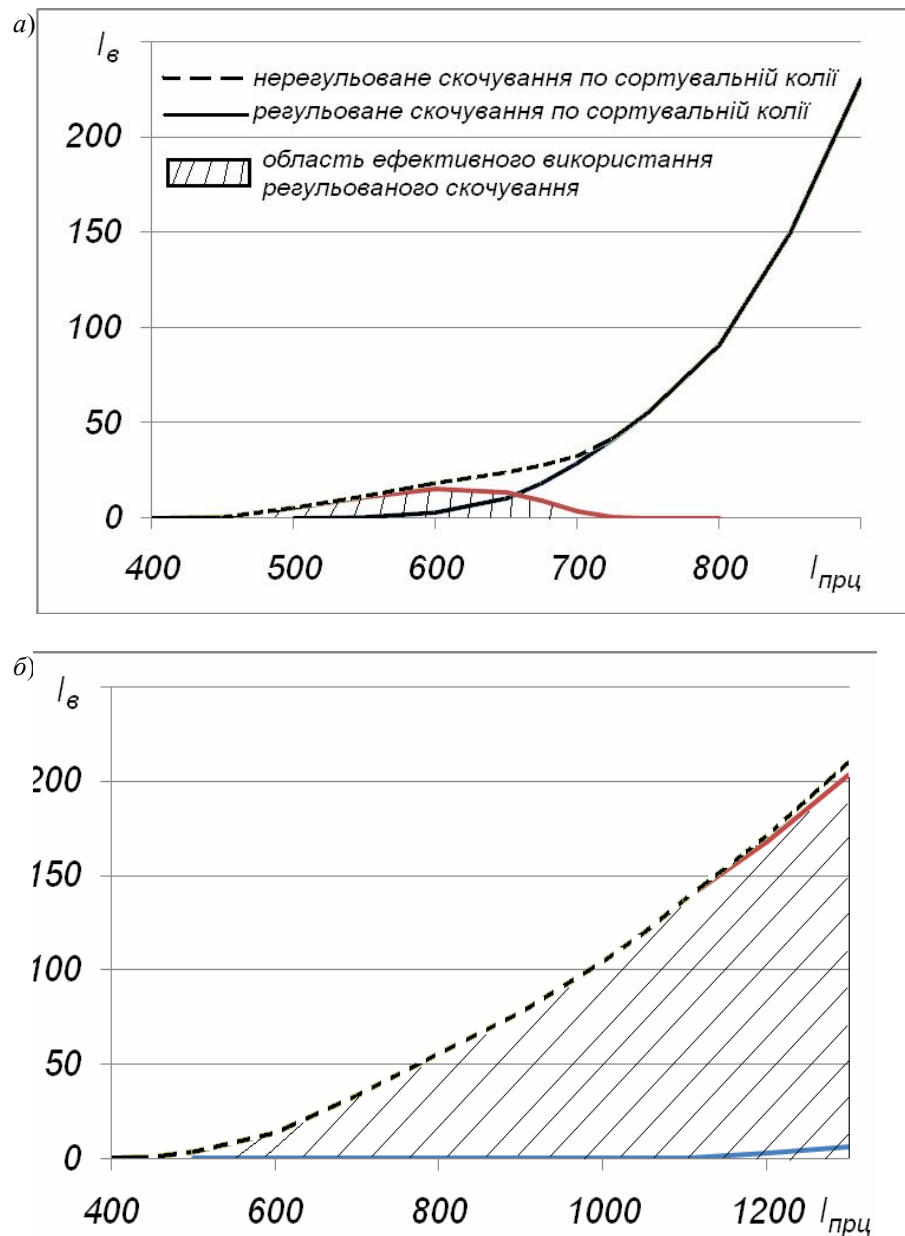


Рис. 7.9. Залежності середньої величини вікна від дальності скочування: *a* – легка вагова категорія ; *б* – важка вагова категорія

Підвищення потужності паркових гальмових позицій також дозволяє збільшити ОДР. Виконані в [21] дослідження дозволили встановити, що максимальні інтервали на розділових елементах досягаються в верхній, чи нижній точках перетину лінії рівних інтервалів з ОДР, які відповідають швидкому та повільному режимам скочування відчепів. Аналіз ОДР показує, що підвищення потужності паркових гальмових позицій дозволяє покращити показники прицільного гальмування переважно лише при оптимізації режимів гальмування у групах, у яких присутні багатовагонні відчепа де існують суттє-

ві запаси інтервалів на розділових стрілках. При виборі режимів гальмування у групах одновагонних відчепів лінії інтервалів, що забезпечують розділення відчепів на стрілках, лежать, як правило, поза межами ОДР відчепа з найгіршими ходовими характеристиками, що приводить до утворення вікон.

Четвертий напрямок, пов'язаний з уточненням ходових характеристик відчепів та підвищенням точності гальмування і широко застосовується в комплексних системах автоматизації управління швидкістю скочування відчепів. Прикладами таких систем є КГМ (НИИАС, Росія), PROYARD II та III (General Electric, США), MSR 32 (SIEMENS, ЄС). До складу цих систем входять колійні датчики, рейкові кола, вагонні ваги чи вагоміри, метеостанції, радіолокаційні швидкостеміри та ін. Через велику вартість таких систем і кожного з її елементів необхідно визначення впливу кожного такого елемента на загальні показники розформування составів.

З метою оцінки впливу точності інформації про характеристики відчепів та показники процесу розформування составів виконано серію імітаційних експериментів по скочуванню одновагонних та багатоввагонних відчепів з гірки. В якості відгуків обрано середню величину вікна, що припадає на один розформований відчеп (y_1) та на один розформований вагон (y_2) за умови дотримання встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях із ймовірністю 0,9. В якості факторів прийнято $l_{\text{прц}}(x_1)$ – відстань до точки прицілювання від вершини гірки, м; $q_{\text{в}}(x_2)$ – середня маса вагона у відчепі, т; $\sigma_{\text{г}}(x_3)$ – середнє квадратичне відхилення швидкості виходу відчепів з гальмової позиції, м/с; $\delta_q(x_4)$ – середнє квадратичне відхилення маси вагона у відчепі, т; $\sigma_0(x_5)$ – середнє квадратичне відхилення питомого опору руху відчепа, Н/кН; $n(x_6)$ – кількість вагонів у відчепі. Фактори та рівні їх варіювання наведені у табл. 7.6. На підставі результатів імітаційних експериментів розраховано коефіцієнти статистичних моделей. Аналіз коефіцієнтів отриманих моделей показує, що основними факторами, які впливають на величину вікна, є відстань до точки прицілювання, точність реалізації заданої швидкості виходу відчепів з гальмових позицій та кількість вагонів у відчепі.

Фактори та рівні їх варіювання для дослідження впливу точності інформації про характеристики відчепів та показники процесу розформування

Фактори	$x_i = -1$ (нижній рівень)	$x_i = 0$ (основний рівень)	$x_i = 1$ (верхній рівень)
Відстань до точки прицілювання (x_1), $l_{прц}$	550	625	700
Середня маса вагона у відчепі (x_2), q_v	26	57	88
Середнє квадратичне відхилення швидкості виходу відчепів з гальмової позиції (x_3), σ_r	0,1	0,35	0,6
Середнє квадратичне відхилення маси вагона у відчепі (x_4), δ_q	0,1	1,05	2
Середнє квадратичне відхилення питомого опору руху відчепа (x_5), $\sigma_{оп}$	0,05	0,325	0,6
Кількість вагонів у відчепі (x_6), n	1	2	3

Зважаючи на те, що середнє квадратичне відхилення швидкості виходу відчепів з гальмових позицій на сортувальних гірках України складає 0,6, то реалізувати автоматизований режим регулювання швидкості відчепів з рекомендованими у [205] показниками якості сортувального процесу неможливо навіть при точно відомих характеристиках відчепів та умовах зовнішнього середовища. Основною причиною цього є те, що на залізницях України для гальмування відчепів використовуються пневматичні, відносно короткі уповільнювачі з невеликою кількістю ступенів гальмування (1 ступінь – для вагових та 4 ступеня для натискних). Для цих уповільнювачів значною є тривалість перехідних процесів, таких як зміна тиску шин на колесо і зміна кількості осей в уповільнювачі, що ускладнює визначення залежностей між управляючими командами та швидкістю виходу відчепа з уповільнювача. Тому в автоматизованих системах регулювання швидкості скочування відчепів необхідно використовувати гідравлічні багатоступеневі уповільнювачі великої довжини. Наприклад, кількість ступенів гальмування гідравлічних уповільнювачів, які використовуються в автоматизованій системі управління розформуванням составів PROYARD, досягає 32. Суттєве значення коефіцієнта при x_1 вказує на те, що досягнення необхідних показників прицілювання гальмування можливе лише на відстані до 250 м від гальмової позиції. Для під-

вищення ступеню заповнення сортувальних колій в глибині сортувального парку необхідно здійснювати регульоване скочування відцепів по коліям.

Для визначення умов, що дозволяють досягти рекомендованих в [205] показників якості прицільного регулювання швидкості скочування відцепів виконано імітаційне моделювання скочування окремих відцепів та розформування составів [82].

Моделювання потоку відцепів та вибір режимів їх гальмування здійснювався наступним чином. На першому етапі у відповідності з розподілом маси та основного питомого опору вагонів важкої вагової категорії [85, 93] виконано моделювання параметрів відцепів та отримана вибірка C_0 обсягом 100 елементів. Далі виконано серія експериментів по скочуванню відцепів вибірки C_0 , в яких визначалась потрібна швидкість виходу відцепів з ПГП для досягнення точки прицілювання на відстані 800 м зі швидкостями від 0 до 1,3 м/с з кроком 0,1 м/с, а також із умови зупики відцепів на відстанях від 700 до 800 м з кроком 10 м. Приклад отриманих швидкостей виходу представлений в табл. 7.7.

Таблиця 7.7

Режими гальмування відцепів важкої вагової категорії при різних умовах прицілювання

№	Q , т	w_0 , Н/кН	Умови прицілювання ($l_{\text{при}}/v_{\text{при}}$)									
			800/1,3	800/1,2	800/1,1	800/1,0	...	800/0	790/0	780/0	...	
			Швидкості виходу відцепів з ПГП, м/с									
1	89,3	0,90	3,20	3,15	3,09	3,04	...	2,78	2,75	2,71	...	
2	91,8	1,21	3,67	3,62	3,58	3,54	...	3,33	3,29	3,25	...	
3	80,6	1,19	3,76	3,71	3,67	3,63	...	3,41	3,37	3,33	...	
4	88,9	1,49	4,09	4,05	4,01	3,97	...	3,79	3,74	3,70	...	
5	91,2	1,44	4,00	3,96	3,92	3,88	...	3,69	3,65	3,60	...	
...	
100	90,2	1,58	4,19	4,15	4,12	4,08	...	3,90	3,86	3,81	...	

На другому етапі питомий опір руху відцепів було змінено у відповідності до заданого значення точності його визначення $\sigma[w]$. Через те, що питомий опір руху визначається на підставі вимірювання прискорення руху та визначити опір руху кожного окремого відчепа неможливо, то для усіх ваго-

нів відчепа встановлюється однакове усереднене значення w . Вказаним методом було отримано вибірки відчепів для різних значень $\sigma[w]$: $C_{0,1}$, $C_{0,2}$, $C_{0,3}$.

Для отримання залежностей $\bar{l}_g = f(\sigma[v'''], \sigma[w])$ виконано скочування відчепів з вибірок $C_0, C_{0,1}$, $C_{0,2}$, $C_{0,3}$ при різному значенні $\sigma[v''']$. Для кожного відчепа виконувалось скочування при різних умовах прицілювання, в яких умови гальмування приймалися рівними режимам гальмування відповідного відчепа з вибірки C_0 . Залежності $\bar{l}_B = f(p_n)$, при різній точності реалізації заданої швидкості виходу відчепів з ПГП наведено на рис. 7.10.

На підставі даних, що наведені на рис. 7.10, побудовані залежності середньої величини вікна від точності реалізації заданої швидкості виходу відчепів з ПГП для різних значень p_n . Приклад таких залежностей представлено на рис. 7.11. В ході досліджень також були виконані експерименти та отримані залежності, аналогічні представленим на рис. 7.11 для інших значень $\sigma[w]$.

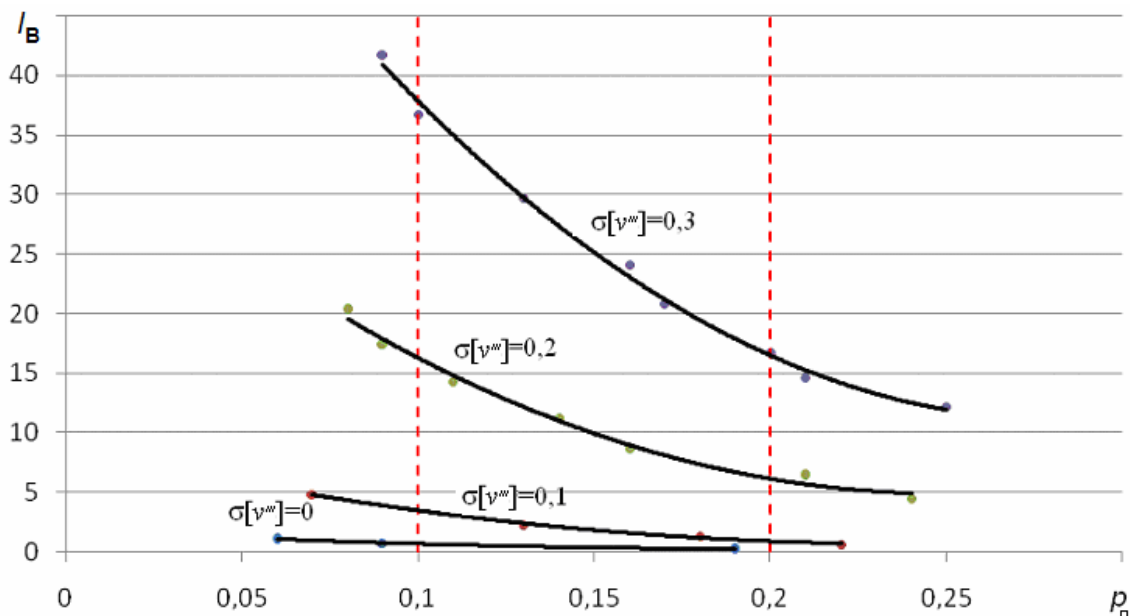


Рис. 7.10. Залежність між середньою величиною «вікна» та імовірністю перевищення нормативної швидкості у точці прицілювання

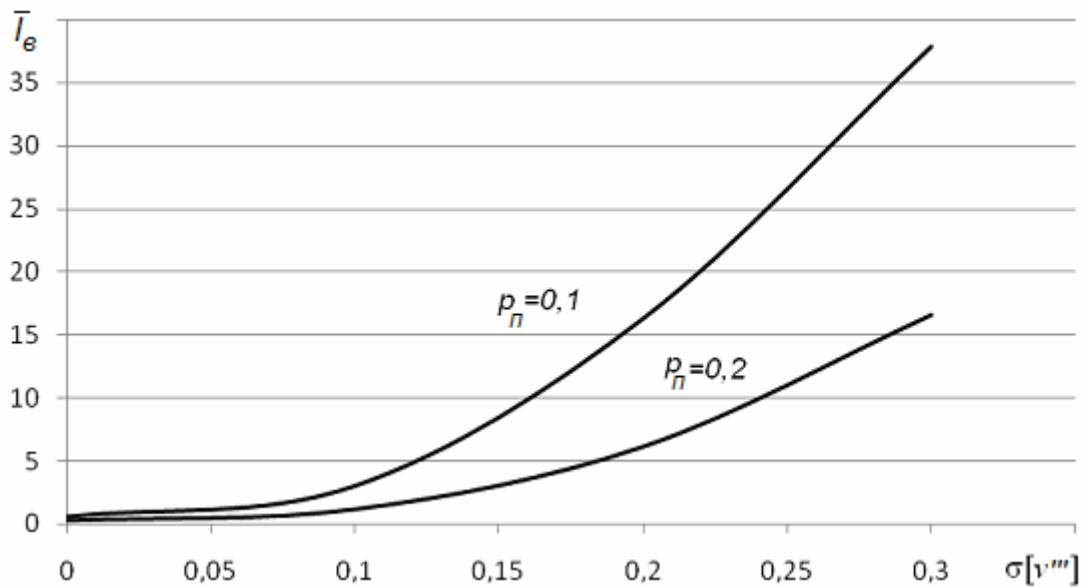


Рис. 7.11. Залежність середньої величини «вікна» від точності реалізації заданої швидкості виходу відчепів з ПГП

Результати цих експериментів дозволили побудувати поверхню $\bar{l}_g = f(\sigma[v'''], \sigma[w])$ для умов скочування одновагонних відчепів важкої вагової категорії на відстань 800 м від вершини гірки (див. рис 7.12. а).

При зменшенні відстані до точки прицілювання вплив $\sigma[w]$ на величину вікон зменшується. Для прикладу на рис. 7.12, б представлені залежності $\bar{l}_g = f(\sigma[v'''], \sigma[w])$ при скочуванні віжчепів на 600 м. При скочуванні відчепів на 400 м (скочування за граничний стопчик) величина вікна залежить практично лише від $\sigma[v''']$.

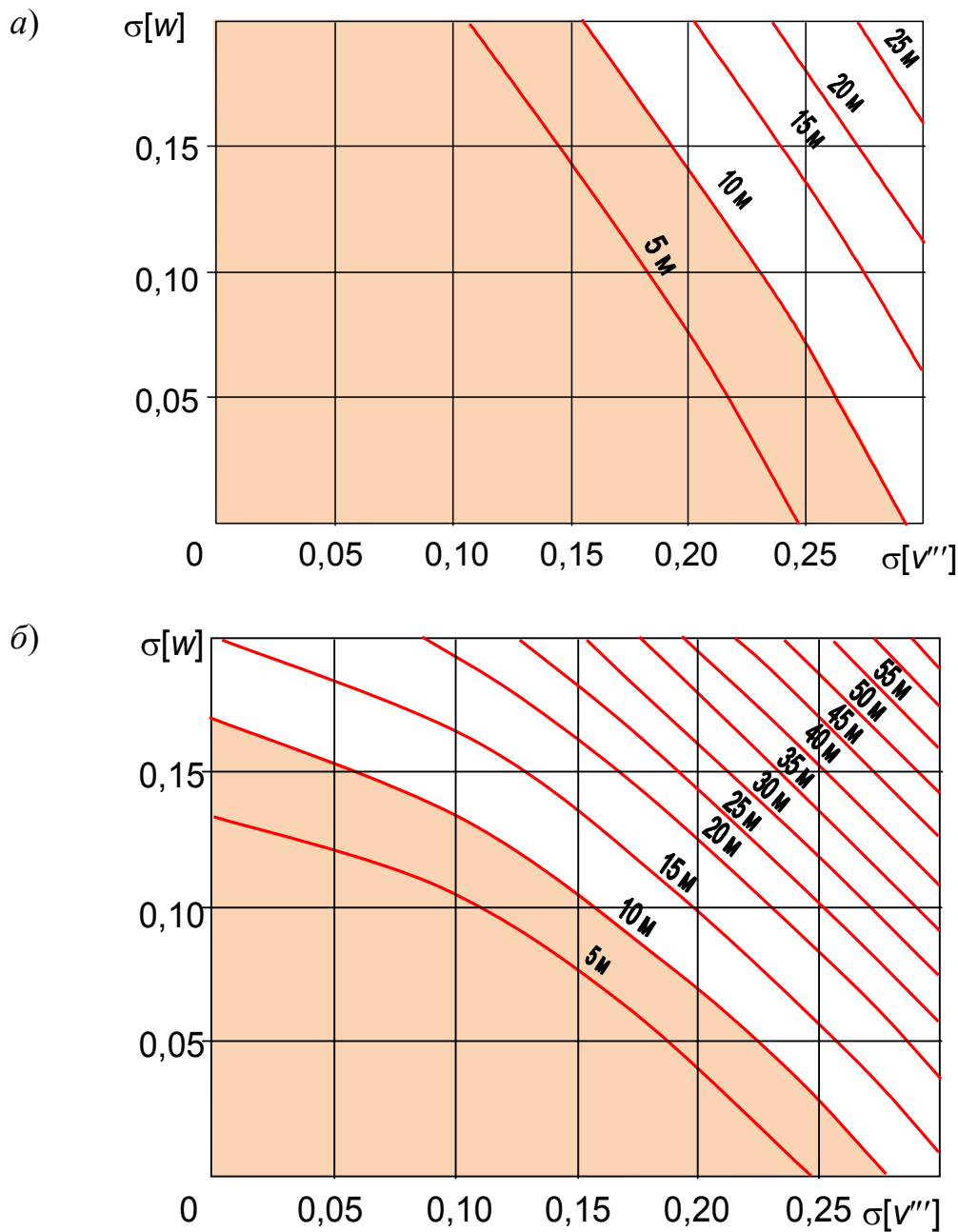


Рис. 7.12. Залежність $\bar{l}_g = f(\sigma[v'''], \sigma[w])$ (лінії рівня): *a* – скочування на відстань 800 м; *б* – скочування на відстань 600 м

В [205] вказано рекомендоване значення заповнення сортувальних колій для автоматизованих систем управління сортувальним процесом на гірках, що складає 3 м/ваг. Моделювання скочування відчепів вагонопотоку станції Нижньодніпровськ-Вузол показало, для досягнення вказаних показників повинні бути виконані комплексні заходи з визначення точної маси відчепів, забезпечення точності вимірювань основного питомого опору руху відчепів

$\pm 0,3$ Н/кН та зменшення середнього квадратичного відхилення швидкості виходу відчепа з ПГП від заданої до $\sigma_v < 0,2$ м/с.

Сучасні гальмові уповільнювачі, що використовуються на паркових гальмових позиціях [205], не дозволяють реалізувати вказані вимоги.

Для дослідження впливу точності реалізації гальмовими позиціями спускної частини сортувальної гірки заданих швидкостей виходу відчепів на умови інтервального регулювання швидкості скочування виконано ряд імітаційних експериментів по розділенню відчепів на різних стрілках. При цьому опір руху відчепів розглядався як випадкова величина, що залежить від вагової категорії відчепа і не уточнювався під час руху. Для розрахункової гірки (див. рис. 3.17) найбільш несприятливими умовами є розділення відчепів у розрахункових групах з одно вагонних відчепів легкої, важкої та легкої вагової категорії на п'ятій стрілці у обох парах. На рис. 7.13, а наведено залежності ризику нерозділення від швидкості виходу з СГП при різному значенні середнього квадратичного відхилення похибки реалізації заданої швидкості виходу відчепів з гальмових позицій спускної частини гірки σ_y . На рис. 7.13, б наведено залежність мінімального ризику нерозділення відчепів від σ_y . Аналіз наведеної залежності показує, що ризик нерозділення $r_n = 0,005$ може бути досягнутий при використанні гальмових уповільнювачів середньої точності [205] з $\sigma_y = 0,34$. Існуючі типи натискних уповільнювачів згідно з [205] можуть забезпечувати вказану точність гальмування.

Таким чином, основною проблемою, що повинна бути вирішена для автоматизації управління швидкістю скочування відчепів на сортувальних гірках України є прицільне гальмування. Шляхом вирішення цієї проблеми може бути впровадження розрахункової швидкості підходу порожніх відчепів до вагонів на сортувальних коліях та застосуванні квазінеперервного регулювання швидкості руху відчепів на сортувальних коліях у якості основного (за аналогом системи SAPRO) чи допоміжного (за аналогом системи DDC III) засобу управління.

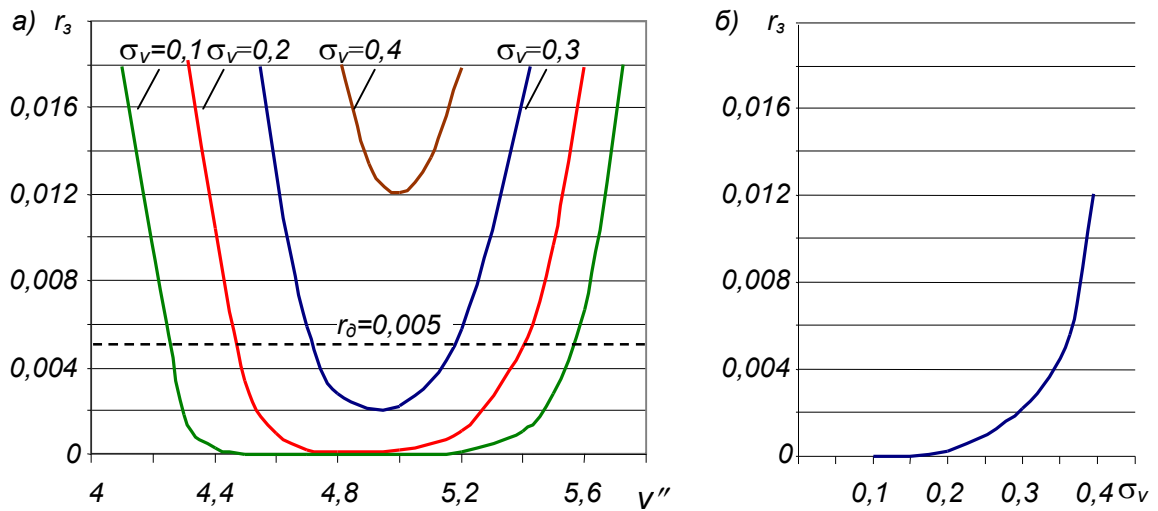


Рис. 7.13. Залежність ризиків нерозділення від точності реалізації гальмовими позиціями заданої швидкості виходу відчепів: *а* – залежність ризику нерозділення відчепів від швидкості виходу з СГП при різному значенні σ_v ; *б* – залежність мінімального ризику нерозділення від σ_v

7.10. Висновки порозділу 7

1. Сортувальна гірка є невід'ємною частиною сортувального комплексу, тому для її комплексної оцінки розроблена модель, яка є сумісною з моделями інших підсистем сортувальної станції і дозволяє імітувати всі елементи процесу розформування-формування составів поїздів. Загальна модель гірки включає модель колійного розвитку, моделі об'єктів рухомого складу, модель системи керування стрілками та уповільнювачами, модель пересування об'єктів, а також інформаційну модель.

2. Модель системи керування стрілками та модель колійного розвитку формалізовано на основі зважених орієнтованих графів. В основу представлення поздовжнього профілю гірки покладена його апроксимація модифікованим кубічним сплайном. При цьому дугам графа, який представляє план колійного розвитку, у відповідність поставлено вектор кутових коефіцієнтів дотичних, що дозволяє отримувати неперервні по першій похідній профілі маршруту скочування для усіх колій, що співпадають на спільних ділянках. Для моделювання керованого скочування відчепів состава на спускній частині гірки використовуються попередньо отримані режими гальмування кожно-

го відчепа. Розроблена модель дозволяє визначати техніко-експлуатаційні показники процесу розформування по сукупності составів, що розформовані за період моделювання, та розраховувати економічні показники, які пов'язані з розпуском.

3. Сучасні норми швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях не враховують стан вагонів у відчепі (завантажений чи порожній) та вид вантажу, який у ньому перевозиться. Вказана інформація може бути отримана з АСК ВП УЗ, а її використання при виборі режимів гальмування дозволяє скоротити величину вікон у сортувальному парку на 5-7% без погіршення умов безпеки руху.

4. Отримано залежності показників роботи автоматизованої сортувальної гірки від параметрів окремих її підсистем. Досягнення рекомендованих для автоматизованих систем показників функціонування сортувальних гірок вимагає впровадження комплексних заходів з визначення точної маси відчепів, забезпечення точності вимірювань основного питомого опору руху відчепа $\pm 0,3$ Н/кН та зменшення середнього квадратичного відхилення швидкості виходу відчепа від заданої з паркових гальмових позицій до $\sigma_v < 0,2$ м/с та з гальмових позицій спускної частини гірки до $\sigma_v < 0,3$ м/с.

5. Для вирішення задачі автоматизації розформування поїздів перш за все повинна бути удосконалена система управління прицільним регулюванням швидкості скочування відчепів. Можливими шляхами її удосконалення є застосування квазінеперервного регулювання швидкості скочування в якості основного чи допоміжного засобу управління рухом відчепів

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують науково-практичну задачу підвищення ефективності процесу розформування-формування составів вантажних поїздів за рахунок покращення якості управлінських та проектних рішень, що приймаються на підставі науково-обґрунтованих методів техніко-експлуатаційної оцінки сортувальних гірок. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки та пропозиції:

1. Виконаний аналіз наукових робіт з проблеми підвищення ефективності процесу розформування-формування составів вантажних поїздів показав, що на теперішній час методи оцінки безпеки скочування відчепів з сортувальних гірок відсутні, а методи техніко-експлуатаційної оцінки гірок базуються на розв'язанні задачі вибору режимів гальмування у детермінованій постановці.

2. Дослідження технічного забезпечення сортувальних станцій України та характеристик вагонопотоків, які надходять у розформування, показали, що в сучасних умовах експлуатації завантаження сортувальних гірок складає 30-50%, тому задача збільшення їх переробної спроможності не є актуальною. В той же час технічне забезпечення сортувальних гірок є морально застарілим і фізично зношеним, що не забезпечує вимоги безпеки розформування-формування поїздів та не відповідає світовим аналогам щодо економічності сортувального процесу.

3. Існуюча модель регульованого скочування, в якій відчеп розглядається як гнучкий нерозтяжний стержень, не дозволяє оцінювати показники безпеки руху відчепів на гірках. В дисертації розроблено математичну модель процесу скочування, в якій відчеп розглядається як просторова динамічна система недеформуємих об'єктів та множини зв'язків, що об'єднують ці об'єкти у єдину конструкцію. Запропонована модель дозволяє визначати зусилля між вагонами у відчехах, зусилля у елементах конструкції вагона та його взаємодію з колією, що дає можливість оцінювати показники безпеки

скочування відчепів.

4. В якості показників для оцінки безпеки процесу регульованого скочування відчепів на сортувальних гірках можуть використовуватись коефіцієнти стійкості вагона від вкочування колеса на рейку та на уповільнювач. В дисертації розроблено методи оцінки вказаних коефіцієнтів на підставі математичного моделювання скочування відчепів з гірки. Встановлено, що сили, які діють на сортувальних гірках, можуть призводити до втрати стійкості вагонів лише легкої вагової категорії під час їх гальмування уповільнювачами. Неприятливі погодні умови, технічний стан залізничної колії, взаємне розташування елементів плану колійного розвитку та вагонів у відчепі можуть вимагати обмеження сили тиску шин уповільнювачів на колеса до 25% по відношенню до діючих нормативів. Вказані обмеження повинні бути враховані в автоматизованих системах керування процесом розформування составів на сортувальних гірках.

5. Удосконалено методи аналізу динаміки скочування відчепів з сортувальних гірок. При цьому скочування відчепів розглядається як випадковий процес і характеризується параметрами розподілу випадкової величини швидкості та часу скочування відчепів в окремих точках маршруту. Встановлено, що швидкість скочування у деякій точці маршруту являє собою випадкову величину, що розподілена за нормальним, а час – за логнормальним законом. При цьому середнє квадратичне відхилення часу скочування суттєво залежить від відстані скочування та режимів гальмування. У зв'язку з цим умови розділення відчепів при однакових значеннях математичного очікування величини інтервалів можуть суттєво відрізнитись і тому задача вибору режимів гальмування відчепів повинна розв'язуватись у стохастичній постановці.

6. Оцінка якості прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відчепів повинна здійснюватись на підставі комплексу імовірнісних показників: імовірність перевищення встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях, імовірність зупинки відче-

пів у гальмових уповільнювачах паркової гальмової позиції, середня величина вікна, що припадає на один розформований вагон, ризик нерозділення відчепів на розділових елементах. При цьому перші два показники характеризують безпеку руху і їх значення повинні бути нормовані.

7. Область допустимих швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій являє собою частину області можливих значень їх швидкостей, в якій додатково враховуються обмеження по імовірності перевищення допустимої швидкості входу відчепів на уповільнювачі, обмеження по імовірності перевищення встановленої ПТЕ швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях, обмеження по імовірності зупинки відчепа в уповільнювачі паркової гальмової позиції, обмеження ризику нерозділення відчепів із суміжними відчепами. Область допустимих швидкостей виходу відчепів складається із двох підобластей: підобласті з постійним значенням середньої величини вікна, що припадає на один розформований вагон \bar{l}_v , та підобласті, де величина \bar{l}_v залежить від швидкості виходу відчепа з другої гальмової позиції.

8. В області можливих швидкостей виходу відчепа з гальмових позицій може бути виділена лінія мінімальних ризиків нерозділення; при цьому напрям зменшення ризиків вздовж цієї лінії однозначно залежить від розташування стрілок по маршруту скочування та довжини відчепа, а мінімальне значення ризику нерозділення досягається на межі області допустимих швидкостей виходу відчепа з гальмових позицій. Виконані дослідження показали, що пошук оптимальних режимів гальмування можна обмежити множиною ефективних режимів які відповідають лінії мінімальних ризиків і межі області $\Omega_{\text{п}}$. Вказана особливість задачі дозволяє перейти від двомірної задачі пошуку оптимальних швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій в області допустимих режимів до одновірної задачі пошуку оптимального режиму у множині ефективних режимів.

9. Формалізована двокритеріальна задача оптимізації режимів гальмування відчепів у стохастичній постановці. При цьому у якості критеріїв роз-

глядаються середня величина вікна, що припадає на один розформований вагон та ризик нерозділення відчепів на розділових елементах. Запропоновано алгоритм пошуку оптимального режиму гальмування на основі методу динамічного програмування. Встановлено, що вирішення задачі у стохастичній постановці у порівнянні з рішенням задачі у детермінованій постановці за рахунок перерозподілу інтервалів на розділових елементах дозволяє скоротити кількість недопустимих ризиків нерозділення відчепів на 70-77% без погіршення показників прицільного регулювання швидкості скочування відчепів.

10. Розроблена імітаційна модель розпуску составів на сортувальній гірці. Загальна модель гірки включає модель системи керування стрілками і уповільнювачами, модель колійного розвитку, моделі об'єктів рухомого складу, модель пересування об'єктів та інформаційну модель. Модель системи керування стрілками та модель колійного розвитку формалізовано на основі зважених орієнтованих графів. В основу представлення поздовжнього профілю гірки покладена його апроксимація модифікованим кубічним сплайном. При цьому дугам графа, що представляє план колійного розвитку поставлено у відповідність вектор кутових коефіцієнтів дотичних, що дозволяє отримувати неперервні по першій похідній профілі маршруту скочування для усіх колій, що співпадають на спільних ділянках. Для моделювання керуваного скочування відчепів состава на спускній частині гірки використовуються попередньо отримані режими гальмування кожного відчепа. Розроблена модель дозволяє визначати техніко-експлуатаційні показники процесу розформування по сукупності составів, що розформовані за період моделювання, та розраховувати економічні показники, що пов'язані з розпуском.

11. Сучасні норми швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях не враховують стан вагонів у відчепі (завантажений чи порожній) та вид вантажу, який у ньому перевозиться. Використання вказаної інформації при виборі режимів гальмування дозволяє скоротити величину вікон у сортувальному парку на 5-7% без погіршення умов безпеки руху.

12. Отримано залежності показників роботи автоматизованої сортувальної гірки від параметрів окремих її підсистем. Досягнення рекомендованих для автоматизованих систем показників функціонування сортувальних гірок вимагає впровадження комплексних заходів з визначення точної маси відчепів, забезпечення точності вимірювань основного питомого опору руху відчепів $\pm 0,3$ Н/кН та зменшення середнього квадратичного відхилення швидкості виходу відчепів від заданої з паркових гальмівних позицій до $\sigma_v < 0,2$ м/с та з гальмових позицій спускної частини гірки до $\sigma_v < 0,3$ м/с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України за 2006 рік [Текст]. – К., 2007. – 132 с.
2. Ахвердиев К.С. Оптимальный горочный профиль и динамика скатывания отцепа по нему [Текст] / К.С. Ахвердиев, Б.И. Алибеков, В.П. Жуков // Транспорт: наука, техника, управление, ВИНТИ. - 1991. - №8. - с. 13 - 18.
3. Безсоненко С.А. Анализ существующих методов расчета сортировочных горок [Текст] / С.А. Безсоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2004. - №5. – с. 22-27
4. Безсоненко С.А. Расчет продольного профиля спускной части сортировочной горки [Текст] / С.А. Безсоненко // Труды БелИИЖТа. – Гомель. - 1984. – с. 69-76.
5. Безсоненко С.А. Расчет скорости отцепов и мощности тормозных позиций с использованием вероятностных показателей [Текст] / С.А. Безсоненко // Транспорт: наука, техника, управление.– 2006. - №5. – с. 11-16
6. Безсоненко С.А. Теория расчета сортировочных горок для различных климатических зон: автореф. дис. на соискание науч. степени доктора техн. наук: спец. 05.22.08 «Эксплуатация железнодорожного транспорта» [Текст] / С.А. Безсоненко – Москва, 2011. -37 с
7. Берестов І. В. Розроблення методики визначення енерговитрат гіркових електровозів при насуві та розпуску составів на гірках [Текст] / І. В. Берестов, С. П. Похилко // Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України. Збірник наукових праць.– Вип. 62. – Харків, 2004. –с. 10-19
8. Берндт Т. Сортировочные горки на железных дорогах мира [Текст]/ Т. Берндт, С.В. Власенко // Автоматика, связь, информатика, 2007. - № 6
9. Блохин Е.П. Моделирование движения поезда в аварийных ситуациях [Текст] / Е.П. Блохин, А.Н. Пшинько, С.В. Мямлин и др. // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 2. – С.16 – 18.

10. Бобровский В. И. Анализ и оценка конструкции плана путевого развития горочных горловин [Текст] / В. И. Бобровский, А. С. Дорош, А. И. Колесник // Збірник наукових праць ДНУЗТ “Транспортні системи і технології перевезень”. - 2011, Вип. 1, с. 22-26

11. Бобровский В.И. Временной принцип в имитационной модели процесса скатывания отцепов с сортировочной горки [Текст]/ В.И. Бобровский // Вопросы проектирования и технология транспортных узлов: Межвуз. сб. научн. тр.-Вып. 674.-М.: МИИТ, 1980.-с.70-71.

12. Бобровский В.И. Временной принцип моделирования скатывания отцепов с горки [Текст] / В.И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр.-Вып. 197/12.- Днепропетровск: ДИИТ, 1978. - с. 50 - 58.

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

14. Бобровский В.И. Интегрированные модели железнодорожных станций [Текст] / Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. –№ 4,5(37). – Харків, 2002, с. 23

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

16. Бобровский В.И. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках [Текст] / Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. –№ 3(42). – Харків, 2003, с. 3-8

17. Бобровский В.И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций: Монография [Текст] / Бобровский В.И., Козаченко Д.Н., Вернигора Р.В., Малашкин В.В. - Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2010, 156 с.

18. Бобровский В.И. Моделирование автоматизированных сортировочных горок [Текст] / В.И. Бобровский // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - №3, 4. - с. 83 - 84.

19. Бобровський В.И. Моделирование процесса скатывания отцепов с сортировочной горки [Текст] / Бобровський В.И., Козаченко Д.Н. // Зб. наук. праць ДЕГУТ: Серія “Транспортні системи і технології”. - Вип. 16, 2010, с. 20-29

20. Бобровский В.И. Ограничение режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В.И. Бобровский, Р.В. Вернигора, А.В. Кудряшов, Л.О. Ельникова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 27. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009., с. 30-35

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

22. Бобровский В.И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В.И. Бобровский //Транспорт: Зб. наук. праць. – Днепропетровск: Арт–Пресс, 2000. – с. 43 - 47.

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

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

25. Бобровский В.И. Расчет максимальных сдвигающих усилий, действующих на подвижной состав при закреплении на станционных путях [Текст] / Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. //Зб. наук. праць КУЕТТ: Серія “Транспортні системи і технології”. - Вип. 1-2, 2003, с. 80-84

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

27. Бобровский В.И. Эргатические модели железнодорожных станций [Текст] / Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Вернигора Р.В. //Зб. наук. праць КУЕТТ: Серія “Транспортні системи і технології”. - Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004. – с. 80-86.

28. Бобровский В.И. Базова модель колійного розвитку в імітаційних моделях залізничних станцій [Текст] / Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Вернигора Р.В. //Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України, зб. наукових праць УкрДАЗТ, вип. 62. 2004 с. 20-25

29. Бобровський В.І. Інтегрована система структурно-параметричних моделей залізничних станцій [Текст] / Бобровський В.І., Козаченко Д.М. // Удосконалення управління експлуатаційною роботою залізниць, зб. наукових праць УкрДАЗТ, вип. 53. 2003 с. 107-114

30. Бобровський В.І. Моделювання роботи вагонних уповільнювачів в задачах дослідження сортувального процесу [Текст] / Бобровський В.І., Козаченко Д.М., Коробйова Р.Г. //Залізничний транспорт України № 1, 2010, с 5-8

31. Божко Н.П. Методика определения режимов торможения отцепов при анализе конструкций сортировочных горок [Текст] / Н.П. Божко // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 229/15. - Днепропетровск: ДИИТ, 1983. - с. 30 - 36.

32. 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. Збірник наукових праць.– Вип. 62. – Харків, 2004. –с. 60-66

33. Буянова В.К. Моделирование на ЭЦВМ процесса роспуска вагонов с сортировочной горки [Текст] / В.К. Буянова // Вестник ВНИИЖТа. - 1965. - №6. - с. 60 - 64.

34. Василенко Н. Н., Гриненко А. В., Мясников Д. А. Имитационная модель АСУ РСГ и возможности ее использования при проектировании и эксплуатации // Автоматизированные информационные системы на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 247/15. - Днепропетровск: ДИИТ, 1986. - с. 56 - 60.

35. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго, А.Я.Коган – М.: Транспорт, 1986. – 560 с.

36. Вершинский С.В. Динамика вагона [Текст] / С.В. Вершинский // Технический справочник железнодорожника. - М.: Трансжелдориздат, 1952. - Т.6. - С.651-712.

37. Вершинский С.В. Исследование устойчивости движения грузовых поездов в кривых малого радиуса при действии продольных растягивающих сил. [Текст] / С.В. Вершинский и др. // Проблемы динамики и прочности перспективных вагонов: Труды ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1981, с. 11-23

38. Вершинский С.В. Устойчивость вагонов от выжимания продольными силами при торможении поездов [Текст] / Вершинский С.В. // Труды ЦНИИ МПС- М.: Транспорт, 1970, с. 4 - 38.

39. Винокуров М.В. Исследование колебаний и устойчивости вагонов: Сб.науч. тр. [Текст] / М.В. Винокуров – Днепропетровск: ДИИТ, 1939. - Вып.12. - 292 с.

40. Гарг В.К. Динамика подвижного состава [Текст] / В.К. Гарг, Р.В. Дуккипати – М.: Транспорт, 1988. – 391 с.

41. Годыцкий-Цвирко А.М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог [Текст] / Годыцкий-Цвирко А.М. - М.: Гострансиздат, 1937. - 214 с.
42. Головнич А.К. Автоматизация проектирования железнодорожных кранов [Текст] / А.К. Головнич – Гомель: БелГУТ, 2001. – 202 с.
43. Гончаров Н.Е. Повышение качества и эффективности управления транспортными средствами [Текст] / Н.Е. Гончаров – К.: “Будівельник”, 1976. – 152 с
44. Горка-автомат // Гудок.RU 21.05.2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gudok.ru>
45. Горохов Е.В. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи [Текст] / Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.В. Турбин, Я.В. Назим – Донецк.: «Компьютер Норд», 2005. – 348 с.
46. ГОСТ 22235-76*. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ [Текст]
47. Грачева Л.О. Взаимодействие вагонов и железнодорожного пути [Текст] / Л.О. Грачева – М. Транспорт, 1968. -207 с.
48. Грунтов П. С., Безопасность движения на железнодорожном транспорте [Текст]/ П. С. Грунтов, Ф. П. Пищик – Гомель: БелИИЖТ, 1988. – 122 с.
49. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций [Текст]/ П.С. Грунтов – М.: Транспорт, 1986, 247 с.
50. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки: затв. постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390.
51. Данько М.І. Розробка методу комплексної оцінки конструкцій гіркових горловин [Текст] / М.І. Данько, О.М. Огар, О.В. Розсоха // Восточно-европейский журнал передовых технологий.– 2006.- № 6/3(42).-с 30-33

52. Долаберидзе А.М. Автоматизация регулирования скорости вагонов на горках малой мощности [Текст] / Долаберидзе А.М., Шевчуков Я.З., Нагорный Е.В. // Железнодорожный транспорт. - №7, 1974 г., с. 31,32

53. Дудниченко А.М. Методика оценки систем автоматического управления скоростью роспуска составов на сортировочных горках [Текст] / Дудниченко А.М., Савицкий А.Г. // Вестник ВНИИЖТ, 1985, № 6, с. 13-16

54. Дудниченко А.М. Методические основы экспериментального исследования средств автоматизации на сортировочных горках [Текст] / Дудниченко А.М. // Труды ВНИИЖТ, 1982, вып. 661, с. 3-15.

55. Дудниченко А.М. Оценка эффективности функционирования системы АЗССР-ЦНИИ [Текст] / Дудниченко А.М. // Тр. ВНИИЖТ - 1982, Вып 661, с. 15-22

56. Ерлихман Б.С. Исследование интенсивности тормозного действия балочных нажимных замедлителей [Текст] / Ерлихман Б.С., Николаев А.В., Шейкин В. П – Экспериментальное силовых воздействий на грузы при торможении вагонов замедлителями на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ, 1987, № 4, с. 12-15

57. Ерлихман Б.С. Экспериментальные исследования силовых воздействий на грузы при торможении вагонов на сортировочных горках [Текст] / Ерлихман Б.С., Шейкин В. П – Экспериментальное силовых воздействий на грузы при торможении вагонов замедлителями на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ, 1989, № 1, с. 16-19

58. Жуковицкий И.В. Решение дифференциального уравнения свободного скатывания отцепа с горки [Текст] / И.В. Жуковицкий // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - №4. - с. 14 - 17.

59. Жуковский Н.Е. Колебания паровоза на рессорах (1920): Полн. собр. соч. [Текст] / Н.Е. Жуковский - М.-Л.: ОНТИ НКТП, 1937. - Т.8. - С.271-279.

60. Жуковский Н.Е. Теория прибора инженера Ромейко-Гурко (1905): Полн. собр. соч. / Н.Е. Жуковский - М.-Л.: ОНТИ НКТП, 1937. - Т.8.- С.102-107.
61. Закон України “Про залізничний транспорт” від 04.07.96 р. № 273/96-ВР
62. Збірник №17 Правил перевезень і тарифів залізничного транспорту України [Текст] – К.: «Видавничий дім «САМ» - 2005.- 176 с.
63. Исаев К.С. Повысить безопасность распуска [Текст] / К.С. Исаев // Железнодорожный транспорт, 1986, №9, с. 23-25
64. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП–0138)
65. Кеглин Б.Г. Исследование нагруженности вагонов рефрижераторных секций при соударениях на сортировочных горках [Текст] / Б. Г. Кеглин, А.Н. Прасолов, А.Г. Стриженок // Вестник ВНИИЖТ, 1985, № 4, с. 43-47
66. Кирлан А. И. Цифровая модель горки для исследования алгоритмов управления горочными процессами [Текст] / А. И. Кирлан // Автоматизация управления и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сб. научн. тр. - Вып. 13. - Свердловск: УО ЦНИИ МПС, 1969. - с. 112 - 114.
67. Кобзев В.А. Вагонные замедлители [Текст] / В.А. Кобзев // Железнодорожный транспорт, 2001. №11, с. 64-67.
68. Кобзев В.А. Новый вагонный замедлитель КЗ-5 для сортировочных горок [Текст] / В.А. Кобзев // Автоматика, связь, информатика, 2000. №11 с. 8 – 10.
69. Ковалев Н.А. Свободное движение двухколесного экипажа при кулоновом трении между колесом и рельсом [Текст] / Н.А. Ковалев // Вестник ВНИИЖТ. – 1957. - № 4. – С.41-45.
70. Ковалев Р.В. Введение в моделирование динамики механических систем [Текст] / Р.В.Ковалев, Д.В.Даниленко // САПР и графика, 2008, №4, с. 26-31

71. Коган А.Я. Определение верхних оценок на величину угла набега-ния колесной пары на рельс при боковых колебаниях подвижного состава [Текст] / А.Я. Коган // Труды ЦНИИ МПС, вып. 296 - М.: Транспорт, 1965, с. 244 - 258.

72. Козаченко Д.М. Аналіз впливу спеціалізації сортувальних колій на показники процесу розформування составів [Текст] / Козаченко Д.М., Березовий М.І, Таранець О.І. // Восточно-европейский журнал передовых технологий 6/2(24), 2006, с 7-9

73. Козаченко Д.М. Аналіз можливості підвищення точності характеристик відчепів за результатами скочування відчепів [Текст] / Козаченко Д.М., Таранець О.І. // Восточно-европейский журнал передовых технологий, №3(33), Харків, 2008, с 68-72

74. Козаченко Д.М. Вибір режимів гальмування відчепів, що скочують-ся в умовах невизначеності [Текст] / Козаченко Д.М. // Проблеми та перспек-тиви розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології / Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції – Київ, ДЕТУТ. – 2011. - с. 187-188

75. Козаченко Д.М. Дослідження безпеки скочування відчепів з сорту-вальної гірки методами моделювання [Текст] / Козаченко Д.М. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. Тези доповідей 70 Міжнарод-ної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: ДІПТ. - 2010. - С. 129-130.

76. Козаченко Д.М. Дослідження впливу параметрів відчепів та умов їх скочування на величину інтервалів на розділових стрілках [Текст] / Козачен-ко Д.М. Березовий М.І, Коробйова Р.Г. // Вісник Дніпропетровського націо-нального університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 12. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Ла-заряна, 2006. с 78-82

77. Козаченко Д.М. Дослідження впливу спеціалізації сортувальних колій на тривалість операцій по їх підготовці до розпуску [Текст] / Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Березовий М.І. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 24. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008., с 34-37

78. Козаченко Д.М. Дослідження ефективності заходів автоматизації управління швидкістю скочування відцепів на сортувальних гірках [Текст]/ Козаченко Д.М. //Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, № 5(147), частина 2, 2010, с 276-284

79. Козаченко Д.М. Дослідження ефективності заходів автоматизації управління швидкістю скочування відцепів на сортувальних гірках [Текст]/ Козаченко Д.М. // Вагонний парк. – Вип. 12 – 2010, 4-8

80. Козаченко Д.М. Дослідження області допустимих режимів гальмування відцепів [Текст] / Козаченко Д.М. // Збірник наукових праць ДНУЗТ “Транспортні системи і технології перевезень”. - 2011, Вип. 1, с. 46-49

81. Козаченко Д.М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках [Текст] / Козаченко Д.М., Мозолевич Г.Я //Восточно-европейский журнал передовых технологий, №3/5(45), Харків, 2010, с 17-21

82. Козаченко Д.М. Исследование требований к системам прицельного регулирования скорости скатывания отцепов при автоматизации расформирования составов [Текст] / Козаченко Д.М. //Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту української державної академії залізничного транспорту. – Вип. 22 – вид-во ДонІЗТ, 2010, с. 5-13

83. Козаченко Д.М. Модель колійного розвитку для імітаційного моделювання гіркових процесів [Текст] / Козаченко Д.М. //Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 29 – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009., с 53-57

84. Козаченко Д.М. Модель системи управління пересуванням рухомого складу на сортувальних гірках [Текст] / Козаченко Д.М. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 31. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010., с 46-49

85. Козаченко Д.М. Моделювання роботи сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відчепів та характеристик навколишнього середовища [Текст] / Козаченко Д.М., Березовий М.І, Таранець О.І. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип.. 16. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007., с 73-76

86. Козаченко Д.М. Моделювання скочування відчепа як динамічної системи взаємопов'язаних вагонів [Текст] / Козаченко Д.М. // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Вип. 20 – вид-во ДонІЗТ, 2009, с 5-15

87. Козаченко Д.М. Новий вагонний уповільнювач УВСК українського виробництва [Текст] / Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Березовий М.І. Гарбузов А.А. // Залізничний транспорт України № 2, 2010, с 34-38

88. Козаченко Д.М. Оптимізація розподілу сортувальних колій між призначеннями плану формування [Текст] / Козаченко Д.М. Березовий М.І, Коробйова Р.Г. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 22. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008., с 52-55

89. Козаченко Д.М. Области допустимих режимів скочування відчепів в умовах невизначеності інформації про їх ходові характеристики / Козаченко Д.М., Коробйова Р.Г. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. Тези доповідей 71 Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: ДІТ. - 2010. - С. 134-135

90. Козаченко Д.М. Техніко-експлуатаційна та техніко-економічна оцінка сортувальних гірок [Текст] / Козаченко Д.М., Таранець О.І.// Матеріали третьої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті». – К.: ГЭТУТ, 2008 – с 370, 371

91. Козаченко Д.М. Техніко-експлуатаційна та техніко-економічна оцінка сортувальних гірок [Текст] / Козаченко Д.М., Таранець О.І.// Матеріали третьої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті». – К.: ГЭТУТ, 2008 – с 370, 371

92. Козаченко Д.Н. Аналіз динаміки подвижного складу при скатюванні с сортировочних гірок [Текст] / . Козаченко Д.Н. // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Електромагнітна сумісність і безпека на залізничному транспорті». – Мисхор.: ДНУЖТ, 2009 – с 30, 31

93. Козаченко Д.Н. Исследование прицельного регулирования скорости скатывания отцепов в условиях неопределенности информации об их ходовых свойствах [Текст] / Козаченко Д.Н., Коробйова Р.Г., Таранець О.І.// Восточно-европейский журнал передовых технологий №6/2(42) 2009, с 45 - 50

94. Козаченко Д.Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках [Текст]/ Козаченко Д.Н. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 34. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010., с 46-50

95. Козаченко Д.Н. Критерий оптимизации режимов торможения отцепов расчетной группы в условиях действия случайных факторов [Текст]/ Козаченко Д.Н. // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту української державної академії залізничного транспорту. – Вип. 23 – вид-во ДонІЗТ, 2010, с. 14-21

96. Козаченко Д.Н. Моделирование сортировочного процесса на горках [Текст] / Козаченко Д.Н., Таранец О.И.// Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Транспорт, наука, бизнес: проблемы и стратегия развития», посв. 130-летию Сверд. ж.д.: сб. научн. Тр. - Екатеринбург: УрГУПС. – 2008. - 290 с.

97. Козаченко Д.Н. Оценка технико-эксплуатационных параметров нового вагонного замедлителя [Текст] / Козаченко Д.Н., Березовый Н.И, Вернигора Р.В., Муха В.П. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. Тези доповідей 69 Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: ДПТ. - 2009. - С. 76-77

98. Козаченко Д.Н. Оценка технико-эксплуатационных параметров нового вагонного замедлителя [Текст] / Козаченко Д.Н., Березовый Н.И, Вернигора Р.В., Муха В.П.//Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. Тези доповідей 69 Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: ДПТ. - 2009. - С. 76-77

99. Козаченко Д.Н. Совершенствование оценки конструкции и технического оснащения сортировочных Горок [Текст] / Козаченко Д.Н., Таранец О.И.//Труды 10 научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», Москва, МИИТ, 2009, с. X-21, X-22

100. Комплекс горочный микропроцессорный на базе промышленных компьютеров // Наши работы: "КГМ" - ВНИИ Автоматизации и Связи МПС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rfniias.ru/rfniias_rus/kgm1.htm

101. Комплексный расчет уклонов продольного профиля спускной части и высоты сортировочной горки по вероятностным показателям / С.А. Безсоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2006. - №7. – с. 12-19

102. Конноли Т. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика, 2-е из.: Пер с англ.: уч. пос. [Текст] / Конноли Т., Бегг К., Страчан А.– М.: Издательский дом «Вильямс», 2000 – 1120 с

103. Кораблев Е. А. Использование ЭЦВМ для расчета горок. Труды ЛИИЖТа, вып. 256. - Л.: Транспорт, 1967.

104. Кудрявцев Н.Н. Исследование динамики необрессоренных масс вагонов [Текст] / Н.Н. Кудрявцев // Труды ЦНИИ МПС, вып. 287 - М.: Транспорт, 1965, с. 19 - 29.

105. Кудряшов А.В. Підвищення ефективності сортувального процесу на станціях шляхом оптимізації режимів розформування составів на гірках / : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» [Текст] / А. В. Кудряшов – Дніпропетровськ.: ДНУЗТ- 2010. -24 с

106. Лазарян В.А. Динамика вагонов [Текст] / В.А. Лазарян В.А. - М.: Транспорт, 1964. - 256 с.

107. Лазарян В.А. Динамика вагонов. Устойчивость движения и колебания [Текст] / Лазарян В.А.- М.: Транспорт, 1964

108. Лазарян В.А. Дифференциальные уравнения движения четырехосного вагона по изолированной неровности пути [Текст] / В.А. Лазарян // Науч.тр. ДИИТ. - Днепропетровск: ДИИТ. – 1963. - Вып.44. - С. 3-9.

109. Лазарян В.А. Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог [Текст] / В.А. Лазарян - М.: Трансжелдориздат, 1962. - 220 с.

110. Лазарян В.А. Собственные колебания тележечных грузовых вагонов [Текст] / В.А. Лазарян // Вестник ВНИИЖТ. – 1958. - № 2. - С.7-12.

111. Лазарян В.А. Устойчивость движения рельсовых экипажей [Текст] / В.А. Лазарян, Л.А. Длугач, М.Л. Коротенко – К.: Наукова думка, 1972. – 193 с.

112. Липинин С. Принцип действия точечной системы автоматического регулирования скорости отцепов [Текст] / С. Липинин // Вагонный парк 2010, № 9, с 34-35

113. Лисенков В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов [Текст] / В. М. Лисенков–М.: Транспорт, 1992. –192 с.
114. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решений [Текст] / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982 –328 с.
115. Марье Г. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / Марье Г.// - М.: Госжелдориздат, 1933. - 338 с.
116. Мацкель С.С. Расчет элементов станций на ЭВМ [Текст] / Мацкель С.С. - М.: Транспорт, 1980. –176 с.
117. Медель В.Б. Взаимодействие электровоза и пути [Текст] / В.Б. Медель - М.: Трансжелдориздат, 1956. - 336 с.
118. Миклер Г. Децентрализованная система управления роспуском вагонов на сортировочной станции Бремерхафен-Шпекенбюттель [Текст]/ Г. Миклер, Ф. Лекенвальтер, К. Рам // Железные дороги мира, № 8, 1988, с. 2-12
119. Модернизация завершена // Литовский курьер on-line №18 (740) 30 Апреля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kurier.lt>
120. Модин Н.К. Безопасность функционирования горочных устройств [Текст] / Н.К. Модин. – М.: Транспорт, 1995, - 173 с
121. Моргачев В.Д. Создание эффективных электромагнитных вагонозамедлителей [Текст] / В.Д. Моргачев // Автоматика, телемеханика и связь, 1991. №9 с. 6 – 7.
122. Моссаковский В.И. О качении колесной пары [Текст] / В.И. Моссаковский // Изв.АН СССР, ОТН. – 1957. - № 11. - С.169-172.
123. Муха Ю. А. Построение кривых скорости скатывания длинных отцепов с сортировочной горки и сравнение этих кривых с опытными [Текст] / Ю. А. Муха // Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок: Труды ДИИТа - Вып. 41.- Днепропетровск, 1962. - с. 85 - 110.

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

125. 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: Труды ДИИТа, вып. 168/9. Днепропетровск, 1975. – с. 39-54

126. Муха Ю. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчетов [Текст] / Ю. А. Муха, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1990. - с. 11- 20

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

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

129. Муха Ю.А. Цифровая модель процесса роспуска составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Ю.А.Муха, В.И. Бобровский, С.А. Попов // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. - Вып. 181/10. - Днепропетровск. - 1976. - с. 23 - 40.

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

131. Мямлин С.В. Динамика вагонов в отцепе при скатывании с сортировочной горки [Текст] / Мямлин С.В., Козаченко Д.Н. //Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Вип. 17 – вид-во ДонІЗТ, 2009, с. 150-155

132. Мямлин С.В. Моделирование динамики рельсовых экипажей [Текст] / С.В. Мямлин – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с

133. Мямлин С.В. Моделирование динамики подвижного состава на сортировочных горках [Текст] / Мямлин С.В., Козаченко Д.Н. // Материалы II Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» - Гомель: БелГУТ, 2008, с 80

134. Мямлін С.В. Визначення показників безпеки руху вагонів при гальмуванні уповільнювачами [Текст] / Мямлін С.В., Козаченко Д.М., Гаркаві Н.Я.//Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.–Вип. 23. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008, с 108-110

135. Нагорный Е.В. Эффективность применения систем автоматического регулирования конечных скоростей движения отцепов [Текст] / Е.В. Нагорный, И.В. Берестов // Применение микропроцессорных устройств в системах железнодорожной автоматики: Сб. научн. тр. - Вып. 7. - Харьков: ХИИТ, 1988. - с.54-58.

136. Нагорний Є.В. Удосконалювання принципу регулювання швидкості розпуску составів на сортувальних гірках, обладнаних системами АЗРШ [Текст] / Є.В. Нагорний, В.Ф. Чеклов// Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць / ХарДАЗТ, 1998. - Вип. 33. с. 104-107.

137. Назаров О.А. Показники якості процесу заповнення сортувальних колій вагонами [Текст] / О.А. Назаров // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. Тези доповідей 71 Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: ДПТ. - 2010. - С. 145-146

138. Негрей, В. Я. Автоматизация проектирования продольного профиля сортировочных горок с использованием сплайновых методов [Текст] / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев, Ю. И. Ефименко // Вестник БелГУТа. – Гомель : Наука и транспорт. – 2007. – № 1-2. – С. 46—50.

139. Негрей, В. Я. Особенности и некоторые направления развития теории безопасности транспортных систем [Текст] / В. Я. Негрей // Сборник науч. трудов Белорусского государственного транспортного университета по материалам IV международной научно-практической конференции. – Гомель : БелГУТ. – 2007. – С. 31—33.

140. Негрей, В. Я. Эффективность формирования групповых поездов на внутридорожных направлениях [Текст] / В. Я. Негрей, С. В. Дорошко // Вестник БелГУТа. – Гомель : Наука и транспорт. – 2008. – Вып. 2(17). – С. 24–27.

141. Неймарк Ю.И. Динамика неголономных систем [Текст] / Ю.И. Неймарк, Н.А. Фуфаев - М.: Физматгиз, 1967. - 520 с.

142. Нечипоренко А.Н. Опытная эксплуатация неуправляемых домкратовидных вагонных замедлителей [Текст] / А.Н. Нечипоренко, Ю.В. Колосов.// Автоматика, телемеханика и связь, 1995. №6 с. 12-14.

143. Никитин В. Д. Проектирование продольного профиля парков сортировочной станции с помощью математического моделирования маневровых процессов на ЭЦВМ [Текст] / В. Д. Никитин, С.С. Мацкель // Вопросы расчета и проектирования железнодорожных станций и узлов: Труды МИИТа. - Вып. 304. - М.: Транспорт, 1969. - с. 4 - 41.

144. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]- М: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996, 319 с.

145. Образцов В. Н. Станции и узлы. Ч.2 [Текст] / В.Н. Образцов - М.: Трансжелдориздат, 1938. - 492 с.

146. Образцов В. Н. Станции и узлы [Текст] / В. Н. Образцов, В. Д. Никитин, Ф. Н. Шаульский, С. П. Бузанов - М.: Трансжелдориздат, 1949. - 540 с.

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

148. Огарь А.Н. Методика оптимизации значений уклонов элементов продольного профиля сортировочных горок [Текст] / А.Н. Огарь // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте, 2001. №3 с. 18 – 22.

149. Осипов Д.В. Особенности расчета удельных сил сопротивления движению отцепа при имитационном моделировании процесса расформирования составов [Текст] / Осипов Д.В., Климов А.А. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании». Том 1. Транспорт – Одесса: Черноморье, 2010. – 104 с.

150. Павлов В.Е. Об алгоритме расчета скорости вагона на горке в зависимости от расстояния [Текст] / В.Е. Павлов // Труды ЛИИЖТ. Вып. 259. Л., Транспорт, 1967. - с. 95 - 100.

151. Павлов В.Е. Элементы оптимального проектирования плана горловины автоматизированной сортировочной горки [Текст] / В.Е. Павлов // Железнодорожные системы автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов: Сб. научн. тр. ЛИИЖТа. - Вып. 314. - Л.: Транспорт, 1971. - с. 148 - 155.

152. Пат. №38509 Україна, МПК (2006) В61G 3/00. Зчіпний пристрій рейкового транспорту / Мямлін С.В., Боднар О.С., Недужа Л.О. Козаченко Д.М.: власник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – у 2008 10036; заявл. 04.08.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1

153. Пархоменко В.М. Якість продукції як економічна категорія: проблеми визнання [Текст] / В.М. Пархоменко // ВІСНИК ЖДТУ. Серія: економічні науки – 2009 № 1 (47). – с. 93-99

154. Пахомова Г.Ф. Тренажеры работников горочного комплекса [Текст] / В.И. Жуков, И.В. Белаго, М.М. Лаврентьев, В.М. Черненко // Материалы региональной научно-практической конференции «ТРАНССИБ-99». Новосибирск: СГУПС, 1999 г., С.45-46.
155. Петров Н.П. Влияние поступательной скорости колеса на напряжения в рельсе [Текст] / Н.П. Петров // Записки РТО. – 1903. - №2. - С. 27-115.
156. Петров Н.П. Давление колес на рельсы железных дорог, прочность рельс и устойчивость пути [Текст] / Н.П. Петров - Петроград, 1915. –327 с.
157. Подиновский В.В. Парето оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.
158. Попов А.А. К вопросу о динамическом воздействии колеса на рельс при прохождении неровностей пути [Текст] / А.А. Попов // Науч.тр. ЦНИИ МПС. – М.: Трансжелдориздат. - 1949. - Вып.33. - С. 155-186.
159. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207 – 89 [Текст]. - М.: Транспорт, 1992. - 104 с.
160. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. [Текст] - М.: Техинформ, 2003. - 170 с.
161. Правила технической эксплуатации железных дорог Союза ССР. Трансжелдориздат, [Текст] М.: 1959 г - 147 с.
162. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст] – К.: Транспорт України, 2005. – 256 с.
163. Радченко Н. А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств [Текст] / Радченко Н. А. – Киев: Наук. думка, 1988. – 216с.
164. Расчет вагонов на прочность [Текст] / С.В. Вертинский, Е.Н. Никольский, Л.Н. Никольский и др.; под ред. Л.Д. Шадура. – М.: Машиностроение, 1971. – 432 с.

165. Рогинский Н.О. Механизация сортировочных горок [Текст] / Рогинский Н.О., Родимов Б.А., Зубрилин Г.И. - М.: Трансжелдориздат, 1949. - 248 с.

166. Руководство операторам по управлению устройствами на механизированных и автоматизированных сортировочных горках: ЦДС-18/ ЦЩЦ-34/91 : нормативно-технический материал / Министерство путей сообщения СССР. Главное управление перевозок. Главное управление сигнализации, связи и вычислительной техники [Текст] - М. : Транспорт, 1990. - 64 с.

167. Садовничая И.А. Экспериментальное исследование основных параметров вагонных замедлителей [Текст] / Садовничая И.А. // Вестник ВНИИЖТ, 1973, № 5, с. 51-54

168. Самсонкин В. Н. Метод статистической закономерности в управлении безопасностью движения на железнодорожном транспорте / В.Н. Самсонкин, В.А. Друзь – Донецк: ДонИЖТ, 2005. – 160 с.

169. Самсонкин В. Н. Прогнозирование надежности железнодорожных операторов [Текст] / В. Н. Самсонкин // Информационно управляющие системы на ж. д. трансп.- 1996.- № 5. - С. 54–55.

170. Самсонкин В. Н. Системный подход, как осваивающий метод исследования эргономики: сущность применение в транспортных системах [Текст] / В. Н. Самсонкин // Залізнич. транспорт України. - 2008. - № 6. - С. 3-4.

171. Самсонкин В.Н. Прогнозирование состояния безопасности движения на железнодорожном транспорте [Текст] / Самсонкин В.Н., Белая И.И. // Залізнич. транспорт України. - 2007. - № 1. - С. 48-49.

172. Сапожников В. В. Методы и средства оценки обеспечения безопасности систем железнодорожной автоматики [Текст] / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика, телемеханика и связь. -1992. -№ 1. - С. 4-7.

173. Сапожников В. В. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Талалаев // Автоматика телемеханика и связь. – 1992. №4. –С. 30-32.

174. Системы автоматизации сортировочных горок на основе современных компьютерных технологий: Учебник для вузов ж.д. транспорта [Текст] / А.Н. Шабельников, В.Н. Иванченко, С.М. Ковалев и др. Под общей редакцией А.Н. Шабельникова. – Ростов на Дону: НИИАС. Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2010. – 436 с.

175. Смирнов В.И. Динамика скатывания многовагонных отцепов с сортировочной горки [Текст] / В.И. Смирнов // Транспорт: наука, техника, управление. - ВИНТИ. - 1994. - №1. - с. 17 - 23.

176. Соболев Ю.В. Электромагнитный замедлитель-ускоритель для систем автоматического регулирования скорости роспуска на сортировочных горках [Текст] / Ю.В. Соболев, В.М. Соколов, А.Н. Прогонный // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте, 1998. №1 с. 39 – 42.

177. Современные вагонные замедлители [Текст] // Железные дороги мира, 1998. №3 с. 49-51

178. Сокол Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики): Монография [Текст] / Э. Н. Сокол – 2 изд. доп. – К. Транспорт Украины, 2004 – 368 с.

179. Соколов В. Н. Методы прицельного вытормаживания отцепов [Текст] / В. Н. Соколов // Автоматика, связь, информатика. – 2007. - № 11. – с. 35-37

180. Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок [Текст] - Труды ВНИИЖТа. - Вып. 545. - М.:Транспорт,1975. - 151 с.

181. Справочник по специальным функциям [Текст] - М.: Наука, 1979. - 832 с.

182. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-р.

183. Талалаев В. И. Обеспечение безопасности движения – на уровень государственных стандартов [Текст] / В. И. Талалаев // Автоматика, телемеханика и связь. –1992. –№ 1. – С.2-4.

184. Тимошенко С.П. К вопросу о прочности рельс (1915) / С.П. Тимошенко [Текст] // Прочность и колебания элементов конструкций. – К.: Наукова думка, 1975. - С. 322-358.

185. Тимошенко С.П. Напряжения в железнодорожном рельсе (1931-32) [Текст] / С.П. Тимошенко // Статические и динамические проблемы теории упругости. – К.: Наукова думка, 1975. - С. 318-355.

186. 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

187. Транспортна стратегія України до 2020 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.12.2006 № 651-р.

188. Ульянычев Ю.В. APC ГТСС. Автоматическое регулирование скорости вагонов на сортировочной горке [Текст] / Ю.В. Ульянычев // Автоматика, телемеханика и связь.–1972.–№ 7.–с. 10-14

189. Ушкалов В.Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей [Текст] / В.Ф. Ушкалов, Л.М. Резников С.Ф. Редько – К.: Наукова думка, 1982. – 359 с.

190. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. - М.: Мир, 1977. – 552 с.

191. Ханнебринк Д.Н. Влияние осевой нагрузки, ширины колеи и профиля колеса на извилистое движение рельсового экипажа [Текст] / Д.Н. Ханнебринк, И.К. Хедрик, Г.С.Г. Ли, Г. Вейнсток // Конструирование и технология машиностроения. – 1977. - Сер.Б, т. 99, № 1. - С. 137-148.

192. Чепцов М. Н. Критерии опасных отказов микропроцессорных устройств управления и контроля положения стрелки [Текст] / М. Н. Чепцов, С. А. Радковский // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: № 13, –2008. –С. 57-62.

193. Чепцов М. Н. Синтез модели безопасного функционального элемента [Текст] / М. Н. Чепцов, А. Б. Бойник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. –2008. –№5-6. –С. 89-95.

194. Черкашин Ю.М. Безопасность движения железнодорожного подвижного состава: сб. Науч. Тр. ВНИИЖТ [Текст] / Ю.М. Черкашин – М.: Ин-текст, 2010. – 176 с.

195. Черкашин Ю.М. Определение допустимых продольных сил в поезде по условию обеспечения устойчивости движения вагонов [Текст] / Ю.М. Черкашин, Г.В. Костин // Исследование прочности, устойчивости, воздействия на путь и техническое обслуживание вагонов в поездах повышенной массы и длины: Труды ВНИИЖТ М.:Транспорт, 1992, с. 4-31

196. Шафит Е. М. Аппроксимация продольного профиля сортировочных горок [Текст] / Е. М. Шафит // Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок: Труды ДИИТа. - Вып. 52. - М.: Транспорт, 1965. - с. 35 - 54.

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

198. Шафит Е.М. Машинное решение дифференциальных уравнений скатывания отцепов с сортировочной горки [Текст] / Е.М. Шафит // Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок: Труды ДИИТ. - Вып. 52. - М.: Транспорт, 1965. - с. 73 - 95.

199. Шафит Е.М. Расчет времени расформирования составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Е.М. Шафит // Вопросы эксплуатации железных дорог: Труды ДИИТа. - Вып. 61. - М.: Транспорт, 1966. - с. 31 - 50.

200. Шевченко В.В. Системний економічний підхід до безпеки руху поїздів [Текст] / Шевченко В.В., Пшінько О.М., Мямлін С.В., Козаченко Д.М. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 26. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009., с 236-238

201. Шейкин В.П. Повышение работоспособности технических средств для расформирования составов [Текст] / В.П. Шейкин, В. Н. Рудановский // Вестник ВНИИЖТ,

202. Шиш В.А. Анализ высоты и профиля ряда сортиросортировочных горок Украины [Текст] / В.А. Шиш, А.В. Кудряшов // Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту. Тези доповідей 71 Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: ДІПТ. - 2010. - С. 155-166

203. Шиш В.О. Автоматизація та механізація технологічних процесів на сортувальних станціях [Текст] / В.О. Шиш // Залізничний транспорт України № 3, 2011, с 44-47

204. Шумский А.В. Проблемы автоматизации управления вагонными замедлителями [Текст] / А.В. Шумский, С. А. Рогов // Автоматика, связь, информатика. – 2007. - № 11. – с. 17-20

205. Ю.А. Муха. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст] / Ю.А. Муха, И.В. Харланович, В.П. Шейкин и др. - М.: Транспорт, 1985. - 248 с.

206. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования [Текст] / Д.Б. Юдин - М.: Сов. радио, 1979. 392 с

207. Ющенко Н. Р. Графический метод построения кривых скорости и времени скатывания отцепов с горки [Текст] / Н. Р. Ющенко // Труды ДИИТа. - Вып. 21. - М.: Трансжелдориздат, 1951. - с. 271 - 287.

208. Явна А. А. Методика специализации путей подгорочного парка [Текст] / А. А. Явна, В. Н. Иванченко, Л. В. Пальчик, А. Г. Кулькин // Вестн. ВНИИЖТ. – 1980. – №2. – С. 9-15.
209. Ягудин Р.Ш. Программа обновления и развития средств автоматизации и механизации сортировочных станций и горок на период 2000 – 2005 гг. [Текст] / Р.Ш. Ягудин // Автоматика, связь, информатика, 2000. №8 с. 47 – 48.
210. Carter F.W. On the Action of a Locomotive Driving Wheel [Текст] / F.W. Carter // Proc. Royal Soc. - vol. 112, ser. A. – 1926. - P. 151-157.
211. Carter F.W. On the Stability of Running of Locomotives [Текст] / F.W. Carter // Proc. Royal Soc. - vol. 121, ser.A. – 1928. - P. 585-611.
212. Ennulat D. Neue Lösungen in der Verfahrenstechnik für Ablaufanlagen [Текст] / D. Ennulat, A. Gottschalk // Signal + Draht. - 1992. - 84, - с. 87-92.
213. Fromm H. Berechnung des Schiupfes beim Rollen deformierten Scheilen [Текст] / H. Fromm // ZAMM. – 1927. - Bd. 7, N 1. - S. 27-38.
214. George W. Untersuchung am Ablaufberg mittels EDV in der Ingenieurausbildung an der IngST Gotha [Текст] / W. George, R. Zeranski // Eisenbahnpraxis. - 1985, 29, №1.- с. 24-25.
215. Joule Speed Control Systems for Marshalling Yards [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.argent.co.za
216. Kapiszewski L. Dynamika ruchu odprzeгу wagonowego w procesie grawitacyjnego przemieszczania wagonow [Текст] / L. Kapiszewski // Zag. transp. - 1986-1987. - №1-2. - с. 27-59.
217. König H. Variation der Abdrückgeschwindigkeit bei quasikontinuierlicher Geschwindigkeitssteuerung im Zentralverschiebebahnhof Wien [Текст] / H. König // Rangiertechnik und Gleisanschlusstechn. -1989. - №49. - с. 3-6.
218. Peschel M. Modernization of Marshalling Yard Antwerp-North [Текст] / M. Peschel // Rail Engineering International, 1988. № 1, p.6-9.
219. Planung rangiertechnischer Anlagen [Текст] // Eisenbahningenieur.- 1997. - 48, №3. - с 31.

220. Proyard PITM Yard Automation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://staging.gettransportation.com/na/en/proyardIII.html>

221. Raab F. Bewegungsgleichungen und nomographische Rechentafeln als Hilfsmittel für ablayfdynamischen Untersuchungen [Текст] / F. Raab - Rangiertechnik, 1956, H. 16.

222. Raab F. Die Bewegungsgleichung frei ablaufender Eisenbahnfahrzeuge [Текст] / F. Raab - Verkehrstechnische Woche, 1928, H. 4.

223. Seget M. Model symulacyjny procesu rozrządzania wagonów na górcie rozrządowej [Текст] / M. Seget, K. Sztandera // Pr. Inst. transp. PWarsz. - 1988.- 28. - с. 5-12.

224. Seget M. Model symulacyjny procesu rozrządzania wagonów na górcie rozrządowej [Текст] / M. Seget, K. Sztandera // Pr. Inst. transp. PWarsz. - 1988.- 28. - с. 5-12.

225. Starowich W. Modelowanie symulacyjne ruchu wagonów na górcie rozrządowej [Текст] / W. Starowich, Z. Avramovic // Autom. Kolej.- 1988, 11, №1.- с. 3-10.

ДОДАТКИ

Об'єкти інтелектуальної власності створені в результаті дисертаційного дослідження


УКРАЇНА
Міністерство освіти і науки України
Державний департамент інтелектуальної власності

СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір
№ 30170

Комп'ютерна програма "Скатывание одиночного отцепа" ("VS")
(вид, назва службового твору)

Автор(и) Козаченко Дмитро Миколайович, Бобровський Володимир Ілліч, Березовий Микола Іванович, Кудряшов Андрій Вадимович, Таранець Ольга Ігорівна
(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, вул. Ак. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010
(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 08.09.2009

Голова Державного департаменту інтелектуальної власності  М.В.Паладій



Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження



АВ „LIETUVOS GELEŽINKELIAI“ АО „ЛИТОВСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ“

АКТ

от 16 июня 2011 г.

о внедрении результатов докторской диссертации к. т. н., доцента, начальника научно – исследовательской части Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

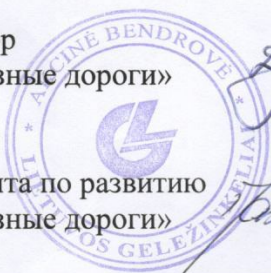
Козаченко Дмитрия Николаевича

на тему *«Развитие теоретических основ оценки технико – эксплуатационной эффективности и безопасности функционирования сортировочных горок»*

В 2007 году Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна для АО «Литовские железные дороги» выполнена научно – исследовательская работа (далее – НИР) *«Расчет динамики и стабильности подвижного состава во время торможения вагонов на замедлителях, предусматриваемых к установке на станции Вайдотай (Литва) на третьей (парковой) тормозной позиции, в кривых радиусом 200 м».*

Ответственным исполнителем по данной НИР был Козаченко Д. Н. Научные и практические результаты диссертации Козаченко Д. Н. использованы для оценки функционирования автоматизированной системы управления сортировочной горкой MSR-32 производства SIEMENS при ее работе в условиях колеи 1520 мм, а именно для проверки безопасности торможения отцепов на парковой тормозной позиции и для проверки перерабатывающей способности горки.

Генеральный директор
АО «Литовские железные дороги»



Stasys

др. т. н. Стасис Дайлидка

Директор Департамента по развитию
АО «Литовские железные дороги»

Jastramskas

Виргилиус Ястремскас



УКРЗАЛІЗНИЦЯ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 «ПРИДНІПРОВСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»

Служба перевезень

А К Т

20 травня 2011 р.

м. Дніпропетровськ

№ ДТ-04/53

про впровадження результатів дисертаційної роботи
 Козаченка Дмитра Миколайовича
 на тему «Розвиток теоретичних основ оцінки техніко-експлуатаційної
 ефективності та безпеки функціонування сортувальних гірок»

Ми, що нижче підписалися, розглянули програмний комплекс для ЕОМ «Скатывание одиночного отцепка «VS» (свідоцтво про державну реєстрацію авторських прав на твір № 30170), теоретичні та практичні результати докторської дисертаційної роботи начальника науково-дослідної частини Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Козаченка Д.М., встановили:

1. Здійснення оцінки безпеки процесу регульованого скочування відцепів на сортувальних гірках на основі коефіцієнту стійкості вагона від вкочування колеса на рейку та коефіцієнту стійкості вагона від вкочування на уповільнювач, які визначаються на основі моделювання процесу скочування відцепів за допомогою програмного комплексу «Скатывание одиночного отцепка «VS», дозволяє встановлювати безпечні режими гальмування для конкретної сортувальної гірки в залежності від її конструкції та технічного стану, характеристик відцепів.

2. Методика техніко-експлуатаційної оцінки функціонування сортувальних гірок, що ґрунтується на імітаційному моделюванні сортувального процесу дозволяє визначати показники експлуатації гірок в різних умовах та оцінювати ефективність ремонтних заходів, модернізації реконструкції гірок.

3. Результати дисертаційної роботи Козаченка Дмитра Миколайовича прийняти до впровадження в службі перевезень, у відділах перевезень та на сортувальних станціях Придніпровської залізниці.

Головний інженер служби

І.В. Баркалов

Начальник технічного відділу служби

П.І. Стехін

Заступник начальника служби
 сигналізації і зв'язку

В.В. Мелешко



АКТ

про впровадження результатів докторської дисертації к.т.н., доцента, начальника науково-дослідної частини Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Козаченко Дмитра Миколайовича на тему „РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ОЦІНКИ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК”

В 2005 році Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна для Донецької залізниці виконано науково-дослідну роботу «Розробка методики оптимізації режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках». Відповідальним виконавцем по даній НДР був Козаченко Д.М. Наукові та практичні результати дисертації Козаченко Д.М. використані для оцінки ефективності впровадження енергоефективних режимів гальмування відчепів на станції Красний Лиман Донецької залізниці.

В 2009 році Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна виконано НДР «Определение тормозной мощности и времени срабатывания исследовательского образца замедлителя УВСК ТЗ, установленного на восточной сортировочной горке станции Ясиноватая Донецкой железной дороги». Керівником даної НДР був Козаченко Д.М. Наукові та практичні результати дисертації Козаченко Д.М. використані при розробці методики випробування уповільнювача.

В цілому результати дисертації Козаченка Д.М. „Розвиток теоретичних основ оцінки техніко-експлуатаційної ефективності та безпеки функціонування сортувальних гірок” прийняті для впровадження на Донецькій залізниці для удосконалення сортувального процесу на станціях.

12 /05/2011

Головний інженер
ДП «Донецька залізниця»



О.В. Філатов



МІНІСТЕРСТВО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ТА БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА ПРОЕКТНО-ВИШУКУВАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
 ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА

“КИЇВДІПРОТРАНС”

вул. С. Петлюри, 15, м. Київ, 01032, Україна, тел. (044) 288-2444, факс (044) 246-4705, E-mail: info@kgt.ua, Код ЄДРПОУ 04726917

09.08.2011 № 22-792

На № _____ від _____

АКТ

про впровадження результатів докторської дисертації к.т.н., доцента, начальника науково-дослідної частини Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Козаченка Дмитра Миколайовича на тему „Розвиток теоретичних основ оцінки техніко-експлуатаційної ефективності та безпеки функціонування сортувальних гірок”

У 2011 році на замовлення Державного підприємства „Науково-дослідний та проектно-вишукувальний інститут транспортного будівництва "Київдіпротранс" Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту виконано науково-дослідну роботу з розробки першої редакції нормативного документу „Споруди транспорту. Галузеві норми. «Правила і норми проектування сортувальних пристроїв на залізницях України». Відповідальним виконавцем за даною науково-дослідною роботою був доцент Козаченко Д. М. Дослідження, що виконані в докторській дисертації Козаченка Д.М. використані в даному нормативному документі у розділі „Перевірка конструкції і технічного оснащення сортувальної гірки”.

Заступник директора з
 науково-дослідної роботи
 ДП "Київдіпротранс", к.т.н., доцент



Б.І. Торопов

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


Б.С. Боднар

21 квітня 2011 р

АКТ

про використання результатів дисертації Козаченка Дмитра Миколайовича
„РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ОЦІНКИ
ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ
ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ПІРОК”

м. Дніпропетровськ

„21” квітня 2011 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 „Організація перевезень та управління на залізничному транспорті” використовуються наукові та практичні результати, що отримані в дисертації Козаченка Д.М, а саме:

1. Теоретичні результати дисертації використовуються при викладанні дисциплін „Управління експлуатаційною роботою”, „Розрахунок та проектування сортувальних пристроїв на станціях”, „Автоматизація проектування залізничних станцій”.

2. Програмний комплекс для ЕОМ «Скатывание одиночного отцепа «VS» (свідоцтво про державну реєстрацію авторських прав на твір № 30170) використовується при викладанні дисциплін „Розрахунок та проектування сортувальних пристроїв на станціях”, „Автоматизація проектування залізничних станцій”.

3. Результати дисертації використовуються при виконанні дипломних магістерських робіт та дипломних проектів студентами спеціальності „Організація перевезень та управління на залізничному транспорті”.

Декан факультету УПП,
завідувач кафедри УЕР, доцент



Г.І. Переста

Завідувач кафедри
станцій та вузлів, професор



В.І. Бобровський

Затверджую

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



С.В. Мямлін

20 квітня 2011 р

АКТ

про використання результатів дисертації Козаченка Дмитра Миколайовича
„РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ОЦІНКИ
ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ
ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК”

м. Дніпропетровськ

„20” квітня 2011 р.

Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна виконано наступні науково-дослідні роботи, в яких використано результати дисертації Козаченка Д.М „Розвиток теоретичних основ оцінки техніко-експлуатаційної ефективності та безпеки функціонування сортувальних гірок”:

держбюджетні науково-дослідні роботи:

- «Автоматизація проектування залізничних станцій»;
- «Удосконалення методики оперативного управління сортувальним процесом на станціях»;
- Удосконалення конструкцій та технології роботи сортувальних комплексів на станціях;
- «Удосконалення розподілу сортувальної роботи в залізничних вузлах».

госпдоговірні науково-дослідні роботи:

- на замовлення ДП Донецька залізниця «Розробка методики оптимізації режимів гальмування відцепів на сортувальних гірках»;
- на замовлення UAB Alderada (Литва) «Расчет динамики и стабильности подвижного состава во время торможения вагонов на замедлителях,

предусматриваемых к установке на станции Вайдотай (Литва) на третьей (парковой) тормозной позиции, в кривых радиусом 200 м»;

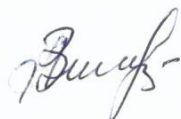
- на замовлення ДП Одеська залізниця «Розробка технологічного процесу Одеської залізниці»;

- на замовлення ДП Київдіпротранс «Галузеві будівельні норми. Споруди транспорту. "Правила і норми проектування сортувальних пристроїв на залізницях України»;

- на замовлення ВАТ "Старокраматорський машинобудівний завод" «Определение тормозной мощности и времени срабатывания исследовательского образца замедлителя УВСК ТЗ, установленного на восточной сортировочной горке станции Ясиноватая Донецкой железной дороги».

При виконанні вказаних НДР Козаченко Д.М. приймав безпосередню участь як керівник чи відповідальний виконавець і є автором звітів.

Завідувач відділом НДЧ



Л.Я. Зіненко

Представлення колійного розвитку в моделі скочування

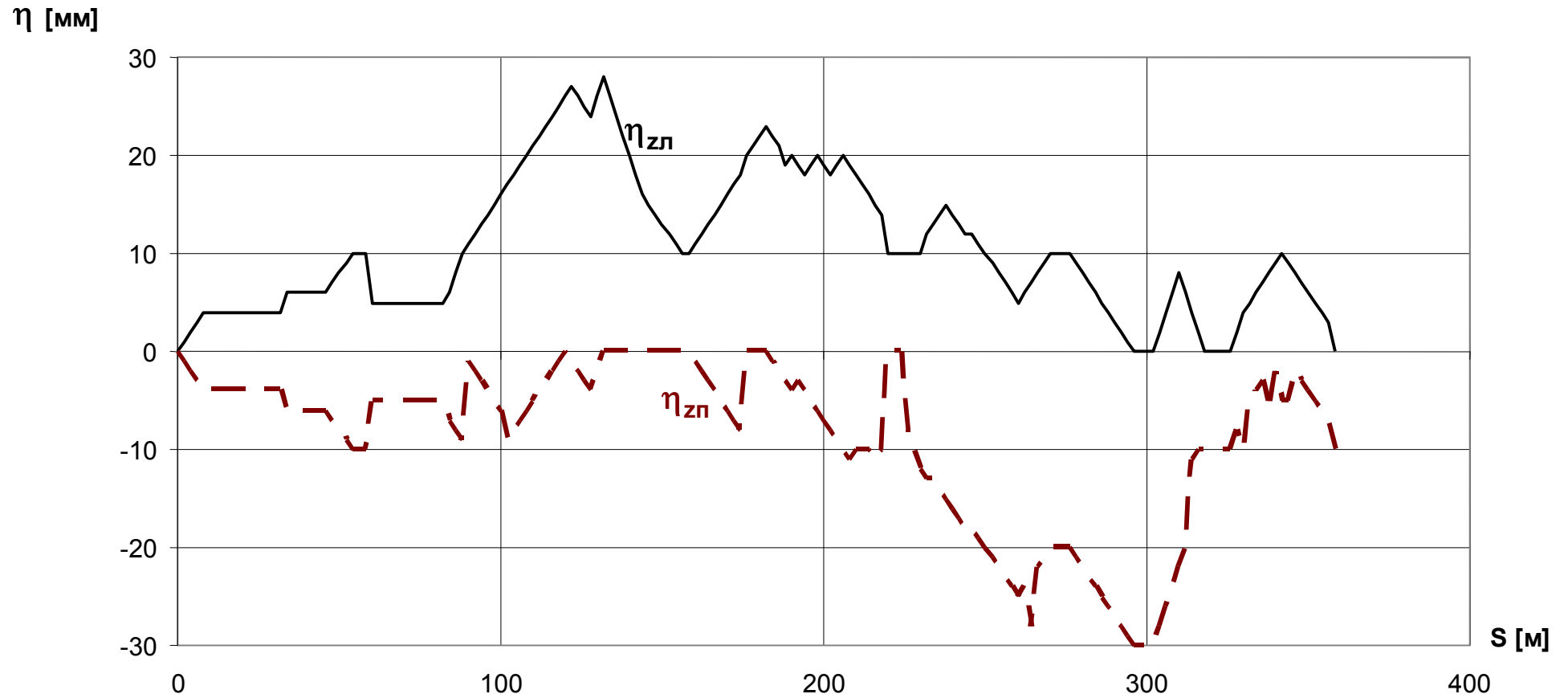


Рис. В.1 Вертикальні відхилення рейок відносно рівня осі колії

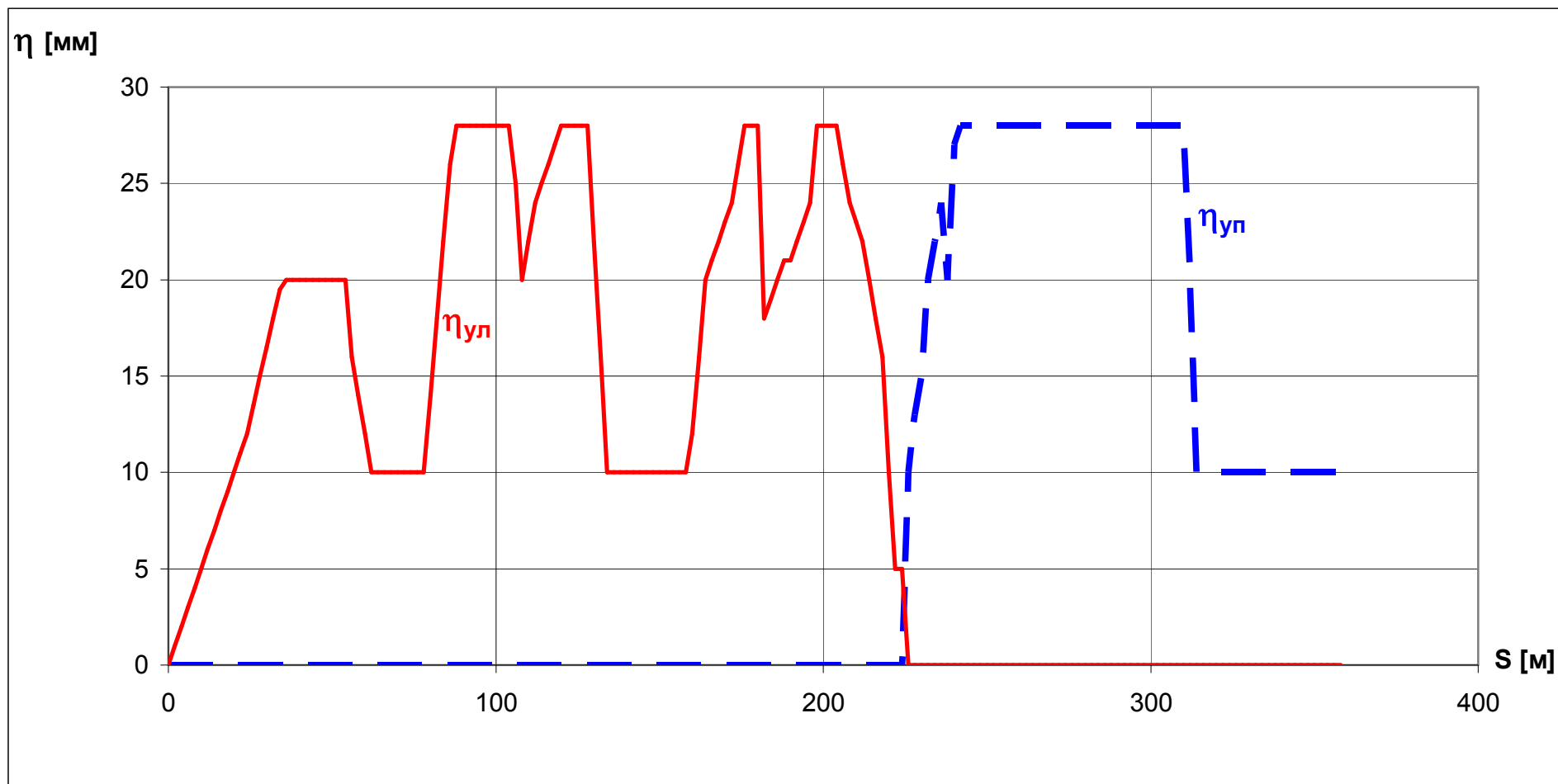


Рис. В.2 Горизонтальні відхилення рейок відносно рівня осі колії

Результати обчислювальних експериментів по скочуванню відчепа важкої вагової категорії в стохастичних умовах

Таблиця Д.1

Протокол швидкості скочування відчепів в контрольних точках

отр	C1<	C1>	T1<	31>	T1>	C2<	C2>	T2<	32>	C3<	T2>	C3>	C4<	C4>	C5<	C5>	T3<	33>	T3>	ПРЦ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1,7	3,630992	5,523146	6,37327	6,140023	6,029618	6,081758	6,139493	6,179018	4,706829	4,382007	3,825555	3,809252	3,803234	3,74435	3,686641	3,642461	3,568246	2,879435	2,162045	0,175738
1,7	3,610813	5,498136	6,339248	6,072498	5,944155	5,994351	6,044147	6,079041	4,673273	4,365305	3,836469	3,808228	3,800114	3,719379	3,635504	3,569771	3,468643	2,854614	2,228444	0
1,7	3,627743	5,520797	6,370556	6,04167	5,883972	5,938359	6,001774	6,044423	4,491786	4,142664	3,535698	3,522122	3,516495	3,4614	3,40727	3,365783	3,296332	2,661719	1,997909	0
1,7	3,640909	5,537354	6,393116	6,010595	5,827101	5,884891	5,959284	6,008139	4,721193	4,442489	3,975304	3,961276	3,955685	3,901349	3,849481	3,810145	3,74105	2,949768	2,09965	0,735548
1,7	3,600999	5,479666	6,312335	6,282738	6,266438	6,308856	6,336151	6,358362	4,680124	4,302234	3,634701	3,605899	3,597651	3,515381	3,429133	3,361404	3,259099	2,601882	1,90272	0
1,7	3,641188	5,538299	6,394573	6,16672	6,059695	6,113288	6,176271	6,218857	4,861383	4,566906	4,070633	4,054843	4,04896	3,991671	3,936585	3,894682	3,821904	2,944307	1,966028	0,32113
1,7	3,585494	5,463652	6,29136	6,014683	5,87945	5,926054	5,962639	5,989854	4,713032	4,438318	3,967192	3,92362	3,912838	3,80426	3,687034	3,59359	3,456842	2,708184	1,888309	0
1,7	3,642991	5,540722	6,397916	6,170028	6,063122	6,116978	6,180904	6,224037	4,594469	4,22631	3,585834	3,580408	3,576223	3,536104	3,499858	3,472946	3,42111	2,886157	2,358147	1,234642
1,7	3,662544	5,565407	6,431507	6,04614	5,862961	5,92398	6,009965	6,06546	4,541089	4,199265	3,615315	3,62104	3,618809	3,598851	3,586288	3,578434	3,549561	2,886002	2,203979	1,681894
1,7	3,631074	5,524828	6,37601	5,918596	5,696073	5,75459	5,829588	5,87865	4,937318	4,741683	4,421775	4,395051	4,387301	4,310922	4,234187	4,174815	4,078619	3,278366	2,444075	0,90057
1,7	3,632744	5,526531	6,378216	6,117875	5,994399	6,047596	6,108438	6,149719	4,967297	4,716373	4,298683	4,274848	4,267591	4,196242	4,125138	4,070311	3,98041	3,025514	1,936559	0
1,7	3,58932	5,46975	6,300056	6,135355	6,054736	6,099192	6,130539	6,154919	4,751388	4,445593	3,916851	3,875622	3,865239	3,760786	3,648382	3,558903	3,427374	2,924033	2,429376	0
1,7	3,620727	5,510195	6,355598	6,174675	6,088711	6,138054	6,186831	6,22128	4,808756	4,500619	3,974425	3,9498	3,942354	3,868738	3,793901	3,73577	3,643481	2,86011	2,010349	0
1,7	3,626254	5,517822	6,366191	6,302826	6,27281	6,320024	6,363607	6,395262	5,035084	4,742331	4,246925	4,220731	4,213055	4,137287	4,06074	4,001405	3,906194	3,065968	2,15712	0
1,7	3,627607	5,519373	6,368265	6,252716	6,198342	6,247018	6,294908	6,328806	4,776297	4,431917	3,837184	3,818572	3,81215	3,749074	3,686398	3,63815	3,558825	2,80304	1,987176	0
1,7	3,61701	5,506536	6,350888	6,060808	5,921484	5,973228	6,028046	6,065803	4,550325	4,212258	3,625388	3,603904	3,596919	3,52777	3,457132	3,402163	3,315542	2,635618	1,907868	0
1,7	3,62129	5,512465	6,359132	5,99107	5,813232	5,867753	5,930643	5,972917	4,792247	4,540697	4,119072	4,092056	4,084212	4,006566	3,927325	3,865647	3,768117	2,877301	1,866357	0
1,7	3,609728	5,496252	6,336531	6,115558	6,009445	6,058263	6,104179	6,136909	4,849133	4,572479	4,103114	4,070573	4,061759	3,973975	3,882501	3,810711	3,700674	3,05427	2,399685	0
1,7	3,635652	5,531205	6,384875	6,30012	6,260819	6,309963	6,360001	6,39537	4,724215	4,347522	3,689736	3,677921	3,672649	3,621363	3,57223	3,534922	3,469802	2,793074	2,084714	0
1,7	3,593109	5,472213	6,302808	6,087528	5,982891	6,028967	6,065228	6,092346	5,110231	4,907604	4,568487	4,522139	4,510961	4,398915	4,279708	4,185315	4,044628	3,082399	1,98815	0
1,7	3,569552	5,44166	6,260693	6,023313	5,906048	5,949196	5,974227	5,994789	4,652573	4,361567	3,856283	3,805291	3,793175	3,670389	3,535263	3,426533	3,270678	2,70057	2,116547	0
1,7	3,606561	5,492858	6,332055	6,192715	6,12551	6,17188	6,210717	6,239493	4,802225	4,488098	3,947373	3,915099	3,906299	3,818494	3,726443	3,654012	3,543901	2,748644	1,866311	0
1,7	3,578526	5,454888	6,279347	6,194829	6,151357	6,192284	6,212614	6,230714	4,923864	4,644201	4,163355	4,113858	4,102065	3,983054	3,85375	3,750326	3,59987	2,946136	2,273681	0
1,7	3,595786	5,478504	6,312207	6,209291	6,158493	6,202418	6,233184	6,257337	4,841813	4,533942	4,003165	3,964368	3,954432	3,854769	3,748518	3,664293	3,539022	2,824505	2,06475	0
1,7	3,613394	5,501974	6,344653	6,136379	6,036686	6,085781	6,13293	6,166405	4,91319	4,645376	4,193086	4,160941	4,152208	4,06535	3,975272	3,904697	3,795677	2,907776	1,905439	0
1,7	3,620594	5,505268	6,347549	6,27522	6,240533	6,28672	6,326788	6,356338	4,842494	4,509563	3,936743	3,914092	3,906999	3,837082	3,76665	3,712213	3,624941	2,948098	2,25152	0
1,7	3,611259	5,495479	6,334731	6,270874	6,239482	6,284373	6,319741	6,346602	4,855429	4,528512	3,965096	3,936188	3,927996	3,84661	3,762462	3,696696	3,595056	2,909979	2,198623	0
1,7	3,615413	5,503788	6,346931	6,225755	6,167821	6,21495	6,256988	6,287646	4,843326	4,527761	3,986472	3,958632	3,950623	3,871131	3,789262	3,725327	3,62571	2,899439	2,132205	0
1,7	3,621693	5,511379	6,357204	6,165672	6,074691	6,124438	6,174445	6,209584	4,867634	4,614196	4,136511	4,109846	4,102072	4,025185	3,946951	3,886152	3,789712	3,092267	2,377564	0
1,7	3,628391	5,519356	6,367955	6,372549	6,374052	6,419797	6,459536	6,489069	5,06194	4,753075	4,228238	4,203708	4,196324	4,123606	4,050672	3,994317	3,902966	3,022427	2,04985	0
1,7	3,636657	5,531276	6,384629	5,920305	5,694735	5,754253	5,832734	5,883767	4,571544	4,285	3,801974	3,789035	3,783599	3,730718	3,680053	3,641591	3,574507	2,779203	1,904068	0
1,7	3,629001	5,521607	6,371444	6,072929	5,930409	5,984093	6,045775	6,087471	4,870255	4,610287	4,17542	4,151725	4,144476	4,07309	4,001551	3,946276	3,856465	3,049012	2,185045	0
1,7	3,592557	5,473383	6,304913	6,025559	5,889574	5,937335	5,978037	6,007636	4,79314	4,534099	4,093597	4,052231	4,041862	3,937763	3,826463	3,73813	3,607271	2,867629	2,077462	0
1,7	3,622933	5,513829	6,360797	5,946621	5,745592	5,80161	5,868762	5,917339	4,686508	4,422549	3,978982	3,955164	3,947874	3,875882	3,802989	3,746446	3,656071	2,846103	1,955837	0
1,7	3,592456	5,47407	6,306069	6,15873	6,086639	6,131147	6,163058	6,187797	4,801018	4,499916	3,981026	3,940707	3,930499	3,827945	3,71809	3,63082	3,50179	2,791618	2,034546	0
1,7	3,575064	5,448652	6,270302	6,066365	5,965778	6,008913	6,034716	6,055783	4,774686	4,499946	4,027048	3,977549	3,965737	3,846388	3,716209	3,611936	3,461125	2,846909	2,217801	0
1,7	3,620242	5,510995	6,357082	6,082384	5,950879	6,002703	6,058172	6,096335	4,813853	4,537772	4,071373	4,044564	4,036749	3,959357	3,88027	3,818681	3,721512	2,682355	1,349652	0
1,7	3,64317	5,54089	6,397799	6,110546	5,974677	6,030146	6,098517	6,144096	4,759445	4,456962	3,945737	3,933377	3,928069	3,876636	3,828114	3,791475	3,725833	2,851063	1,864003	0,146081
1,7	3,610004	5,495151	6,33463	6,233596	6,184735	6,230471	6,268007	6,296075	4,859771	4,54668	4,009275	3,978639	3,970147	3,885661	3,797892	3,72913	3,623446	3,028385	2,43459	0
1,7	3,628233	5,520553	6,369982	6,386486	6,393469	6,439045	6,478299	6,507586	5,052701	4,736754	4,19839	4,173941	4,166564	4,093862	4,020824	3,964335	3,872903	3,074311	2,225011	0
1,7	3,62893	5,520549	6,369728	6,070833	5,928141	5,981759	6,043258	6,084834	4,929026	4,684196	4,278682	4,251699	4,24421	4,170429	4,096372	4,039121	3,946384	3,064418	1,938678	0
1,7	3,645828	5,54285	6,400397	6,048524	5,880851	5,938424	6,012883	6,06182	4,691297	4,391493	3,885834	3,876463	3,871671	3,825535	3,783104	3,751387	3,692139	2,83305	1,868883	0,642756
1,7	3,640599	5,537162	6,392911	6,098253	5,958541	6,013831	6,081388	6,126481	4,895748	4,632456	4,193767	4,175569	4,169285	4,10594	4,048429	4,003003	3,925252	3,073058	2,148728	0,801829
1,7	3,62316	5,514595	6,361977	6,071862	5,933009	5,985656	6,043748	6,083395	4,823914	4,301252	3,74647	3,726552	3,719876	3,654058	3,587801	3,536653	3,453884	2,671874	1,801193	0
1,7	3,591735	5,471751	6,302516	6,160496	6,090879	6,135044	6,165932	6,190073	4,87974	4,										

Продовження табл. Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1,7	3,604649	5,488747	6,325968	5,779806	5,508644	5,565652	5,632703	5,677006	4,606106	4,379132	3,99913	3,965581	3,956573	3,866664	3,77229	3,698019	3,585432	2,925123	2,245344	0
1,7	3,592219	5,4695	6,298669	5,965287	5,802583	5,851495	5,895267	5,92651	4,655668	4,381809	3,913804	3,87552	3,86567	3,766884	3,661534	3,578111	3,454569	2,811918	2,146901	0
1,7	3,625008	5,517193	6,365596	6,125606	6,01144	6,063038	6,118516	6,156748	4,60689	4,260513	3,659588	3,642145	3,635883	3,574286	3,512794	3,465367	3,387928	2,671654	1,897424	0
1,7	3,627138	5,518274	6,366622	6,001557	5,825766	5,880958	5,946484	5,990256	4,615239	4,313869	3,800987	3,782911	3,776576	3,714375	3,652638	3,605143	3,526958	2,805794	2,038625	0
1,7	3,60344	5,488047	6,325236	6,005857	5,850941	5,901405	5,9509	5,98552	4,924129	4,701859	4,329964	4,291145	4,28126	4,182494	4,078505	3,996512	3,872511	3,006959	2,052049	0
1,7	3,573617	5,448758	6,27095	5,993698	5,857191	5,902063	5,932262	5,955776	4,44732	4,110756	3,515757	3,469628	3,458264	3,342959	3,215615	3,112947	2,966233	2,403692	1,809105	0
1,7	3,615076	5,503818	6,347096	5,998264	5,829587	5,882619	5,940644	5,980142	4,700091	4,423543	3,954947	3,927262	3,919271	3,839943	3,758156	3,694251	3,594805	2,919665	2,22104	0
1,7	3,613657	5,502086	6,344747	6,123832	6,018048	6,067487	6,115609	6,14962	4,807044	4,516372	4,021485	3,99201	3,983718	3,901302	3,816012	3,74926	3,645911	2,893202	2,088927	0
1,7	3,616711	5,506221	6,350476	5,971189	5,78732	5,841452	5,902657	5,943935	4,899255	4,680261	4,316646	4,284438	4,275711	4,189047	4,099617	4,029687	3,920857	2,927816	1,753709	0
1,7	3,63665	5,532028	6,385871	6,169047	6,067015	6,119642	6,179416	6,220167	4,776092	4,459098	3,919059	3,9037	3,897864	3,840935	3,785815	3,743788	3,671671	2,929964	2,146153	0,536548
1,7	3,63809	5,532749	6,386543	6,125145	6,001579	6,055517	6,119067	6,161898	4,594244	4,242733	3,634693	3,625989	3,62125	3,575454	3,532671	3,500511	3,442057	2,677881	1,836877	0
1,7	3,634425	5,52849	6,380842	6,12261	6,000297	6,053661	6,115178	6,15685	4,822908	4,534028	4,046851	4,028199	4,021813	3,959291	3,897927	3,850899	3,771971	2,665552	1,989467	0
1,7	3,637742	5,528605	6,37984	6,384974	6,387306	6,434021	6,477501	6,509172	5,033639	4,712377	4,166207	4,148193	4,141951	4,081065	4,022078	3,97714	3,900346	2,962949	1,894861	0,490643
1,7	3,640609	5,536921	6,392507	6,026689	5,851579	5,908844	5,981778	6,029824	4,675852	4,380072	3,880746	3,868347	3,863021	3,811355	3,762363	3,725306	3,659512	2,885222	2,052566	0,613993
1,7	3,585043	5,462862	6,290218	6,161	6,096944	6,139822	6,19357	6,187926	4,702987	4,376139	3,805818	3,763879	3,753349	3,647234	3,532425	3,440837	3,307216	2,665552	1,989467	0
1,7	3,644038	5,542458	6,400399	6,056128	5,892055	5,949279	6,022546	6,070839	4,722944	4,42909	3,934117	3,922248	3,917023	3,866441	3,818882	3,783011	3,718346	2,832784	1,825388	0
1,7	3,606937	5,493044	6,332233	6,054483	5,920431	5,970344	6,018841	6,052966	4,690642	4,393896	3,885666	3,854554	3,845947	3,760098	3,67021	3,599529	3,491944	2,779681	2,020021	0
1,7	3,62072	5,510554	6,35619	6,001529	5,830415	5,884407	5,945807	5,987232	4,704095	4,426718	3,957846	3,933374	3,925951	3,85255	3,777907	3,719917	3,62787	2,93822	2,222882	0
1,7	3,621248	5,51219	6,358694	6,173288	6,08521	6,134846	6,184487	6,219445	5,041045	4,791956	4,37537	4,344542	4,336065	4,252061	4,166029	4,098956	3,993399	3,02891	1,923339	0
1,7	3,565205	5,437161	6,254767	6,367061	6,41285	6,447515	6,449028	6,456467	4,891201	4,546933	3,940308	3,885727	3,87299	3,743717	3,600827	3,48553	3,320693	2,637431	1,900603	0
1,7	3,648772	5,547874	6,407614	6,034401	5,856225	5,914915	5,992786	6,043659	4,914861	4,675644	4,282063	4,266367	4,260532	4,203935	4,150318	4,10976	4,037526	3,185461	2,273733	1,336374
1,7	3,606885	5,492149	6,330781	6,25861	6,223053	6,267743	6,302015	6,32825	4,929094	4,626103	4,107392	4,073401	4,064334	3,973909	3,879268	3,804863	3,691541	2,865195	1,951624	0
1,7	3,653197	5,55441	6,416786	6,090368	5,935913	5,993961	6,070645	6,120938	4,695426	4,381521	3,850375	3,845158	3,841078	3,80226	3,768327	3,743444	3,692653	2,767512	1,683023	0,580768
1,7	3,636373	5,532084	6,386064	6,179379	6,082217	6,13457	6,193557	6,233876	4,897625	4,608895	4,122465	4,103239	4,096763	4,033358	3,971161	3,923486	3,843318	2,865303	1,706516	0
1,7	3,615788	5,505149	6,349036	6,156259	6,064221	6,11327	6,160605	6,194215	4,791481	4,485615	3,962435	3,934904	3,926941	3,8479	3,766472	3,702862	3,603725	2,834229	2,000529	0
1,7	3,618227	5,507086	6,351366	5,87988	5,649029	5,705959	5,774871	5,820395	4,955789	4,331593	3,886412	3,861781	3,854315	3,780406	3,704927	3,646195	3,553603	2,859924	2,133332	0
1,7	3,627828	5,52077	6,370482	6,131863	6,018585	6,070545	6,127378	6,166393	4,997532	4,750152	4,337867	4,31084	4,303026	4,225904	4,14801	4,087617	3,990575	3,096911	2,113061	0
1,7	3,650512	5,551183	6,412441	6,280224	6,219684	6,272138	6,33309	6,374689	5,078194	4,800579	4,337615	4,321558	4,315663	4,258489	4,204344	4,163378	4,090308	3,125578	2,037655	1,019816
1,7	3,622082	5,512199	6,358416	6,12509	6,013952	6,064865	6,118104	6,155042	4,758522	4,453704	3,933808	3,910505	3,903282	3,831951	3,759715	3,70369	3,614217	2,818048	1,94493	0
1,7	3,651513	5,552007	6,413436	6,354144	6,327869	6,378565	6,434373	6,47369	4,844101	4,479981	3,851945	3,845834	3,841598	3,80118	3,765371	3,738975	3,686338	2,827453	1,862542	0,82219
1,7	3,630414	5,523914	6,374737	5,922611	5,70276	5,761021	5,835236	5,883856	4,654407	4,389263	3,944878	3,925667	3,919162	3,855303	3,792015	3,743328	3,662857	2,889665	2,057968	0
1,7	3,59706	5,479002	6,312589	6,200036	6,144782	6,189023	6,22082	6,245543	4,746703	4,416558	3,842785	3,807091	3,797671	3,703266	3,602885	3,523447	3,405088	2,602891	1,688551	0
1,7	3,633629	5,528834	6,381692	6,240831	6,174946	6,22524	6,278223	6,315197	4,863031	4,54517	4,003209	3,984512	3,978106	3,915324	3,853492	3,806026	3,726726	2,923078	2,051481	0
1,7	3,597876	5,480976	6,315545	6,156404	6,079104	6,12467	6,160177	6,186982	4,788893	4,484692	3,961015	3,923964	3,914328	3,817772	3,715164	3,633954	3,512726	2,797147	2,033771	0
1,7	3,635095	5,530695	6,384233	6,23006	6,157957	6,208792	6,263443	6,301358	4,843252	4,523601	3,978429	3,960963	3,954767	3,894157	3,834832	3,789402	3,712746	2,880601	1,96229	0
1,7	3,600319	5,484584	6,320627	6,089047	5,977041	6,024802	6,066583	6,096902	4,946758	4,704077	4,295013	4,25494	4,244827	4,143623	4,036534	3,951902	3,824697	2,906389	1,853746	0
1,7	3,619961	5,509917	6,355409	6,261493	6,216734	6,263846	6,306402	6,33741	4,858623	4,534432	3,977676	3,952373	3,944807	3,869931	3,793576	3,734181	3,640265	2,88001	2,064701	0
1,7	3,646677	5,545532	6,404511	6,077518	5,92227	5,979367	6,052629	6,100948	4,871695	4,608337	4,170659	4,155861	4,150167	4,094929	4,042579	4,00297	3,93248	2,99907	1,941556	0,704458
1,7	3,609939	5,497369	6,338292	6,078653	5,953717	6,003626	6,052523	6,086915	4,97238	4,737961	4,345564	4,309594	4,300209	4,206692	4,109089	4,032404	3,914958	2,96476	1,870546	0
1,7	3,60078	5,483515	6,318718	6,263916	6,235991	6,279349	6,309204	6,332897	4,956452	4,659581	4,151329	4,113724	4,104031	4,007096	3,90474	3,823968	3,70245	2,940655	2,12776	0
1,7	3,60209	5,486912	6,323838	6,111423	6,008851	6,056386	6,097801	6,127943	4,598934	4,258548	3,664233	3,633358	3,624734	3,538479	3,447329	3,375384	3,267285	2,618094	1,929129	0
1,7	3,614503	5,502884	6,345762	6,299712	6,276893	6,322093	6,358706	6,386353	4,913093	4,59115	4,0379	4,008721	4,000485	3,918677	3,834181	3,768109	3,665544	2,900687	2,080433	0
1,7	3,626487	5,519005	6,368054	6,29437	6,259572	6,30715	6,351773	6,384022	4,863987	4,529174	3,953307	3,93176	3,924846	3,856741	3,788404	3,735579	3,649927	2,8704	2,027273	0
1,7	3,62812	5,520919	6,370625	6,013125	5,84117	5,896381	5,962079	6,005982	4,775536	4,511464	4,068758	4,046237	4,039174	3,969635	3,899956	3,846118	3,758621	2,962314	2,105131	0
1,7	3,616812	5,506284	6,350542	6,127429	6,020825	6,070783	6,120731	6,155796	4,723375	4,409155	3,869918	3,844425	3,836801	3,761211	3,683636	3,623137	3,582369	2,787342	1,989299	0
1,7	3,641685	5,539523	6,396412	6,10202	5,962507	6,018013	6,086292	6,131814	4,628187	4,293653	3,71978	3,710696	3,705909	3,659665	3,616588	3,584219	3,			

Таблиця Д.2

Протокол заняття і звільнення відчепом контрольних точок по маршруту

отр	C1<	C1>	T1<	31>	T1>	C2<	C2>	T2<	32>	C3<	T2>	C3>	C4<	C4>	C5<	C5>	T3<	33>	T3>	ПРЦ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0	8,938071	13,64888	18,16643	21,79712	24,01884	25,02489	28,60314	30,73282	34,85815	35,62215	38,08041	41,18673	41,73582	47,53244	54,62585	60,59265	68,33342	72,63744	77,67986	328,6577
0	8,860894	13,59451	18,13448	21,79321	24,04378	25,06436	28,69695	30,86095	35,04073	35,80902	38,26744	41,36975	41,91915	47,73755	54,90456	60,97402	68,90461	73,30182	78,28808	266,1953
0	8,912577	13,6262	18,14568	21,80089	24,0701	25,10069	28,76317	30,941	35,1951	35,99923	38,63109	41,99065	42,58451	48,85439	56,52852	62,98517	71,36337	76,02139	81,475	416,0526
0	8,959087	13,65781	18,16254	21,8174	24,10476	25,14503	28,83717	31,02933	35,22318	35,98102	38,37381	41,36226	41,89024	47,45853	54,25916	59,96844	67,36009	71,49976	76,55206	277,3693
0	8,862664	13,61064	18,16796	21,78587	23,93643	24,90545	28,36386	30,43047	34,49082	35,2638	37,81134	41,08637	41,66665	47,8176	55,40826	61,8485	70,27988	75,01332	80,6601	243,16
0	8,959391	13,65751	18,16134	21,77835	23,98972	24,99068	28,54905	30,66556	34,72587	35,46244	37,79499	40,71413	41,22995	46,67108	53,31954	58,90368	66,1369	70,22318	75,43828	329,0547
0	8,784969	13,5491	18,1207	21,8105	24,08429	25,11634	28,79473	30,98964	35,19677	35,95565	38,3512	41,35699	41,8904	47,55995	54,59672	60,60352	68,52102	73,01627	78,56345	218,5877
0	8,9613	13,6573	18,15898	21,77405	23,98421	24,9846	28,54054	30,65539	34,79658	35,58371	38,17194	41,4808	42,06488	48,21613	55,70761	61,9792	70,07528	74,48927	79,31187	236,0038
0	9,034498	13,70852	18,18844	21,82141	24,09525	25,12893	28,79327	30,96581	35,19246	35,98687	38,57201	41,84887	42,42623	48,48759	55,82334	61,92683	69,75692	74,06898	79,06166	222,7443
0	8,928391	13,63832	18,15421	21,83751	24,17056	25,23451	29,00951	31,25018	35,43139	36,14904	38,34054	41,03122	41,50718	46,53702	52,70563	57,90617	64,66907	68,44047	72,88602	242,5447
0	8,935756	13,64398	18,1584	21,79265	24,02547	25,0373	28,63474	30,7749	34,83181	35,54903	37,78024	40,54713	41,03645	46,20558	52,54004	57,8761	64,80925	68,75232	73,92503	355,334
0	8,78988	13,54892	18,11481	21,77211	23,98846	24,99099	28,56682	30,70225	34,82549	35,58055	37,99093	41,03458	41,57457	47,31181	54,42655	60,49444	68,48457	72,8765	77,59048	252,3886
0	8,896546	13,61904	18,1482	21,77674	23,98038	24,97695	28,52514	30,63944	34,71575	35,4617	37,84024	40,83336	41,363	46,96415	53,84324	59,65116	67,21532	71,47417	76,71314	290,821
0	8,914387	13,63025	18,1525	21,74726	23,89407	24,86174	28,30958	30,36576	34,30503	35,01532	37,25564	40,05706	40,55269	45,79212	52,22192	57,64623	64,70493	68,67731	73,56392	344,9275
0	8,922935	13,63734	18,15821	21,76398	23,93323	24,91234	28,39915	30,47737	34,51919	35,27327	37,71461	40,81245	41,36023	47,14642	54,23559	60,20611	67,96172	72,31591	77,64048	343,7276
0	8,883074	13,6093	18,14164	21,79912	24,05669	25,08102	28,72487	30,89411	35,11963	35,91204	38,48864	41,76874	42,34923	48,49001	56,03658	62,41212	70,72122	75,3801	80,98836	266,0073
0	8,891691	13,61276	18,13972	21,81124	24,10462	25,14764	28,85413	31,05804	35,2451	35,98924	38,31258	41,20134	41,71258	47,1201	53,76399	59,37568	66,68764	70,8468	76,25095	264,5713
0	8,862677	13,59779	18,13951	21,78881	24,01832	25,028	28,62359	30,76674	34,86617	35,60329	37,92402	40,826	41,33999	46,78461	53,49406	59,17857	66,60981	70,72704	75,37336	278,6525
0	8,942441	13,64688	18,15703	21,74608	23,89585	24,86521	28,31675	30,3735	34,40372	35,16909	37,68459	40,90323	41,47189	47,46998	54,79742	60,95052	68,91883	73,34856	78,56194	361,7333
0	8,819326	13,57515	18,13903	21,80696	24,04632	25,06068	28,67657	30,83445	34,8735	35,56689	37,68591	40,29571	40,75846	45,66897	51,74293	56,90922	63,69181	67,57111	72,62688	242,2203
0	8,735664	13,51935	18,1114	21,81006	24,07619	25,10392	28,77162	30,9635	35,18909	35,9595	38,41132	41,50686	42,05698	47,91925	55,23518	61,51719	69,85263	74,51446	79,76823	844,791
0	8,847147	13,5856	18,13033	21,76277	23,95564	24,9465	28,47817	30,58533	34,65665	35,40412	37,79424	40,81083	41,34526	47,00906	53,99558	59,921	67,67594	72,07478	77,61176	225,616
0	8,759455	13,53168	18,11134	21,76156	23,9483	24,93546	28,46082	30,56915	34,60831	35,33416	37,6198	40,48558	40,99435	46,40586	53,13243	58,88374	66,47841	70,72677	75,58301	211,4634
0	8,811518	13,56277	18,12061	21,75591	23,93931	24,92509	28,44173	30,54209	34,59444	35,33512	37,69597	40,67288	41,20073	46,80336	53,73637	59,63599	67,38528	71,74561	76,94833	227,1205
0	8,867677	13,59804	18,13449	21,77595	23,99643	25,00156	28,48057	30,71358	34,78085	35,50742	37,78449	40,62394	41,12676	46,4509	53,00667	58,55644	65,80526	69,93002	75,2521	255,5829
0	8,925262	13,65029	18,18436	21,79198	23,94916	24,92189	28,38891	30,45737	34,46869	35,2112	37,59985	40,6209	41,15536	46,80497	53,73735	59,58475	67,19228	71,41753	76,30118	349,9038
0	8,878733	13,61346	18,15615	21,76915	23,92706	24,90005	28,36966	30,44086	34,45249	35,1925	37,56715	40,56897	41,10049	46,72797	53,65557	59,51846	67,17351	71,4422	76,41455	287,6414
0	8,879711	13,60813	18,14301	21,76243	23,94176	24,92581	28,43218	30,52348	34,56224	35,30328	37,67128	40,65655	41,18504	46,77857	53,65971	59,47932	67,07257	71,32387	76,38064	273,6276
0	8,90018	13,62159	18,14968	21,77983	23,98781	24,98664	28,54233	30,66075	34,71497	35,44516	37,74632	40,62278	41,13179	46,51504	53,12707	58,71001	65,98186	70,01867	74,65919	325,4924
0	8,931461	13,64548	18,16647	21,74449	23,86137	24,81387	28,20933	30,23539	34,13112	34,83867	37,08207	39,89534	40,39296	45,65151	52,09998	57,53586	64,60375	68,5986	73,64175	390,9776
0	8,950111	13,654	18,1642	21,84405	24,17722	25,24133	29,01541	31,2545	35,55431	36,33839	38,83054	41,95472	42,50671	48,32896	55,44166	61,4145	69,14941	73,50405	78,96252	382,1378
0	8,920342	13,63293	18,15175	21,79913	24,05299	25,07563	28,7108	30,873	34,98582	35,7184	38,00883	40,85742	41,36127	46,68531	53,21335	58,71566	65,86919	69,88196	74,75312	334,8175
0	8,805531	13,56105	18,12366	21,80596	24,07585	25,10604	28,77619	30,96502	35,13807	35,88268	38,21501	41,1269	41,64333	47,12632	53,91564	59,69689	67,2963	71,58052	76,72742	218,4783
0	8,904652	13,6242	18,15	21,83183	24,14829	25,20337	28,9505	31,17713	35,42529	36,18771	38,58393	41,57335	42,10226	47,69433	54,55885	60,35155	67,89191	72,1488	77,46972	325,4482
0	8,801037	13,55626	18,11817	21,76772	23,97375	24,97106	28,52813	30,65225	34,74603	35,49268	37,86875	40,86284	41,39389	47,0332	54,01885	59,96978	67,79594	72,2048	77,47575	218,1976
0	8,752731	13,52995	18,11553	21,80015	24,04627	25,06378	28,69487	30,86472	35,02368	35,77249	38,13355	41,09673	41,62296	47,22361	54,19413	60,16203	68,05435	72,46509	77,46612	204,5407
0	8,887952	13,61029	18,13858	21,78869	24,03639	25,05569	28,68153	30,83995	34,96702	35,70966	38,04848	40,97104	41,48829	46,95983	53,68361	59,36383	66,76653	71,06358	77,50376	321,8725
0	8,966474	13,6624	18,16413	21,79335	24,0318	25,04675	28,65231	30,79519	34,91814	35,67162	38,07058	41,08078	41,61249	47,21809	54,05935	59,79863	67,22356	71,42499	76,86259	369,7389
0	8,87173	13,60726	18,15012	21,77194	23,9465	24,92799	28,42692	30,51498	34,54565	35,2839	37,64002	40,60934	41,13521	46,70453	53,56499	59,37501	66,96675	71,15181	75,78381	296,481
0	8,922058	13,63556	18,15533	21,72945	23,84062	24,79025	28,17572	30,19596	34,08725	34,79663	37,0522	39,88546	40,38663	45,68306	52,17889	57,65548	64,77753	68,76753	73,57585	341,3396
0	8,930998	13,64414	18,16401	21,81251	24,0672	25,09023	28,72687	30,88999	34,98572	35,7082	37,95252	40,73398	41,22598	46,42534	52,80163	58,17702	65,16683	69,14092	74,3288	326,8904
0	8,982186	13,67571	18,17565	21,81883	24,08795	25,11881	28,77785	30,95052	35,13043	35,89498	38,33044	41,38584	41,92532	47,60918	54,53684	60,34092	67,83938	72,07469	77,52528	304,8956
0	8,960168	13,65914	18,16403	21,79788	24,04175	25,05945	28,67497	30,82395	34,91201	35,6409	37,92105	40,75531	41,25622	46,54184	53,00436	58,43583	65,47598	69,43183	74,32298	266,8919
0	8,89886	13,61791	18,14298	21,79391	24,04727	25,06954	28,70486	30,86815	35,06146	35,83947	38,34679	41,52019	42,08154	48,01471	55,29345	61,43179	69,41662	73,93271	79,64986	288,4941
0	8,806557	13,56333	18,1275	21,77788	23,9															

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0	8,82496	13,58263	18,14913	21,84856	24,14805	25,19349	28,91631	31,13548	35,38964	36,15808	38,58561	41,6305	42,17046	47,90279	54,99906	61,03982	68,97721	73,41194	78,5283	236,7505
0	8,906884	13,6237	18,14642	21,78318	24,01097	25,02008	28,61	30,74719	34,91405	35,69708	38,24739	41,49504	42,06937	48,13729	55,57498	61,84188	69,98644	74,5584	80,13845	285,8115
0	8,923238	13,63843	18,16033	21,82668	24,11557	25,15631	28,85369	31,05148	35,28873	36,06644	38,55106	41,67818	42,23113	48,0716	55,22665	61,25209	69,07826	73,45584	78,71307	333,268
0	8,841194	13,58368	18,13285	21,81277	24,09478	25,13149	28,82114	31,019	35,1594	35,88097	38,106	40,85765	41,34527	46,51458	52,89554	58,31131	65,40488	69,42899	74,48019	235,9072
0	8,741111	13,51903	18,10433	21,80661	24,08863	25,12474	28,82004	31,02685	35,33915	36,1505	38,7986	42,19296	42,79632	49,22951	57,26726	64,17788	73,3608	78,53764	84,55532	188,9378
0	8,875228	13,60381	18,13862	21,81263	24,10097	25,14122	28,83992	31,04066	35,25489	36,01607	38,41978	41,42883	41,96154	47,60016	54,53772	60,40588	68,06371	72,32716	77,26636	284,1253
0	8,87271	13,60288	18,13925	21,78368	24,01012	25,01831	28,6078	30,74674	34,85372	35,59858	37,9581	40,91795	41,44204	46,99071	53,82112	59,60176	67,14973	71,38963	76,50201	259,9828
0	8,877872	13,60441	18,13702	21,81646	24,119	25,1667	28,89032	31,10484	35,27043	35,9955	38,2291	40,98716	41,47547	46,64411	53,00366	58,38319	65,40387	69,43304	74,93282	248,7625
0	8,945342	13,64886	18,15832	21,77776	23,98713	24,98698	28,54426	30,65836	34,74449	35,49641	37,90353	40,93538	41,47117	47,12455	54,03585	59,84373	67,37073	71,57047	76,58681	290,4444
0	8,958154	13,66059	18,16952	21,79917	24,02938	25,03995	28,63191	30,7681	34,9363	35,72202	38,28693	41,55286	42,12964	48,20882	55,62431	61,84209	69,88169	74,4025	80,06403	411,563
0	8,943492	13,6499	18,16258	21,79479	24,02562	25,03645	28,63011	30,76786	34,86603	35,60822	37,95585	40,89318	41,41243	46,89419	53,60281	59,2464	66,56863	70,7195	76,09087	345,4655
0	8,977013	13,68168	18,19468	21,76588	23,87854	24,829	28,216	30,2361	34,13197	34,84451	37,11504	39,968	40,47221	45,7927	52,2977	57,76463	64,85019	68,8745	74,15977	316,4422
0	8,959723	13,65881	18,16394	21,81511	24,09428	25,13027	28,80799	30,99208	35,19119	35,95801	38,398	41,45859	41,99924	47,70004	54,6597	60,50008	68,05824	72,29018	77,45658	291,9157
0	8,785699	13,55046	18,12281	21,77738	23,98075	24,97651	28,53015	30,65368	34,77841	35,54324	38,00899	41,14199	41,69806	47,61011	54,95235	61,22392	69,49625	74,14655	79,6013	203,8151
0	8,965482	13,6601	18,16019	21,80152	24,06689	25,09582	28,74859	30,91972	35,08374	35,84253	38,25224	41,27114	41,80436	47,42524	54,28381	60,03643	67,47714	71,6936	77,20211	397,2819
0	8,851814	13,58998	18,13457	21,80013	24,05875	25,08342	28,73096	30,90416	35,08985	35,85427	38,28845	41,35257	41,89539	47,64761	54,74191	60,75757	68,62888	73,05122	78,35412	248,3352
0	8,897155	13,61947	18,14827	21,81829	24,106	25,14602	28,84254	31,04101	35,25057	36,01115	38,41322	41,41883	41,95069	47,57531	54,48341	60,31599	67,91252	72,14107	77,06327	323,1129
0	8,89143	13,61266	18,13989	21,76768	23,97229	24,96941	28,51919	30,63421	34,64118	35,34752	37,54123	40,26176	40,74329	45,83765	52,0994	57,39061	64,28822	68,22221	73,40593	304,9593
0	8,711367	13,49964	18,09577	21,71357	23,82275	24,77033	28,16133	30,19417	34,15349	34,88924	37,26661	40,29726	40,83601	46,58043	53,75802	59,92963	68,1316	72,79022	78,39359	191,1704
0	8,98325	13,67281	18,16816	21,81221	24,08923	25,12429	28,79672	30,9763	35,09286	35,81706	38,06201	40,83699	41,32721	46,49587	52,80528	58,09953	64,95035	68,78507	73,4588	229,0295
0	8,850607	13,58925	18,13474	21,75195	23,91494	24,8905	28,36959	30,44671	34,44387	35,17066	37,47771	40,37717	40,89083	46,33376	53,04606	58,7373	66,18343	70,40519	75,71045	247,4541
0	8,992194	13,67631	18,1658	21,79328	24,0436	25,06492	28,6896	30,84145	34,99408	35,7591	38,20932	41,29114	41,83497	47,55886	54,52126	60,34285	67,84872	72,11838	77,9035	330,0896
0	8,940649	13,64428	18,15365	21,77057	23,97515	24,97253	28,51976	30,63078	34,67414	35,40466	37,71151	40,59515	41,1049	46,48618	53,07132	58,61066	65,79719	69,90853	75,5447	404,4589
0	8,874216	13,60176	18,13534	21,77052	23,9821	24,98269	28,54562	30,66906	34,7621	35,51065	37,89663	40,8999	41,43159	47,05887	53,98161	59,83648	67,47592	71,77926	77,05447	259,338
0	8,905954	13,61592	18,14787	21,84955	24,20022	25,27312	29,08211	31,34462	35,66634	36,44426	38,89436	41,95533	42,49706	48,2276	55,26965	61,21864	68,97136	73,29851	78,3899	298,566
0	8,918183	13,63178	18,15129	21,78487	24,0102	25,0181	28,6032	30,73717	34,7783	35,49082	37,70373	40,44662	40,93188	46,06158	52,35632	57,66636	64,57598	68,48027	73,38831	313,3571
0	8,98691	13,67396	18,16628	21,75064	23,91187	24,88735	28,3566	30,42105	34,35498	35,05801	37,26073	40,00028	40,48423	45,58678	51,81524	57,04137	63,80386	67,63286	72,60103	257,0355
0	8,899776	13,62058	18,1479	21,7873	24,01457	25,02332	28,61283	30,75038	34,86994	35,62375	38,02708	41,05064	41,58559	47,24165	54,18501	60,04449	67,67202	71,97572	77,33858	285,0152
0	8,989787	13,67593	18,16756	21,73454	23,86345	24,82249	28,23542	30,26777	34,23073	34,97542	37,39996	40,4809	41,02464	46,74895	53,71508	59,54243	67,05922	71,30141	76,76679	287,7078
0	8,923816	13,63453	18,15125	21,83402	24,16478	25,22751	28,99858	31,23718	35,5091	36,27702	38,69289	41,70637	42,2392	47,86668	54,75946	60,56295	68,09945	72,32745	77,48188	356,904
0	8,82478	13,57512	18,13262	21,77002	23,95766	24,94561	28,46954	30,57397	34,66034	35,41816	37,86096	40,9612	41,51086	47,34374	54,55873	60,69551	68,75212	73,35505	79,32188	200,9305
0	8,929525	13,63616	18,1484	21,75235	23,92828	24,91095	28,40845	30,49165	34,51256	35,25066	37,60942	40,57879	41,10375	46,64639	53,43134	59,14073	66,55057	70,71465	75,84613	341,3786
0	8,818296	13,56722	18,12284	21,76963	23,97771	24,97616	28,53594	30,66069	34,75834	35,50718	37,89354	40,90154	41,43483	47,09332	54,09107	60,04181	67,85246	72,24889	77,51626	221,5235
0	8,938068	13,64304	18,15362	21,75924	23,94029	24,92561	28,43187	30,51982	34,5522	35,29356	37,66544	40,65285	41,18092	46,75497	53,57488	59,3107	66,75074	70,94681	76,22717	319,0079
0	8,825336	13,57117	18,12345	21,7847	24,02526	25,04046	28,65718	30,81401	34,90039	35,62007	37,8545	40,62902	41,1208	46,33652	52,78055	58,25502	65,43293	69,53918	74,92698	212,0908
0	8,89348	13,6165	18,14584	21,75393	23,91801	24,89436	28,3733	30,4482	34,46209	35,20138	37,57066	40,56159	41,09089	46,68943	53,56774	59,37714	66,94621	71,1968	76,35088	284,1944
0	8,976762	13,66853	18,16592	21,80071	24,05597	25,07971	28,71421	30,82728	34,9787	35,7113	38,00386	40,85266	41,3559	46,66209	53,13955	58,57497	65,60867	69,59414	74,78748	289,8801
0	8,857512	13,59196	18,13258	21,79016	24,03763	25,05661	28,68389	30,845	34,92725	35,64254	37,85563	40,59649	41,08198	46,22504	52,5639	57,93541	64,959	68,97478	74,2838	259,5258
0	8,833648	13,57979	18,1332	21,75332	23,9128	24,88645	28,36035	30,43553	34,42307	35,14528	37,43142	40,30139	40,81005	46,2041	52,8667	58,52514	65,94167	70,11642	75,14014	241,4702
0	8,833287	13,57704	18,1272	21,78192	24,01208	25,02197	28,62	30,76584	34,9488	35,73272	38,28138	41,53088	42,10679	48,21465	55,76041	62,17026	70,57351	75,28902	80,87928	293,4188
0	8,876269	13,60561	18,14129	21,74371	23,88998	24,85717	28,3058	30,36421	34,34274	35,07338	37,41003	40,35774	40,87964	46,40438	53,20346	58,95593	66,46481	70,6862	75,8019	282,304
0	8,909253	13,62441	18,14551	21,7416	23,89231	24,86198	28,31655	30,37646	34,36987	35,10912	37,48763	40,49556	41,0276	46,64995	53,54472	59,35701	66,91467	71,16277	76,37172	332,2108
0	8,917124	13,6305	18,1499	21,81201	24,09552	25,13353	28,82124	31,01329	35,19107	35,93888	38,28486	41,20776	41,72475	47,18758	53,88569	59,53132	66,87111	70,99306	76,02634	337,5655
0	8,87752	13,60397	18,13653	21,77809	24,00343	25,01111	28,59811	30,73508	34,86558	35,62596	38,06177	41,13613	41,68031	47,43856	54,51891	60,50402	68,3091	72,6971	78,03279	263,9987
0	8,959167	13,65643	18,15911	21,79085	24,03328	25,05029	28,6631	30,81028	34,9803	35,75858	38,27796	41,46946	42,03306	47,97285	55,21698	61,29001	69,1411			

Протокол роботи гальмових позицій та показників прицільного регулювання швидкості скочування відчепів

Окно	Упрц	h1	v1	h2	v2	h3	v3
1	2	3	4	5	6	7	8
	0,175738	0,922836	6,029618	1,375801	3,825555	0,401041	2,162045
80		0,940986	5,944155	1,292989	3,836469	0,338753	2,228444
63		1,010252	5,883972	1,399147	3,535698	0,340573	1,997909
	0,735548	1,068886	5,827101	1,213091	3,975304	0,48301	2,09965
132		0,708465	6,266438	1,549856	3,634701	0,339178	1,90272
	0,32113	0,924791	6,059695	1,304968	4,070633	0,542587	1,966028
169		0,932886	5,87945	1,167429	3,967192	0,397611	1,888309
	1,234642	0,926024	6,063122	1,504277	3,585834	0,306427	2,358147
	1,681894	1,08668	5,862961	1,407334	3,615315	0,399685	2,203979
	0,90057	1,13037	5,696073	0,93014	4,421775	0,526858	2,444075
46		0,949657	5,994399	1,15557	4,298683	0,607378	1,936559
101		0,831344	6,054736	1,293056	3,916851	0,263391	2,429376
80		0,866783	6,088711	1,334129	3,974425	0,456724	2,010349
32		0,757871	6,27281	1,332854	4,246925	0,526349	2,15712
58		0,808896	6,198342	1,464477	3,837184	0,434356	1,987176
113		0,966903	5,921484	1,37145	3,625388	0,360489	1,907868
109		1,041889	5,813232	1,116113	4,119072	0,532172	1,866357
53		0,89743	6,009445	1,217854	4,103114	0,379837	2,399685
3		0,784602	6,260819	1,570539	3,689736	0,384631	2,084714
144		0,880745	5,982891	0,967803	4,568487	0,604201	1,98815
162		0,885713	5,906048	1,205662	3,856283	0,278004	2,116547
143		0,818545	6,12551	1,346017	3,947375	0,442349	1,866311
137		0,748603	6,151357	1,22977	4,163355	0,35853	2,273681
137		0,777094	6,158493	1,326838	4,003165	0,393437	2,06475
124		0,888086	6,036686	1,199159	4,193086	0,530841	1,905439
4		0,761683	6,240533	1,441663	3,936743	0,398312	2,25152
69		0,748434	6,239482	1,414599	3,965096	0,393469	2,198623
80		0,806708	6,167821	1,367562	3,986472	0,419986	2,132205
6		0,877437	6,074691	1,258335	4,136511	0,425627	2,377564
34		0,692704	6,374052	1,405924	4,228238	0,551443	2,04985
26		1,140654	5,694735	1,205366	3,801974	0,461903	1,904068
13		0,982809	5,930409	1,168676	4,17542	0,501647	2,185045
138		0,940215	5,889574	1,129501	4,093597	0,414194	2,077462
86		1,085168	5,745592	1,141079	3,978892	0,473467	1,955837
146		0,817053	6,086639	1,289351	3,981026	0,385203	2,034546
144		0,858304	5,965778	1,17684	4,027048	0,322087	2,217801
185		0,954815	5,950879	1,212492	4,071373	0,603214	1,349652
	0,146081	0,98197	5,974677	1,311549	3,945747	0,528196	1,864003
39		0,783697	6,184735	1,361078	4,009275	0,343479	2,43459
8		0,681398	6,393469	1,430155	4,19839	0,498248	2,225011
57		0,982982	5,928141	1,122665	4,276862	0,592277	1,938678
	0,642756	1,043875	5,880851	1,287573	3,885834	0,517097	1,868883
	0,801829	0,987133	5,958541	1,19283	4,193767	0,542634	2,148728
113		0,971111	5,933009	1,339887	3,74647	0,431973	1,801193
125		0,811271	6,090879	1,233642	4,117106	0,395547	2,189068
91		0,838631	6,08364	1,314103	3,956176	0,3515	2,265003
66		0,931215	5,977602	1,14818	4,241518	0,484549	2,221497
	0,764649	1,035957	5,903934	1,28533	3,928322	0,517468	1,940883

1	2	3	4	5	6	7	8
89		1,190366	5,508644	0,979891	3,99913	0,37399	2,245344
121		0,98929	5,802583	1,157972	3,913804	0,346567	2,146901
91		0,925539	6,01144	1,42091	3,659568	0,390984	1,897424
46		1,043048	5,825766	1,264662	3,800987	0,412013	2,038625
122		0,984619	5,850941	1,018699	4,329964	0,525042	2,052049
190		0,925441	5,857191	1,314746	3,515757	0,248005	1,809105
68		1,019832	5,829587	1,186151	3,954947	0,387494	2,22104
94		0,90009	6,018048	1,262853	4,021485	0,435803	2,088927
138		1,048931	5,78732	1,007946	4,316646	0,611011	1,753709
	0,536548	0,911322	6,067015	1,366529	3,919059	0,444167	2,146153
29		0,954099	6,001579	1,444411	3,634693	0,42964	1,836877
45		0,948762	6,000297	1,271801	4,046851	0,537335	1,886345
	0,490643	0,696764	6,387306	1,455982	4,166207	0,590662	1,894861
	0,613993	1,053256	5,851579	1,265352	3,880746	0,462979	2,052566
158		0,794895	6,096944	1,357174	3,805818	0,32553	1,989467
8		1,0358	5,892055	1,270408	3,934117	0,532922	1,825388
121		0,948589	5,920431	1,25409	3,885666	0,392379	2,020021
44		1,029057	5,830415	1,193794	3,957846	0,402464	2,222882
99		0,871629	6,08521	1,156521	4,37537	0,608813	1,923339
188		0,551209	6,41285	1,462545	3,940308	0,337937	1,900603
	1,336374	1,065824	5,856225	1,107333	4,282063	0,562168	2,273733
128		0,754383	6,223053	1,336966	4,107392	0,479778	1,951624
	0,580768	1,02549	5,935913	1,342331	3,850375	0,554762	1,683023
81		0,901624	6,082217	1,288898	4,122465	0,599411	1,706516
103		0,875067	6,064221	1,317117	3,962435	0,440647	2,000529
68		1,133694	5,649029	1,120385	3,886412	0,395398	2,133332
39		0,926101	6,018585	1,144475	4,337867	0,570056	2,113061
	1,019816	0,839748	6,219684	1,293924	4,337615	0,63829	2,037655
88		0,91714	6,013952	1,309586	3,933808	0,460412	1,94493
	0,82219	0,769661	6,327869	1,569077	3,851945	0,51762	1,862542
36		1,125091	5,70276	1,142274	3,944878	0,457576	2,057968
176		0,786777	6,144782	1,387299	3,842785	0,423928	1,688551
25		0,837301	6,174946	1,389977	4,003209	0,483827	2,051481
136		0,831617	6,079104	1,301172	3,961015	0,392198	2,033771
36		0,850937	6,157957	1,392447	3,978429	0,498559	1,96229
155		0,901238	5,977041	1,101055	4,295013	0,545848	1,853746
77		0,783506	6,216734	1,406557	3,977676	0,442693	2,064701
	0,704458	1,021512	5,92227	1,190785	4,170659	0,593631	1,941556
136		0,933838	5,953717	1,078485	4,345564	0,582489	1,870546
114		0,73379	6,235991	1,317203	4,151329	0,442666	2,12776
143		0,884502	6,008851	1,385115	3,664233	0,332525	1,929129
92		0,734106	6,276893	1,409308	4,0379	0,445608	2,080433
62		0,768215	6,259572	1,45121	3,953307	0,457345	2,027273
37		1,036902	5,84117	1,163202	4,068758	0,481668	2,105131
101		0,904244	6,020825	1,331653	3,869918	0,416686	1,989299
46		0,987755	5,962507	1,392943	3,71978	0,476506	1,744923
4		0,796701	6,245046	1,209728	4,508689	0,658111	2,077004
163		0,869977	6,112101	1,388133	3,904339	0,565959	1,380381
109		0,834566	6,122185	1,413976	3,80176	0,389115	1,989725
56		0,906589	5,998644	1,27311	3,973323	0,393623	2,229573
49		0,774156	6,279677	1,491537	3,918744	0,502987	1,86427
149		0,951132	5,968323	1,209648	4,115099	0,59712	1,548052

Моделювання розділення відчепів у стохастичних умовах

Таблиця Е.1

Розділові інтервали у сполученні відчепів Л-Т

ВГП	Задані швидкості виходу відчепів з уповільнювачів						
	6,4	6,4-6,2	6,4-6	6,4-5,8	6,4-5,6	6,4-5,5	6,4-5,4
СГП	6,4	6,2	6	5,8	5,6	5,5	5,4
Досліди	Величина інтервалів						
	1	2,6368876	3,0660105	3,5214968	4,005868	4,5220881	4,7932482
2	2,9378367	3,3536578	3,794755	4,2636424	4,7630778	5,0252657	5,2963305
3	1,9617396	2,3798762	2,8233958	3,2948275	3,7969523	4,0605708	4,3330584
4	4,2531062	4,5300723	4,9667826	5,4301844	5,923009	6,1813441	6,4481822
5	1,9422923	2,3598032	2,8025294	3,2730113	3,7739268	4,0368281	4,3085986
6	2,6264353	2,6264353	3,0023699	3,4288149	3,8810511	4,1176501	4,3616763
7	2,7691165	3,2179347	3,6952982	4,2040949	4,7477236	5,0338488	5,3300944
8	2,821538	3,231412	3,6657649	4,1268778	4,6174937	4,8747569	5,1405535
9	3,388486	3,7972537	4,2301493	4,6894885	5,1778307	5,4338008	5,6981478
10	2,2870112	2,6905528	3,1178103	3,5711642	4,0530978	4,305707	4,5665408
11	1,7096072	2,154214	2,6268359	3,1303416	3,6679316	3,9507075	4,2433711
12	3,4686671	3,4686671	3,6533366	4,0973864	4,5692912	4,8165751	5,0718814
13	2,3383418	2,3383418	2,3465052	2,757226	3,1923495	3,4198771	3,6543017
14	2,6591807	3,0712481	3,5079318	3,9715357	4,4648905	4,723588	4,9908686
15	2,3854113	2,7948809	3,2288294	3,6895152	4,1796198	4,4366541	4,7021914
16	2,6257258	2,6257258	2,9777384	3,3857966	3,8182002	4,0442591	4,2772837
17	1,576459	1,9885073	2,425355	2,8894091	3,3834162	3,6425524	3,9103938
18	3,4378787	3,4521723	3,8576823	4,2872477	4,7431765	4,9818392	5,2281199
19	0,1510343	0,2208796	0,6137438	1,0296145	1,4705706	1,7012454	1,9390879
20	4,0473376	4,4647532	4,9075251	5,378049	5,8792124	6,1423007	6,4142085
21	2,766038	3,2349215	3,7344676	4,2680445	4,8393832	5,1405764	5,4528437
22	1,3413859	1,7720271	2,2295275	2,7166071	3,2363291	3,5095378	3,7922946
23	2,9032565	2,9444819	3,3545466	3,7893229	4,2511912	4,4931994	4,7430239
24	2,9475031	3,1941729	3,5841761	3,9970255	4,4348994	4,663972	4,900239
25	2,6966677	3,144311	3,620328	4,1276751	4,6697283	4,9549342	5,250249
26	1,8284464	2,2402697	2,6767169	3,1402674	3,6334696	3,8921595	4,1594821
27	2,9355708	3,2805415	3,6830454	4,1094218	4,5619517	4,7987605	5,0431223
28	2,5708247	2,9697619	3,3921595	3,84023	4,3165141	4,5661288	4,8238917
29	2,6941119	3,1088343	3,5485735	4,0158587	4,5133601	4,774396	5,0442324
30	2,9224101	3,1306582	3,5482188	3,9908457	4,4609881	4,7072192	4,9613658
31	2,3250018	2,7646571	3,2317667	3,7290965	4,2598048	4,5387393	4,8273898
32	1,4598704	1,8611002	2,2860423	2,7369319	3,2162791	3,4674998	3,7270022
33	1,2508135	1,6426325	2,0574275	2,4974146	2,9650202	3,210084	3,4631281
34	1,9687396	2,0775729	2,4850283	2,9165774	3,374631	3,6144381	3,8618174
35	2,0239268	2,4306727	2,8618708	3,3200579	3,8078547	4,06384	4,3284007
36	3,5122538	3,8421565	4,259759	4,7028399	5,1739474	5,4208498	5,6759425
37	2,492013	2,9020014	3,3366213	3,7982378	4,2895937	4,5473795	4,8137942
38	1,9973612	2,3926287	2,8110323	3,254838	3,7264338	3,9735613	4,2286997
39	2,1712008	2,6090861	3,0744753	3,5701838	4,0993433	4,3776179	4,6656504
40	1,0429507	1,4436999	1,8682414	2,3187647	2,7978716	3,0490237	3,308446
41	2,652566	3,0888148	3,5519228	4,0445338	4,569726	4,8455706	5,1309023
42	2,3659411	2,7765704	3,2118044	3,6740656	4,1659518	4,4240008	4,6906176
43	2,10983	2,4781886	2,8672343	3,2788935	3,7152071	3,9433642	4,1785632
44	1,1174784	1,517274	1,9406596	2,3899088	2,8676425	3,1180621	3,3766375

Апроксимація лінії мінімальних ризиків різними кривими

Таблиця Ж.1

Результати імітаційних експериментів:

№ п/п	v'	$v''_M(v')$
1	6,95	5,9
2	6,7	6,1
3	6,5	6,3
4	6,4	6,4
5	6,35	6,5

Лінійна модель

$$v''_M(v') = -0,9877v' + 12,743$$

$$R^2 = 0,9877$$

Поліном другого ступеня

$$v''_M(v') = 0,6224 v'^2 - 9,2711 v' + 40,273$$

$$R^2 = 0,9996$$

Ступенева модель

$$v''_M(v') = 46,217 v'^{-1,063}$$

$$R^2 = 0,993$$

Експоненціальна модель

$$v''_M(v') = 17,845e^{-0,1597v'}$$

$$R^2 = 0,9906$$

Робоча програма і методика випробувань вагонного уповільнювача УВСК для визначення часу його спрацювання

3.1. Загальні положення

Конструкторським бюро ВАТ «Старокраматорський машинобудівний завод» розроблено та виготовлено дослідний зразок вагонного уповільнювача УВСК [1], який встановлено для дослідної експлуатації на спускній частині східної сортувальної гірки станції Ясинувата Донецької залізниці.

Однією з основних техніко-експлуатаційних характеристик вагонного уповільнювача є час його спрацювання. Під часом спрацювання уповільнювача (загальмування або відгальмування без урахування часу реакції апаратури, що управляє), слід вважати час, що відлічується від початку гальмування до моменту досягнення максимального зусилля натиснення гальмівних шин і час від початку відгальмування до моменту досягнення нульового значення зусилля їх натиснення, відповідно. Цей час повинен бути не більше 0,7 с при робочому тиску повітря 0,65 (6,5) МПа (кгс/см²) та нормальних атмосферних умовах по ГОСТ 15150.

Дана методика встановлює загальний порядок проведення випробувань та обробки їх результатів для визначення часу спрацювання уповільнювача УВСК. Методика розроблена на основі положень «Правил і норм проектування сортировочних пристроїв на залізних дорогах Союзу ССР» (ВСН 207-89) [2-3], а також згідно з положеннями нормативних документів, що регламентують порядок перевірки та атестації вимірювальної техніки при виконанні випробувань [4-6].

3.2 Мета і задачі випробувань

Мета випробувань:

- експериментальне визначення часу спрацювання (в секундах) вагонного уповільнювача УВСК та оцінка відповідності паспортного значення цієї характеристики.

Задачі досліджень:

- визначення часу на загальмування уповільнювача при максимальному зусиллі гальмівного натискання;
- визначення часу на відгальмування після гальмування з максимальним зусиллям гальмівного натискання.

3.3. Об'єкт випробувань

3.3.1 Загальні відомості

Об'єктом випробувань є вагонний уповільнювач УВСК, що розроблений та виготовлений ВАТ „Старокраматорський машинобудівний завод” і встановлений на спускній частині східної сортувальної гірки станції Ясинувата Донецької залізниці. Уповільнювач виготовлений відповідно до вимог ГОСТ 27.003 і призначений для механізації і автоматизації процесу регулювання швидкості руху відцепів на діючих і нових сортувальних гірках, встановлюваний на спускній частині гірок і на паркових гальмівних позиціях

Технічні характеристики уповільнювача:

Довжина по балках	- 12500 мм;
Довжина по рейках	- 13475 мм;
Висота уповільнювача	- 600 мм;
Тиск повітря в пневмосистемі. МПа (кгс/см ²):	
- номінальний	- 0,65 (6,5);
- мінімальний	- 0,1 (1,0);
- максимальний	- 0,8 (8,0);

3.3.2 Об'єм вибірки

Для визначення часу спрацювання уповільнювача використовується один дослідний зразок уповільнювача УВСК, встановлений на східній сортувальній гірці станції Ясинувата Донецької залізниці.

3.3.3 Технічні вимоги

Для визначення часу спрацювання уповільнювача використовується металевий шаблон з тензометричними датчиками шириною, що відповідає ширині колісної пари на рівні її затискання в шинах уповільнювача.

3.4. Засоби вимірювання

3.4.1. Тензометрична апаратура ТМА32, Свідоцтво про перевірку робочих засобів вимірювальної техніки №7912-4 від 11.06.2008 р. Вимірювально-реєстраційна станція на базі тензометричної апаратури ТМА32.

3.4.2. Перетворювач первинний лінійних переміщень Вт718-18 (125мм), Свідоцтво про державну метрологічну атестацію №6/1052 від 12.08.2008 р.

3.4.3. Датчик тиску малогабаритний МД-10ТС, Свідоцтво про державну повірку засобу

вимірювальної техніки №744П від 29.08.2008 р.

3.4.5. Тензорезистори КФ5П1-10-200(А12).

3.5. Порядок виконання випробувань

3.5.1. Випробування вагонного уповільнювача УВСК виконується на залізничній станції Ясинувата Донецької залізниці, де він проходить дослідну експлуатацію.

3.5.2. До початку випробувань завод-виробник повинен надати гіркововипробувальній лабораторії ДНУЗТу комплект конструкторської документації та акт перевірки уповільнювача ВТК заводу.

3.6. Методика досліджень

Час спрацьовування уповільнювача (загальмування або відгальмування без урахування часу реакції апаратури, що управляє), відлічується відповідно від початку гальмування до моменту досягнення максимального зусилля натиснення гальмівних шин, та від початку відгальмування до моменту досягнення нульового значення зусилля натиснення гальмівних шин.

Під час випробування фіксуються моменти

t_1 – момент початку загальмування, що визначається моментом подачі струму на управляючий соленоїд; t_2 – момент притискання шин уповільнювача до бандажа колеса; t_3 – момент досягнення максимального зусилля гальмівних шин; t_4 – момент початку відгальмування, що визначається моментом подачі струму на управляючий соленоїд; t_5 – моменту досягнення нульового значення зусилля натиснення гальмівних шин.

Для визначення моментів t_1 та t_2 виконується підключення до тензометричної апаратура ТМА32.

Для визначення моментів часу t_2 - t_5 фіксується тиск, що створюють шини уповільнювача. Фіксація тиску виконується тензорезистором КФ5П1-10-200(А12), який монтується в мездозі товщиною 20 мм. Мездоза закріплюється на металевому вкладиші товщиною 110 мм, який встановлюється між шинами уповільнювача (див. рис. 1). Загальна ширина вкладиша та мездози відповідає ширині обода колеса вагона.

Фіксація тиску повітря в пневмосистемі виконується датчиком тиску МД-10ТС, який встановлюється на місце манометра.

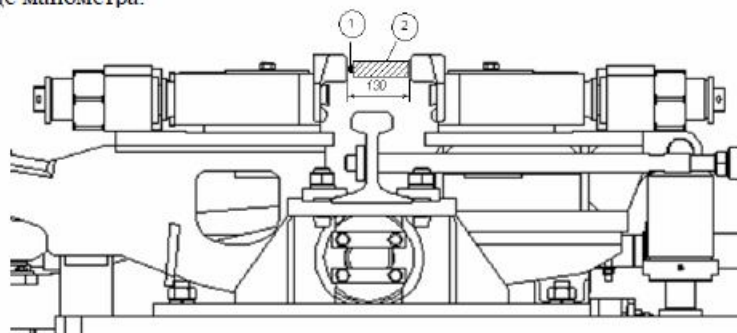


Рисунок 1 – Розташування мездози на уповільнювачі: 1 – мездоза; 2 – металевий вкладиш

Час загальмування визначається як

$$T_3 = t_3 - t_1.$$

Час відгальмування визначається як

$$T_5 = t_5 - t_4.$$

3.7. Обробка даних та оцінка результатів випробувань

Статистична обробка (за результатами 100 експериментів) усіх зареєстрованих процесів виконується для визначення наступних показників:

- час загальмування уповільнювача;
- час відпуску гальмівних шин;

3.8. Порядок оформлення результатів

За результатами випробувань оформлюється протокол.

3.9 Вимоги безпеки

3.9.1. При підготовці та проведенні випробувань необхідно дотримуватися загальних вимог правил охорони праці та спеціальних вимог нормативно-правових актів, чинних на залізничному транспорті:

- Правила безпеки праці для працівників залізничних станцій і вокзалів. Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 12.03.2007 № 44 [7];
- ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» [8];
- ДСанП і Н 3.3.2-007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [9];

- ДНАОП 0.00–1.31–99 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» [10];

- Правила технічної експлуатації залізниць України, введені в дію наказом МТУ від 20.12.1996 №411, із змінами та доповненнями, внесеними наказами МТУ від 08.06.1998 №226, від 23.07.1999 №386, від 19.03.2002 №179, від 10.12.2003 №962 [11].

3.9.2. До випробувань допускаються працівники, які пройшли спеціальне навчання і перевірку знань з питань охорони праці при проведенні випробувань.

3.9.3. Забезпечення необхідних умов безпеки покладається на відповідального виконавця з випробувань.

3.9.4. Працівники, зайняті на роботах з підготовки та проведенню випробувань, повинні бути забезпечені відповідним спецодягом, спецзуттям та іншими засобами індивідуального захисту, а також засобами зв'язку.

3.9.5. Усі роботи з підготовки та проведення випробувань повинні виконуватися під безпосереднім керівництвом і контролем призначеного наказом по університету керівника з виконавцями, які залучені до роботи з підготовки і проведення випробувань модернізованого вагона, отримують цільовий інструктаж із записом у «Журнал реєстрації інструктажів з питань охорони праці» (відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці, ДНАОП 0.00–4.12–05, затв. наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 №15 [12]).

3.9.6. Задіяне для випробувань устаткування, допоміжні засоби; інструмент і прилади – датчики й апарати, які перераховані вище, комп'ютери, низькострумові кабелі, слюсарний і електричний інструмент – повинні знаходитися у технічно справному стані і мати відповідні клейма про періодично контрольовані масштабні (градуйовані) характеристики, відповідно до інструкції з експлуатації приладів. Устаткування повинно забезпечувати безпеку обслуговування і використання.

3.10 Метрологічне забезпечення вимірів і статус випробувальної лабораторії

Вимірювальна та апаратура для реєстрації показань приборів повинна бути атестована і повірена. Відповідні конкретні дані повинні бути наведені в протоколі випробувань. Випробування проводить випробувальна лабораторія рухомого складу Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна акредитована в НААУ на ДСТУ 341296, атестат акредитації №UA 6.001.N.366 від 05.06.2005р. (Випробувальна лабораторія ДМРС)

3.11. Перелік посилань

1. Технічне завдання на уповільнювач вагонний УВСК. ВАТ „СКМЗ”. – 2007.
2. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР: ВСН 207-89/МПС. М.: Транспорт, 1992.
3. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств. - М.: Транспорт, 1994.
4. ГОСТ 24555–81. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения. Введ.01.01.82. – М.; Изд-во стандартов, 1981. – 9 с. – (Система государственных испытаний продукции). УДК 620.1.05; 658.652.006.354. Группа Т59.
5. ДСТУ 2708–99. Метрологія. Перевірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. – Введ.01.07.2000. – Київ; Вид. УкрНДІССІ, 1995. – 11 с. – (Метрологія). УДК 389.006.354.
6. ДСТУ 3215–95. Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. – Введ. 01.07.96. – Київ; Вид. УкрНДІССІ, 1995. – 11 с. – (Метрологія) УДК 389.006.354. Група Т80.
7. Правила безпеки праці для працівників залізничних станцій і вокзалів. Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 12.03.2007 № 44.
8. ДНАОП 0.00–1.21–98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затв. наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.98 № 4.
9. ДСанП і Н 3.3.2–007–98. Державні санітарні правила і норми праці з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. Затв. наказом МОЗ України від 10.12.98.
10. ДНАОП 0.00–1.31–99. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. Затв. наказом Держнаглядохоронпраці від 10.02.99 № 21.
11. Правила технічної експлуатації залізниць України, введені в дію наказом МТУ від 20.12.1996 №411, із змінами та доповненнями, внесеними наказами МТУ від 08.06.1998 №226, від 23.07.1999 №386,
12. НПАОП 0.00–4.12–05 Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Наказ Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 №15.