

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра залізничних станцій та вузлів

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕГІРКОВИХ
СОРТУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Пояснювальна записка та розрахунки
до випускної кваліфікаційної роботи

ОТПНС.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221-ОПУТ-Д20
спеціальності 275 / 275.02

Левченко А. О.

Керівник: професор, доктор техн. наук
Огар О. М.

Рецензент: професор, доктор техн. наук
Прохорченко А. В.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра залізничних станцій та вузлів

Рівень вищої освіти: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (залізничний транспорт)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, доктор техн. наук
_____ О. М. Огар
« ____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Левченку Антону Олександровичу

1. Тема проекту «Оптимізація технологічних параметрів негіркових сортувальних пристроїв» керівник проекту (роботи) Огар Олександр Миколайович, д.т.н., професор затверджені розпорядженням факультету УПП від «24» січня 2022 року № 01/22
2. Строк подання студентом закінченої роботи – «16» травня 2022 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи): масштабний план дільничної станції, план і профіль гіркового сортувального пристрою, середньодобові розміри переробки на сортувальному пристрої, характеристика конструктивних параметрів сортувальних пристроїв.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз конструкції та технології роботи негіркових сортувальних пристроїв. Розробка процедури розрахунку витрат дизельного палива і часу на виконання маневрового напіврейсу на негіркових сортувальних пристроях. Визначення раціональних технологічних параметрів негіркових сортувальних пристроїв для заданих умов експлуатації. Процедура вибору параметрів пристроїв для формування составів поїздів. Техніко-економічне обґрунтування вибору технології розформування составів на негіркових сортувальних пристроях.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): мета роботи, предмет, об'єкт, задачі дослідження, наукова новизна; узагальнена процедура розрахунку витрат дизельного палива та часу на виконання маневрового напіврейсу; модель для визначення основної позиції контролера машиніста і шляху, що проходить состав за інерцією і з гальмуванням; залежність сумарних експлуатаційних витрат на дизельне паливо і витрат, пов'язаних з простоем вагонів, від величини шляху, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням, при довжині напіврейсу 500 м; модель для визначення основної позиції контролера машиніста і шляху, що проходить состав при розгоні; розрахунок витрат у варіанті сортування вагонів способом осаджування; розрахунок витрат у варіанті сортування вагонів поштовхами; висновки. Загалом 9 аркушів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування вибору технології розформування составів на негіркових сортувальних пристроях	Балака Є.І., к.е.н., доцент		

7. Дата видачі завдання «24» січня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
Вступ	28.02.2022	
1 Аналіз конструкції та технології роботи негіркових сортувальних пристроїв	14.03.2022	
2 Розробка процедури розрахунку витрат дизельного палива і часу на виконання маневрового напіврейсу на негіркових сортувальних пристроях. Визначення раціональних технологічних параметрів негіркових сортувальних пристроїв для заданих умов експлуатації	28.03.2022	
3 Процедура вибору параметрів пристроїв для формування составів поїздів	11.04.2022	
4 Техніко-економічне обґрунтування вибору технології розформування составів на негіркових сортувальних пристроях	25.04.2022	
5 Висновки	06.05.2022	
6 Оформлення роботи	16.05.2022	

Студент _____ Левченко А.О.

Керівник проекту (роботи) _____ Огар О.М.

Зміст

Вступ	6
1 Аналіз конструкції та технології роботи негіркових сортувальних пристроїв	10
1.1 Основні етапи розвитку сортувальних пристроїв залізниць світу	10
1.2 Аналіз досвіду проектування і експлуатації негіркових сортувальних пристроїв	14
1.3 Аналіз теорії проектування негіркових сортувальних пристроїв і перспективних технічних засобів для виконання маневрової роботи	24
1.4 Аналіз конструкцій негіркових сортувальних пристроїв закордонних станцій	29
2 Розробка процедури розрахунку витрат дизельного палива і часу на виконання маневрового напіврейсу на негіркових сортувальних пристроях	35
2.1 Підходи до розрахунку витрат дизельного палива і часу на виконання маневрового напіврейсу на негіркових сортувальних пристроях	35
2.2 Формування процедури розрахунку витрат дизельного палива і тривалості виконання маневрових пересувань при сортуванні вагонів	37
3 Процедура вибору параметрів пристроїв для формування складів поїздів	48

					ОТПНС.300.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Оптимізація технологічних параметрів негіркових сортувальних пристроїв	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Левченко						4	86
Перевір.	Огар					УкрДУЗТ		
Заст.директ.								
Н. контр.	Шаповал							
Затв.	Огар							

4	Техніко-економічне обґрунтування вибору технології розформування составів на негіркових сортувальних пристроях	52
4.1	Прогнозування обсягів переробки вагонів на сортувальному пристрою	53
4.2	Визначення експлуатаційних витрат при сортуванні вагонів способом осаджування	54
4.3	Визначення експлуатаційних витрат при сортуванні вагонів поштовхами	59
4.4	Визначення економічної привабливості інвестиційного проекту впровадження варіанту технології розформування составів на негіркових сортувальних пристроях	66
	Висновки	71
	Список використаних джерел	74
	Додаток А Результати моделювання розформування составу способом осаджування і поштовхами	78

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Вступ

Актуальність теми. Згідно з галузевими будівельними нормами України [1] тип сортувального пристрою визначається на підставі прогнозних обсягів переробки вагонопотоків на відповідний рік експлуатації. На сьогоднішній день діючі умови проектування зазначених пристроїв майже не змінилися у порівнянні з нормами, що застосовувались у минулому сторіччі. Ці норми визначались шляхом порівняння приведених витрат конструкційних рішень за цінами, що мали місце на той момент. Сучасні цінова політика і умови експлуатації суттєво відрізняються. Особливо це стосується структури вагонного парку, технічних засобів, що використовуються для переробки вагонів, і, головне, вартості простою вагонів на станціях і вартості паливно-енергетичних ресурсів. Укрзалізниця, як відомо, є одним з основних споживачів цих ресурсів. При цьому частка витрат на дизельне паливо при проведенні маневрових операцій на залізничних станціях України складає приблизно 30%.

Основний обсяг переробки вагонів виконується на сортувальних станціях з використанням, як правило, гіркової технології. Певний обсяг сортувальної роботи виконується також на дільничних і вантажних станціях. При цьому для сортування вагонів в основному використовуються негіркові сортувальні пристрої, продуктивність яких залежить як від конструктивних параметрів, так і від технології роботи, в тому числі від способу розформування составів. Найбільш простим (з точки зору реалізації) і широко поширеним способом виконання маневрів при розформуванні є робота на витяжній колії методом осаджування. Застосування даної технології характеризується суттєвими витратами на дизельне паливо і витратами, пов'язаними з простоєм составів в парку приймання (приймально-відправному парку) в очікуванні розформування. Крім, того має місце низька переробна спроможність негіркового сортувального пристрою при застосуванні зазначеної технології розформування.

У зв'язку з цим на станціях загальної мережі, а також на промислових станціях, в більшій мірі використовуються негіркові сортувальні пристрої з

виконанням маневрів при розформуванні составів поштовхами – способом, що є проміжним між методом осаджування і гірковою технологією. Даний спосіб забезпечує більшу переробну спроможність негіркового пристрою і суттєво менші експлуатаційні витрати.

Отже, визначення раціональних технологічних параметрів негіркових сортувальних пристроїв є актуальним науково-прикладним завданням, вирішення якого неможливо без розробки процедури розрахунку тривалості виконання маневрових напіврейсів і витрат дизельного палива на виконання маневрових операцій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Випускна кваліфікаційна робота виконувалась відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р) та Енергетичною стратегією України на період до 2030 року (розпорядження КМУ від 15.03.2006 р. №145-р).

Мета і задачі дослідження.

Основною метою даного дослідження є обґрунтування раціональних технологічних параметрів негіркових сортувальних пристроїв. Для цього необхідно розробити процедуру та програмне забезпечення з розрахунку витрат паливних ресурсів і тривалості виконання маневрових пересувань при розформуванні составів на зазначених пристроях.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати конструкційні параметри негіркових сортувальних пристроїв;
- проаналізувати особливості технології роботи негіркових сортувальних пристроїв;
- розробити процедуру розрахунку витрат дизельного палива маневровим локомотивом та часу на виконання маневрового напіврейсу в заданих умовах експлуатації. Визначити раціональні технологічні параметри негіркових сортувальних пристроїв для заданих умов експлуатації;

– сформувати процедуру вибору параметрів пристроїв для формування составів поїздів;

– обґрунтувати економічну доцільність застосування відомих способів сортування вагонів на негіркових сортувальних пристроях.

Об'єкт дослідження – сортувальний процес.

Предмет дослідження – процес розформування составів на негіркових сортувальних пристроях.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у випускній кваліфікаційній роботі завдань використано відповідні математичні методи, а саме: для розробки процедури розрахунку витрат дизельного палива маневровим локомотивом та часу на виконання маневрового напіврейсу застосовано теорію алгоритмів, для розрахунку зазначених витрат – методи імітаційного моделювання із застосуванням ПЕОМ, для оптимізації позиції контролера машиніста і шляху, що проходить состав за інерцією і з гальмуванням, – методи нелінійного програмування.

Наукова новизна одержаних результатів. У випускній кваліфікаційній роботі отримали подальшого розвитку підходи до обґрунтування раціональних технологічних параметрів негіркових сортувальних пристроїв. При цьому вперше:

– розроблено процедуру розрахунку витрат дизельного палива маневровим локомотивом та часу на виконання маневрового напіврейсу, яка дозволяє підвищити точність розрахунку зазначених витрат в заданих умовах експлуатації;

– отримано залежності сумарних експлуатаційних витрат на дизельне паливо і витрат, пов'язаних з простоем вагонів, від позиції контролера машиніста та величини шляху, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням (при сортуванні вагонів способом осаджування) або при розгоні (в умовах сортування вагонів поштовхами). Характер отриманих залежностей свідчить про наявність екстремальної задачі відносно позиції контролера машиніста та величини зазначеного шляху.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена процедура розрахунку витрат дизельного палива маневровим локомотивом та часу на виконання маневрового напіврейсу може бути використана для визначення раціональної позиції контролера машиніста для маневрових напіврейсів та раціональної величини шляху, який повинен пройти маневровий состав за інерцією і з гальмуванням.

1 Аналіз конструкції та технології роботи негіркових сортувальних пристроїв

1.1 Основні етапи розвитку сортувальних пристроїв залізниць світу

Потреба в сортуванні вагонів виникла разом з появою мережі залізниць. Нові технічні рішення були реалізовані на паровозах і вагонах на початку розвитку залізничного транспорту. Перші вантажні вагони були двовісними, мали невелику вантажопідйомність (8-10 т), пізніше з'явилися трьох і чотиривісні вагони. Перші серійні вантажні вагони з'явилися в чотиривісному виконанні в 1846 р. Раму і кузов вагонів були дерев'яними. Гальмівні пристрої вагонів були примітивні – наприклад, важіль, притискуваний гальмівником вручну до обода колеса.

Пізніше на вагонах застосовувалися гальмівні пружини, керовані машиністом паровоза через натягнутий трос. Була створена гвинтова зачіпка, яку протягом тривалого часу застосовували на залізницях світу. Необхідно відзначити, що даний принцип з'єднання вагонів має місце на деяких типах вагонів і в наші дні. Із збільшенням кількості рухомого складу та обсягів перевезених вантажів виникла проблема сортування вагонів. Маневри виконували осаджуванням. Зростаючі обсяги виробництва і розвиток мережі залізниць поклали початок застосування нових способів виконання маневрової роботи. Ці способи були спрямовані на збільшення її продуктивності за рахунок скорочення часу на маневрові пересування.

Перші спроби скорочення маневрових пересувань локомотива були здійснені на залізницях США (на станціях Іст-Детройт, Хортон, Пекертон): локомотив, обладнаний жердиною, слідував по сусідній колії і підштовхував вагони. Вагони після поштовху слідували на колії призначення, а локомотив після зупинки виконував зворотний рух для наступного поштовху. Однак зі збільшенням маси вагонів використання жердини виявилось неефективним і при

виконанні поштовху стали використовувати безпосередньо локомотив. Ця технологія виявилася продуктивнішою, незважаючи на наявність деяких проблем: недостатня потужність локомотива, недосконалість розчіпних пристроїв, параметрів колійного розвитку, залучення додаткового штату працівників.

Застосування даної технології на похилих коліях дозволило, крім сили тяги локомотива, використовувати і силу тяжіння вагонів, що дало можливість підвищити ефективність розглянутого способу маневрової роботи. Згодом з накопиченням досвіду експлуатації і розвитком залізничної техніки і теорії розрахунку сортувальних пристроїв з'явилися різновиди технології розформування составів поштовхами [3,4,5]. Спочатку, коли сортування велося на горизонтальних коліях, вагони гальмувалися дерев'яними важелями-вагами, які підкладав під колеса гальмівник. Таке гальмування було можливо на низьких швидкостях. На ухилі вагони рухалися значно швидше, і ваги вже не забезпечували потрібний темп сортування і безпеку маневрів.

Вперше використання сили тяжіння вагонів було застосовано в 1846 р в Німеччині на станції Дрезден-Фрідріхштадт, що розташована на ухилі [6]. Состав подавався на витяжні колії, закріплювався; далі проводилося прибирання поїзного локомотива. Вагони, послідовно відчіплюватися з хвоста составу, прямували на сортувальні колії за рахунок сили тяжіння. При такій технології виникли проблеми безпеки для працівників рухомого складу і вантажів, що перевозяться через рух і зіткнення вагонів з підвищеними швидкостями.

У 1863 році у Франції була споруджена на ухилі залізнична станція Сен-Етьєн, в Англії в – 1873 р Едж-Гілл. У США деякі станції або окремі парки також споруджувалися на ухилі, наприклад станції Гринвиль, Логанспорт, Шерідан. На таких станціях маневри здійснювалися «самопливом» під дією сили тяжіння вагонів [7]. З цим способом пересування відцепів на відповідні колії в ряді країн виконувалося за допомогою кінної тяги. Потім в світі почали будувати станцій з сортувальними гірками: в 1876 р – ст. Шпельдорф, Німеччина, в 1888 р ст. Тер-Наур, Франція.

Поява сортувальних гірок дозволило усунути основний недолік похилих витяжок – необхідність розчіплювати вагони на ухилі використовуючи для цього ручні гальмівні засоби.

На сортувальній гірці для цієї мети є насувна частина, розташована на підйомі. Робота з удосконалення гальмівних пристроїв привела до створення в 1857 р в Німеччині пристрою, що відрізняється компактністю, універсальністю, ефективністю, який знайшов згодом широке поширення на залізницях світу. Цим пристроєм з'явився ручний гальмівний башмак, що укладається на рейку перед рухомими вагонами і має значний гальмівний вплив при наїзді на нього колеса. Поряд з гальмуванням, такі башмаки стали застосовувати для закріплення вагонів і составів на коліях.

У 1914 р на станції Герне, Німеччина, був здійснений автоматичний перевід стрілок. У США на двосторонній станції Потомак стрілки гіркової горловини були обладнані електропневматичними приводами, керованими з гіркових постів. На багатьох станціях багатогрупні состави поїздів формувалися в групових парках з витяжками або гірками. Поява перших башмакоскидачів, а згодом і перших балкових сповільнювачів було обумовлено необхідністю управління швидкістю руху вагонів при скочуванні з гірки. Значно підвищити швидкість розпуску, а відповідно, і переробну спроможність сортувальної гірки, дозволило впровадження електричної централізації стрілок і сигналів в процес розпуску составів. Таке нововведення стало початковим етапом автоматизації сортувальних систем, а також автоматизації роботи сортувальних станцій в цілому.

В даний час використовуються як гіркова технологія, так і осаджування, при цьому найбільш безпечним способом є осаджування. Безпека цього способу обумовлена низькими швидкостями руху маневрового складу і можливістю контролю швидкості пересування на всій ділянці переміщення за допомогою управління локомотивом. При цьому пересування маневрового складу призводять до значних витрат часу, в тому числі при виконанні розгону і гальмування, що обмежує переробну спроможність сортувального пристрою. На

мережі залізниць широко застосовується розформування составів на витяжних коліях з використанням поштовхів. Даний спосіб виробництва маневрової роботи має більш високу продуктивність у порівнянні з осаджуванням. Застосування такого способу характерно, наприклад, для станцій з сезонною нерівномірністю переробки у випадках, коли спорудження сортувальної гірки необґрунтовано, а застосування осаджування як способу виконання маневрової роботи не забезпечує необхідну переробну спроможність в періоди пікових навантажень.

На сьогоднішній день манєврова робота, виконувана з використанням гіркової технології, найбільш досконала в порівнянні з роботою на витяжних коліях. Висока переробна спроможність гірок дозволяє реалізовувати високу швидкість розформування составу за рахунок спеціалізованого колійного розвитку, централізації і автоматизації гіркового комплексу, використання необхідного числа локомотивів. Спорудження сортувальних гірок викликано необхідністю переробки значного вагонопотоку і вимагає великих капітальних вкладень. Тому має велике значення розвиток та впровадження негіркових пристроїв на залізницях України. Технологія використання поштовхів виникла за необхідності підвищення продуктивності манєврової роботи.

В даний час технологія, що розглядається, найбільш поширена на вантажних станціях, які характеризуються значною нерівномірністю за обсягом переробки вагонів. Завдання підвищення ефективності використання таких пристроїв є актуальною на сучасному етапі розвитку залізничного транспорту. За рівнем переробної спроможності дана технологія займає проміжне місце між осаджуванням і гірковою технологією. Вона характеризується використанням при розформуванні як сили тяги локомотива, так і сили тяжіння відчепа, що призводить до збільшення числа і діапазону значень випадкових факторів, що впливають на даний процес. Отже, для розрахунку параметрів негіркових сортувальних пристроїв необхідно розробляти методи, що враховують зазначені особливості.

1.2 Аналіз досвіду проектування і експлуатації негіркових сортувальних пристроїв

На початку ХХ століття з'являються перші наукові дослідження з організації сортувальної роботи і проектування сортувальних пристроїв на станціях: в 1906 р видано працю проф. О.М. Фролова «Сборник статей о станциях и маневрах», в 1909 р – Г.Д. Дубелір «О проектировании горок для сортировочных станций», в 1915 р – проф. Є.О. Гібшмана «О сортировочных станциях». У 1922 році В.М. Образцов розробив перший проект «розподілу вузлів на російській залізничній мережі і сортувальної роботи вузлів з метою скорочення маневрової роботи і простою вагонів» [8].

Сортувальні станції будувалися і розвивалися за планом там, де це визначалося умовами зародження і погашення вагонопотоків і забезпечувало мінімальний простій вагонів і найменшу вартість переробки вагонів. У 1909 р проф. Г.Д. Дубелір вперше запропонував графічний метод розрахунку і перевірки профілю сортувальних гірок. Пізніше проф. Є.О. Гібшман значно вдосконалив цей метод [9]. У 1916 р В.М. Образцов розробив дуже зручний графо-аналітичний метод розрахунку і перевірки профілю сортувальних гірок.

Ці методи давали можливість визначати найбільш раціональний профіль для знову проєктованих гірок, а також з'ясувати характер роботи існуючих гірок в різних умовах. Науковою розробкою питань облаштування, механізації та експлуатації сортувальних пристроїв займався Всесоюзний науково-дослідний інститут залізничного транспорту, колективом якого вивчені ходові властивості вагонного парку. Встановлено уточнені норми опору руху вагонів, удосконалено методологію проектування плану і профілю сортувальних пристроїв.

Продуктивність витяжок довгий час була невисокою, оскільки на них застосовувався в основному спосіб сортування вагонів осаджуванням і в деяких випадках ізольованими поштовхами.

При сортуванні вагонів ізольованими поштовхами продуктивність витяжок підвищувалася, що досягалося головним чином за рахунок значного скорочення довжини сортувальних напіврейсів. Схема виконання поштовху представлена на рисунку 1.1.

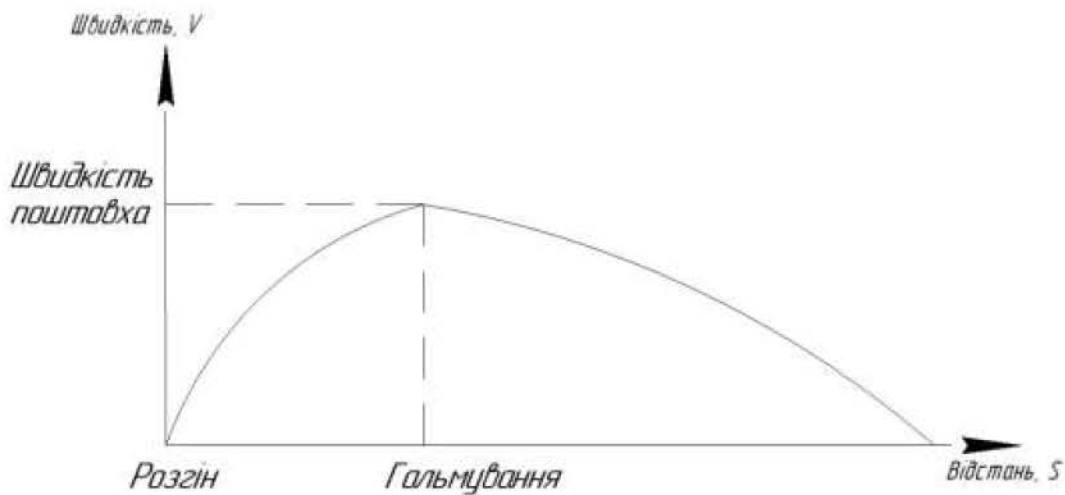


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення напіврейсу розгону і гальмування маневрового складу при виконанні одиночного ізольованого поштовху

Необхідно відзначити, що на основі ходових якостей вагонів розроблено методи визначення конструкції гіркових сортувальних пристроїв з використанням розрахункових бігунів [2, 10, 11]. Цілий ряд робіт з цих питань було виконано окремими вченими і фахівцями залізничного транспорту – С. В. Зембліним, В. Д. Нікітіним, М. О. Рогинським, О. М. Фроловим, О. М. Долаберідзе, І. І. Страковським [12]. Принципи організації маневрів на витяжках ґрунтувалися на висунутій в 1925-1927 роках проф. І. І. Васильєвим «Теорії найвигідніших прийомів маневрування», відповідно до якої головним засобом прискорення сортувальних і групувальних маневрів на витяжних коліях визнавалося підвищення швидкостей руху і зменшення ваги маневрового складу за рахунок поділу складів на частини. Незважаючи на наявність значного числа сортувальних гірок, велика кількість складів на станціях мережі залізниць перероблялося на витяжках.

На початку другої половини ХХ століття складачі поїздів М. Д. Гур'єв, І. В. Архипов, І. О. Карашкевіч, І. І. Чернелєвський та інші в своїх маневрових бригадах створили принципово нові методи сортування вагонів на витяжках: серійні поштовхи, потокове сортування (пульсуюча), багатогрупні поштовхи і сортування вагонів суцільним потоком з мінімальною участю локомотива [12] (рисунок 1.2). Переваги таких методів сортування вагонів на витяжках полягають в значному зменшенні числа маневрових пересувань і в підвищенні продуктивності кожного з них.

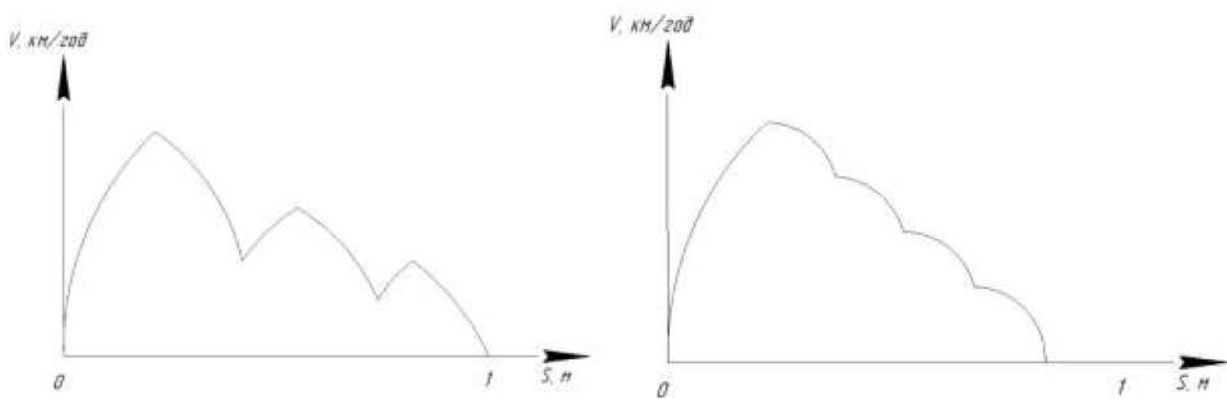


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення напіврейсу розгону і уповільнення при виконанні серійних поштовхів і при потоковому сортуванні

При серійних поштовхах, вперше застосованих складачем станції Кусково Н.Д. Гур'євим, напіврейс складався вже не з розгону і подальшого гальмування до зупинки, як при ізольованих поштовхах, а з серії розгону і уповільнень, що входять в один цикл від початку руху до зупинки локомотива. Процес сортування вагонів серійними поштовхами характеризується значним скороченням довжини напіврейсів і високою швидкістю маневрових пересувань, що дає можливість підвищити продуктивність роботи на витяжній колії.

В початку 1952 р складач станції Вспольє І.В. Архипов, значно розвинувши і удосконаливши процес маневрів серійними поштовхами, створив на його основі метод потокової (пульсуючою) сортування вагонів на витяжці, який дозволяє ще більше прискорити процес розформування составів. При

потоковому сортуванні вагонів сортувальний напіврейс складається з розгону, уповільнення і ряду коротких ступінчастих гальмувань (рисунок 1.2, б). Таким чином, за один розгін і ряд наступних гальмувань, що чергуються, і відпускань гальм локомотива, в сортувальний парк направляється до п'яти відчепів, в зв'язку з чим цей метод і отримав назву методу потокового сортування.

Продуктивність сортувального напіврейсу при потоковому сортуванні вище, ніж при серійних поштовхах, за рахунок економії часу на проміжних розгонах. Подальшим удосконаленням технології маневрової роботи на витяжках став створений в 1952 році складачем станції Львів-Головний І.О. Карашкевічем і маневровим машиністом М. Каширським метод сортування вагонів багатогрупними поштовхами. Вперше на практиці маневрів на витяжці одним поштовхом направляється кілька відчепів одночасно. При сортуванні вагонів багатогрупними поштовхами сортувальний напіврейс, так само як і при серійних поштовхах, складається з серії розгону і уповільнень, різниця полягає лише в тому, що перед кожним поштовхом відчіплюється не одна, а кілька груп вагонів, які на початку гальмування відриваються від складу і йдуть в парк. У порівнянні з маневрами серійних поштовхів швидкість кожного поштовху тут повинна бути дещо підвищеною. Застосований метод в 1953 році на станції Стрий Львівської дороги складачем І.І. Чернелевський і машиністом О.Ф. Сушковим. Розташування витяжки на суцільному ухилі при середній величині його близько 3 ‰ забезпечує безперервний і досить рівномірний рух составу, який сортується, а наявність перед стрілочною зоною короткої площадки сприяє стисненню автощеплень і полегшує розчеплення вагонів. Наявність перед першою стрілкою і на початку корисної довжини сортувальних колій скидачів башмаків забезпечує можливість регулювання швидкостей руху составу і різних відчепів. Такий пристрій за принципом дії може бути віднесено до сортувальних пристроїв найпростішого типу. Нові методи проведення маневрової роботи привели до зміни параметрів сортувальних пристроїв і наблизили процес сортування вагонів на витяжках до гіркового процесу розпуску составів.

Застосування цих методів вимагало серйозного перегляду ряду положень в області проектування станцій. Необхідно було ретельно розробити теоретичні основи проектування плану і профілю витяжок і горловин сортувальних парків.

Питання впливу профілю витяжок на техніку виконання і організацію маневрів поштовхами до середини 40-х років ХХ століття серйозному аналізу не піддавався. Стосовно до профілю і, пристосовуючись під нього, визначалася техніка і організація виконання маневрів поштовхами. При роботі на таких витяжках з випадковими ухилами часто зустрічалися серйозні труднощі. Тому в процесі експлуатації для забезпечення потрібного режиму сортування профіль коректувався господарським способом. Витяжки формування в багатьох випадках були доцільні і на гіркових станціях. Тут вони могли бути використані для повторного сортування вагонів в процесі формування збірних, групових, внутрішньо вузлових поїздів. Цікавим з точки зору вирішення завдань проектування і експлуатації негіркових сортувальних пристроїв є питання про проектування плану і профілю гірок і напівгірок (застаріла назва пристрою). Обидва сортувальні пристрої призначалися для однієї мети – прискорити і здешевити сортувальні маневри.

Слід зазначити основна відмінність напівгірки від витяжної колії при розформування составів поштовхами полягає в тому, що напівгірка призначена в основному для маневрової роботи серійними, пульсуючими і багатогрупними поштовхами, а витяжна колія – для маневрів осаджуванням і поодиноким ізольованим поштовхів.

Спочатку напівгірками вважали всі сортувальні гірки малої потужності, принцип роботи на яких був гірковий. Процес маневрової роботи на напівгірці відрізняється від маневрів на гірці і витяжці, займаючи за своїм характером деяке середнє положення між ними. Розпуск вагонів на напівгірці проводився за рахунок використання сили тяжіння вагонів на ухилі в поєднанні з додатковою силою поштовху від маневрового локомотива. Потреба в додатковій енергії, переданої відчепу від локомотива, виникала особливо в зимовий період (в тому числі внаслідок експлуатації вагонного парку на підшипниках ковзання). Тому

на багатьох напівгірках і гірках малої потужності влаштовувалися два горби – для роботи в зимовий і літній період.

Однак, як для напівгірки, так і для витяжної колії при роботі поштовхами характерні наступні особливості:

- невелика сила штовхання;
- достатня дальність пробігу відчепів;
- висока швидкість проходження відчепів по стрілочній зоні;
- різке зниження швидкості відчепа при вступі на сортувальні колії.

При низьких швидкостях штовхання підвищується ефективність методів швидкісного сортування вагонів на витяжках.

Дослідження показують, що сила поштовху на напівгірці, відповідна необхідній дальності пробігу вагонів на колії парку, залежить тільки від її висоти (розрахункової різниці відміток точки відриву вагонів на витяжці і місця їх зупинки на коліях парку) і майже не залежить від профілю напівгірки. Швидкість же слідування вагонів по стрілочній зоні залежить від типу профілю спускної частини напівгірки. Розрахунок висоти напівгірки проводився, виходячи з умови, щоб при найсприятливіших умовах спуску дуже хороший бігун, спущений з мінімальною швидкістю на найлегшу за опором колію, входив в парк зі швидкістю не більше 4,5 м/с. Розрахункова швидкість поштовху приймалася рівною 5 км/год. з урахуванням можливого відхилення в бік збільшення.

При таких умовах можливо завжди регулювати швидкості руху відчепів. Дослідження показали [13], що ухил насувної частини напівгірки в напрямку сортування скорочує довжину розгону составу, що розформовується, але при цьому значно збільшує довжину уповільнення і загальну довжину витяжки. Тому початкова ділянка від упору витяжки до зони відриву відчепів рекомендується розташовувати на площадці. Розташування витяжної колії на площадці також забезпечує мінімальні загасання зворотно-коливальних рухів составу при потоковому сортуванні вагонів. Зону ж відриву відчепів слід розташовувати на ухилі, еквівалентному середній величині питомого опору відчепа. Такий ухил

забезпечує збереження досягнутої швидкості поштовху для більшості відчепів із середнім опором при вільному їх русі, а також до утворення інтервалів між відчепами при багатогрупних поштовхах, що дозволяє обходитися без інтервального гальмування вагонів.

Згідно [6] визначення довжини витяжної колії і зони відриву відчепів слід проводити за швидкістю поштовху, що забезпечує прохід розрахункового бігуна з питомим опором порядку 3-3,5 Н/кН до розрахункової точки, за яку рекомендувалося приймати точку, віддалену на 200 м від останнього граничного стовпчика середньої за опором колії. За цим методом весь состав розформовувався одним поштовхом. Такі маневри можливі лише на витяжках особливого профілю з ухилом в бік сортувальних колій. Спускна частина таких пристроїв розраховується звичайним порядком на основі загальних положень. Швидкість руху составу повинна визначатися з урахуванням забезпечення між усіма відчепами інтервалів на стрілках і уповільнювачах.

Профіль насувної частини гірки протягом довжини поїзда найдоцільніше окреслювати по лінії вертикальної кривої по колу великого радіусу, приймаючи початкові ухили близькими до нуля, а кінцеві, які межують зі швидкісним ухилом – близько 6-7 ‰, що забезпечує рух одиночних поганих бігунів в несприятливих умовах. Середній ухил насувної частини гірки повинен бути еквівалентним середній величині питомого опору рухомого складу 3-3,5 ‰. З огляду на труднощі влаштування та утримання профілю насувної частини гірки, окресленого по круговій кривій великого радіусу, можна допустити також його обрис по ламаній лінії. Широке застосування тяги тепловоза на маневрах в значній мірі сприяло витісненню пристроїв, на яких було потрібно сортувати відчепа поштовхами. Перехід на гіркові конструкції дозволив при сортуванні вагонів використовувати режим насунання составу, що полегшило роботу з управління маневровим локомотивом і розчіплювання вагонів.

Вже до 1945-1947 років було накопичено значну кількість фактів, які переконливо свідчили, що базою для глибокого і всебічного вивчення маневрів може стати метод тягових розрахунків, що спирається на закони механіки.

Пізніше даний підхід до вивчення маневрової роботи зайняв міцні позиції серед провідних інженерів залізничників і набув широкого поширення. Сьогодні на основі тягових розрахунків вивчаються складні системи взаємодії рухомого складу і локомотивів, нормується виробнича діяльність транспортних підприємств, контролюється процес роботи великих сортувальних станцій і маневрових районів.

Визначення технологічних параметрів негіркового сортувального пристрою (кількості вагонів в групі, розподілу складу на частини, швидкості виконання поштовху) неможливо без визначення витрат енергії, витраченої на переміщення вагонів, обумовленої пробігом маневрового локомотива і впливом конструкції сортувального пристрою.

При оцінці впливу маси маневрового складу на сумарні витрати енергії, пов'язані з виконанням маневрів на витяжних коліях, недостатньо враховувалися такі фактори:

- збільшення довжини маневрового складу збільшує тривалість його перестановки на витяжну колію, пробіг рухомого складу при виконанні напіврейсу і витрати енергії;

- розподіл складу на частини при розформуванні може бути обумовлений не тільки швидкістю і ефективністю розформування, а й необхідністю звільнення приймально-відправної колії, зайнятого складом;

- можливість проведення маневрової роботи поштовхами не тільки для відчепів, що складаються з невеликої кількості вагонів (як правило, для відчепів великої маси і довжини використовують осаджування).

З ростом числа вагонів у складі зростають і витрати на маневрову роботу. Визначення оптимальної величини частини розформування складу дозволяє скоротити витрати часу і енергії, як на розформування, так і витрати на підбір вагонів в групі (для зменшення числа відчепів) на станціях формування. В даний час передовим методом вивчення різних процесів є імітаційне моделювання.

На залізничному транспорті даний метод застосовується в різних сферах, орієнтованих як на великі об'єкти, так і на окремі напрямки діяльності. Одним з

найкращих методів вивчення процесу руху маневрового складу з локомотивом є імітаційне моделювання. Даний метод заснований на чисельному способі вирішення диференціального рівняння руху, зокрема, на методі Ейлера. Імітаційне моделювання дозволяє відтворювати в формі комп'ютерної моделі всі істотні сторони реального процесу руху і визначати при цьому його числові характеристики. Зокрема, швидкість руху в будь-який момент, тривалість ходу, витрати палива або електроенергії на тягу та ін.

Питання дослідження динаміки руху поїздів, маневрових складів і окремого відцепу з використанням імітаційного моделювання був висвітлений в ряді наукових праць, зокрема :

- при скочуванні відцепів з гірок;
- при перестановці маневрового складу з сортувального парку в парк відправлення.

Одним з найважливіших заходів, спрямованих на збільшення переробної спроможності станцій і вузлів було вдосконалення найпростіших сортувальних пристроїв – витяжних колій і напівгірок. Негіркові сортувальні пристрої можуть бути основними і допоміжними пристроями на сортувальних, дільничних і вантажних станціях. Основний сортувальний пристрій часто проектується для переробки транзитного вагонопотоку; допоміжний пристрій зазвичай призначається для детальної переробки місцевих вагонопотоків. Негіркові сортувальні пристрої в якості допоміжних пристроїв, як правило, використовуються для повторного сортування вагонів місцевих і дрібних призначень.

Застосування передових технологій в маневровій роботі завжди було спрямовано на прискорення переробки вагонів і подальшого вдосконалення всього технологічного процесу роботи на станціях світу. Фахівці США, Канади і низки інших країн працюють над зниженням обсягів додаткового сортування вагонів за рахунок концентрації переробки на добре технічно оснащених станціях з розвиненими сортувальними пристроями. При цьому проводиться попередня ретельна добірка груп вагонів на початкових станціях формування

поїздів. В результаті поїзди, як правило, складаються з двох-трьох груп і прямують на всьому маршруті без додаткового сортування вагонів. При цьому простої вагонів у вузлах скорочуються на 50%, прискорюється доставка вантажів споживачам.

У 1991-1992 рр. на мережі польських державних залізниць почали впроваджувати нову систему організації вантажного руху. Сортувальна робота була сконцентрована на 13 сортувальних станціях, які формують поїзди на інші сортувальні та прилеглі, так звані, маневрові станції. Близько 200 маневрових станцій, що мають від 3 до 10 маневрових локомотивів, формують поїзди тільки до 1-2 найближчих сортувальних станцій та для подачі на вантажні фронти як самої станції, так і прилеглих проміжних роздільних пунктів. Число сортувальних і маневрових станцій було скорочено з метою концентрації перевезень і більш ефективного використання коштів. Концентрація сортувальної роботи пов'язана з трьома обставинами:

- посиленням тенденції до концентрації сортувальної роботи на меншій кількості великих технічно оснащених станцій та збільшення довжини колій у зв'язку з ростом маси і довжини поїздів;

- концентрацією сортувальної роботи у вузлах на сортувальних станціях з перенесенням на них з вантажних станцій роботи по збірці вагонів по вантажним районам і фронтах;

- механізацією і автоматизацією сортувального процесу.

Тому на залізницях США, Канади, Великобританії, Франції та інших країн здійснювалося будівництво нових потужних сортувальних станцій і реконструкція існуючих. Було визнано, що експлуатація невеликого числа великих сортувальних станцій коштує дешевше, ніж експлуатація багатьох малих сортувальних пристроїв. Те, що відбувається при такому об'єднанні вагонопотоків сприяє збільшенню числа формованих на далекі відстані одноступінних поїздів. Тому почалося будівництво найбільших сортувальних станцій при одночасному закритті малопотужних систем переробки вагонів.

Однак найчастіше в великих містах не доводиться говорити про розвиток сортувальних станцій через відсутність можливості розширення територій. І, перш за все, це стосується вантажної і сортувальної роботи. Об'єднання сортувальної роботи при зростаючому вагонопотоці неможливо, і виникає питання про винесення маневрової роботи на передвузлові станції. Даний підхід також слід враховувати при винесенні промислового виробництва за межі міста.

В період формування теорія розрахунку негіркових сортувальних пристроїв ґрунтувалася на використанні практичного досвіду експлуатації і узагальнення результатів передових прийомів роботи. Згодом теорія проектування сортувальних пристроїв отримала розвиток, основні положення якої були сформульовані для більш досконалих пристроїв – сортувальних гірок. При цьому для розрахунку негіркових сортувальних пристроїв застосовувалися аналогічні підходи.

1.3 Аналіз теорії проектування негіркових сортувальних пристроїв і перспективних технічних засобів для виконання маневрової роботи

Робота з розформування составів на сортувальних станціях є однією з головних елементів процесу переробки вагонопотоків. Для розформування составів на станціях широко використовуються гіркові і негіркові сортувальні пристрої, а саме:

- гіркові – сортувальні гірки підвищеної (ГПП), великої (ГВП), середньої (ГСП) і малої (ГМП) потужності, на яких рух вагонів відбувається під дією сили їх тяжіння;

- безгіркові – витяжні колії зі стрілочними горловинами на площадці або ухилі, на яких сортування вагонів здійснюється поштовхами або осаджуванням з використанням локомотива.

Для виконання функцій основних або допоміжних сортувальних пристроїв проектується гірки з сортувальними парками, потужність і основні параметри

колійного розвитку яких приймаються в залежності від потрібної переробної спроможності $N_{\text{потр}}$ і кількості сортувальних колій (таблиця 1).

Таблиця 1.1 – Класифікація сортувальних гірок

Потужність гірки	$N_{\text{потр}}$, ваг/добу	Кількість колій				Примітки
		сортувальних	насуву	спускних	обхідних	
ГМП	250 – 1500	4 – 16	1	1	1	Послідовний розпуск составів
ГСП	1501 – 3600	17 – 24	1	1	1	
		25 – 32	2	2/1	1(2)	
ГВП	3601 – 4800	33 – 40	2	2	2	Паралельний розпуск составів
	4801 – 6000	41 – 48	3	3/2	2	
ГПП	понад 6000	49 – 64	4(5)	3/2	2	

Найранніші рекомендації, що стосуються параметрів негіркового сортувального пристрою при роботі поштовхами, були пов'язані з визначенням його висоти аналогічно розрахунку висоти сортувальної гірки, а також з розташуванням головної частини сортувального парку на ухилі 2–2,5 ‰ в напрямку сортування для найбільш ефективного виконання маневрів поштовхами. Більш докладні рекомендації щодо проектування даного сортувального пристрою було викладено в Інструкції з проектування станцій та вузлів 1978 року.

Згідно [1] висоту негіркового сортувального пристрою зі спеціальним профілем слід проектувати з розрахунку забезпечення проходу поганих бігунів при несприятливих умовах скочування до розрахункової точки, обраної на відстані від 12 до 50 м за граничним стовпчиком. При цьому рекомендується приймати початкову швидкість скочування поганого бігуна в точці початку вільного скочування при несприятливих умовах рівню 4,5 м/с, а швидкість входу вагонів з числа хороших і дуже хороших бігунів на гальмовий башмак не повинна перевищувати на спускній частині 4,5 м/с, а в сортувальному парку – 3,5 м/с. Швидкісний ухил витяжних колій спеціального профілю рекомендується проектувати крутизною не менше 20 ‰.

Стрілочну зону витяжних колій спеціального профілю проектують на спуску до 2,5 ‰, а в маневрових районах, де сортуються тільки легкі і порожні вагони – до 4 ‰; першу третину парку сортування слід розташовувати на спуску з ухилом не більше 0,8-1,2 ‰. Дільницю видалення витяжних колій спеціального профілю рекомендується проектувати на спуску в напрямку сортування, крутизною 3-3,5 ‰ і довжиною 40-80 м; дільницю витяжної колії, що примикає до неї, довжиною 350 м – на середньому підйомі до 3-4 ‰. Елемент довжиною не менше 50 м, що сполучається безпосередньо з дільницею видалення, повинен бути розташований на підйомі 4-6 ‰.

Дані рекомендації не увійшли до діючих галузевих будівельних норм. Вони містять вимоги до параметрів поздовжнього профілю негіркових сортувальних пристроїв у вигляді діапазонів допустимих значень для витяжної колії і стрілочної зони, чого явно недостатньо для прийняття обґрунтованих рішень при проектуванні цих пристроїв, особливо при використанні технології розформування составів поштовхами. При цьому є наступні очевидні недоліки:

- ставляться однакові вимоги до параметрів негіркових сортувальних пристроїв при роботі поштовхами (не робиться розходження у способі виконання поштовхів);

- не викладено методи і вимоги до розрахунку довжини витяжної колії негіркових сортувальних пристроїв при роботі поштовхами;

- відсутній взаємозв'язок між структурою переробки вагонопотоків і застосуванням тих чи інших нормативів (маються тільки вказівки зі зміни параметрів елементів негіркових сортувальних пристроїв при переробці переважно порожніх вагонів);

- не викладено методи визначення швидкості виконання поштовхів;

- конструкція плану і поздовжнього профілю негіркових сортувальних пристроїв не зв'язується з технологією розформування і формування составів;

- відсутні вказівки щодо використання значень ухилів різних дільниць сортувального пристрою з рекомендованими діапазонами.

Швидкість при маневрах поштовхами регламентована чинними правилами технічної експлуатації залізниць України і не повинна перевищувати 5 км/год. Для стрілочної зони в даний час діють правила і норми проектування, які встановлюють граничні значення ухилу, обмежені спуском не крутіше 1,5 ‰. Очевидно, що вказане значення ухилу передбачає використання високих швидкостей поштовху окремих відцепів для забезпечення високого ступеня заповнення колій парку і необхідного рівня переробної спроможності сортувального пристрою. Колії парку проектуються за правилами і нормам проектування сортувальних колій.

При проектуванні негіркових сортувальних пристроїв в США на основі даних, що наведені у [16], закладаються наступні параметри:

- швидкість виконання поштовху від 1,7 до 4,5 м/с;
- швидкісний ухил стрілочної зони від 5 до 15 ‰;
- стрілочна зона на ухилі від 3 до 5 ‰;
- початкова частина сортувального парку на ухилі 2,5 ‰;
- середина сортувального парку проектується на горизонтальній площадці;
- у вихідній частині парку влаштовується протиухил крутизною від 3 до 5 ‰.

Протяжність ухилу може перевищувати 100 м. Внаслідок того, що стрілочна горловина може досягати декількох сотень метрів, проектувальниками відзначаються випадки зупинки відцепів через погані ходові характеристики вагонів і метеорологічні умови.

Слід зазначити, що сьогодні в світі питання підвищення ефективності виконання маневрової роботи залишається актуальним. Висока ефективність даного виду робіт пов'язана в першу чергу з мінімальними витратами на тягу, більш досконалою процедурою виконання маневрів, новими алгоритмами даної роботи і розробленими на їх основі програмними комплексами. Застосування нових технологій в сфері автоматики і телемеханіки дозволяє збільшити безпеку, більш ефективно використовувати маневрові засоби, задіяти меншу кількість працівників.

В США негіркові пристрої мають велике число сортувальних колій і високі (щодо Укрзалізниці) обсяги переробки, що викликає необхідність підвищення темпу сортування і обумовлює застосування більш крутих ухилів поздовжнього профілю.

Крім розвитку тягового рухомого складу, спеціалізованого для проведення маневрової роботи, розроблено пристрої, здатні пересувати вагони на ділянці без ухилу зі швидкістю 5 км/год. Такі пристрої можуть замінити маневрові локомотиви, лебідки тощо. Пристрій Maxi Railcar Mover може рухатися в різних напрямках і швидко окупається при використанні на залізничних терміналах. Це багатофункціональний транспортний засіб на комбінованому рельсо-колісному ході, для переміщення важких локомотивів, вагонів, составів. Пристрій Maxi Railcar Mover може бути обладнаний різними типами двигунів, що працюють на дизельному паливі, бензині, зрідженому газі, батареях.

Сучасні системи автоматичного виконання маневрових операцій з використанням радіозв'язку мають суттєві переваги. Децентралізоване управління поста централізації маневрових районів має високу надійність, знижує завантаження маневрового диспетчера, прискорює маневрові операції, має переваги в порівнянні з централізованим управлінням з точки зору економічної та експлуатаційної ефективності [17].



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд пристрою Maxi Railcar Mover

Переваги пристрою Maxi Railcar Mover:

- зменшує витрати на аренду і/або обслуговування маневрового локомотива;
- працює на різних видах палива;
- має міцну конструкцію, що забезпечує багатолітню низьковитратну службу;
- пристрій управляється дистанційно (з пульта керування).

Недоліки пристору Max Railcar Mover:

- великі експлуатаційні витрати;
- виникають труднощі роботи взимку та в дощову погоду;
- низька швидкість переміщення.

Поряд з технічними розробками удосконалюються і наукові методи оптимального управління маневровою роботою. На їх основі можна розробити математичну модель маневрової роботи будь-якої вантажної станції з урахуванням конкретних технологічних обмежень, що дозволяє оптимально управляти маневровою роботою за критерієм мінімізації експлуатаційних витрат.

1.4 Аналіз конструкцій негіркових сортувальних пристроїв закордонних станцій

На сортувальних станціях Японії відзначається велике збільшення вантажних перевезень і тому вони мають намір реконструювати свої сортувальні станції. Для прискорення процесу формування-розформування, японські фахівці застосовують оригінальні інженерні рішення. У хвостовій частині сортувального парку споруджено групувальний парк типу «ялинка» (рисунок 4.1), що складається з трьох колій, поділених на секції за допомогою потрійних стрілочних переводів (W).

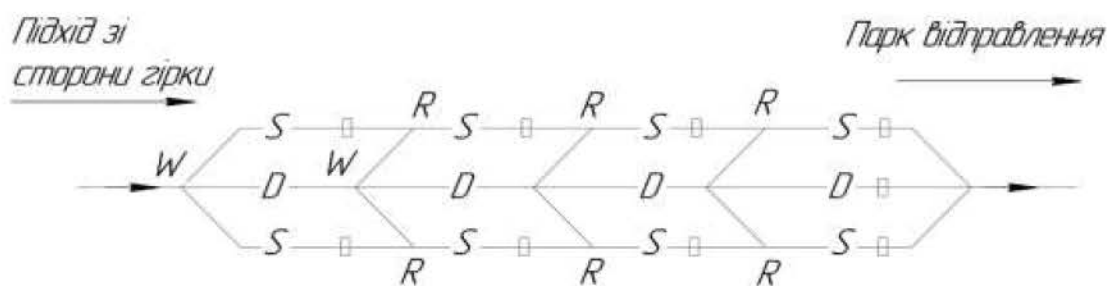


Рисунок 1.4 – Груповий парк типу «ялинка»

Середня колія є ходовою (D), а секції крайніх колій (S) призначені для накопичення груп вагонів. Вони спеціалізовані таким чином, щоб при складанні накопичених груп вагонів формувалася склад багатогрупного поїзда. В кінці кожної секції крайньої колії перед стрілкою встановлені спеціальні буфери-упори для зупинки вагонів накопичувальних груп, які перед з'єднанням груп утоплюються і не перешкоджають руху вагонів. Колії групового парку мають ухил в напрямку сортування, а середня ходова колія обладнана, крім того, прискорювачами-уповільнювачами. Переваги групового парку типу «ялинка»:

- конструкція дозволяє формувати багатогрупні поїзди без участі локомотива;
- значна пропускна спроможність;
- максимальна потоковість виконання основних технологічних операцій;
- виконується одночасне групування багатогрупного составу;
- займає невелику довжину станційної площадки, що дозволяє побудувати парк вже на спроектованій станції;
- менший експлуатаційний штат.

Недоліки групового парку типу «ялинка»:

- велика вартість на обслуговування та побудову схеми в наслідок складної конструкції елементів (буфе-упор, прискорювачи-уповільнювачи, віджимна стрілка, потрійні стрілочні переводи);
- складність обслуговування при повторній переробці вагонів;
- великий термін окупності такої схеми.

Формування багатогрупних составів на витяжній колії є досить тривалим процесом, особливо коли число груп значно перевищує число наявних для формування колій. Виходячи з цього М.Н. Норматовим і В.І. Аксьоновим в 1974 році було впроваджено секціонування колій сортувальних парків станції для переробки місцевого вагонопотоку та обґрунтовано його ефективність. Зазначене конструкційне рішення дозволило формувати багатогрупні состави практично без необхідності виконання витягування / збірки і повторного сортування вагонів [18].

Секціонування трьох колій для підбірки вагонів дозволяє без повторного сортування формувати состав з числом груп, що не перевищує сім (номера груп вагонів строго закріплені за відповідними секціями). Однак слід зазначити, що крім обмеженості числа груп в составі при формуванні на зазначеному пристрої, також важливою умовою є приблизно однакова довжина кожної групи, що не перевищує довжини закріпленої за цією групою секції.

Сортування вагонів здійснюється тільки їх осаджуванням з витяжної колії на відповідну секцію за допомогою маневрового локомотива. Використання профільованої витяжної колії або напівгірки дозволило б скоротити тривалість сортування вагонів по секціях. Однак виникає проблема докочування вагонів, що мають призначення на далекі секції через незначну висоту сортувального пристрою. Крім того, до недоліків запропонованого пристрою слід віднести необхідність точного обліку параметрів груп вагонів (які можуть змінюватися від составу до составу).

Подібне рішення для формування двох- і трьохгрупних поїздів в 1984 році було запропоновано Л.В. Абуладзе і О.Г. Біченевим [19]. Авторами вказувалося, що через недостатню кількість колій сортувальних парків для масового формування групових поїздів, секціонування колій сортувального парку і достатня їх довжина дозволить формувати як одnogрупні, так і багатогрупні поїзди, щоб забезпечити скорочення простоїв вагонів на станції і обсягу маневрової роботи на витяжках формування. Авторами також були запропоновані процедури для визначення довжини сортувальних колій,

призначених для накопичення групових поїздів. Подальший розвиток питання спеціалізації сортувальних колій вивчався в наукових роботах Г.Ш. Телії. Їм були запропоновані різні конструкції передгіркового парку для формування групових поїздів і переробки місцевих вагонів [20]. Слід зазначити що, незважаючи на ефективність та економічність, секціонування сортувальних колій або групових парків практично не використовується для прискорення формування групових поїздів при будівництві нових станцій.

На рисунку 1.5 наведено станцію з роздавальними кільцевими коліями, на якій забезпечується максимальна потоковість операцій. З прилеглих підходів поїзди приймаються в об'єднаний парк прийому. Звідки вагони, рухаючись по кільцевих роздавальних коліях, розподіляються по сортувальних коліях в три парки на кожен напрям.

В кінці кожної кільцевої колії розміщені парки накопичення порожніх вагонів і вагонів, що повторно сортуються. З парку вагонів, що повторно сортуються, останні можуть по петльовій колії знову потрапити в парк приймання для подальшого сортування [21].

Вихідні горловини сортувальних парків з'єднані петльовою колією для складання та перестановки сформованих составів в парк відправлення.

Переваги схеми з роздавальними сортувальними коліями:

- максимальна потоковість операцій;
- завдяки колієпровідним розв'язкам станція має високу маневреність і пропускну спроможність;
- зручність в обслуговуванні транзитних поїздів;
- відносно незначний колійний розвиток станцій.

Недоліки схеми з роздавальними сортувальними коліями:

- перепробіги поїздів і рухомого складу;
- велике навантаження вагонопотоку на кільцеву колію, де виникає ризик затримок маневрових переміщень;
- необхідність широкої площадки;
- постійна робота маневрового локомотива.

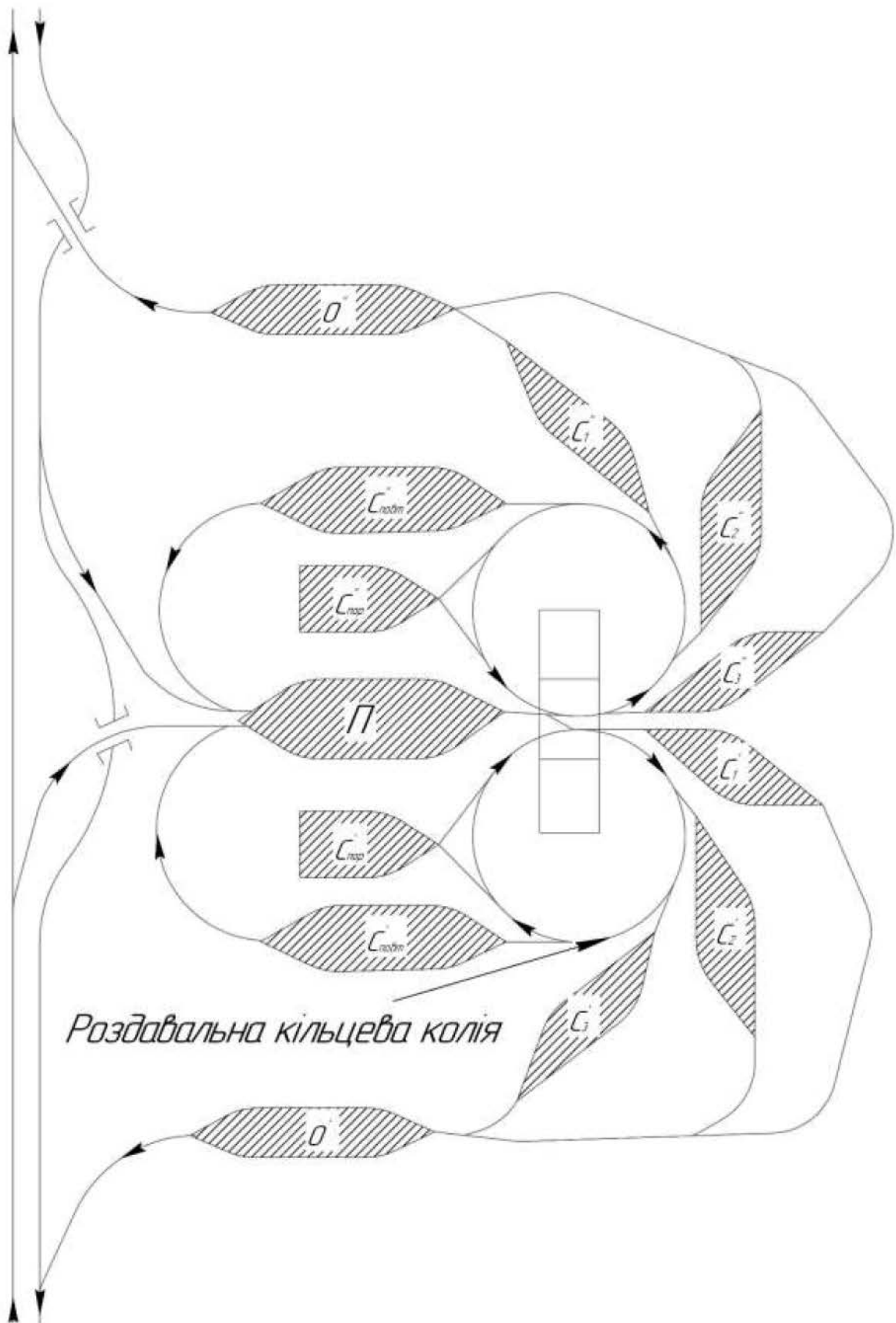


Рисунок 1.5 – Схема станції з роздавальними кільцевими коліями

Серед сучасних досліджень заслуговують уваги дослідження Бурдяка П.С. [22], який займався розробкою методів визначення параметрів негіркових сортувальних пристроїв. В своїх роботах він визначав витрати на маневрову роботу при розформування составів одиночними ізольованими поштовхами.

Даний метод дозволяє порівнювати варіанти конструкції витяжної колії, визначати оптимальну швидкість виконання поштовху, масу составу і відповідно визначати кількість частин, на які слід ділити состав при розформуванні. Їм було розроблено імітаційну модель сортування вагонів одиночними ізольованими поштовхами з використанням негіркового сортувального пристрою. Швидкість виконання поштовху прийнято 5 км/год., ухил витяжної колії – 2,5 ‰. При розформуванні состава масою 6000 т переробна спроможність пристрою склала 9,2 составів/добу (644 ваг./добу). Це в 2,5 рази більше ніж зазначено в галузевих будівельних нормах.

Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що діючі норми проектування негіркових сортувальних пристроїв не повною мірою відображають специфіку їх конструкції і технології роботи. Необхідні додаткові дослідження, спрямовані на уточнення сучасних норм проектування.

2 Розробка процедури розрахунку витрат дизельного палива і часу на виконання маневрового напіврейсу на негіркових сортувальних пристроях

2.1 Підходи до розрахунку витрат дизельного палива і часу на виконання маневрового напіврейсу на негіркових сортувальних пристроях

У [23] нормування витрат дизельного палива на маневрову роботу здійснено шляхом дослідних поїздок. Годинну витрату палива визначено в залежності від температурних умов і величини виконання плану з кількості перероблених вагонів. Суттєвими недоліками даних норм є відсутність нормування витрат палива для конкретного типу напіврейсу, відсутність урахування структури вагонопотоку і конструктивних особливостей залізничних станцій. Методика дозволяє виконати лише приблизні розрахунки витрат палива.

У [24] побудовано імітаційну модель роботи сортувальної станції з використанням системи моделювання AnyLogic. Автори при моделюванні маневрової роботи, що виконується з використанням витяжної колії, враховують не тільки тривалість руху зі швидкістю, що встановилася, а й кількість вагонів у маневровому составі, тривалості розгону та уповільнювання. Процедури розрахунку витрат палива не розглядалися.

У [25] запропоновано розрахунок витрат палива здійснювати шляхом рішення диференційного рівняння руху маневрового составу. Моделювання маневрового пересування здійснюється у відповідності до конкретних умов: враховуються основні особливості маневрової роботи (безперервність зміни плану та профілю колії, стрілочних переводів та ін.). Таким чином, чисельне рішення вказаного рівняння дозволяє отримати достатньо точні результати розрахунків. Слід також зазначити, що з метою підвищення точності опису реальних умов роботи модель має можливість включення до неї додаткових елементів. Разом з тим, у [25] не зазначено, за яким алгоритмом задавалися позиції контролеру машиніста при виконанні маневрового напіврейсу.

У [26] для спеціалізованої обчислювальної підсистеми планування маневрової роботи на залізничному транспорті промислових підприємств було розроблено методику збору і обробки необхідної інформації з використанням інформаційно-структурної моделі. В якості інструменту інформаційної технології багатофакторного прогнозування тривалості маневрових операцій була обрана методика тягових розрахунків, адаптована під умови промислового залізничного транспорту. Це дозволило застосувати процедуру, що враховує тип маневрового напіврейсу і зміну сили тяги локомотива в залежності від позиції контролера машиніста. Запропонована процедура дає можливість отримати точні часові та паливні витрати при відомій довжині напіврейсу. Поряд з цим, у [28] доведено, на яких позиціях контролера машиніста мають місце найменші витрати дизельного палива, однак при цьому не зазначено, яких саме моделей маневрових локомотивів це стосується.

У [27-29] теж запропоновано моделі для розрахунку витрат паливно-енергетичних ресурсів на виконання маневрових операцій, однак вони зорієнтовані на гіркові технологічні процеси.

У [30] запропоновано процедуру змішаної цілочисельної лінійної програми, яка дозволяє вирішити проблему пересортування вагонів на станції з використанням безгіркових сортувальних пристроїв. На основі моделювання були мінімізовані загальні витрати при проведенні маневрових операцій за рахунок зменшення часу на сортування в залежності від параметрів плану і профілю сортувальної станції та кількості вагонів різних типів. Однією з цілей роботи є зниження експлуатаційних витрат на критично важливий ресурс, який використовує маневровий локомотив. Але робота більш зорієнтована на пересортування вагонів за рахунок зменшення кількості маневрових напіврейсів.

У [31] розглядаються проблеми моделювання роботи сортувальної станції. Акцент робиться на побудову віртуального вузла (комп'ютерна модель реального вузла) та моделювання роботи в рамках віртуального середовища з використанням програмного пакета Virtuos. VIRTUOS – це програмний інструмент, який служить для створення віртуальної сортувальної станції і

віртуальних потоків поїздів. Контролювати роботу моделі можна візуально (всі дії анімовані та виводяться на екран) в реальному часі. Система може розпізнавати та використовувати технічну документацію яка створена в AUTOCAD. Таким чином, імітаційним шляхом можна збільшити пропускну спроможність сортувальних пристроїв. Однак в роботі не наведено процедури для рішення цих завдань.

2.2 Формування процедури розрахунку витрат дизельного палива і тривалості виконання маневрових пересувань при сортуванні вагонів

На даний момент для сортування вагонів на витяжних коліях застосовують два основних способи: маневри осаджуванням і маневри поштовхами. Перший технологічний спосіб є найменш раціональним, оскільки має найбільші витрати часу на виконання маневрового напіврейсу. Однак у нього є і певні суттєві переваги. Цими перевагами є відсутність «вікон» на коліях сортувального парку, випадків перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів і застосування ручної праці регулювальників швидкості руху вагонів, що має місце на сортувальних гірках і при маневрах поштовхами. Таким чином, даний спосіб забезпечує найбільшу якість сортувального процесу.

Для визначення обсягів переробки, при яких економічно доцільно застосовувати негіркові сортувальні пристрої із використанням маневрів осаджуванням, основну увагу слід звернути на розрахунок витрат дизельного палива і тривалості виконання маневрових напіврейсів. Зазначені показники є одними з вирішальних при техніко-економічному обґрунтуванні застосування того чи іншого сортувального пристрою.

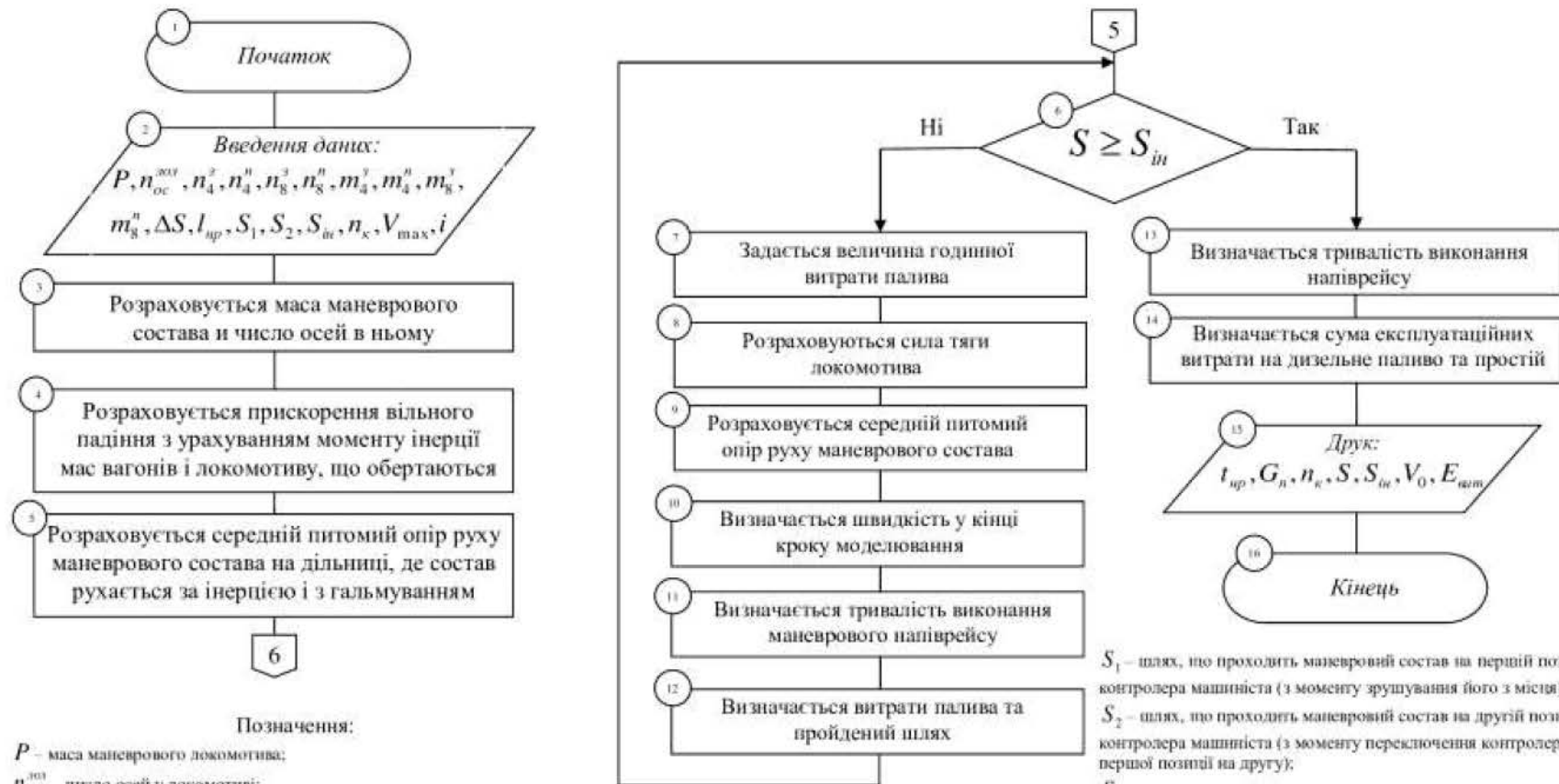
Маневровий напіврейс, як відомо, є поєднанням декількох елементів, до яких відносяться розгін, гальмування, рух зі швидкістю, що встановилася, та рух за інерцією. Вибір раціонального типу напівресу з точки зору мінімальних сумарних експлуатаційних витрат на дизельне паливо і витрат, пов'язаних з простоям рухомого складу, є окремим дослідженням.

Для розробки процедури розрахунку витрат дизельного палива і тривалості виконання маневрових напіврейсів оберемо тип маневрового напіврейсу, що містить такі елементи: розгін, рух зі швидкістю, що встановилася, рух за інерцією та гальмування (за необхідності). При цьому слід зазначити, що визначення раціональної основної позиції контролера машиніста для розгону і руху зі швидкістю, що встановилася, теж є важливим завданням з мінімізації зазначених вище експлуатаційних витрат.

Узагальнену процедуру розрахунку витрат дизельного палива (на прикладі тепловозу ЧМЕ-3) при виконанні маневрових напіврейсів на негіркових сортувальних пристроях і тривалості їх виконання можна представити у наступному вигляді (рисунок 2.1):

1) здійснюється введення:

- маси маневрового локомотива (P);
- числа осей у локомотиві ($n_{oc}^{лол}$);
- маси (m_4^z) і числа (n_4^z) завантажених чотиривісних вагонів;
- маси (m_4^n) і числа (n_4^n) порожніх чотиривісних вагонів;
- маси (m_8^z) і числа (n_8^z) завантажених восьмивісних вагонів;
- маси (m_8^n) і числа (n_8^n) порожніх восьмивісних вагонів;
- кроку моделювання (ΔS);
- довжини напіврейсу (l_{np});
- шляху (S_1), що проходить маневровий состав на першій позиції контролера машиніста (з моменту зрушування його з місця);
- шляху (S_2), що проходить маневровий состав на другій позиції контролера машиніста (з моменту переключення контролера з першої позиції на другу);
- основної позиції контролера машиніста (n_k), на якій здійснюються розгін маневрового состава і рух зі швидкістю, що встановилася (3-8 позиції для тепловоза ЧМЕ-3);



Позначення:

P – маса маневрового локомотива;
 n_{oc}^{tot} – число осей у локомотиві;
 n_4^z – маса завантажених чотиривісних вагонів;
 n_4^n – маса порожніх чотиривісних вагонів;
 n_8^z – маса завантажених восьмивісних вагонів;
 n_8^n – маса порожніх восьмивісних вагонів;
 ΔS – крок моделювання;
 n_k – основної позиції контролера машиніста, на якій здійснюються

m_4^z – число завантажених чотиривісних вагонів;
 m_4^n – число порожніх чотиривісних вагонів;
 m_8^z – число завантажених восьмивісних вагонів;
 m_8^n – число порожніх восьмивісних вагонів;
 $l_{шп}$ – довжини напіврейсу;
 V_{max} – максимально допустима швидкість маневрів;

S_1 – шлях, що проходить маневровий состав на першій позиції контролера машиніста (з моменту зрушування його з місця);
 S_2 – шлях, що проходить маневровий состав на другій позиції контролера машиніста (з моменту переключення контролера з першої позиції на другу);
 S_{in} – шлях, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням;
 i – середній ухилу колій в межах напіврейсу;
 V_0 – початкова швидкість, в момент відриву відчепи;
 $t_{шп}$ – час на виконання маневрового напіврейсу;
 G_n – витрати дизельного палива;
 $E_{вот}$ – сумарні експлуатаційні витрати на дизельне паливо та простій вагонів

Рисунок 2.1 – Узагальнена процедура витрат дизельного палива та часу на виконання маневрового напіврейсу

– шляху, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням ($S_{in.2}$);

– максимально допустимої швидкості маневрів V_{max} ;

– середнього ухилу колій в межах напіврейсу (i);

2) розраховується маса маневрового состава и число осей в ньому;

3) розраховується прискорення вільного падіння з урахуванням моменту інерції мас вагонів і локомотиву, що обертаються;

4) розраховується число вагонів у маневровому составі, частка завантажених і порожніх чотиривісних і восьмивісних вагонів;

5) визначається середній питомий опір руху маневрового состава на дільниці, де состав рухається за інерцією і з гальмуванням;

6) задаються умови перевірки величини пройденого шляху відповідно на першій, другій і основній позиціях контролера машиніста. Якщо умови не виконуються, в залежності від позиції контролеру задається величина годинної витрати палива, розраховуються сила тяги локомотива і питомий опір руху маневрового состава, визначається швидкість у кінці кроку моделювання, поточні тривалість виконання маневрового напіврейса, пройдений шлях і витрати дизельного палива. Якщо умови виконуються, здійснюється перехід до наступних блоків. Після виконання третьої умови розраховується середня тривалість руху состава за інерцією і з гальмуванням до повної його зупинки та виводяться на друк: тривалість маневрового напіврейсу (t_{np}), витрати дизельного палива на його виконання (G_n) та сумарні експлуатаційні витрати (E_{sum}).

Для розрахунку сили тяги локомотиву тепловозу ЧМЕ-3 $F_k(V)$, кН, де V – швидкість маневрового составу, м/с, пропонується використати наступні залежності:

$$F_k(V) = 70,07 \cdot e^{-0,31V} \text{ при позиції контролера } n_k = 1; \quad (2.1)$$

$$F_k(V) = 145 - 22,2 \cdot V \text{ при } n_k = 2 \text{ и } V \leq 1,8; \quad (2.2)$$

$$F_k(V) = 118,06 \cdot e^{-0,14V} \text{ при } n_k = 2 \text{ и } V > 1,8; \quad (2.3)$$

$$F_k(V) = 230 - 24,4 \cdot V \text{ при } n_k = 3 \text{ и } V \leq 4,3; \quad (2.4)$$

$$F_k(V) = 214,55 \cdot e^{-0,13 \cdot V} \text{ при } n_k = 3 \text{ и } V > 4,3; \quad (2.5)$$

$$F_k(V) = 277 - 20,5 \cdot V \text{ при } n_k = 4 \text{ и } V \leq 4; \quad (2.6)$$

$$F_k(V) = 269,16 \cdot e^{-0,11 \cdot V} \text{ при } n_k = 4 \text{ и } V > 4; \quad (2.7)$$

$$F_k(V) = 375 - 31,7 \cdot V \text{ при } n_k = 5 \text{ и } V \leq 3; \quad (2.8)$$

$$F_k(V) = 399,2 \cdot e^{-0,13 \cdot V} \text{ при } n_k = 5 \text{ и } V > 3; \quad (2.9)$$

$$F_k(V) = 411,76 - 17,39 \cdot V - 1,74 \cdot V^2 \text{ при } n_k = 6 \text{ и } V \leq 4; \quad (2.10)$$

$$F_k(V) = 397,34 \cdot e^{-0,08 \cdot V} \text{ при } n_k = 6 \text{ и } V > 4; \quad (2.11)$$

$$F_k(V) = 437,08 - 11,7 \cdot V - 1,92 \cdot V^2 \text{ при } n_k = 7 \text{ и } V \leq 4,5; \quad (2.12)$$

$$F_k(V) = 441,73 \cdot e^{-0,07 \cdot V} \text{ при } n_k = 7 \text{ и } V > 4,5; \quad (2.13)$$

$$F_k(V) = 450,72 - 8,49 \cdot V - 1,32 \cdot V^2 \text{ при } n_k = 8 \text{ и } V \leq 6,3; \quad (2.14)$$

$$F_k(V) = 465,63 \cdot e^{-0,06 \cdot V} \text{ при } n_k = 8 \text{ и } V > 6,3. \quad (2.15)$$

Питомий опір руху розраховується за формулою

$$w = w_o(V) + \beta_4^3 \cdot w_4^3(V) + \beta_4^n \cdot w_4^n(V) + \beta_8^3 \cdot w_8^3(V) + \beta_8^n \cdot w_8^n(V), \quad (2.16)$$

де β_4^3, β_4^n – частка чотиривісних завантажених і порожніх вагонів;

β_8^3, β_8^n – частка восьмивісних вантажених і порожніх вагонів;

$w_o(V)$ – питомий опір руху локомотива, Н/кН,

$$w_o(V) = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2; \quad (2.17)$$

$w_4^3(V), w_4^n(V), w_8^3(V), w_8^n(V)$ – питомий опір руху чотиривісних завантажених і порожніх вагонів, восьмивісних завантажених і порожніх вагонів, Н/кН,

$$w_4^3(V) = 0,7 + 4(3 + 0,1 \cdot V + 0,0025 \cdot V^2) / q_4; \quad (2.18)$$

$$w_4^n(V) = w_8^n(V) = 1 + 0,044 \cdot V + 0,00024 \cdot V^2; \quad (2.19)$$

$$w_8^3(V) = 0,7 + 8(6 + 0,038 \cdot V + 0,0021 \cdot V^2) / q_8, \quad (2.20)$$

де q_4, q_8 – середня маса чотиривісних і восьмивісних вагонів, т.

Швидкість маневрового составу у кінці кроку моделювання розраховується за формулою

$$V_k = \sqrt{V_n^2 + 2 \cdot g \cdot \Delta S \cdot \left(\frac{100 \cdot F_k}{P + Q_c} + i - w \right) \cdot 10^{-3}}, \quad (2.21)$$

де V_n – швидкість маневрового составу на початку кроку моделювання, м/с.

Запропоновану процедуру реалізовано у програмному середовищі Python.

Для оцінки витрат дизельного палива і тривалості виконання маневрового напіврейсу сформовано розрахунковий состав з кількістю вагонів 37, в тому числі чотиривісних завантажених – 20, чотиривісних порожніх – 7, восьмивісних завантажених – 4 і восьмивісних порожніх – 6.

Керуючись результатами моделювання, що наведені у таблиці 2.1, та враховуючи вартість дизельного палива і вартість вагоно-години простою вагонів на станції в процесі переробки, маємо оптимізаційну задачу визначення основної позиції контролера машиніста і шляху, що проходить состав за інерцією і з гальмуванням (рисунок 2.2, 2.3),

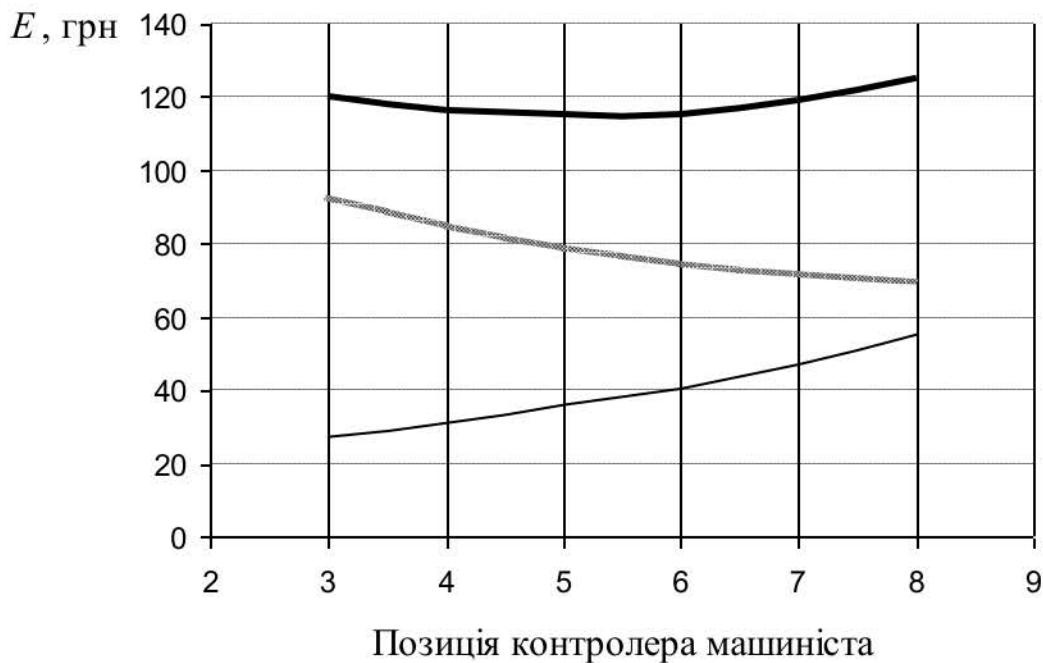
$$E = E(n_k, S_{in,z}) \rightarrow \min, \quad (2.22)$$

$$\begin{cases} 3 \leq n_k \leq 8; \\ S_{in,z}^{\min} \leq S_{in,z} \leq S_{in,z}^{\max}, \end{cases}$$

де $S_{in,z}^{min}, S_{in,z}^{max}$ – відповідно мінімальна і максимальна величина шляху, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням, м.

Виходячи з отриманих результатів, слід відзначити наступне:

- раціональними позиціями контролера машиніста для пересування розрахункового маневрового составу є четверта і п'ята;
- при четвертій позиції контролера машиніста раціональною величиною шляху, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням, є 120 м, при п'ятій позиції контролера машиніста – 210 м.



- експлуатаційні витрати на дизельне паливо
- експлуатаційні витрати, пов'язані з простоем рухомого складу
- сумарні експлуатаційні витрати

Рисунок 2.2 – Залежність сумарних експлуатаційних витрат на дизельне паливо і витрат, пов'язаних з простоем вагонів, від позиції контролера машиніста при довжині напіврейсу 500 м і величині шляху, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням, 280 м

Таблиця 2.1 – Результати моделювання маневрового пересування при довжині напіврейсу 500 м

Показник	Шлях, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням, м										
	80	105	130	155	180	205	230	255	280	305	330
Третя позиція контролера машиніста											
Витрати дизельного палива, кг	2,21	2,12	2,04	1,96	1,87	1,79	1,70	1,62	1,53	1,44	1,34
Тривалість виконання маневрового напіврейсу, хв.	3,95	4,04	4,14	4,24	4,34	4,44	4,55	4,66	4,85	5,09	5,38
Четверта позиція контролера машиніста											
Витрати дизельного палива, кг	2,61	2,52	2,43	2,33	2,24	2,14	2,03	1,92	1,81	1,69	1,57
Тривалість виконання маневрового напіврейсу, хв.	3,51	3,59	3,68	3,77	3,87	3,99	4,12	4,27	4,44	4,64	4,89
П'ята позиція контролера машиніста											
Витрати дизельного палива, кг	2,91	2,81	2,70	2,60	2,49	2,37	2,25	2,13	2,00	1,86	1,72
Тривалість виконання маневрового напіврейсу, хв.	3,31	3,37	3,45	3,53	3,62	3,73	3,84	3,97	4,13	4,32	4,55
Шоста позиція контролера машиніста											
Витрати дизельного палива, кг	3,43	3,29	3,15	3,02	2,88	2,75	2,61	2,46	2,30	2,14	1,97
Тривалість виконання маневрового напіврейсу, хв.	3,20	3,26	3,32	3,38	3,44	3,52	3,63	3,75	3,89	4,07	4,28
Сьома позиція контролера машиніста											
Витрати дизельного палива, кг	4,08	3,91	3,73	3,56	3,38	3,21	3,03	2,86	2,67	2,47	2,26
Тривалість виконання маневрового напіврейсу, хв.	3,16	3,22	3,28	3,34	3,40	3,46	3,52	3,62	3,75	3,92	4,13
Восьма позиція контролера машиніста											
Витрати дизельного палива, кг	4,89	4,67	4,44	4,22	4,00	3,98	3,56	3,34	3,11	2,88	2,63
Тривалість виконання маневрового напіврейсу, хв.	3,13	3,19	3,25	3,31	3,37	3,43	3,49	3,55	3,64	3,79	3,99

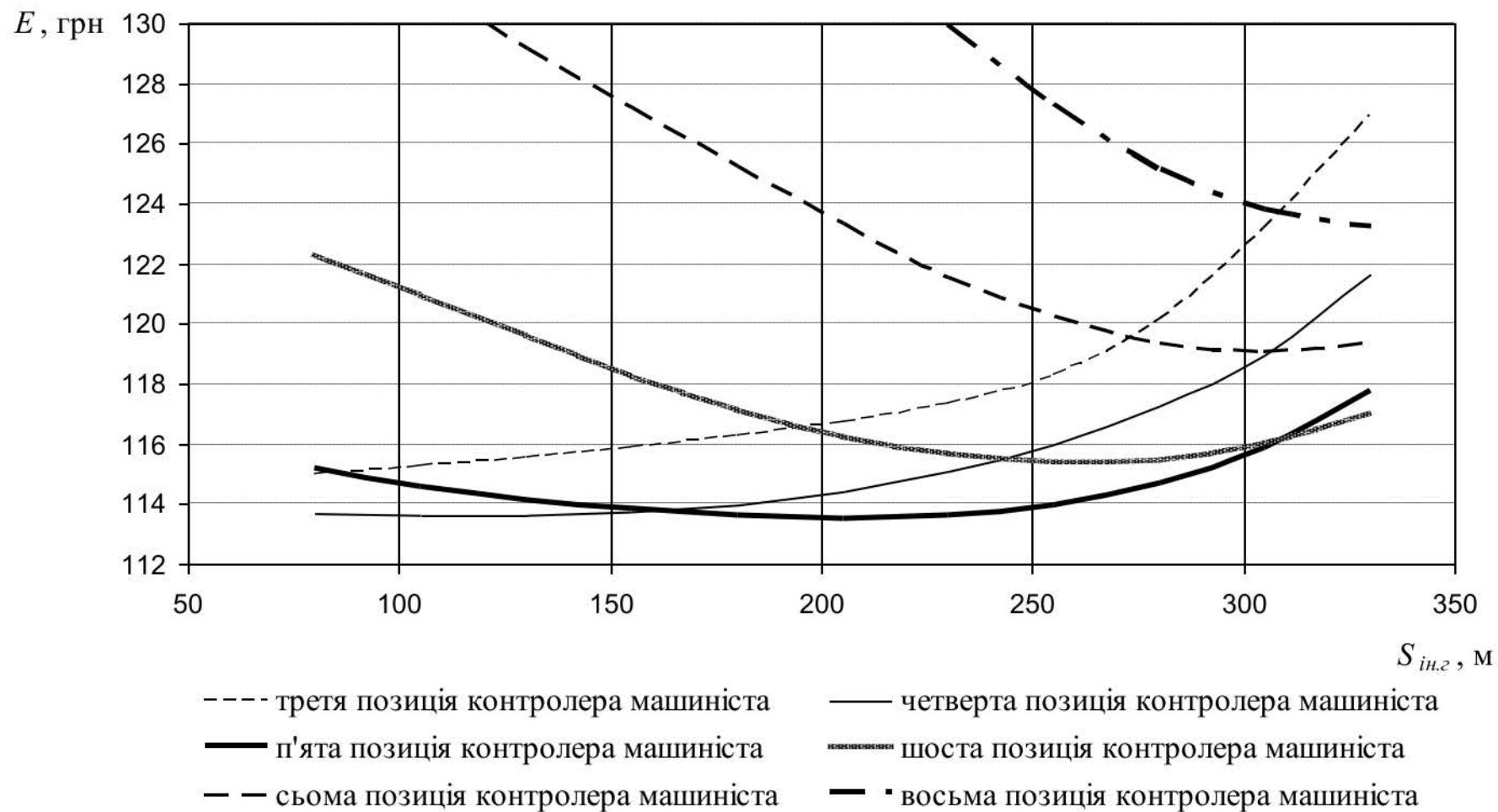
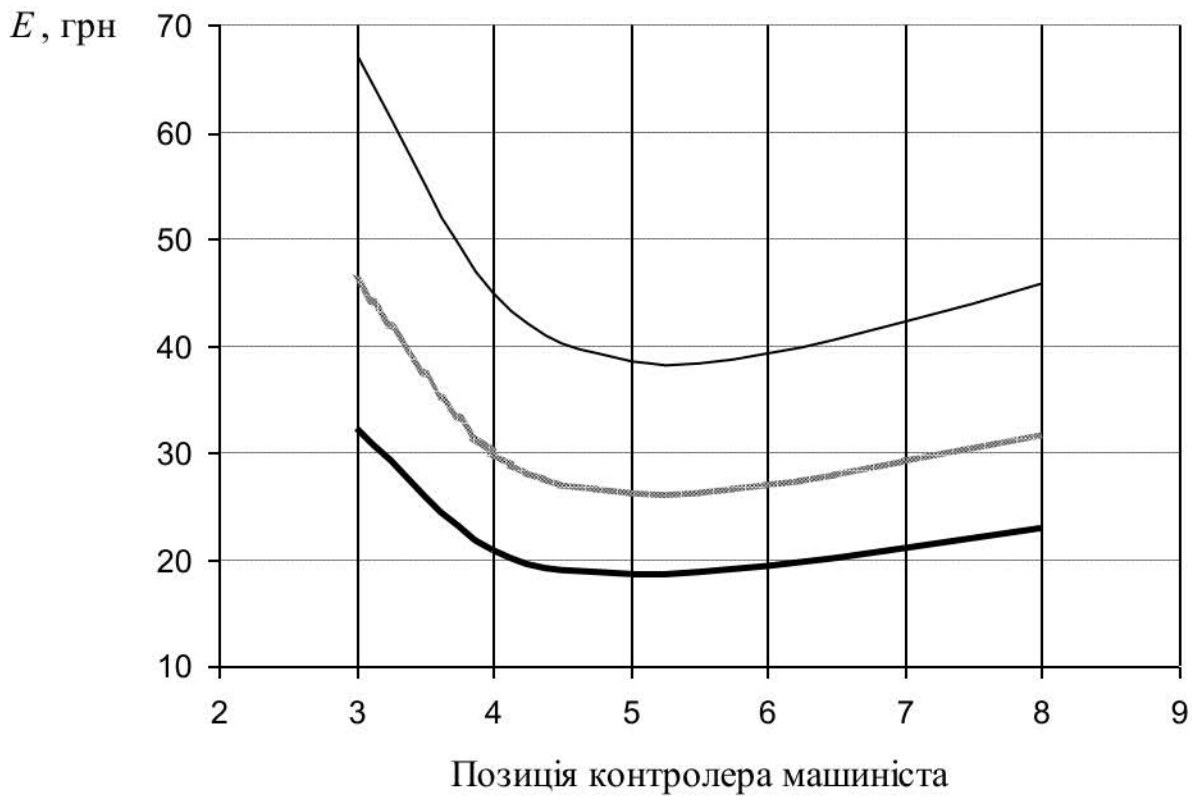


Рисунок 2.3 – Залежність сумарних експлуатаційних витрат на дизельне паливо і витрат, пов'язаних з простоєм вагонів, від величини шляху, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням, при довжині напіврейсу 500 м

При сортуванні вагонів поштовхами мінімальні сумарні експлуатаційні витрати на дизельне паливо і витрати, пов'язані з простоєм вагонів, в основному мають місце при п'ятій позиції контролера машиніста та залежать від величини шляху, що проходить маневровий состав при розгоні (S_p) (рисунок 2.4). При цьому спостерігається зміщення оптимуму вправо зі збільшенням числа вагонів у составі.



— 25 вагонів у составі; — 20 вагонів у составі; — 15 вагонів у составі

Рисунок 2.4— Залежність сумарних експлуатаційних витрат на дизельне паливо і витрат, пов'язаних з простоєм вагонів, від позиції контролера машиніста при сортуванні вагонів поштовхами

Отже, при сортуванні вагонів поштовхами маємо наступну оптимізаційну задачу:

$$E = E(n_k, S_p) \rightarrow \min, \quad (2.23)$$

$$\begin{cases} 3 \leq n_k \leq 8; \\ S_p^{\min} \leq S_p \leq S_p^{\max}, \end{cases}$$

де S_p^{\min}, S_p^{\max} – відповідно мінімальна і максимальна величина шляху, що проходить состав при розгоні, м.

Виходячи з наведеної моделі, мінімум експлуатаційних витрат на сортування вагонів поштовхами буде забезпечуватися шляхом визначення раціональної позиції контролера машиніста для кожного маневрового напіврейсу і раціональної величини шляху, який повинен пройти маневровий состав при розгоні.

3 Процедура вибору параметрів пристроїв для формування составів поїздів

При проектуванні пристроїв для формування составів поїздів необхідно встановити їх раціональні параметри, що включають тип пристрою (витяжна колія, гірка малої потужності), число і довжина колій сортувального парку з урахуванням конструкції горловини [32]. У межах діючих будівельних норм є можливим застосування різних варіантів сортувального пристрою. Це призводить до виникнення задачі вибору варіанту пристрою для використання. При цьому для порівняння варіантів проектних рішень у якості критерію вибору можна використовувати модифіковану суму приведених будівельних і експлуатаційних витрат, які розраховуються за наступною формулою:

$$E_m = \sum_{t=0}^T \frac{E_t \cdot (1 - \gamma) + K_t}{(1 + R)^t}, \quad (3.1)$$

де E_t – експлуатаційні витрати у t -му році життєвого циклу інвестицій, тис. грн;

T – тривалість життєвого циклу інвестицій, років;

γ – ставка податку на прибуток;

K_t – інвестиції в необоротні активи у t -му році життєвого циклу, тис. грн;

R – норма дисконту.

При одноетапних інвестиціях і постійних експлуатаційних витратах модифіковані приведені витрати у відповідності до формули (3.1) можна представити наступним чином:

$$E_m = K + (1 - \gamma) \cdot \frac{E}{R}.$$

В процесі проектування пристрою для формування составів поїздів необхідно знайти такі його параметри, при яких модифікована сума приведених будівельних і експлуатаційних витрат звертається до мінімуму:

$$E_m = K + (1 - \gamma) \cdot \frac{E}{R} \rightarrow \min. \quad (3.2)$$

Необхідна величина інвестицій визначається вартістю пристрою для формування составів поїздів K_{II} , числом і довжиною колій сортувального парку $\sum l_k$, числом стрілочних переводів $M_{стр}$ у горловині вказаного парку для формування составів поїздів:

$$K = K_{II} + K_k \cdot \sum l_k + K_{стр} \cdot M_{стр}, \quad (3.3)$$

де K_k – вартість спорудження одного кілометра сортувальної колії, тис. грн;
 $K_{стр}$ – вартість укладання одного стрілочного переводу і його обладнання електричною централізацією, тис. грн.

Експлуатаційні витрати визначаються за формулою

$$E = E_\phi + E_y + E_K + E_{стр}, \quad (3.4)$$

де E_ϕ – витрати, що пов'язані з формуванням составів поїздів, тис. грн;
 E_y , E_K , $E_{стр}$ – витрати на утримання відповідно пристрою для формування составів поїздів, колій і стрілочних переводів, тис. грн.

Витрати, що пов'язані з формуванням составів поїздів, є функцією від середньої тривалості формування состава T_ϕ

$$E_{\phi} = 365 \cdot N_{\text{доб}} \cdot \frac{T_{\phi}}{60} \cdot (e_{\mu H} + n \cdot e_{nH} \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{-3}, \quad (3.5)$$

де $N_{\text{доб}}$ – середнє число составів, що формується за добу;

n – середнє число вагонів у составі поїзду;

$e_{\mu H}$, e_{nH} – одиничні норми витрат відповідно на одну годину маневрової роботи і на 1000 вагоно-годин.

Для вирішення цієї задачі необхідно розглянути певні варіанти пристрою для формування составів поїздів і для кожного з них знайти параметри, що входять до формули (3.1), і середню тривалість формування составу T_{ϕ} . У якості інструменту для вирішення зазначеної задачі може бути використана імітаційна модель процесу формування составів поїздів, що запропонована у [32]. Ця модель базується на моделі формування окремого составу та забезпечує варіювання параметрів пристрою і характеристик потоку составів, що формуються. Особливості моделі наступні:

1. Состави поїздів, що надходять на станцію, складаються з однакового числа вагонів n . Число груп в составах θ є випадковою величиною і характеризує початкову неупорядкованість цих составів.

2. Тип пристрою для формування составів поїздів (витяжна колія, гірка малої потужності) повинен бути заданий.

3. Число колій в сортувальному парку M слід варіювати в інтервалі від 2 до θ_{max} , де θ_{max} – максимальне число груп в потоці составів поїздів. При варіюванні числа колій змінюються конструкція і лінійні розміри горловини сортувального парку.

4 Для кожного составу здійснюється визначення раціонального числа сортувальних колій m , методу і схеми формування, при яких тривалість $T_{\phi i}$ є мінімальною:

$$\begin{aligned}
T_{\phi_i} &= \min \{T_{\phi, \kappa}(m_\kappa), T_{\phi, p}(m_p)\}, \\
m_\kappa &= 2, \dots, 1 + \lfloor \log_2 \theta_i \rfloor, m_\kappa \leq M, \\
m_p &= 2, \dots, \theta_i, m_p \leq M,
\end{aligned}
\tag{3.6}$$

де $T_{\phi, \kappa}(m_\kappa)$ – множина значень тривалості формування складу поїзда комбінаторним методом при числі сортувальних колій m_κ ;

$T_{\phi, p}(m_p)$ – множина значень тривалості формування складу поїзда розподільчим методом при числі сортувальних колій m_p .

Значення T_{ϕ_i} , що знаходиться таким чином, разом із відповідним числом колій m_i і методом формування складу поїзда фіксується у якості результату при даному типі пристрою для i -го складу з числом колій M .

Зазначені дані, що отримані для всього потоку складів поїздів, використовуються для визначення частоти використання розподільчого p_p^* або комбінаторного p_κ^* методу при даному типі пристрою для формування складів поїздів і наявному числі колій у сортувальному парку M , а також для побудови розподілів тривалості формування складів T_ϕ і числа сортувальних колій m , що використовуються.

При моделюванні також фіксується для кожної колії сортувального парку, що використовується, максимальне число вагонів, що надійшли на неї при формуванні окремих складів поїздів потоку. Зазначені дані представляють собою розподіл необхідної місткості всіх сортувальних колій. Статистична обробка розподілів, що отримані при моделюванні, дає можливість досліджувати взаємозв'язок параметрів сортувального пристрою з характеристиками потоку складів і на базі цього суттєво зменшити число варіантів, що можуть конкурувати. Слід також зазначити, що результати моделювання дозволяють визначити дані, які необхідні для техніко-економічних розрахунків.

4 Техніко-економічне обґрунтування вибору технології розформування составів на негіркових сортувальних пристроях

Метою даної кваліфікаційної роботи є обґрунтування раціональних технологічних параметрів негіркових сортувальних пристроїв. Для того, щоб мінімізувати витрати на розформування составів, потрібно обрати доцільну технологію сортування вагонів на зазначених пристроях.

На сьогодні для розформування составів на негіркових сортувальних пристроях застосовують дві технології розформування – розформування поштовхами та розформування осаджуванням. Отже, виникає необхідність у техніко-економічному обґрунтуванні застосування зазначених способів сортування.

Щоб виконати техніко-економічне обґрунтування вибору технології розформування составів на негіркових сортувальних пристроях, потрібно врахувати всі експлуатаційні витрати та провести розрахунки витрат з наростаючим підсумком за розрахунковий період 10 років для вагонопотоку, який буде змінюватися з кожним роком.

Експлуатаційні витрати за варіантами технології в певній частині розрізняються. При розформуванні осаджуванням з'являються додаткові витрати на простій вагонів у парку приймання та додаткові витрати на дизельне паливо. А при розформуванням поштовхами потрібно враховувати те, що вагони та вантажі можуть пошкодитися. Крім того, мають місце додаткові маневрові переміщення для усунення вікон, що утворюються в сортувальному парку.

Кожна технологія має свої переваги та недоліки. Однак остаточне рішення щодо доцільності застосування тієї чи іншої технології повинно базуватися на результатах техніко-економічних розрахунків. Вибір раціональної технології розформування дозволить знизити собівартість вантажних перевезень на залізничному транспорті.

Вихідні дані для обґрунтування вибору технології розформування на негіркових сортувальних пристроях, наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для обґрунтування вибору технології розформування на негіркових сортувальних пристроях

Показник	Величина
1	2
Вартість дизельного палива, грн/кг	12,47
Середня заробітна плата регулювальників швидкості руху відчепів, грн	10559,70
Додаткова заробітна плата, %	15
Відрахування на соціальні заходи, %	22
Життєвий цикл проекту, рік	10
Середня вартість ремонту одного вагону, грн	3950
Дисконтна ставка комерційних банків за депозитними вкладками, %	7
Очікуваний рівень інфляції, %	6
Ступінь ризику, %	1
Ціна 1 тони вантажної маси, грн	8650
Вартість 1 вагоно-години простою, грн	38,29

4.1 Прогнозування обсягів переробки вагонів на сортувальному пристрою

Прогнозну оцінку обсягів переробки вагонів на сортувальному пристрою виконаємо за умовою, що у 2023 році вказані обсяги будуть складати 7 ваг./добу, а щорічне їх зростання буде складати 1,02 % (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Прогнозовані обсяги переробки на період 2023-2032 роки

Роки	Прогнозований обсяг переробки, ваг./добу
1	2
2023	371

Продовження таблиці 4.2

1	2
2024	378
2025	386
2026	394
2027	402
2028	410
2029	418
2030	426
2031	435
2032	443

4.2 Визначення експлуатаційних витрат при сортуванні вагонів способом осаджування

Експлуатаційні витрати при сортуванні осаджуванням

$$E = \Delta E_{нал} + \Delta E_{м.}, \quad (4.1)$$

де $\Delta E_{нал}$ – додаткові витрати на дизельне паливо, тис. грн;

$\Delta E_{м.}$ – додаткові витрати, пов’язані з простоем составів у парку приймання в очікуванні розформування, тис. грн.

Додаткові витрати на дизельне паливо маневровим локомотивом становить, тис. грн,

$$\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot n_p \cdot \Delta G_{нал} \cdot e_{нал}, \quad (4.2)$$

де $\Delta G_{нал}$ – додаткові витрати дизельного палива за добу, кг;

$e_{нал}$ – вартість дизельного палива, грн/кг.

При осаджуванні вагонів витрати палива становлять:

у 2023 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 7 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1121,61$ тис. грн;
у 2024 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 7 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1121,61$ тис. грн;
у 2025 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 7 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1121,61$ тис. грн;
у 2026 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 7,5 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1201,73$ тис. грн;
у 2027 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 7,5 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1201,73$ тис. грн;
у 2028 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 7,5 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1201,73$ тис. грн;
у 2029 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 8 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1281,85$ тис. грн;
у 2030 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 8 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1281,85$ тис. грн;
у 2031 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 8 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1281,85$ тис. грн;
у 2032 році $\Delta E_{нал} = 0,365 \cdot 8 \cdot 24,69 \cdot 12,47 = 1281,85$ тис. грн.

Додаткові витрати, пов'язані з простоем составів у парку приймання в очікуванні розформування, тис. грн.

$$\Delta E_{nn} = 0,365 \cdot N \cdot \Delta t_{nn} \cdot e_{в-год.}, \quad (4.3)$$

де $e_{в-год.}$ – вартість однієї вагоно-години, грн;

Δt_{nn} – додатковий простій составів в очікуванні розформування, год.

Додатковий простій составів в очікуванні розформування, год.,

$$\Delta t_{nn} = 0,000125 \cdot n_p^2 \cdot (t_{норм}^2 - t_{ос}^2) - 0,1568 \cdot n_p \cdot (t_{норм} - t_{ос}), \quad (4.4)$$

де n_p – розміри переробки составів за добу;

$t_{норм}, t_{ос}$ – тривалість розформування составу відповідно поштовхами та осаджуванням, год..

Тривалість розформування составу осаджуванням

$$t_{oc} = t_3 + t_n + t_p. \quad (4.5)$$

Тривалість розформування составу поштовхами

$$t_{noum} = t_3 + t_n + t_p + t_{occn}, \quad (4.6)$$

де t_3 – тривалість заїзду за составом, год.;

t_n – тривалість витягування состава, год.;

t_p – тривалість розформування состава, год.;

t_{occn} – тривалість осаджування вагонів у сортувальному парку, год.;

Тривалість розформування составу осаджуванням та поштовхами складають:

$$t_{oc} = 0,6 + 0,05 + 2,24 = 2,35 \text{ год.};$$

$$t_{noum} = 0,6 + 0,05 + 1,14 + 0,03 = 1,29 \text{ год.}.$$

Додатковий простій составів в очікуванні розформування складає:

у 2023 році

$$\Delta t_{m} = 0,000125 \cdot 7^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 7 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,14 \text{ год.};$$

у 2024 році

$$\Delta t_{m} = 0,000125 \cdot 7^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 7 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,14 \text{ год.};$$

у 2025 році

$$\Delta t_{m} = 0,000125 \cdot 7^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 7 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,14 \text{ год.};$$

у 2026 році

$$\Delta t_{m} = 0,000125 \cdot 7,5^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 7,5 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,22 \text{ год.};$$

у 2027 році

$$\Delta t_{m} = 0,000125 \cdot 7,5^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 7,5 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,22 \text{ год.};$$

у 2028 році

$$\Delta t_m = 0,000125 \cdot 7,5^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 7,5 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,22 \text{ год.};$$

у 2029 році

$$\Delta t_m = 0,000125 \cdot 8^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 8 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,30 \text{ год.};$$

у 2030 році

$$\Delta t_m = 0,000125 \cdot 8^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 8 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,30 \text{ год.};$$

у 2031 році

$$\Delta t_m = 0,000125 \cdot 8^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 8 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,30 \text{ год.};$$

у 2032 році

$$\Delta t_m = 0,000125 \cdot 8^2 \cdot (1,29^2 - 2,35^2) - 0,1568 \cdot 8 \cdot (1,29 - 2,35) = 1,30 \text{ год.}$$

Додаткові витрати, пов'язані з простоем составів у парку приймання в очікуванні розформування складають:

$$\text{у 2023 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 371 \cdot 1,14 \cdot 38,29 = 4797,17 \text{ тис. грн};$$

$$\text{у 2024 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 378 \cdot 1,14 \cdot 38,29 = 4893,12 \text{ тис. грн};$$

$$\text{у 2025 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 386 \cdot 1,14 \cdot 38,29 = 4990,98 \text{ тис. грн};$$

$$\text{у 2026 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 394 \cdot 1,22 \cdot 38,29 = 5446,35 \text{ тис. грн};$$

$$\text{у 2027 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 402 \cdot 1,22 \cdot 38,29 = 5555,28 \text{ тис. грн};$$

$$\text{у 2028 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 410 \cdot 1,22 \cdot 38,29 = 5666,38 \text{ тис. грн};$$

$$\text{у 2029 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 418 \cdot 1,30 \cdot 38,29 = 6155,88 \text{ тис. грн};$$

$$\text{у 2030 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 426 \cdot 1,30 \cdot 38,29 = 6279,00 \text{ тис. грн};$$

$$\text{у 2031 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 435 \cdot 1,30 \cdot 38,29 = 6404,58 \text{ тис. грн};$$

$$\text{у 2032 році } \Delta E_m = 0,365 \cdot 443 \cdot 1,30 \cdot 38,29 = 6532,67 \text{ тис. грн.}$$

Результати розрахунків експлуатаційних витрат способом осаджування наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок експлуатаційних витрат способом осаджування на негірковому сортувальному пристрою

Показник	Роки									
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Середньодобові розміри переробки, ваг.	371	378	386	394	402	410	418	426	435	443
Середньодобові розміри переробки, состави	7	7	7	7,5	7,5	7,5	8	8	8	8
Додаткові витрати на дизельне паливо, тис. грн	1121,61	1121,61	1121,61	1201,73	1201,73	1201,73	1281,85	1281,85	1281,85	1281,85
Додаткові витрати, пов'язані з простоем составів у парку приймання в очікуванні розформування, тис. грн	4797,17	4893,12	4990,98	5446,35	5555,28	5666,38	6155,88	6279,00	6404,58	6532,67
Всього експлуатаційних витрат, тис. грн	5918,79	6014,73	6112,59	6648,08	6757,01	6868,11	7437,72	7560,84	7686,42	7814,51

4.3 Визначення експлуатаційних витрат при сортуванні вагонів поштовхами

Експлуатаційні витрати при сортуванні осаджуванням, тис. грн,

$$E = E_{\text{пош.ваг.}} + K_{\text{вант}} + Z + E_n, \quad (4.7)$$

де $E_{\text{пош.ваг.}}$ – витрати від пошкодження вагонів, тис. грн;

$K_{\text{вант}}$ – витрати від пошкодження вантажів, тис. грн;

Z – витрати на заробітну плату, тис. грн;

E_n – витрати палива для ліквідації «вікон», тис. грн.

Витрати від пошкодження вагонів на негіркових сортувальних пристроях.

$$E_{\text{пош.ваг.}} = 3,95 \cdot N_{\text{пошк}}. \quad (4.8)$$

При поштовхах швидкість дорівнює 1,7 м/с. Число пошкоджених вагонів на 1000 перероблених вагонів на витяжній колії визначається за формулою

$$n_{\text{пошк}} = 0,00143 \cdot v_{\text{спів}}^{3,865}, \quad (4.9)$$

а число пошкоджених вагонів за рік за формулою

$$N_{\text{пошк}} = 0,365 \cdot N \cdot n_{\text{пошк}}, \quad (4.10)$$

Число пошкоджених вагонів на 1000 перероблених складає:

$$n_{\text{пошк}} = 0,00143 \cdot 1,7^{3,865} = 0,01112.$$

Число пошкоджених вагонів за рік складає

у 2023 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 371 \approx 2$ вагона;

у 2024 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 378 \approx 2$ вагона;

у 2025 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 386 \approx 2$ вагона;

у 2026 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 394 \approx 2$ вагона;

у 2027 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 402 \approx 2$ вагона;

у 2028 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 410 \approx 2$ вагона;

у 2029 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 418 \approx 2$ вагона;

у 2030 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 426 \approx 2$ вагона;

у 2031 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 435 \approx 2$ вагона;

у 2032 році $N_{пошк} = 0,365 \cdot 443 \approx 2$ вагона.

Витрати від пошкодження вагонів на негіркових сортувальних пристроях складають

у 2023 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн;

у 2024 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн;

у 2025 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн;

у 2026 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн;

у 2027 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн;

у 2028 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн;

у 2029 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн;

у 2030 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн;

у 2031 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн;

у 2032 році $E_{пош.ваг} = 3,95 \cdot 2 = 7,90$ тис. грн.

Результати розрахунків числа пошкоджених вагонів за варіантами наведено у табл. 4.4.

Після розрахунку числа пошкоджених вагонів слід розрахувати витрати на ремонт вагонів. При співударянні відчепів найчастіше пошкоджуються запобіжники у автозчепному обладнанні. Його заміна та сукупний ремонт коштує в середньому 1430 гривень, але при ударі між відчепами можуть виникати і більш серйозні наслідки пошкодження, тому середнє значення витрат на один пошкоджений вагон приймаємо рівним 3950 гривень. Розрахунки з ремонту вагонів за варіантами наведено в табл. 4.4.

Витрати коштів на виплату пошкодженого вантажу розраховується за формулою:

$$K_{\text{вант}} = \Gamma \cdot \Pi_{\text{т}} \cdot N_{\text{пошк}} \cdot t_{\text{втр}}, \quad (4.11)$$

де Γ – розмір вантажної маси, яка перевозиться у вагоні, $\Gamma = 20$ т;

$\Pi_{\text{т}}$ – ціна 1 т вантажної маси, грн;

$t_{\text{втр}}$ – коефіцієнт втрати вантажу, $t_{\text{втр}} = 0,05$.

Витрати коштів на виплату пошкодженого вантажу (табл. 4.5) складають:

у 2023 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.;

у 2024 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.;

у 2025 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.;

у 2026 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.;

у 2027 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.;

у 2028 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.;

у 2029 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.;

у 2030 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.;

у 2031 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.;

у 2032 році $K_{\text{вант}} = 20 \cdot 0,05 \cdot 8,65 \cdot 2 = 17,30$ тис. грн.

Таблиця 4.4 – Розрахунок числа пошкоджених вагонів

Рік	Роки									
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Середньодобовий розмір переробки, ваг	371	378	386	394	402	410	418	426	435	443
Кількість пошкоджених вагонів, составів	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Середня вартість ремонту одного вагону, грн	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950
Витрати на ремонт вагонів, тис. грн	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90

Таблиця 4.5 – Вартість пошкоджених вантажів

Рік	Роки									
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Середньодобовий розмір переробки, ваг	371	378	386	394	402	410	418	426	435	443
Кількість пошкоджених вагонів, составів	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Ціна 1 тони вантажної маси, грн	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650
Втрати коштів від пошкодження вантажів, тис. грн	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30

Економія річного фонду заробітної плати на утримання штату регулювальників швидкості руху відчепів

$$З = З_{осн} + З_{дод} + З_{соц.стп}, \quad (4.12)$$

де $З_{осн}$ – основна заробітна плата (наведена у вихідних даних), грн;

$З_{дод}$ – додаткова заробітна плата, грн;

$З_{соц.стп}$ – відрахування на соціальні заходи, грн.

Додаткова заробітна плата складає

$$З_{дод} = 10559,70 \cdot 0,15 = 1583,96 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні заходи

$$З_{соц.стп} = (10559,7 + 1583,96) \cdot 0,22 = 2671,61 \text{ грн.}$$

Заробітна плата

$$З = 10559,70 + 1583,96 + 2671,61 = 13600,9 \text{ грн.}$$

Заробітна плата за рік

$$З_{рік} = 17783,12 \cdot 12 = 177783,12 \text{ грн.}$$

Заробітна плата чотирьох працівників за рік:

$$З_{\phi} = 177783,12 \cdot 4 = 711132,48 \text{ грн.}$$

Визначення палива для ліквідації «вікон», які утворилися при не докочування вагонів

$$E_n = 0,365 \cdot G_{нал} \cdot e_{нал} \cdot n_{сост}, \quad (4.13)$$

Сумарний час маневрових операцій складає 0,92 год. При цьому часі витрати палива на холостому ході складають 10,58 кг. При осаджуванні вагонів за результатами моделювання витрати палива складають 4,3 кг. Сумарні витрати палива для складають 14,9 кг.

Витрати палива для ліквідації «вікон» складають

$$\text{у 2023 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 7 = 672,35 \text{ тис. грн;}$$

$$\text{у 2024 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 7 = 672,35 \text{ тис. грн;}$$

$$\text{у 2025 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 7 = 672,35 \text{ тис. грн;}$$

$$\text{у 2026 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 7,5 = 720,38 \text{ тис. грн;}$$

$$\text{у 2027 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 7,5 = 720,38 \text{ тис. грн;}$$

$$\text{у 2028 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 7,5 = 720,38 \text{ тис. грн;}$$

$$\text{у 2029 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 8 = 768,40 \text{ тис. грн;}$$

$$\text{у 2030 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 8 = 768,40 \text{ тис. грн;}$$

$$\text{у 2031 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 8 = 768,40 \text{ тис. грн;}$$

$$\text{у 2032 році } E_{нал} = 0,365 \cdot 14,8 \cdot 12,47 \cdot 8 = 768,40 \text{ тис. грн.}$$

Результати розрахунків експлуатаційних витрат при розформуванні составів поштовхами наведено у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Розрахунок експлуатаційних витрат при технології розформування поштовхами на негірковому сортувальному пристрою

Показник	Роки									
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Середньодобові розміри переробки, ваг.	371	378	386	394	402	410	418	426	435	443
Середньодобові розміри переробки, состави	7	7	7	7,5	7,5	7,5	8	8	8	8
Витрати пов'язаних зі пошкодженням вагонів при розформуванні, тис. грн	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90
Витрати пов'язаних зі пошкодженням вантажів при розформуванні, тис. грн	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30
Всього витрат пов'язаних із пошкодженням вагонів і вантажів, тис. грн	25,20	25,20	25,20	25,20	25,20	25,20	25,20	25,20	25,20	25,20
Економія річного фонду заробітної плати	711,13	711,13	711,13	711,13	711,13	711,13	711,13	711,13	711,13	711,13
Додаткові витрати на дизельне паливо, тис. грн	672,35	672,35	672,35	720,38	720,38	720,38	768,40	768,40	768,40	768,40
Всього експлуатаційних витрат, тис. грн	1404,68	1404,68	1404,68	1452,71	1452,71	1452,71	1500,73	1500,73	1500,73	1500,73

4.4 Визначення економічної привабливості інвестиційного проекту впровадження варіанту технології розформування составів на негіркових сортувальних пристроях

Загальний підхід до вибору кращого варіанту господарського рішення зводиться до наступного. Здійснюється економічна оцінка привабливості кожного варіанту за означеними показниками, визначається і обґрунтовується найбільш привабливий варіант, що дає більш високі економічні вигоди.

Визначення економічного ефекту проводиться за умови обов'язкового приведення вартісних оцінок результатів і витрат різних років до єдиного моменту часу для всіх варіантів реалізації проекту – розрахункового року t_p .

Приведення результатів і витрат різних років періоду реалізації проекту до розрахункового року здійснюється множенням їх вартісної оцінки за кожний рік на коефіцієнт приведення α_t , що відповідає даному року.

Якщо результати і витрати різних років приводяться до першого року життєвого циклу проекту, тобто визначаються в теперішній вартості грошей (дисконтування), то коефіцієнт приведення α_t визначається за формулою.

Початковим роком розрахункового періоду є рік початку фінансування робіт по здійсненню проекту (включаючи науково-дослідні, конструкторські, проектні роботи). Кінцевим роком розрахункового періоду є рік завершення всього «життєвого циклу» проекту, тобто рік припинення отримання доходів від реалізації проекту [36].

Коефіцієнт приведення результатів і витрат різних років розрахункового періоду до останнього року визначається за формулою

$$\alpha_t = \frac{1}{[(1+E)(1+I+R)]^{t_k-t_p}}, \quad (4.14)$$

де E – середня річна ставка комерційних банків за депозитними внесками (дисконтна ставка), %;

R – ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту, %;

I – річний рівень інфляції, що прогнозується на період здійснення проекту, %;

t_p – порядковий номер розрахункового року;

t_k – порядковий номер року, грошові потоки якого приводяться до розрахункового року.

Таким чином, згідно з формулою (4.14)

$$\begin{aligned}\alpha_{2023} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^0 = 1; \\ \alpha_{2024} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^1 = 0,87; \\ \alpha_{2025} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^2 = 0,76; \\ \alpha_{2026} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^3 = 0,67; \\ \alpha_{2027} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^4 = 0,58; \\ \alpha_{2028} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^5 = 0,51; \\ \alpha_{2029} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^6 = 0,44; \\ \alpha_{2030} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^7 = 0,39; \\ \alpha_{2031} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^8 = 0,34; \\ \alpha_{2032} &= \left(\frac{1}{(1+0,07) \cdot (1+0,06+0,01)} \right)^9 = 0,30.\end{aligned}$$

Розрахунок витрат за варіантами наведено у табл. 4.7 і 4.8.

Результати порівняння технологій довели, що при застосуванні способу осаджування витрати за розрахунковий період 10 років з приведенням вартісних оцінок результатів і витрат різних років до останнього року на 30395,1 тис. грн більші ніж при варіанті сортування вагонів поштовхами. За сукупністю отриманих результатів можна зробити висновок, що витрати при сортуванні вагонів способом осаджування в 4,6 раз перевищують витрати при технології сортування вагонів поштовхами.

Таблиця 4.7 – Розрахунок витрат у варіанті сортування вагонів способом осаджування на негірковому сортувальному пристрою

Показник	Роки									
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Середньодобові розміри переробки, ваг.	371	378	386	394	402	410	418	426	435	443
Капітальні витрати, тис. грн										
Річні експлуатаційні витрати, тис. грн	5918,79	6014,73	6112,59	6648,08	6757,01	6868,11	7437,72	7560,84	7686,42	7814,51
Всього витрат, тис. грн	5918,79	6014,73	6112,59	6648,08	6757,01	6868,11	7437,72	7560,84	7686,42	7814,51
Коефіцієнт приведення	1,00	0,87	0,76	0,67	0,58	0,51	0,44	0,39	0,34	0,30
Витрати з коефіцієнтом приведення, тис. грн	5918,79	5232,82	4645,57	4454,21	3919,07	3502,74	3272,60	2948,73	2613,38	2344,35
Витрати з наростаючим підсумком, тис. грн	5918,79	11151,61	15797,17	20251,39	24170,45	27673,19	30945,79	33894,51	36507,90	38852,25

Таблиця 4.8 – Розрахунок витрат у варіанті сортування вагонів поштовхами на негірковому сортувальному пристрою

Показник	Роки									
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Середньодобові розміри переробки, ваг.	371	378	386	394	402	410	418	426	435	443
Капітальні витрати, грн										
Річні експлуатаційні витрати, тис. грн	1404,68	1404,68	1404,68	1452,71	1452,71	1452,71	1500,73	1500,73	1500,73	1500,73
Всього витрат, тис. грн	1404,68	1404,68	1404,68	1452,71	1452,71	1452,71	1500,73	1500,73	1500,73	1500,73
Коефіцієнт приведення	1,00	0,87	0,76	0,67	0,58	0,51	0,44	0,39	0,34	0,30
Витрати з коефіцієнтом приведення, тис. грн	1404,68	1222,07	1067,56	973,32	842,57	740,88	660,32	585,28	510,25	450,22
Витрати з наростаючим підсумком, тис. грн	1404,68	2626,75	3694,31	4667,62	5510,20	6251,08	6911,40	7496,68	8006,93	8457,15

Висновки

У випускній кваліфікаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання обґрунтування раціональних технологічних параметрів негіркових сортувальних пристроїв. На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано конструкційні параметри негіркових сортувальних пристроїв. На основі аналізу підходів до проектування негіркових сортувальних пристроїв встановлено, що зарубіжні принципи проектування зазначених пристроїв багато в чому збігаються з принципами, що застосовуються на залізницях України. При формуванні теорії розрахунків негіркових сортувальних пристроїв в першу чергу орієнтувалися на практичний досвід та існуючі методи розрахунку сортувальних гірок.

Для ефективної роботи негіркового сортувального пристрою доцільним є впровадження досвіду укладання великої кількості колій в сортувальному парку і спорудження додаткових парків для повторного сортування та групування місцевих вагонів, що прямують на вузлові станції, під'їзні колії і проміжні станції прилеглих ділянок.

Для збільшення переробної спроможності негіркових пристроїв ефективним є використання прискорювачів вагонів і спеціальної конструкції пристрою.

За наявності обмеженої довжини станційної площадки корисним може бути американський досвід накопичення составів на декількох сортувальних коліях невеликої довжини і перестановки їх в парк відправлення частинами.

2. Проаналізовано особливості технології роботи негіркових сортувальних пристроїв. Виконаний аналіз довів, що серед відомих способів сортування вагонів на негіркових сортувальних пристроях ефективними з точки зору зменшення числа маневрових пересувань та підвищення продуктивності цих пристроїв є сортування вагонів серійними поштовхами, потоковим (пульсуючим) способом, багатогрупними поштовхами і суцільним потоком з

мінімальною участю маневрових локомотивів. Однак для якісного використання зазначених технологій необхідно конструювати спеціальний профіль сортувального пристрою.

На даний момент на залізницях України поширеним є сортування вагонів способом осаджування та поштовхами. За рівнем переробної спроможності сортування поштовхами займає проміжне місце між осаджуванням та гірковою технологією. Використання при розформуванні составу як сили тяги локомотива, так і сили тяжіння відчепу приводить до збільшення впливу випадкових факторів на якість сортувального процесу.

3. Розроблено процедуру розрахунку витрат дизельного палива маневровим локомотивом та часу на виконання маневрового напіврейсу в заданих умовах експлуатації. Для оцінки витрат дизельного палива і тривалості виконання маневрового напіврейсу сформовано розрахунковий состав. Результати моделювання довели наявність оптимізаційної задачі визначення основної позиції контролера машиніста і шляху, що проходить состав за інерцією і з гальмуванням. У якості критерію оптимізації виступають сумарні експлуатаційні витрати на дизельне паливо і витрати, пов'язані з простоем вагонів.

На основі результатів моделювання встановлено, що при довжині напіврейсу 500 м:

- раціональними позиціями контролера машиніста для пересування розрахункового маневрового составу є четверта і п'ята;
- при четвертій позиції контролера машиніста раціональною величиною шляху, що проходить маневровий состав за інерцією і з гальмуванням, є 120 м, при п'ятій позиції контролера машиніста – 210 м.

Таким чином, з метою мінімізації експлуатаційних витрат на виконання технологічних операцій необхідно визначати раціональну позицію контролера машиніста для кожного маневрового напіврейсу і раціональну величину шляху, який повинен пройти маневровий состав за інерцією і з гальмуванням.

4 Сформовано процедуру вибору параметрів пристроїв для формування составів поїздів. Основою зазначеної процедури є визначення типу пристрою (витяжна колія, гірка малої потужності), числа і довжини колій сортувального парку за критерієм мінімуму модифікованої суми приведених будівельних і експлуатаційних витрат.

5. Обґрунтовано економічну доцільність застосування двох способів сортування вагонів на негіркових сортувальних пристроях – осаджуванням і поштовхами. Для розрахунку експлуатаційних витрат за варіантами використано результати моделювання розформування розрахункового составу на ЕОМ.

Техніко-економічні розрахунки довели, що при сортуванні вагонів способом осаджування витрати з наростаючим підсумком за розрахунковий період 10 років з приведенням вартісних оцінок результатів і витрат різних років до останнього року на 30395,1 тис. грн більші ніж у другому варіанті. При цьому сортування вагонів поштовхами у 4,6 раз дешевше виконання цієї операції способом осаджування, а значну частину експлуатаційних витрат займають витрати, пов'язані з простоем вагонів в очікуванні розформування.

Список використаних джерел

1 Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортивальні пристрої залізниць. Норми проектування : ГБН В.2.3-37472062-1:2012 : затв. Наказ Міністерство інфраструктури України 17.01.2013. № 25. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2012. 112 с.

2 Правила технічної експлуатації залізниць України: затв.: наказ Мінтрансу та зв'язку України 10.12.03. № 962. Київ: Міністерство транспорту та зв'язку України, 2003.87 с.

3 Бузанов С. П. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок: Учебно пособие для вузов ж.д. трансп. Москва: Транспорт, 1965.232 с.

4 Сотников Е. А. Железные дороги мира из XIX в XXI век. Москва: Транспорт, 1993. 198 с.

5 Тютюнов Ю. П. Исследование технологии работы железнодорожных узлов методом имитационного моделирования : автореф. дис. .канд. техн. наук: 05.22.08. Гомель, 1995.16 с.

6 Кривошей Б. О., Яновський П. О. Постановка задачі оптимізації місцевої роботи на дільниці. *Залізничний транспорт України*. 2009, № 1. С. 30–32.

7 Абрамов А. А., Абрамова И. И. Исследование процесса подборки местных вагонов на сортировочных станциях. *Межвуз. сб. научн. Трудов*. Москва: МИИТ. 1983. Вып. 735. С. 99 - 110.

8 Образцов В. Н. Проект распределения узлов на русской железнодорожной сети и сортировочной работы узлов, с целью сокращения маневровой работы и простоя вагонов. *Техника и экономика путей сообщения*. 1922. №12. С. 445-466.

9 Сковрон И. Я., Демченко Е. Б., Кузьменко Б. Б. Повышение эффективности маневровой работы на станциях промышленных предприятий.

Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий: Тезисы 2-й междунар. научно–практ. конф. Кострино, 2013. С. 85-86.

10 Бузанов С. П. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок / Учебное пособие для вузов ж.д. трансп. Москва: Транспорт. 1965, 232 с.

11 Бородин А. Ф. Новая система организации грузового движения на железных дорогах Польши. *Железнодорожный транспорт*. Москва: ЦНИИТЭИ. 1997. Вып. 4. С. 58-65.

12 Балокин Г. А. Некоторые вопросы теории маневров толчками. *Труды новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта*. Новосибирск. 1959. № XX. С. 75-86.

13 Бакумов Э. В. Проектирование вспомогательных сортировочных устройств / Методические указания по проектированию железнодорожных узлов и станций. Киев, 1988. № 113. С. 4-13.

14 Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках: Постанова Кабінету Міністрів України від 29.02.96 № 262. Київ: Мін-во трансп. та зв'язку України. 2013. 81 с.

15 Transportation machinery & equipment specialists. URL: <https://railquip.com/product/maxi-railcar-mover-lpg-gas-diesel>. (дата звернення: 18.03.2020).

16 Аксенов В. И., Норматов М. Н. Эффективность секционирования путей сортировочных парков станции для переработки местного вагонопотока. Совершенствование методов организации движения поездов, грузовой работы и проектирования станций. Ташкент, 1974. С. 44-51.

17 Busing C. Robust algorithms for sorting railway cars. *In Proceedings of the 18th Annual European Symposium on Algorithms (ESA-10)*. 2010. Vol 6346. P. 350-361.

18 Бурдяк П. С. Определение оптимальных параметров негорочных сортировочных устройств при моделировании расформирования составов

одинокими ізольованими толчками технології. *Системний аналіз. Моделювання*. 2012. №2. С. 182-187.

19 Абуладзе Л. В., Телія Г. Ш. Совершенствование конструкции подгорочного парка для формирования групповых поездов. *Организация движения и пассажирские перевозки*. 1986. Вып. 2. С. 13-16.

20 Телія Г. Ш. Развитие подгорочных парков и схем сортировочных станций с большой местной работой. Тезисы докладов участников инженерно-технической конференции. Тбилиси, 1987, с. 26-28.

21 Kutz M. Handbook of transportation engineering. *The mcgrawHill Companies*, 2004. P. 937.

22 Бурдяк П. С. Разработка методики определения параметров негорочных сортировочных устройств : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08. Новосибирск, 2015. 166 с.

23 Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів. Київ : АТ «Укрзалізниця», 2003. 85 с.

24 Shmulevich M. I., Starikov A. E. Structure of simulation model of industrial railway stations and its implementation in AnyLogic. *Promyshlennyj transport XXI vek*. 2015. №13 (5). P. 198-212.

25 Овчинников В. М., Пожидаев С. А., Швец Н. Г., Скрежендевский В. В. Сокращение расхода дизельного топлива на маневрах. *Транспортные системы и технологии перевозок*. 2011. № 1. С. 62–70.

26 Нечай Т. В. Модели и алгоритмы специализированной информационно-вычислительной системы для планирования маневровой работы на промышленном транспорте : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01. Пенза, 2019. 150 с.

27 Данько М. І. Наукові основи ресурсозберігаючих технологій при організації вантажних залізничних перевезень : дис... д-ра техн. наук: 05.22.01. Харків, 2005. 357 с.

28 Топчієв М. П. Удосконалення технології роботи технічних засобів сортувальних станцій на основі ресурсозбереження: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Харків, 2004. 246 с.

29 Похилко С. П. Забезпечення ресурсозбереження шляхом удосконалення технології роботи технічних засобів підсистеми розформування сортувальних станцій : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Харків, 2005. 273 с.

30 Jaehn F., Otto A., Seifried K. Shunting operations at flat yards: retrieving freight railcars from storage tracks. *Operations Research-Spektrum*. 2018. №40 (2). P. 367-393.

31 Valent K., Kavička A. Virtual Railway Marshalling Yard. *IFAC Proceedings Volumes*. 1997. № 30 (8). P. 843-846.

32 Формирование многогруппных составов : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, И. Я. Сковрон. Изд-во: LAMBERT Academic Publishing, 2018. 191 с. URL:

https://www.researchgate.net/publication/329659643_Formirovanie_mnogogruppnyh_sostavov?enrichId=rgreq-f3387b4b52c958d841cf6fc9cc43edb2-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyOTY1OTY0MztBUzo3MDM4MzI4OT E4NTg5NDRAMTU0NDgxODI0NjQ2Nw%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf

33 Огар О. М., Таратушка К. В. Дослідження ефективності застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів. *Транспортні системи та технології перевезень*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. Вип. 9. С. 49-56.

34 Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств. Производственно-практическое издание / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин и др., Москва: Транспорт, 1994. 220 с.

35. Огарь А. Н. Повышение ресурсосбережения и эффективности функционирования сортировочных горок при оптимизации продольного профиля: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Харків, 2002. 191 с.

36 Балака Є. І., Зоріна О. І., Колесникова Н. М., Писаревський І. М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: Навч. посіб., Харків: УкрДАЗТ, 2005, 210с.

Додаток А

Результати моделювання розформування составу способом осаджування і поштовхами

Таблиця А.1 – Результати моделювання розформування составу способом осаджування

Операції маневрового локомотива	Показники			
	Довжина напіврейсу L, м.	Витрати дизельного палива G, кг	Шлях, що проходить МС за інерцією і з гальмуванням $S_{ін}$, м	Затрачений час t, хв.
1	2	3	4	5
Заїзд на 1 колію СП із ВК, 53 вагони	805	4,07	205	3,47
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 3 вагонів				0,25
Виїзд составу за 4 розділову стрілку, 50 вагонів	500	3,72	100	3,00
Заїзд на 2 колію СП, 50 вагонів	546	3,32	105	2,59
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 1 вагонів				0,25
Виїзд составу за 3 розділову стрілку, 49 вагонів	614	4,05	140	3,38
Заїзд на 3 колію СП, 49 вагонів	602	3,40	135	2,77
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 3 вагонів				0,7
Виїзд составу за 5 розділову стрілку, 46 вагонів	493	3,25	145	2,98

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5
Заїзд на 4 колію СП, 46 вагонів	552	3,01	155	2,67
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 2 вагонів				0,48
Заїзд на 5 колію СП, 44 вагонів	613	3,03	195	2,84
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 2 вагонів				0,48
Виїзд составу за 6 розділову стрілку, 42 вагонів	523	2,96	194	3,06
Заїзд на 6 колію СП, 42 вагонів	602	2,80	226	2,88
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 1 вагонів				0,25
Виїзд составу за 7 розділову стрілку, 41 вагонів	534	2,90	210	3,11
Заїзд на 7 колію СП, 41 вагонів	554	2,61	214	2,74
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 5 вагонів				1,16
Виїзд составу за 1 розділову стрілку, 36 вагонів	633	2,73	300	3,41
Заїзд на 8 колію СП, 36 вагонів	676	2,56	315	3,12
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 7 вагонів				0,25

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5
Виїзд составу за 1 розділову стрілку, 29 вагонів	597	2,02	360	3,36
Заїзд на 1 колію СП, 29 вагонів	677	2,04	395	3,23
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 2 вагонів				0,48
Виїзд составу за 4 розділову стрілку, 27 вагонів	471	1,68	291	2,88
Заїзд на 2 колію СП, 27 вагонів	531	1,64	330	2,84
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 3 вагонів				0,78
Виїзд составу за 3 розділову стрілку, 24 вагонів	564	1,58	373	3,09
Заїзд на 3 колію СП, 24 вагонів	542	1,41	365	2,85
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 3 вагонів				0,86
Виїзд составу за 5 розділову стрілку, 21 вагонів	438	1,14	305	2,49
Заїзд на 4 колію СП, 21 вагонів	522	1,17	370	2,66
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 2 вагонів				0,55
Виїзд составу за 2 розділову стрілку, 19 вагонів	580	1,18	430	3,04
Заїзд на 5 колію СП, 19 вагонів	583	1,13	430	2,87

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 2 вагонів				0,55
Виїзд составу за 6 розділову стрілку, 17 вагонів	488	0,93	375	2,68
Заїзд на 6 колію СП, 17 вагонів	582	0,99	447	2,85
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 2 вагонів				0,48
Виїзд составу за 7 розділову стрілку, 15 вагонів	504	0,84	401	2,74
Заїзд на 7 колію СП, 15 вагонів	479	0,78	381	2,55
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 5 вагонів				1,38
Виїзд составу за 1 розділову стрілку, 10 вагонів	543	0,59	470	2,93
Заїзд на 8 колію СП, 10 вагонів	656	0,62	560	3,19
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 6 вагонів				0,48
Виїзд составу за 1 розділову стрілку, 4 вагонів	552	0,25	523	3,22
Заїзд на 1 колію СП, 4 вагонів	647	0,26	615	3,59
Перехід складача для відчепки вагонів та відчепка 4 вагонів				0,93
Всього:	23033	78,36	13244	134,14

Таблиця А.2 – Результати моделювання розформування составу поштовхами

Операції маневрового локомотива	Показники			
	Довжина напіврейсу L, м.	. Витрати дизельного палива G, кг	Шлях, що проходить МС за інерцією і з гальмуванням $S_{ін}$, м	Затрачений час t, хв.
1	2	3	4	5
Відчеплення 3 вагонів				0,25
Заїзд на 1 колію СП із ВК, 53 вагони	805	2,94	460	2,07
Перехід складача для відчеплення 1				0
Виїзд составу за 4 розділову стрілку, 50 вагонів	115	1,71	20	1,40
Відчеплення 1 вагонів				0,25
Заїзд на 2 колію СП, 50 вагонів	546	2,38	299	1,74
Перехід складача для відчеплення 3 вагонів				0,45
Виїзд составу за 3 розділову стрілку, 49 вагонів	360	2,84	105	2,60
Відчеплення 3 вагонів				0,25
Заїзд на 3 колію СП, 49 вагонів	602	2,43	341	1,77
Перехід складача для відчеплення 2				0,23

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5
Виїзд составу за 5 розділову стрілку, 46 вагонів	242	2,40	39	1,85
Відчеплення 2 вагонів				0,25
Заїзд на 4 колію СП, 46 вагонів	552	2,22	318	1,64
Перехід складача для відчеплення 2 вагонів				0,23
Виїзд составу за 2 розділову стрілку, 44 вагонів	357	2,57	110	2,41
Відчеплення 2 вагонів				0,25
Заїзд на 5 колію СП, 44 вагонів	613	2,20	372	1,63
Перехід складача для відчепки 1 вагонів				0
Виїзд составу за 6 розділову стрілку, 42 вагонів	211	1,80	75	1,82
Відчеплення 1 вагонів				0,25
Заїзд на 6 колію СП, 42 вагонів	602	2,11	371	1,57
Перехід складача для відчепки 5 вагону				0,91
Виїзд составу за 7 розділову стрілку, 41 вагонів	213	1,76	80	1,83
Відчеплення 5 вагону				0,25

Продовження таблиці А.2

1	2	3	40	5
Заїзд на 7 колію СП, 41 вагонів	554	2,00	340	1,50
Перехід складача для відчепки 1 вагонів				0
Виїзд составу за 1 розділову стрілку, 36 вагонів	398	2,14	180	2,53
Відчеплення 1 вагонів				0,25
Заїзд на 8 колію СП, 36 вагонів	676	1,94	453	1,46
Перехід складача для відчепки 7 вагонів				0,68
Виїзд составу за 1 розділову стрілку, 29 вагонів	279	1,34	165	2,12
Відчеплення 2 вагонів				0,25
Заїзд на 1 колію СП, 29 вагонів	677	1,64	485	1,28
Перехід складача для відчепки 3 вагонів				0,53
Виїзд составу за 4 розділову стрілку, 27 вагонів	46	0,53	25	0,77
Відчеплення 3 вагонів				0,25
Заїзд на 2 колію СП, 27 вагонів	531	1,40	377	1,14
Перехід складача для відчепки 3 вагонів				0,61

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5
Виїзд составу за 3 розділову стрілку, 24 вагонів	267	1,06	173	1,96
Відчеплення 3 вагонів				0,25
Заїзд на 3 колію СП, 24 вагонів	542	1,21	407	1,02
Перехід складача для відчепки 2 вагонів				0,30
Виїзд составу за 5 розділову стрілку, 21 вагонів	116	0,57	78	1,13
Відчеплення 2 вагонів				0,25
Заїзд на 4 колію СП, 21 вагонів	522	0,96	415	0,86
Перехід складача для відчепки 2 вагонів				0,30
Виїзд составу за 2 розділову стрілку, 19 вагонів	230	0,72	167	1,72
Відчеплення 2 вагонів				0,25
Заїзд на 5 колію СП, 19 вагонів	583	0,93	475	0,84
Перехід складача для відчепки 2 вагонів				0,23
Виїзд составу за 6 розділову стрілку, 17 вагонів	78	0,37	57	0,89
Відчеплення 2 вагонів				0,25

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5
Заїзд на 6 колію СП, 17 вагонів	582	0,80	488	0,77
Перехід складача для відчепки 5 вагонів				1,13
Виїзд составу за 7 розділову стрілку, 15 вагонів	76	0,30	60	0,93
Відчеплення 5 вагонів				0,25
Заїзд на 7 колію СП, 15 вагонів	479	0,67	404	0,69
Перехід складача для відчепки 2 вагонів				0,23
Виїзд составу за 1 розділову стрілку, 10 вагонів	259	0,40	222	1,84
Відчеплення 2 вагонів				0,25
Заїзд на 8 колію СП, 10 вагонів	656	0,55	588	0,61
Перехід складача для відчепки 6 вагонів				0
Виїзд составу за 1 розділову стрілку, 4 вагонів	145	0,13	136	1,40
Відчеплення 4 вагонів				0,25
Заїзд на 1 колію СП, 4 вагонів	647	0,27	613	0,43
Всього:	16081	53,67	10819	68,27