

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет «Управління процесами перевезень»

Кафедра «Залізничні станції та вузли»

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ З ПОЗИЦІЇ
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Пояснювальна записка і розрахунки

до кваліфікаційної роботи

РРСГП.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221-ОПУТ-Д23
спеціальності 275 / 275.02 (роботу
виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)



Іван ЮТРОВ

Керівник: доцент, канд. техн. наук

Максим КУЦЕНКО

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

Олена МАЛАХОВА

2025 р.

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 11 слайдів презентації, 83 аркушів пояснювальної записки формату А4, 29 літературні джерела.

Ключові слова: сортувальна гірка, гальмування відчепів, автоматизація, математичне моделювання, штучний інтелект, безпека, техніко-економічне обґрунтування.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто техніко-експлуатаційні характеристики сортувальної станції, проведено аналіз конструктивно-технологічних рішень існуючих сортувальних пристроїв України. Виявлено недоліки сучасної технології сортувального процесу та обґрунтовано шляхи її удосконалення, зокрема за рахунок підвищення рівня автоматизації. Запропоновано математичну модель визначення оптимальних режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці, орієнтовану на принципи ресурсозбереження. Розроблено систему підтримки прийняття рішень для операторів сортувальної гірки з використанням елементів штучного інтелекту, а також проведено ймовірнісну оцінку виникнення небезпечних ситуацій. Надано техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованих заходів, що передбачає зниження експлуатаційних витрат і підвищення ефективності роботи станції.

ABSTRACT

This qualification work includes 11 presentation slides, 83 A4 pages of the explanatory note, and 29 literary sources.

Keywords: hump yard, railcar braking, automation, mathematical modeling, artificial intelligence, safety, techno-economic justification.

The master's qualification thesis examines the technical and operational characteristics of a marshalling yard and analyzes the structural and technological solutions of existing sorting devices in Ukraine. The shortcomings of the current sorting process technology are identified, and ways to improve it are substantiated, particularly through increased automation. A mathematical model for determining optimal braking modes for railcars descending the hump, based on resource-saving principles, is proposed. A decision support system using artificial intelligence elements is developed to assist hump yard operators, and a probabilistic assessment of hazardous situations is conducted. A techno-economic justification of the proposed measures is provided, demonstrating reduced operational costs and improved station efficiency.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет «Управління процесами перевезень»

Кафедра «Залізничні станції та вузли»

Освітній рівень магістр

Спеціальність 275 «Транспортні технології»

275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

 **Олександр ОГАР**

(підпис)

«24» 02 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Ютрову Івану Ігоровичу

1 Тема «Раціоналізація роботи сортувальної гірки з позиції підвищення енергоефективності»

керівник роботи Куценко Максим Юрійович, канд. техн. наук, доцент
затверджені розпорядженням по факультету управління процесами
перевезень від 24 лютого 2025 року № 04/25

2 Строк подання студентом закінченої роботи «18» червня 2025 року.

3 Вихідні дані: технічна характеристика станції; технологія роботи станції;
показники роботи станції.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити): техніко-експлуатаційна характеристика станції; аналіз основних
конструктивно-технологічних характеристик існуючих сортувальних
пристроїв України; математична модель визначення оптимальних режимів
гальмування відчепів на сортувальній гірці з позиції ресурсозбереження;
система підтримки прийняття рішень для гіркових операторів з елементами
штучного інтелекту; визначення імовірностей виникнення небезпечних
ситуацій пристроїв сортувальної гірки; техніко-економічне обґрунтування
запропонованих заходів.

5 Перелік графічного матеріалу: мета та задачі дослідження; об'єкт, предмет,
методи дослідження; наукова новизна отриманих результатів; математична
модель визначення оптимальних режимів гальмування відчепів на
сортувальній гірці; техніко-економічне обґрунтування запропонованих
заходів з підвищення ефективності роботи станції.

6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів	Гриценко Н.В., доцент, к. е. н.		

7 Дата видачі завдання «24» лютого 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Вступ. Техніко-експлуатаційна характеристика станції	07.03.2025 р.	10%
2 Аналіз основних конструктивно-технологічних характеристик існуючих сортувальних пристроїв України та шляхи удосконалення технології сортувального процесу	21.03.2025 р.	20%
3 Математична модель визначення оптимальних режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці з позиції ресурсозбереження	04.04.2025 р.	30%
4 Система підтримки прийняття рішень для гіркових операторів з елементами штучного інтелекту	18.04.2025 р.	50%
5 Визначення імовірностей виникнення небезпечних ситуацій пристроїв сортувальної гірки	16.05.2025 р.	70%
6 Техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів з підвищення ефективності роботи станції	06.06.2025 р.	80%
7 Висновки. Оформлення пояснювальної записки	13.06.2025 р.	100%

Студент  Іван ЮТРОВ

Керівник  Максим КУЦЕНКО

Зміст

Вступ	7
1 Техніко-експлуатаційна характеристика станції	9
1.1 Технічна характеристика	9
1.2 Експлуатаційна характеристика	11
2 Аналіз основних конструктивно-технологічних характеристик існуючих сортувальних пристроїв України та шляхи удосконалення технології сортувального процесу	12
2.1 Основні конструктивно-технологічні характеристики існуючих сортувальних пристроїв України	12
2.2 Шляхи удосконалення технології сортувального процесу, підвищення рівня його автоматизації	20
3 Заходи щодо удосконалення технології роботи сортувальної гірки	26
3.1 Математична модель визначення оптимальних режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці з позиції ресурсозбереження	26
3.2 Система підтримки прийняття рішень для гіркових операторів з елементами штучного інтелекту	32
3.3 Визначення імовірностей виникнення небезпечних ситуацій пристроїв сортувальної гірки	51
4 Техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів з підвищення ефективності роботи станції	55
4.1 Визначення капітальних та експлуатаційних витрат	55
4.2 Визначення економічного ефекту	58
Висновки	62

					РРСГП.300.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Рационалізація роботи сортувальної гірки з позиції підвищення енергоефективності	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Югров							
Перевір.	Кущенко						5	82
Н. контр.	Шаповал					УкрДУЗТ		
Затв.	Огар							

Список використаних джерел	63
Додаток А Схема сортувальної станції	67
Додаток Б Структурно-логічна процедура розрахунку раціональних параметрів гальмування відчепів	71
Додаток В Вихідні дані для розрахунку параметрів керування гальмовими засобами	80
Додаток Г Структура локальної інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки, що пропонується	83

					РРСГП.300.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Діяльність залізничного транспорту, як частини єдиної транспортної системи нашої країни, сприяє нормальному функціонуванню всіх галузей економіки та зміцненню обороноздатності держави, що є важливими чинниками при вступі до Європейської зони торгівлі.

Перед фахівцями залізничного транспорту виникла задача збереження нормального і стабільного функціонування галузі при безумовному забезпеченні безпеки руху [1-4].

Збільшення об'ємів виробництва та перевезень в нашій країні в найближчі роки є досить складним питанням. В таких умовах роботи виникає одна з найважливіших задач: забезпечити збереження ресурсів, що відносяться до перевізного процесу, зокрема на залізничному транспорті. Але ресурсозбереження повинно бути забезпечено не тільки завдяки випуску найбільш економічної продукції, а також і найбільш надійної у використанні, особливо при виконанні процесу формування составів поїздів на сортувальних пристроях.

У зв'язку із зазначеним актуальними є дослідження, що спрямовані на: вирішення проблеми збереження ресурсів на сортувальних гірках (СГ) при забезпеченні надійності їх функціонування; удосконаленні технології сортувального процесу та підвищенні рівня його автоматизації.

Основним призначенням міждержавних прикордонних передавальних станцій є виконання операцій з приймання, обробки та відправлення вантажних і пасажирських поїздів, які курсують між українськими та закордонними пунктами. Від успішної роботи цих станцій залежить виконання завдань з формування та відправлення поїздів відповідно до графіку руху і плану формування поїздів.

Метою роботи є удосконалення технології роботи сортувальної гірки шляхом оптимізації режимів гальмування відчепів з позиції збереження енергетичних ресурсів.

Поставлена мета визначила наступні задачі дослідження:

- техніко-експлуатаційна характеристика сортувальної станції, що розглядається;
- аналіз основних конструктивно-технологічних характеристик існуючих сортувальних пристроїв України. Шляхи удосконалення технології сортувального процесу та підвищення рівня його автоматизації;
- розробка моделі визначення оптимальних режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці з позиції ресурсозбереження;
- розробка системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів з елементами штучного інтелекту;
- оцінка економічної ефективності запропонованих заходів.

Об'єкт дослідження – процес функціонування сортувальної гірки.

Предмет дослідження – технологія роботи сортувальної гірки в процесі технічної експлуатації.

Методи дослідження.

Проведені дослідження базуються на основі принципів системного підходу, методів нелінійного програмування, кваліметрії, теорії надійності, нейронних мереж та імітаційного моделювання процесу скочування розрахункових составів вагонів.

Наукова новизна отриманих результатів.

В роботі за допомогою комплексу математичних моделей вирішено прикладну задачу удосконалення технології роботи сортувальної гірки шляхом оптимізації режимів гальмування відчепів з позиції збереження енергетичних ресурсів.

Роботу виконано у відповідності з діючими стандартами оформлення текстової і конструкторської документації [28, 29], складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел містить 29 найменувань.

1 Техніко-експлуатаційна характеристика станції

1.1 Технічна характеристика

Станція, що розглядається в даній роботі, за характером роботи та технічному оснащенню є сортувальною, за обсягами роботи – позакласною. Схему станції наведено в Додатку А.

До станції примикають 7 перегонів: 1 триколійний, 3 двоколійних та 3 одноколійних. Усі перегони обладнані автоматичним блокуванням. Станція працює на 9 напрямків і має дві сортувальні системи: Південну та Північну, кожна з яких має механізовану гірку з трьома гальмовими позиціями. Південна система: Північний приймальний парк, Південна гірка, Південний сортувальний парк, Південний парк відправлення. Парки системи розташовані послідовно. Північна система: Зміївський парк, Північна гірка, Північний сортувально-відправний парк, парки – Станційний, Південний транзитний, Ранжирний, Безлюдівський.

Станція має 375 централізованих стрілочних переводів, стрілки обладнані пневмообдувкою, розташовані в спускних горловинах Південної та Північної гірок.

Для маневрової роботи на станції використовуються 8 маневрових локомотивів серії ЧМЕ-3, які обладнані, саморозчепними пристроями, радіозв'язком та обслуговуються машиністом в одну особу.

Північний приймальний парк складається з 8 колій, на які здійснюються приймання поїздів, що прибувають у розформування, відправлення парних вантажних поїздів та для виставлення составів кутового потоку з Північної системи, пропуск транзитних поїздів у Південний парк відправлення. В парку здійснюється технічний та комерційний огляди.

Південна механізована гірка середньої потужності обладнана гірковою автоматизованою централізацією, має одну колію насуву, дві спускні колії,

три гальмові позиції, обладнані вагонними уповільнювачами. Південний сортувальний парк складається з 25 колій, які призначені для накопичення вагонів відповідно до плану формування поїздів.

Південний парк відправлення складається з 12 колій, які призначені для відправлення непарних транзитних поїздів, що прибувають у Південну систему. Останні колії призначені для відправлення непарних вантажних поїздів.

Зміївський парк складається з 8 колій, на які відбувається прийом та відправлення вантажних поїздів, а також комерційний огляд та технічний огляд поїздів.

Північна механізована гірка середньої потужності обладнана гірковою автоматичною централізацією, має одну колію насуву, одну спускную колію та три гальмові позиції. Північний сортувально-відправний парк складається з 20 колій. Всі колії призначені для формування та відправлення поїздів.

Станційний парк складається з 7 колій. На 1 – 4 коліях відбувається прийом, відправлення пасажирських, приміських та пропускання вантажних поїздів, на 5 – 7 коліях приймають, відправляють та пропускають вантажні поїзди, локомотиви.

Південний транзитний парк складається з 10 колій. В цьому парку виконують прийом і відправлення парних та непарних транзитних поїздів. В парку здійснюється технічний та комерційний огляди.

Ранжирний парк складається з 7 колій – для відстоювання, формування, подачі та розвозу груп місцевих вагонів на під'їзні колії.

Безлюдівський парк складається з 7 колій, призначених для прийому, відправлення поїздів.

На станції мається основне локомотивне депо для забезпечення ділянок Основа – Полтава, Основа – Ворожба, Основа – Смородине тепловозами серії ТЕП-70, 2ТЕ-116.

Вагонне депо розташоване в центральній частині між Північною та Південною системами, проводить деповський та поточний ремонт рухомого складу.

1.2 Експлуатаційна характеристика

Північна сортувальна система переробляє вагонопотік, що надходить з Красного Лиману, Куп'янська, Люботина, Лозової та на станції Харківського вузла в напрямку Півночі: Харків-Сортувальний, Одноробівка, Люботин.

Південна сортувальна система переробляє вагонопотік, що надходить з Люботина, Лозової, Красного Лиману, Куп'янська, Харків-Сортувального, Одноробівки в напрямку Красний Лиман, Куп'янськ, Харків-Сортувальний.

Поїзда, які надходять у переробку у Зміївський парк після обробки працівниками ПТО і ПКО надходять на Північну гірку, далі в Північний сортувально-відправний парк, призначений для накопичення, формування поїздів і відправлення по призначеннях.

Поїзда, які надходять у переробку у Північний приймальний парк після обробки працівниками ПТО і ПКО надходять на Південну гірку, далі в Південний сортувальний парк, призначений для накопичення та формування поїздів. Состави з Південного сортувального парку виставляються в Південний парк відправлення та після огляду працівниками ПТО та ПКО відправляються по призначеннях.

Транзитний вагонопотік без переробки надходить з півдня в Південний транзитний парк, звідки після обробки працівниками ПТО і ПКО відправляється по призначеннях через станційний парк. З Півночі транзитний вагонопотік без переробки надходить у Північний приймальний парк та далі по ходових коліях у Південний парк відправлення, а також може бути пропущеним через Південний транзитний парк, а далі по призначенням.

2 Аналіз основних конструктивно-технологічних характеристик існуючих сортувальних пристроїв України та шляхи удосконалення технології сортувального процесу

2.1 Основні конструктивно-технологічні характеристики існуючих сортувальних пристроїв України

Питанню вдосконалення конструкції та методикам розрахунку параметрів сортувальних гірок присвячено чимало досліджень, що знайшло відображення у працях таких визначних науковців як Абуладзе Л.В., Берестов І.В., Бессоненко С.А., Болотний В.Я., Вульфсон Б.Н., Данько М.І., Дашков М.Г., Івашкевич В.К., Карпов А.М., Луговцов М.Н., Негрей В.Я., Образцов В.М., Огар О.М., Павлов В.Є, Савченко І.Є., Страковський І.І., Уздін М.М., Єфіменко Ю.І. та інші.

Наявні методики оцінювання технології сортувального процесу, запропоновані у джерелах [5-8], не дають повноцінної характеристики проектного рішення чи функціонуючої сортувальної гірки.

Наукові концепції, розроблені вищезгаданими дослідниками, здебільшого фокусувалися на збільшенні переробної здатності сортувальних гірок, тоді як питанню ресурсозбереження не надавалося достатньої уваги.

Зважаючи на складні політичні обставини в нашій державі, надзвичайно проблематично представляти статистичні показники без врахування окремих територій, які, на жаль, перебувають під окупацією у військовому стані та відокремлені від України. Тому вважаємо доцільним навести статистичні дані станом на 2014 рік. На території України функціонує 177 сортувальних пристроїв, серед яких механізованих гірок – 36, немеханізованих – 11, малої потужності – 97, похилих витяжок – 22, профільованих витяжок – 11.

На даний момент сортувальні пристрої загалом забезпечують потрібний обсяг переробки вагонопотоку. Втім, дослідження їхнього

технічного стану виявляє значне зношення обладнання, особливо пристроїв контролю швидкості відчепів.

На сортувальних об'єктах мережі використовується 1098 вагонних уповільнювачів восьми різновидів: КВ-2, КВ-3, РНЗ-2, Т-50, ВЗПГ, НК-114, КНП-5, КЗ-3. Більша частина гіркових та паркових уповільнювачів, окрім ВЗПГ, НК-114 та КЗ-3 (приблизно 6% від загальної кількості), є технічно застарілими (термін служби деяких моделей перевищує 20 років при нормативному показнику 12 років). Характерними недоліками цих пристроїв є надмірне споживання енергії та висока складність технічного обслуговування.

Для оцінки сучасного стану сортувальних пристроїв з точки зору їхніх конструктивних і технологічних параметрів розглянемо сортувальні об'єкти Південної залізниці.

В цілому на Південній залізниці функціонує 19 сортувальних пристроїв: 8 механізованих гірок, 1 немеханізована гірка, 7 гірок малої потужності та 3 профільовані витяжки. Показники висоти сортувальних пристроїв варіюються від 1,55 м (ст. Лозова) до 4,33 м (Південна сортувальна гірка ст. Основа). Дистанція від вершини гірки до розрахункової точки трудної колії коливається в діапазоні від 314,75 м (непарна гірка ст. Куп'янськ-Сортувальний) до 482,65 м (Південна сортувальна гірка ст. Основа). Важливо зазначити, що фактичні значення ухилів відповідних ділянок профілю здебільшого не відповідають вимогам чинних Правил і норм проектування сортувальних пристроїв.

Зокрема, нахил І ГП знаходиться у діапазоні від 11 до 29,7 ‰, нахил ІІ ГП варіює в межах від 5,2 до 13,27 ‰, стрілочна зона спроектована на ухилі від 0,97 до 5,25 ‰. ПГП сконструйована на нахилі у межах від 0,5 до 3 ‰ (варто зауважити, що на Північній сортувальній гірці станції Основа ПГП розташована на протинахилі). Ділянка від завершення ПГП до розрахункової точки на діючих сортувальних станціях має ухил від 0,3 до 2,65 ‰ (на сортувальних гірках станцій Основа та Куп'янськ-Сортувальний ця ділянка

знаходиться на протнухилі).

На Південній залізниці використовується 378 вагонних уповільнювачів шести типів: КВ-2, КВ-3, РНЗ-2, Т-50, НК-114, КНП-5, КЗ-3.

Щодо рівня зношеності вагонних уповільнювачів, необхідно підкреслити, що, наприклад, по станції Основа цей показник сягає приблизно 40%.

Виконавчі механізми залізничної автоматики сортувальної станції.

Вагонні уповільнювачі.

На сортувальних гірках застосовується принцип інтервально-прицільного регулювання швидкості відчепів [9], відповідно до якого гірка обладнується гальмівними позиціями, розташованими переважно перед розділовими стрілками – I ГП, після розділових стрілок – II ГП, на початку паркових колій – III ГП.

Головною функцією гальмівних позицій I ГП та II ГП є сповільнення відчепів, що самостійно спускаються з вершини гірки. Це потрібно для запобігання зіткнень відчепів, які рухаються послідовно визначеними маршрутами на колії сортувального парку. Гальмування має забезпечувати необхідні часові проміжки між відчепами, достатні для переведення стрілок за маршрутом. Таким чином, на I ГП і II ГП покладається ключове завдання забезпечення інтервального гальмування.

Завданням паркової гальмівної позиції III ГП є прицільне гальмування відчепів і встановлення швидкостей, достатніх для докочування до розрахункової точки на сортувальній колії. При цьому швидкість зіткнення відчепів у парку не повинна перевищувати 5 км/год.

Гальмівні позиції оснащуються спеціальними колійними пристроями для контролю швидкості руху вагонних відчепів – гірковими та парковими уповільнювачами. При цьому на I ГП і II ГП встановлені уповільнювачі високої потужності КЗ-3, 5 та ВЗПГ-5, тоді як III ГП обладнана уповільнювачами низької потужності РНЗ-2.

Експлуатаційно-технічні характеристики різних типів уповільнювачів

представлені у таблиці 2.1.

Методологія інтервально-прицільного регулювання швидкості відчепів, що використовується практично на всіх сортувальних гірках, має суттєві недоліки. Хоча вона й забезпечує потрібну інтенсивність розформування составів, але не дає можливості повністю уникнути порушень у функціонуванні сортувальної гірки, пошкоджень вагонів та вантажів, що транспортуються. Це зумовлено здебільшого інертністю роботи та нестабільністю гальмівних характеристик балочних уповільнювачів, незадовільним технічним станом поздовжніх профілів колій, помилковими діями гіркових операторів та недосконалістю автоматизованих систем управління через неповне врахування факторів, що впливають на ефективність інтервально-прицільного регулювання швидкості відчепів.

Таблиця 2.1 – Експлуатаційно-технічні характеристики вагонних уповільнювачів

Показник	Тип уповільнювача		
	ВЗПГ-5	КЗ-5	РНЗ-2
Маса (без рейок і шпал), т	23,0	28,0	6,5
Довжина по балках, м	12,5	12,5	3,6
Тип рейок	P50, P65	P65	P50
Допустима швидкість входу, м/с	8,0	8,5	6,0
Розрахункова енергетична висота, що гаситься, м	1,3	1,5	0,35
Час загальмовування, с	0,7	0,8	0,7
Час розгальмовування, с	0,7	0,7	0,6
Витрати вільного повітря на одне спрацювання, м ³	0,7	1,3	0,25
Питома гальмівна потужність, м.є.в./м	0,13	0,12	0,1
Питома металоемність, т/м.є.в.	17,0	18,1	18,6
Питомі витрати повітря, м ³ /м.є.в.	0,7	0,9	0,7

Стрілочні електроприводи.

На гірці використовуються стрілочні електроприводи із внутрішнім блокуванням, невзрізні швидкодіючі типу СПБГ-4М. Їхня висока оперативність досягається завдяки поєднанню максимального керуючого впливу по напрузі з передавальним числом редуктора електроприводу.

Замість контактного автоперемикача впроваджено безконтактний

автоперемикач, у якому застосовано індукційний (трансформаторний) принцип. Його функціонування базується на зміні коефіцієнта взаємоіндукції первинної та вторинної котушок трансформатора через зміщення пасивного шунта. Коли шунт знаходиться навпроти полюсів із розміщеними котушками, повітряний проміжок між шунтом і полюсами мінімальний, і у вторинній котушці виникає ЕРС необхідної величини. При збільшенні повітряного проміжку ЕРС на виході суттєво знижується. Таким чином, активація та деактивація реле відбуваються при активній дії шунта.

Рейкові кола.

На сортувальній гірці в якості колійних датчиків функціонують нормально розімкнені РК, які не передбачають контроль справності елементів і рейкових ниток [10].

Вони характеризуються специфічними особливостями:

- відносно невелика протяжність;
- наявність передстрілочної ділянки (для стрілочних РК);
- підвищена чутливість до шунтування та швидкодія;
- стабільність функціонування при зниженому опорі баласту.

Потреба в забезпеченні швидкодії гіркових РК визначається умовами безпеки при максимальній інтенсивності розформування составів.

У системах ГАЦ до коротких РК висуваються додаткові вимоги щодо швидкодії. Це пов'язано з роботою стрілок у режимі автоматичного повернення та неприпустимістю навіть короткочасної втрати контакту шунта. Відчеп має бути виявлений незалежно від стану баласту та забруднення контактних поверхонь рейок і колісних пар.

Однак на практиці перехідний опір між колесом і рейкою нерідко досягає 0,5 Ом і більше, що спричиняє короткочасну втрату шунта. Підвищене забруднення баласту на стрілочних ділянках солями, рудами тощо призводить до зниження опору баласту до 3 Ом на 12,5 м, що зменшує надійність роботи коротких РК.

Електромагнітні педалі.

На гірці застосовується колійний датчик трансформаторного типу ДП-50. Ключовою особливістю цього датчика є здатність фіксувати нульові швидкості руху відчепів. Сенсорний елемент датчика складається з двох стрижневих магнітопроводів з встановленими на них котушками з живильними обмотками, з'єднаними послідовно, та котушками з вихідними обмотками, які підключені послідовно і зустрічно.

У перспективі планується можливість заміни датчиків ДП50-80 на колійні датчики серії ДПД-02, розроблені для використання в системі контролю буксових вузлів АСДК-Б, які згодом були адаптовані до інших систем залізничної автоматики.

Головними перевагами датчика ДПД-02 є:

- висока точність визначення моменту проходження осі симетрії колеса через датчик для всіх одиниць рухомого складу;
- захищеність від зовнішніх електромагнітних полів, включаючи нечутливість до тягових струмів та імпульсних завад від іскрових розрядів;
- підвищена стійкість до вібрацій та ударних навантажень на рейку;
- незалежність амплітуди вихідного сигналу та зони чутливості датчика від швидкості руху потяга;
- швидкий і простий монтаж на рейку без необхідності різання, зварювання чи свердління.

Світлові (оптичні) датчики.

Для визначення позиції рухомого складу на ізолюваній секції та запобігання перекладу стрілок під вагонами (включаючи довгобазні) та при втраті шунта на гірці використовується фотоелектричний пристрій (ФЕП). Його монтують на головних і пучкових стрілках, а також на стрілках негабаритних ділянок.

Виявлення відчепа в контрольованій зоні ґрунтується на блокуванні вагоном світлового потоку, що надходить до приймача.

Промінь світла перетинає центральну вісь колії на рівні автозчеплення, щоб уникнути фіксації проміжків між вагонами у відчепах. Точка перетину

променя світла з віссю колії повинна розташовуватися від гостряків на дистанції 1,2 – 2,5 м. Цю відстань обирають з такого розрахунку, щоб промінь світла перетинався будь-яким типом вагона, навіть довгобазним, доки перша вісь другого візка не досягне гостряків стрілки.

Для захисту фоторезистора від сонячного світла, відбитого від бокових поверхонь, фотодатчик розміщують з тіньового боку вагону.

Переваги ФЕП включають:

- функціонування в режимі просторового контакту з об'єктом виявлення;
- простоту реалізації та технічного обслуговування;
- відносно низьку собівартість.

Водночас хвилі видимого оптичного діапазону зазнають значного згасання залежно від атмосферних умов (дощ, туман, сніг, пил). Запилення та забруднення оптичних лінз паливно-мастильними матеріалами суттєво впливає на нормальне функціонування ФЕП.

Крім того, в сонячну погоду при проходженні в контрольованій зоні вагонів з високими відбивними властивостями бокових поверхонь до приймача ФЕП потрапляють відблиски у вигляді сонячних "зайчиків", внаслідок чого формується сигнал помилкової вільності. Варто також зауважити, що довгобазні восьмиосні цистерни з високо розташованою основою (1300 мм) і вагони-транспортери з низько опущеною (до 560 мм) основою не фіксуються ФЕП через вузьконаправленість випромінювання.

Вагомір.

Вагоміри застосовуються в системах регулювання швидкості скочування відцепів з метою попереднього визначення ступеня гальмування відцепів при їх надходженні на уповільнювачі. Через невисоку точність вимірювання маси вагону, за їх допомогою встановлюється тільки вагова категорія.

Вагомір монтується на коліях перед верхньою гальмівною позицією. Найширше застосування мають два типи вагомірів. Перший – механічний,

що представляє собою рейкову вставку довжиною приблизно 3,5 м, у центральній частині якої видалена частина головки рейки, а в утвореному пазу встановлений місток – силовимірвальна пружина із загартованої ресорної сталі.

На рейковій вставці закріплена контактна коробка, яка містить шість пар контактних пружин. Місток і контактний важіль пов'язані між собою рухомим важелем. Під час в'їзду колісної пари вагону на рейкову вставку вагоміру місток прогинається й активує натискний важіль, що приводить у рух контактний важіль з прикріпленими до нього контактами. Пересуваючись, важіль поступово вмикає контактні групи, кожна з яких відкалібрована на відповідну вагову категорію: Л (легка), ЛС (легко-середня), С (середня), СТ (середньо-важка), В (важка), ВД (дуже важка). Через замикання однієї чи кількох контактних груп передається електричний сигнал про відповідну вагову категорію.

Другий тип вагомірів, що використовується в сучасних системах керування, має назву тензометричний. Він складається з тензометричного датчика, розміщеного на спеціально підготовленій рейковій вставці довжиною 5...6 м, яка укладається на особливій металевій платформі, прикріпленій до шпал. Вторинний перетворювач датчика, що здійснює трансформацію сигналу в величину, пропорційну масі вагону, для передачі його на гірковий пост, розташовується в колійному ящику біля рейки та з'єднується з датчиком кабелем.

Принцип функціонування датчика ґрунтується на вимірюванні пружної деформації шийки рейки під впливом навантаження від коліс рухомого складу. Чутливим елементом датчика є тензорезистор, що перетворює деформацію рейки від дії сили тяжіння вагону в зміну його електричного опору. Датчик представляє собою тензометричний міст із тензорезисторів, що кріпляться на шийку рейки. У комплект для однієї колії розпуску входять два датчики: основний і резервний. Датчики встановлюються на обох рейках напроти один одного і захищаються герметичними кришками. Перетворювач

отримує сигнали від датчика через інтерфейс RS-485 і передає їх на гірковий пост на відстань до 1200 м по кабелю з парним скручуванням. Важливим недоліком тензовагомірів є їхня недостатня точність (похибка 5 – 10%) та неможливість відновлення при пошкодженні (вимагається нова рейкова вставка з датчиком).

2.2 Шляхи удосконалення технології сортувального процесу, підвищення рівня його автоматизації

Зростаюча складність завдань (зокрема необхідність збільшення переробної спроможності станції при одночасному підвищенні якості обробки), значний обсяг факторів впливу на ефективність сортувального процесу, зростання загального інтелектуально-технічного рівня працівників робить ручну працю суттєво дорожчою і менш результативною на сортувальній гірці, а "людський чинник" сприяє виникненню нештатних ситуацій.

За таких обставин релейні системи вичерпали свій технологічний потенціал і не мають перспектив розвитку. Так само безперспективним є розділення функцій ГАЦ і АРШ по окремих системах. Міжнародний досвід розвитку гіркових систем та вітчизняна практика вказують на доцільність впровадження повнофункціональних мікропроцесорних систем управління технологічним процесом розформування составів, головною умовою ефективності яких є підтримання рівня безпеки при зменшенні кількості персоналу, зокрема – мінімізація впливу "людського чинника" в технологічному процесі.

Підвищення продуктивності роботи гіркових механізмів та інших технічних засобів можна досягти шляхом впровадження комплексної системи, що включає чотири основні автоматизовані підсистеми управління:

- маршрутами скочування відчепів і моніторингу маневрових переміщень;

- швидкістю відчепів під час спуску з гірки;
- швидкістю руху составу при насуві та розформуванні;
- переміщенням вагонів на сортувальних коліях.

Спираючись на досвід розвитку вітчизняних і закордонних технологій функціонування сортувальних станцій, необхідно забезпечити розширення сфери автоматизації:

- гальмування відчепів з мінімізацією ручного втручання;
- процесу автоматичного розчеплення;
- процесу закріплення составів у парках і захисту колій сортувального парку;
- ідентифікації номерів вагонів при прибутті та відправленні зі станції;
- планувальних процесів, включаючи оперативне планування;
- системи звітності станції.

Такі заходи дозволять зменшити чисельність обслуговуючого персоналу та усунути такі небезпечні й непривабливі професії як "башмачник" та розчіплювач.

Запровадження системи віддаленого моніторингу поїзної та технологічної обстановки на станції створює можливість для диспетчера та чергового по парку оперативно відстежувати місцезнаходження локомотива. Передача даних щодо позиції, фактичної швидкості та напрямку руху локомотива з подальшим відображенням цієї інформації на автоматизованих робочих місцях забезпечує ефективний контроль за транспортним процесом.

Одним із перспективних напрямів розвитку є поєднання локомотивного обладнання для дистанційного управління із мікропроцесорними пристроями, що безпосередньо керують локомотивом. Досвід зарубіжних країн свідчить про доцільність застосування дистанційного керування локомотивами у межах станції задля автоматизації маневрової діяльності. Ця технологія особливо ефективна для вирішення таких завдань:

виконання маневрових операцій однією особою в окремих парках станції, що дозволяє зменшити перепробіг маневрових локомотивів;

здійснення процесів насування та розпуску поїздів на сортувальних гірках без участі машиніста.

Зважаючи на сучасні економічні реалії, модернізація та технічне переоснащення сортувальних станцій мають здійснюватися із застосуванням новітніх технічних засобів та інноваційних технологій. Це зумовлено тим, що більшість традиційних технологій вже вичерпали свій потенціал підвищення ефективності, а зміна вартості основних ресурсів диктує нові вимоги. Подальше фінансування застарілих технологій, що потребують значних витрат, призводитиме до втрати конкурентоспроможності залізничного транспорту.

Одним із ключових напрямів розвитку технічного оснащення та систем управління на сортувальних станціях, що сприяє зниженню обсягу ручної праці при формуванні та розформуванні складів із гарантією збереження вантажу і рухомого складу, є масове впровадження мікропроцесорної техніки.

Автоматизацію доцільно реалізовувати як на новозбудованих сортувальних гірках, так і на тих, що вже експлуатуються. Для прискорення переходу до автоматизованого управління доцільно впроваджувати окремі підсистеми поетапно.

Урахування істотних змін, що відбулися з моменту введення в експлуатацію профілю спускної частини та підгіркових колій, а також проведення нового розрахунку потреби в гальмівних пристроях для регулювання швидкості скочування вагонів, відкриває можливість досягнення значного енергозбереження. Це забезпечується впровадженням прицільного гальмування за допомогою однієї або двох гальмівних позицій і обмеженням використання сповільнювачів на третій гальмовій позиції там, де це технічно можливо.

Серед типових недоліків релейних систем гіркової автоматичної централізації (ГАЦ) слід відзначити спрощеність алгоритмів керування та обміну завданнями [11]. Надійність їхньої роботи підтримується за рахунок

дублювання або навіть потрібного резервування пристроїв, що розміщені на місцевості, зокрема систем захисту стрілок і від проходу вагонів з великою базою, а також завдяки безперервній організації рейкових кіл у спускній зоні. Разом з тим, ці системи потребують великої кількості ручних операцій, що призводить до зростання експлуатаційних витрат на обслуговування, збереження значних площ релейних приміщень та постійного візуального нагляду з боку персоналу за функціонуванням обладнання.

Мікропроцесорні системи ГАЦ, у свою чергу, мають загальну ваду — відсутність інтегрованого підходу до автоматизації всього процесу сортування. Це не дозволяє повністю відмовитися від рейкових кіл у міжстрілочному просторі, оскільки зберігається потреба у відображенні даних на гірковому пульті керування та контролю інтервалів для автоматизованої системи розподілу шляхів (АРШ). Також актуальною залишається проблема забезпечення стабільної роботи осьових лічильників, які не потребують постійного налаштування.

Іноземні автоматизовані системи демонструють кращу якість виконання у порівнянні з вітчизняними аналогами. Завдяки використанню мікропроцесорних технологій і повній автоматизації управління процесами на гірці, вдається скоротити час перебування вагонів на станції до 50 %.

Оцінка якості сортувального процесу визначається мінімальною кількістю вагонів, направлених на неправильну колію. Згідно з експлуатаційними даними, включаючи повідомлення та статистику пошкоджень вагонів, цей показник становить щонайменше 5–8 % від загального обсягу вагонопотоку.

Застосування, з одного боку, дублювання елементів систем, а з іншого — технологічних рішень дозволяє досягти такого рівня технічної надійності, при якому відмова окремих компонентів не призводить до зупинки технологічного процесу, завдяки компенсаційним механізмам.

Таким чином, шлях до автоматизації роботи сортувальної станції полягає у створенні інтегрованої системи управління, що поєднує функції

планування та оперативного керування на основі єдиної інформаційної платформи. Це дає можливість формування спільної бази даних для всіх підрозділів, задіяних у роботі станції, що, своєю чергою, забезпечує автоматизацію не лише гірки, але й усього технологічного комплексу станції.

Така система може включати наступні структурні модулі:

- підсистему мікропроцесорної автоматичної централізації гірки;
- підсистему програмного формування завдань гіркової роботи;
- підсистему керування прицільним гальмуванням;
- гіркову підсистему автоматичного локомотивного сигналу з радіозв'язком;
- підсистему автоматизованого керування компресорною станцією;
- підсистему моніторингу та діагностики станційного обладнання.

Реалізація подібної інтегрованої системи дозволить значно підвищити рівень безпеки на станції, забезпечити автоматизоване управління процесами насування та розпуску составів, організувати контроль за всіма етапами обробки составу, а також усунути необхідність у виконанні небезпечних операцій, таких як закріплення составів сигналістами або гальмування відчепів регулювальниками швидкості.

На завершення розділу доцільно сформулювати низку висновків.

Вартість переробки одного вагона на сортувальних пристроях в Україні суттєво перевищує оптимальні показники через використання технічно застарілих систем регулювання швидкості відчепів, що характеризуються високим споживанням енергії та складністю в обслуговуванні.

Процеси модернізації технічної бази сортувальних пристроїв відбуваються вкрай повільно: рівень оновлення уповільнювачів в межах всієї Укрзалізниці становить лише 6%, а на Південній залізниці — лише 4%.

Жоден із наявних сортувальних пристроїв не відповідає сучасним вимогам чинних Правил і норм проектування, що негативно впливає як на якість, так і на безпечність процесів сортування.

У зв'язку зі зниженням обсягів переробки, витрати на експлуатацію та

утримання сортувальних пристроїв стали економічно необґрунтованими.

Виникла нагальна потреба у приведенні конструктивно-технічного стану сортувального обладнання у відповідність до реальних обсягів обробки вантажів. Однак діючі нормативи не містять положень щодо енерго- та ресурсозберігаючих принципів при визначенні конструктивно-технічних параметрів подібних пристроїв.

На сучасному етапі розвитку необхідно впроваджувати механізацію та автоматизацію процесів сортування на станціях шляхом застосування вагонних уповільнювачів нових конструкцій і використання комплексних автоматизованих систем керування технологічним процесом.

Відсутність цілісного, комплексного підходу до автоматизації сортувального процесу є одним із ключових недоліків існуючих технічних рішень.

Сучасні гіркові системи використовують різноманітні типи датчиків через потребу у забезпеченні подвійного або навіть потрійного контролю за переміщенням рухомого складу. Це зумовлено низьким рівнем завадостійкості наявних датчиків, тому актуальним є впровадження нових сенсорних пристроїв, здатних виконувати розширений набір функцій у порівнянні з тими, що застосовуються нині.

3 Заходи щодо удосконалення технології роботи сортувальної гірки

3.1 Математична модель визначення оптимальних режимів гальмування відцепів на сортувальній гірці з позиції ресурсозбереження

В даній роботі зроблено спробу підвищити ефективність роботи сортувальної гірки шляхом оптимізації режимів гальмування відцепів з позиції збереження енергетичних ресурсів. В якості полігону для впровадження даної ідеї обрано сортувальну гірку Північної сортувальної системи (рис. 3.1).

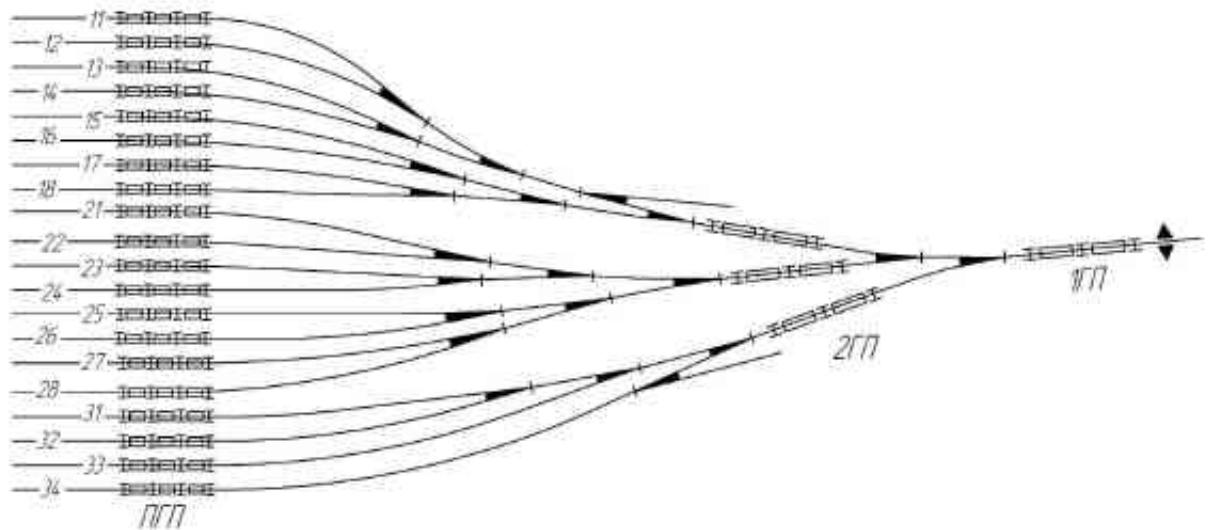


Рисунок 3.1 – Схема Північної сортувальної гірки

Вихідними теоретичними основами для розрахунку конструктивних параметрів сортувальної гірки є диференційні рівняння руху вагону та теорема про зміну кінетичної енергії. На підставі [12, 13], основне рівняння руху відчепа буде у вигляді

$$V_k = \sqrt{V_n^2 - 2 \times g \times \alpha_n \times (i - a_w) \times 10^{-3}}, \text{Equation.3} \quad (3.1)$$

де V_n, V_k – швидкість руху відчепа, м/с на початку та в кінці ділянки l_s ;

Equation.3, м;

i Equation.3 – уклон ділянки, ‰;

g Equation.3 – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції мас вагону, що обертаються, м/с²;

$\sum a_w$ – сума питомих сил опору руху відчепу, Н/кН.

Цей вираз є основним рівнянням руху, що дозволяє вирішувати ряд важливих задач по знаходженню та аналізу конструктивних параметрів сортувальної гірки.

Рациональні параметри керування гальмовими засобами визначено за критерієм мінімуму річних експлуатаційних витрат на електроенергію, необхідну для регулювання швидкості скочування відчепів, тому цільову функцію записано у наступному аналітичному виді

$$E_{el}^{рез} = f \left(\begin{matrix} n_{акл_{ij}}(z_{ij}, t_{z_{ij}}) \\ n_{акл_i}^{ППП}(z_i^{ППП}, t_{z_i}^{ППП}) \end{matrix} \right) \dot{y} =$$

$$= 0,365 \sum_{j=1}^n K_{z_{ij}} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n a_{акл_{ij}}^2 x_{q_{ij}} + \sum_{i=1}^n a_{акл_i}^{ППП} x_{q_i}^{ППП} \right) \dot{y} \quad \text{min}, \quad (3.2)$$

при обмеженнях

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq z_{ij} \leq n_{стj}; l_{z_{ij}} \leq l_{унj}^{бал} + l_{відчj}^{кр.ос.}; \\ 0 \leq z_i^{ППП} \leq n_{ст}^{ППП}; l_{z_i}^{ППП} \leq l_{ППП}^{бал} + l_{відчj}^{кр.ос.}; \\ V_{акл_{ij}}^{ун.сч} \leq V_{max}^{ун.сч}; V_{акл_i}^{ППП} \leq V_{max}^{ППП}; \\ dt_{ун.счj} \leq dt_{зад}; dt_{стрj} \leq dt_{зад}; \end{array} \right. \quad (3.3)$$

$$E_{el}^{рез} < E_{el}^{зад}.$$

де $n_{вкл_{ij}}, z_{ij}, t_{z_{ij}}$ – кількість включень на один вагон i -го уповільнювача j -ї ГП; ступінь гальмування та тривалість гальмування відчеп, с, на i -му уповільнювачі j -ї ГП;

$n_{вкл_i}^{ППП}, z_i^{ППП}, t_{z_i}^{ППП}$ – теж на i -му уповільнювачу ППП;

K_a – коефіцієнт збільшення витрат повітря взимку (1,02);

e_{el} – вартість 1 кВт×год електроенергії, грн;

N – обсяг вагонопотоку, що переробляється на гірці, ваг/доб (3500);

$q_{ij}, q_i^{ППП}$ – витрати електроенергії при одному включенні i -го уповільнювача, що встановлений на j -й ГП спускної частини та ППП, кВт×год. Для 1 та 2 ГП – 0,1375 кВт×год, для ППП – 0,025 кВт×год;

$n_{ст_j}, n_{ст}^{ППП}$ – максимальна кількість ступенів гальмування на уповільнювачах спускної частини та ППП;

$l_{z_{ij}}, l_{z_i}^{ППП}$ – відстань, на якій загальмовується відчеп, спускної частини та ППП, м;

$l_{yn_j}^{бал}, l_{ППП}^{бал}$ – довжина уповільнювача по балках j -ї ГП спускної частини та ППП, м;

$l_{відч_i}^{кр.ос.}$ – довжина відчепу по крайнім осям, м;

$V_{вх_{ij}}^{yn,сч}, V_{max}^{yn,сч}$ – реальна та допустима швидкості входу відчепу на i -й уповільнювач j -ї ГП, м/с;

$V_{вх_i}^{ППП}, V_{max}^{ППП}$ – реальна та допустима швидкості входу відчепу на i -й уповільнювач ППП, м/с

$dt_{yn,сч_0}, dt_{счр_k}$ – інтервали між відчепами на вагонних уповільнювачах та стрілками спускної частини, с;

$dt_{зад}$ – максимально можливий інтервал між відчепами, с;

$E_{ел}^{зад}$ – недосяжна величина експлуатаційних витрат на гальмування відчепів, тис.грн/рік.

Спеціальна процедура, а саме процедура розрахунку енергозберігаючих параметрів керування гальмовими засобами перед розпуском состава (додаток Б), дозволяє отримати план умовно-ідеального скочування кожного відчепу з гірки при середніх значеннях основного питомого опору руху вагонів, температури повітря, швидкості і напрямку вітру [14]. Такий план запропоновано називати планом умовно-ідеального скочування (рис. 3.2).

Вихідними даними для визначення раціональних параметрів керування є число відчепів у составі, крок гальмування на 1-му, ..., 4-му уповільнювачах спускної частини і ПГП, задані мінімальні інтервали на розділових елементах (стрілках і вагонних уповільнювачах), задана деяка недосяжна величина експлуатаційних витрат на гальмування відчепів, вартість електроенергії, колії призначення відчепів, число вагонів у кожному відчепі, тип, число осей і вага вагонів.

Рисунок 3.2 – Криві тривалості умовно-ідеального скочування відчепів

На підставі введених даних розраховуються навантаження на вісь першого вагону у відчепі, довжина відчепу по крайнім осям і його основний питомий опір. Після введення середніх значень швидкості і напрямку вітру та температури зовнішнього повітря моделюються моменти відриву відчепів від составу. Далі у циклі:

- моделюється ступінь гальмування і гальмовий шлях кожного відцепу на кожному вагонному уповільнювачі по маршруту скочування (включаючи паркові) з перевіркою на умову вижимання колісних пар;
- моделюється скочування кожного відцепу;
- перевіряються умови входу кожного відцепу на вагонні уповільнювачі спускної частини і ППП та виходу з них;
- визначається стрілка розділення суміжних відцепів;
- перевіряються умови розділення суміжних відцепів на розділових стрілках та забезпечення достатніх інтервалів між ними на вагонних уповільнювачах;
- розраховується загальне число включень на уповільнювачах спускної частини і ППП;
- розраховуються експлуатаційні витрати на електроенергію, необхідну для регулювання швидкості скочування відцепів, та порівнюються з попередніми витратами;
- виводяться на друк раціональні параметри гальмування, а саме: число включень, ступінь гальмування та моменти його початку і кінця на кожному вагонному уповільнювачі при гальмуванні кожного відцепу.

Лімітованою ланкою при визначенні витрат електроенергії при регулюванні швидкості розпуску є кількість спрацювань вагонних уповільнювачів. Згідно завдання на гірці за добу (24 години) на гірці переробляється 3500 ваг. За даними натурних спостережень в середньому у відцепі 3 вагони.

Кількість спрацювань вагонних уповільнювачів на один вагон визначено за формулою [12]

$$k_{\text{вк},i} = (0,7 + 0,15n_{\text{в}})k_{\text{вкр},i}, \text{ Equation.3} \quad (3.4)$$

де $n_{\text{в}}$ Equation.3 – число вагонів у відцепі (3);

$k_{вкр,i}$ Equation.3 – коефіцієнт включень (середня кількість включень кожного уповільнювача на відповідній гальмовій позиції, що припадає на один відцеп) [12, табл.Г.1].

За діючою методикою кількість спрацювань вагонних уповільнювачів на один вагон на 1, 2 та парковій гальмових позиціях складає відповідно: 3,358; 2,484; 2,300.

При реалізації моделі використано математичний апарат нелінійного програмування, а саме – спрямований перебір варіантів [15]. Після реалізації моделі на ПЕОМ в програмному середовищі C# (C Sharp) та проведення відповідних за нею оптимізаційних розрахунків кількість спрацювань вагонних уповільнювачів на один вагон на 1, 2 та ПГП буде складати відповідно: 2,854; 2,186; 1,978. Результати розрахунків наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати визначення оптимальних режимів гальмування відцепів на сортувальній гірці з позиції ресурсозбереження

Період	Кількість спрацювань уповільнювачів на один вагон гальмової позиції			Витрати електроенергії для регулювання швидкості скочування відцепів, тис.кВт×год /рік	Грошові витрати на електроенергію для регулювання швидкості скочування відцепів, тис.грн/рік
	1 ГП	2 ГП	ПГП		
До впровадження заходів	3,358	2,484	2,300	2311,02	2935,00
Після впровадження заходів	2,854	2,186	1,978	1999,33	2539,15
Різниця (+/-)	0,504	0,298	0,322	311,69	395,85

З цієї таблиці видно, що після впровадження заходів з оптимізації режимів гальмування відцепів на сортувальній гірці, існує зменшення витрат електроенергії на 311,69 тис.кВт×год/рік, а це за діючими тарифами на електроенергію складає 395,85 тис. грн/рік (або 14,94 тис. дол. США/рік).

3.2 Система підтримки прийняття рішень для гіркових операторів з елементами штучного інтелекту

Впровадження системи підтримки прийняття рішень [14, 16] для гіркових операторів на сортувальній гірці, яка обладнана системою ГАЦ, але без повної автоматизації сортувального процесу, дозволить знизити імовірність виникнення небезпечної ситуації, зокрема перевищення швидкості співударення вагонів на спускній частині та коліях сортувального парку.

Складно забезпечити високі якісні показники сортувального процесу за рахунок лише досвіту гіркових операторів [17]. Оператор приймає рішення в умовах відсутності повної інформації про стан колісних пар і ходові якості вагонів, які навіть при наявності відповідних вимірювальних приладів точно оцінити неможливо. В умовах автоматизації сортувального процесу зазначені фактори здійснюють суттєвий вплив на точність реалізації розрахункових швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій.

Комплексним вирішенням проблеми енергозбереження і підвищення якості сортувального процесу на вітчизняних сортувальних гірках на першому етапі може бути створення системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів з елементами штучного інтелекту, орієнтованої на збереження енергоресурсів на регулювання швидкості скочування відчепів. На другому етапі математичну основу такої системи можна адаптувати в гіркові автоматизовані комплекси з можливістю безпосереднього втручання оператора гірки в процес розпуску [14, 16].

В основу системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів покладено математичний апарат нейронних мереж для формування рішення в умовах невизначеності [18-20]. Використано нейронну мережу, яка навчається із вчителем. Задачею людини є контроль за ходом навчання і втручання в даний процес, якщо в тому є необхідність.

Навчання здійснюється шляхом отримання рішення, що максимально задовольняє умові забезпечення енергозбереження. При запропонованому підході навчання мережі повинно базуватися на результатах моделювання умовно-ідеального скочування відчепів розрахункового составу.

Під умовно-ідеальним скочуванням розуміється рух відчепу з мінімальними енерговитратами на його гальмування при середніх значеннях основного питомого опору руху вагонів, температури повітря, швидкості і напрямку вітру. Для отримання кривої тривалості умовно-ідеального скочування кожного відчепу використовується математична модель, яку розглянуто вище.

Для можливості оцінки похибки моделювання умовно-ідеального скочування у контрольних точках (КТ) гіркової горловини імітується рух відчепу при випадкових значеннях основного питомого опору руху вагона і реальних метеорологічних умовах, де швидкість і напрямок вітру задано залежностями від часу. Крива тривалості руху відчепу при вказаних умовах є кривою фактичного скочування.

В умовах відсутності повної інформації про стан колісних пар, ходові якості вагонів і характер руху повітряних мас у процесі скочування відчепу завжди буде похибка моделювання умовно-ідеального скочування. В цих умовах крива тривалості умовно-ідеального скочування є планом скочування відчепу при навчанні нейронної мережі. Тобто до задачі мережі відноситься видача таких керуючих дій, які дозволять максимально наблизити криву тривалості фактичного скочування до кривої тривалості умовно-ідеального скочування.

Структура вхідного вектора нейромережі залежить від номера КТ, у якій приймається рішення щодо гальмування відчепу на гальмовій позиції, та стану відчепу в момент входу на кожну КТ.

В КТ маршруту скочування відчеп може бути у станах вільного і невільного руху. Стан, коли відчеп знаходиться в процесі насуву состава на гірку або в процесі гальмування на ГП, є станом невільного руху. Позначено

вказаний стан через «0», а стан вільного руху – через «1». Випадки, коли у відповідних КТ відчеп міг бути як у вільному русі, так і у невільному, тобто знаходитись у стані 0 або 1, позначимо станом «2» (Додаток В, табл. В.1) [14].

У таблиці В.1:

$d_{1jn}^{факт.}$, $d_{3jn}^{факт.}$ – фактичний інтервал між даним відчепом і попереднім відчепом відповідно на 1-му і 3-му уповільнювачах спускної частини, с;

$D_{КТ2}$, $D_{КТ4}$, $D_{КТ7}$ – різниця модельної і фактичної тривалостей руху відчепу відповідно до КТ2, КТ4 і КТ7, с;

$t_{факт.}^{КТ1-КТ2}$, $t_{факт.}^{КТ1-КТ4}$, $t_{факт.}^{КТ2-КТ4}$, $t_{факт.}^{КТ3-КТ4}$, $t_{факт.}^{КТ5-КТ7}$, $t_{факт.}^{КТ6-КТ7}$ – фактична тривалість руху відчепу відповідно від КТ1 до КТ2, від КТ1 до КТ4, від КТ2 до КТ4, від КТ3 до КТ4, від КТ5 до КТ7 та від КТ6 до КТ7, с;

$N_{р.стр.}$ – номер стрілки розділення даного відчепу з попереднім;

$Q_{відч.}$, $l_{відч.}^{пр.ос.}$ – вага, кН, і довжина, м, відчепу по крайнім осям;

$X_{цв}$ – координата центра ваги відчепу, м;

Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 , Z_5 – ступінь гальмування відчепу відповідно на 1-му, 2-му, 3-му і 4-му вагонних уповільнювачах спускної частини та уповільнювачах ПГП;

$t_{Г1}$, $t_{Г2}$, $t_{Г3}$, $t_{Г4}$, $t_{Г5}$ – тривалість гальмування відчепу відповідно на 1-му, 2-му, 3-му і 4-му вагонних уповільнювачах спускної частини та уповільнювачах ПГП, с;

$D_w^{КТ2-КТ1}$, $D_w^{КТ4-КТ1}$, $D_w^{КТ4-КТ2}$, $D_w^{КТ4-КТ3}$, $D_w^{КТ7-КТ5}$, $D_w^{КТ7-КТ6}$ – складова різниці модельної і фактичної тривалостей руху відчепу відповідно від КТ1 до КТ2, від КТ1 до КТ4, від КТ2 до КТ4, від КТ3 до КТ4, від КТ5 до КТ7 та від КТ6 до КТ7, що створюється в наслідок похибки розрахунку питомих сил опору руху відчепу, с;

$l_{проб.}^{факт.}$ – фактична довжина пробігу відчепу від ПГП до вагонів, що накопичуються на сортувальній колії, м.

Структура штучних нейронів дозволяє будувати їх різними способами. Розрізняють три типи архітектур штучних нейронних мереж: односпрямовані, рекурентні та коміркові [18].

В односпрямованих мережах нейрони укладаються шарами. Такі мережі характеризуються тим, що сполучення в них є тільки між нейронами сусідніх шарів і інформація протікає тільки в одному напрямі. Сполучення між шарами спроектовані так, що кожен елемент попереднього шару з'єднується з кожним елементом наступного шару. Крім того, сполучення мають індивідуальні коефіцієнти ваг. В кожному шарі може бути різне число нейронів. Нейрони вхідного шару в таких мережах здійснюють попередню обробку сигналу. Це може бути нормалізація, кодування і т.п. Основні перетворення інформації здійснюються нейронами внутрішніх шарів та вихідного шару. Результат зчитується з виходів нейронів останнього шару. Відгук односпрямованої мережі записується як функція вхідного сигналу [18]

$$y^i = f^i \left(\sum_k w_{ik}^h f^h \left(\sum_k w_{hk}^e f^e \left(\sum_k w_{ek}^i x^k \right) \right) \right) \quad (3.5)$$

де w – ваги нейронів внутрішніх та зовнішнього шарів нейромережі;

f Equation.3 – передаточна функція;

x Equation.3 – вхідний вектор;

y Equation.3 – вихідний вектор.

Важливим моментом функціонування штучних нейронних мереж є процедури їх навчання. Розрізняють два основних типи навчання: з вчителем і без вчителя [18].

Навчання з вчителем застосовується у випадку, коли існує можливість перевірки правильності відповідей, які дає мережа. Це означає, що для кожного вхідного вектора $x(t) = [x_1(t), x_2(t) \dots x_n(t)]^T$ має бути точно відомим значення вихідного вектора $z(t) = [z_1(t), z_2(t) \dots z_m(t)]^T$. В

процесі навчання разом з вхідним сигналом мережі одночасно подається очікувана відповідь. На основі цих двох величин можна визначити вектор похибки, яку робить мережа, у вигляді $d(t) = z(t) - y(t)$. Врахувавши те, що $y(t) = w(t)^T x(t)$, отримується $d(t) = z(t) - w(t)^T x(t)$.

В процесі навчання ваги модифікуються таким чином, щоб похибка, яку робить мережа, зменшувалася. Найчастіше функцією мети, яку при навчанні нейронної мережі мінімізують, є середньоквадратична похибка

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m d_j^2(t)}, \quad (3.6)$$

де p – число навчальних векторів;

m – число нейронів в вихідному шарі мережі.

Виходячи із специфіки принципового підходу до створення системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів доцільним є вибір архітектури нейронної мережі, що навчається із вчителем, у якості якого виступає функціонал похибки (рис. 3.3) [14].

Вагові коефіцієнти всіх зв'язків налаштовуються в процесі навчання мережі оператором. Для навчання розробленої мережі використано метод зворотного поширення похибки, функціонування якого описане у вигляді процедури:

- 1) на вхід мережі подається вхідний вектор X , з навчальної вибірки;
- 2) виконується прогін мережі (прямий прохід) і обчислюється реальний вихід, що відповідає даному входу;
- 3) отриманий вихід порівнюється з ідеальним, отриманим з використанням спеціального програмного забезпечення, що моделює умовно-ідеальне скочування відчепів і їх скочування при випадкових характеристиках параметрів метеорологічних умов;
- 4) обчислюється похибка на виході мережі;

- 5) обчислюється похідна функції помилки по кожному з вагових коефіцієнтів мережі;
- 6) за умовою мінімізації похибки на виході мережі налаштовуються вагові коефіцієнти;
- 7) здійснюється перехід до пункту 1.

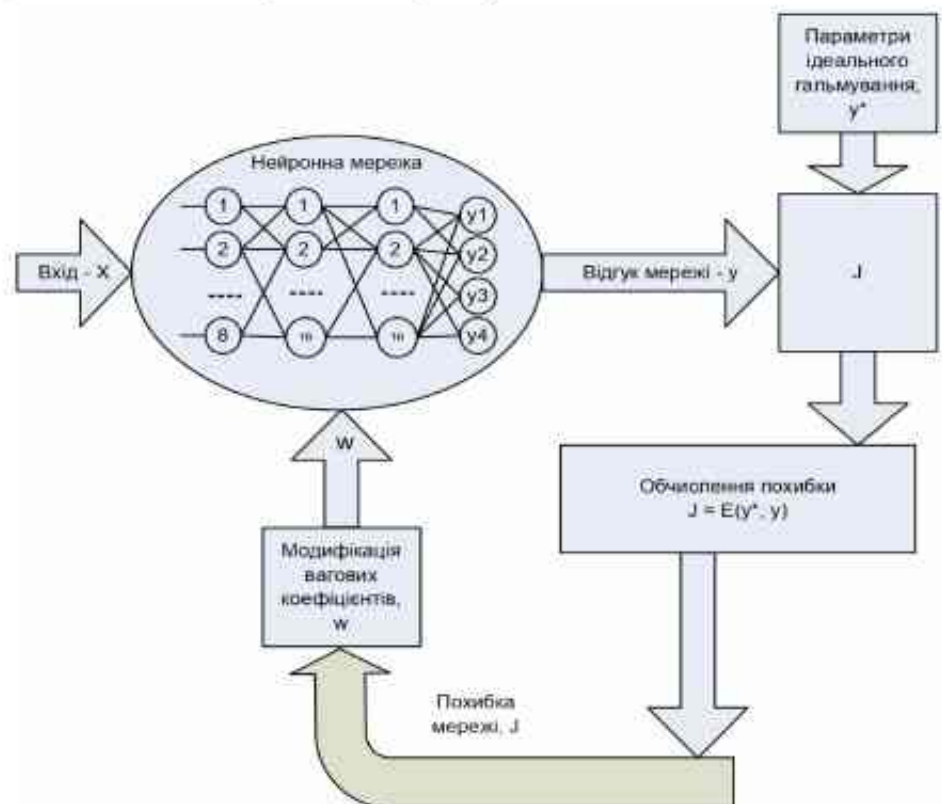


Рисунок 3.3 – Схема режиму навчання нейронної мережі СППР

Процедура повторюється доти, поки похибка не потрапить у припустимі межі чи поки не буде пройдено задане число ітерацій.

Операції, що виконуються на кроках 1 і 2, подібні з тими, які виконуються при функціонуванні вже навченої мережі, тобто подається вхідний вектор й обчислюється вихідний. Обчислення виконуються пошарово.

Далі кожний з виходів мережі віднімається з відповідного компонента цільового вектора, щоб одержати помилку. Ця помилка використовується для корекції ваг мережі, причому знак і величина змін ваг визначаються

алгоритмом навчання.

Після достатнього числа повторень цих семи кроків різниця між дійсними виходами й цільовими виходами повинна зменшитися до прийнятної величини, при цьому говорять, що мережа навчилася. Тепер мережа може використовуватись для розпізнавання. Ваги при цьому не змінюються.

Інформація від виходу шару n до виходу шару $n+1$ поширюється таким чином

$$y_j^{n+1} = f(s_j^{n+1}); \quad y^{n+1} = f(S^{n+1}) \quad .3, \quad (3.7)$$

де $n+1$ – номер шару;

j – індекс нейрона в шарі $n+1$ ($j = \overline{1, N_{n+1}}$);

N_{n+1} – число нейронів у шарі $n+1$;

f – нелінійна активаційна функція шару $n+1$;

y_j^{n+1} – вихід j -го нейрона шару $n+1$;

s_j^{n+1} – постсинаптичний потенціал j -го нейрона шару

$$s_j^{n+1} = \sum_{k=1}^{N_n} W_{jk}^{n+1} y_k^n + b_j^{n+1}; \quad S^{n+1} = W^{n+1} \tilde{y}^n, \quad .3 \quad (3.8)$$

де W_{jk}^{n+1} – ваговий коефіцієнт зв'язку k -го нейрону шару n з j -м нейроном шару $n+1$;

y_k^n – вихід k -го нейрона шару n ;

$\tilde{y}^n$ – розширений вектор з урахуванням Bias-нейрона;

b_j^{n+1} – поріг j -го нейрона шару $n+1$;

W^{n+1} – матриця $d_n \times d_{n+1}$.

Підбір архітектури штучних нейронних мереж, які є складовою інформаційних технологій, на даний час є проблемою, яка не має однозначного розв'язку. На підставі математичних методів можна лише встановити число захованих шарів мережі (один або два в залежності від типу сигналу, що аналізується). Спеціальні розрахунки та оцінки дають змогу тільки приблизно встановити число нейронів в прихованому шарі (шарах). Можна також на основі так званої міри Вапніка-Червоненкіса оцінити мінімальний розмір вектора навчання. Але ці оцінки на практиці майже не застосовуються і переважно стосуються мереж з нейронами з пороговою функцією переходу, у зв'язку з чим можуть відрізнятися від оптимальних [18].

Нейронну мережу, яка дозволить максимального наблизити криву фактичного скочування відчепу до кривої його умовно-ідеального скочування шляхом корегування ступеню та тривалості гальмування на гальмових позиціях сортувальної гірки побудовано у [14].

У якості прикладу наведено процедуру прийняття рішення щодо гальмування відчепу на II ГП при умові, що його відрив відбувся в межах ділянки ВГ–КТ1 і гальмування на I ГП не відбувалось (код стану I111). Рішення повинно прийматися у 4-й контрольній точці. Вихідними даними для прийняття рішення є (табл. В.1):

$$d_{3\text{ ун.}}^{\text{факт.}}, Df_w^{KT4-KT1}, I_{\text{факт.}}^{KT1-KT4}, N_{p.cmp.}, l_{відч.}^{кр.ос.}, Q_{відч.}, X_{ЦВ}, l_{проб.}^{\text{факт.}}. \quad (3.9)$$

На їх основі будується і навчається нейронна мережа, яка буде використовуватися для отримання вихідного вектора $Y_{\text{вих}} = (y_1, y_2, y_3, y_4)^T$.

Вектор входу позначено $X_{\text{вх}} = (x_1, \dots, x_8)^T$, де $x_1 = d_{3\text{ ун.}}^{\text{факт.}}$, $x_2 = Df_w^{KT4-KT1}$, $x_3 = I_{\text{факт.}}^{KT1-KT4}$, $x_4 = N_{p.cmp.}$, $x_5 = l_{відч.}^{кр.ос.}$, $x_6 = Q_{відч.}$, $x_7 = X_{ЦВ}$, $x_8 = l_{проб.}^{\text{факт.}}$.

Архітектуру тришарової нейронної мережі, що використано для системи підтримки прийняття рішень, наведено на рис. 3.4.

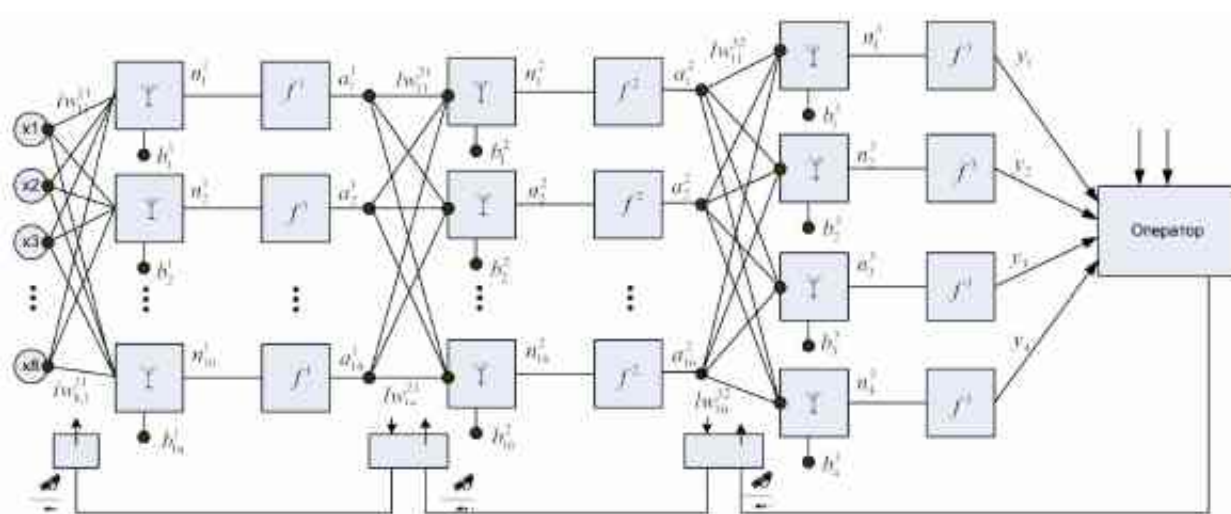


Рисунок 3.4 – Архітектура нейронної мережі СППР

Позначено вагову матрицю, пов'язану із входами, через iw^{11} , верхні індекси якої вказують, що джерелом входів є перший шар (другий індекс) і адресатом є перший шар (перший індекс). Елементи цього шару, такі, як зсув b^1 , вхід функції активації n^1 і вихід шару a^1 , мають верхній індекс 1, щоб позначити, що вони пов'язані з першим шаром. Для матриць ваг входу й виходу шару використовуються позначення iw (Input Weight) і lw (Layer Weight) відповідно.

Коли мережа має кілька шарів, то кожен шар має свою матрицю ваг W , вектор зсуву b і вектор виходу a . Щоб розрізнити вагові матриці, вектори виходу і та інші елементи номер кожного шару позначено верхнім індексом.

Мережа, що розроблена для рішення задачі гальмування відчепу, має 8 входів, по 16 нейронів у першому та другому схованих шарах і 4 нейрони у третьому вихідному шарі. Вхідний сигнал подається на зсуви кожного нейрона.

Отже на вході мається вектор 8-мірного простору $(x_1, \dots, x_8)^T$, що формується із вхідної інформації. В якості активаційної функції нейронів обрана сигмоїдальна функція

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}, \quad (3.10)$$

де $F'(x) = a \cdot F(x) \cdot (1 - F(x))$.

Функціонування нейронної мережі має наступний вигляд

$$\begin{aligned} \begin{cases} y_j^{(0)} = x_j, & j = \overline{1, 8}, & y_0^{(0)} = 1, & s_i^{(1)} = \bigoplus_{j=0}^8 w_{ji}^{(1)} y_j^{(0)}, \\ y_i^{(1)} = F(s_i^{(1)}), & i = \overline{1, 16}, & y_i^{(1)} = 1, & s_i^{(2)} = \bigoplus_{i=0}^{16} w_i^{(2)} y_i^{(1)}, \\ y_i^{(3)} = F(s_i^{(2)}), & i = \overline{1, 16}, & y_i^{(1)} = 1, & s_i^{(3)} = \bigoplus_{i=0}^{16} w_i^{(3)} y_i^{(2)}, \\ y_k = F(s^{(3)}). \end{cases} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Питання про те, скільки потрібно мати спостережень для навчання мережі, часто виявляється непростим. Відомий ряд евристичних правил, які встановлюють зв'язок між числом необхідних спостережень і розмірами мережі. Найпростіше з них говорить, що число спостережень повинне бути в 10 разів більше числа зв'язків у мережі. Насправді це число залежить від складності того відображення, яке повинна відтворювати нейронна мережа [18].

Навчання нейронної мережі або модифікація вагових коефіцієнтів w^{11} , w^{21} та w^{32} реалізовується методом зворотного поширення помилки. Процедура навчання показана на рис. 3.5.

Функціонал помилки нейронної мережі є величина

$$E(w) = \frac{1}{2} \bigoplus_{i=1}^4 (y_i - y_i^*)^2, \quad (3.12)$$

де y_i – реальний вихідний стан нейрона j -го вихідного шару нейронної мережі;

y_i^* – бажаний вихідний стан цього нейрона.

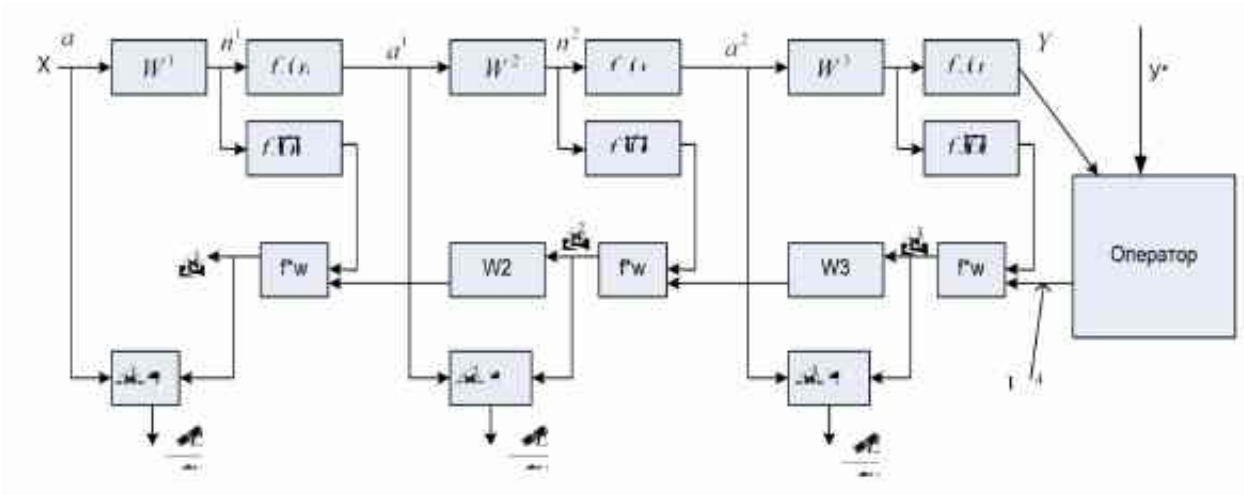


Рисунок 3.5 – Процедура навчання нейронної мережі

Підсумовування ведеться по всіх нейронах вихідного шару й по всім образам, що оброблюються мережею. Мінімізація ведеться методом градієнтного спуску. Підстроювання вагових коефіцієнтів здійснюється наступним чином

$$Dw_{ij}^{(n)} = -h \times \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad (3.13)$$

де w_{ij} – ваговий коефіцієнт синаптичного зв'язку, що з'єднує i -ий нейрон шару $n-1$ з j -им нейроном шару n ;

h – коефіцієнт швидкості навчання, $0 < h < 1$ [19].

Рекурсивна формула для розрахунків величин підстройки 3-го шару мережі

$$d_i^{(3)} = (y_i - d_i) \times \frac{dy_i}{ds_i}. \quad (3.14)$$

Для другого шару

$$d_j^{(2)} = \frac{\dot{e}_o}{\dot{e}_k} d_k^{(3)} \times v_{jk}^{(3)} \times \frac{\dot{u}}{\dot{u}} \times \frac{da^{(2)}_j}{ds_j}. \quad (3.15)$$

Для першого

$$d_j^{(1)} = \frac{\dot{e}_o}{\dot{e}_k} d_k^{(2)} \times v_{jk}^{(2)} \times \frac{\dot{u}}{\dot{u}} \times \frac{da^{(1)}_j}{ds_j}. \quad (3.16)$$

Розрахунок значень зміни вагових коефіцієнтів першого шару визначається за формулою

$$Dw_{ij}^{(1)} = -h \times d_j^{(1)} \times x_i, \quad (3.17)$$

для другого шару

$$Dw_{ij}^{(2)} = -h \times d_j^{(2)} \times u_i^{(1)} \quad (3.18)$$

і для третього

$$Dw_{ij}^{(3)} = -h \times d_j^{(3)} \times u_i^{(2)}. \quad (3.19)$$

Іноді для додання процесу корекції ваг деякої інерційності, що згладжує різкі рухи при переміщенні по поверхні цільової функції, обчислення доповнюють значенням зміни ваги на попередній ітерації [18]

$$Dw_{ij}^{(n)}(t) = -h \times (m \times Dw_{ij}^{(n)}(t-1) + (1-m) \times d_j^{(n)} \times y_i^{(n-1)}), \quad (3.20)$$

де m – коефіцієнт інерційності, t – номер поточної ітерації.

Комп'ютерна реалізація мережі здійснена з використанням пакету Matlab 6.0 for Windows. В даній роботі завданням нейронної мережі є ідентифікація таких параметрів гальмування відчепу, які б максимально наближались до бажаних. Вихідні сигнали нейромережі вважаються допустимими у випадку, коли помилка ідентифікації відрізняється від нуля не більше ніж третім знаком після коми.

Для експериментів застосовано нелінійну нейронну мережу, складену з двох закритих шарів. Навчальні множини, які є вхідними сигналами для

мережі, описуються матрицею з 8-ми стовпців. Стільки ж нейронів має мережа у вхідному шарі. Подібним чином визначено число нейронів у вихідному шарі, а саме чотири вихідні нейрони для кожного з чотирьох параметрів: Z_3, t_{r3}, Z_4, t_{r4} . В залежності від типу вагонних уповільнювачів, що використовуються на СГ, Z_3 і Z_4 можуть приймати 4 або 3 можливих значення, а t_{r3} і t_{r4} – близько 30 значень. Загальне число комбінацій за виключенням неможливих комбінацій складає близько 100-150, тобто вхідні параметри повинні розподілятися на 100-150 підмножин у факторному просторі вхідних змінних. Число нейронів у прихованих шарах для 120 вихідних комбінацій складає $l = \sqrt{8 \cdot 120} \approx 31$. Виходячи з цього, у кожному прихованому шарі передбачено 16 нейронів.

Для навчання мережі застосовується градієнтний метод Левенберга-Марквардта в поєднанні з алгоритмом зворотного поширення похибки [18]. Для оцінки якості дії мережі використано незалежний оцінювальний ряд, складений з 800 вхідних векторів. Перші десять вхідних і відповідних їм бажаних вихідних векторів наведено у табл. В.2.

На початковому етапі навчання мережі бажаний результат отримано за 27 ітерацій (табл. 3.2). Графічну ілюстрацію навчання наведено на рис. 3.6.

Зі зростанням числа навчальних векторів похибка ідентифікації бажаних параметрів гальмування відчепів на першій ітерації зменшується (рис. 3.7). Для 800 навчальних векторів вибірки похибка складає 0,3%, що є достатньо задовільним результатом.

Ефективне функціонування системи підтримки прийняття рішень гірковими операторами може бути забезпечено тільки за рахунок використання відповідного комплексу пристроїв гіркової автоматики.

Для системи, що пропонується на підставі [14], вказаний комплекс повинен складатися з обмеженого числа елементів у порівнянні з гірковими автоматизованими комплексами, а саме:

- 1) магнітних та метеорологічних датчиків;
- 2) системи контролю заповнення колій сортувального парку.

Таблиця 3.2 – Швидкість пошуку нейронною мережею першого бажаного вихідного вектору

№ ітерації	Z_3	t_{f3}, c	Z_4	t_{f4}, c	Помилка
1	1	6,0	1	6,0	11,045
2	2	6,4	0	5,4	11,925
3	0	5,4	2	6,4	11,625
4	1	7,0	2	5,0	10,845
5	2	6,5	3	5,5	7,945
6	3	6,7	3	5,0	7,250
7	3	6,0	3	4,5	4,420
8	3	5,5	4	4,0	3,270
9	3	5,0	4	3,5	2,120
10	3	4,5	4	3,0	1,470
11	3	4,0	4	2,5	1,320
12	3	3,5	4	2,0	1,670
13	3	3,6	4	2,1	1,560
14	3	3,7	4	2,2	1,470
15	3	3,6	3	2,3	0,800
16	3	3,7	3	2,5	0,625
17	3	3,6	3	3,0	0,205
18	3	3,7	3	3,3	0,145
19	3	3,8	3	3,4	0,185
20	3	3,6	3	3,2	0,125
21	3	3,5	3	3,3	0,065
22	3	3,4	3	3,4	0,025
23	3	3,3	3	3,3	0,025
24	3	3,2	3	3,4	0,005
25	3	3,1	3	3,5	0,005
26	3	3,1	3	3,6	0,010
27	3	3,2	3	3,5	0,000

Рисунок 3.6 – Залежність помилки нейронної мережі від числа ітерацій

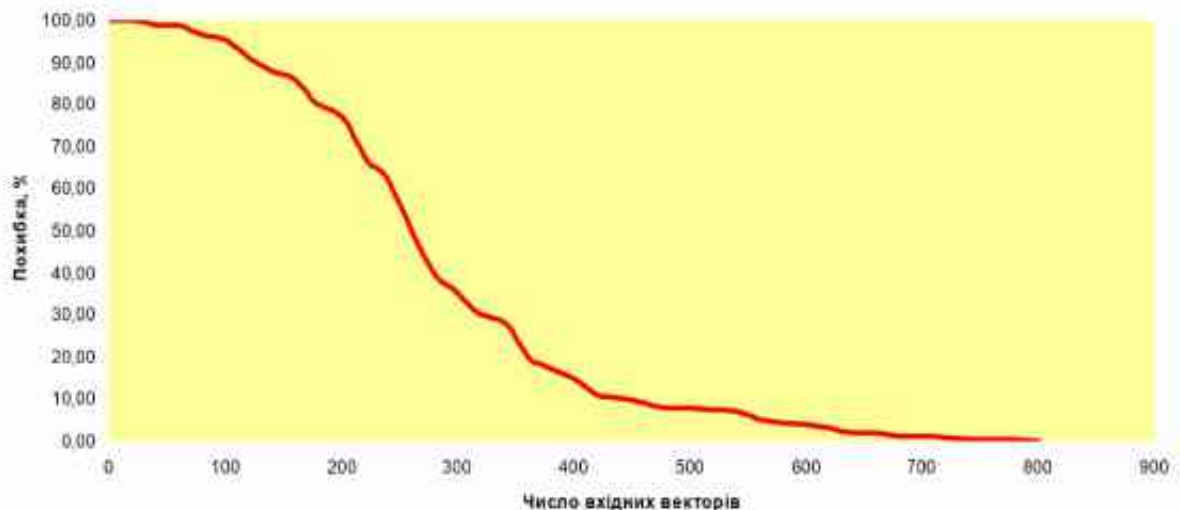


Рисунок 3.7 – Залежність похибки ідентифікації бажаних параметрів гальмування відчепів від числа вхідних векторів

Об'єднання запропонованої системи підтримки прийняття рішень і наведеного комплексу пристроїв гіркової автоматики дозволило створити локальну інформаційно-керуючу систему сортувальної гірки з принципово новим підходом до формування керуючих дій (Додаток Г, рис. Г.1).

Відмінність підходу від існуючих полягає у технології функціонування створеної системи, а саме:

1) перед початком розпуску состава із станційного технологічного центру (СТЦ) в головний сервер надходить інформація щодо числа вагонів ($m_{ваг.}$) і числа відчепів ($n_{відч.}$) у составі, числа вагонів у відчепях ($m_{відч.}$), ваги вантажу у кожному вагоні ($q_{вагон.}$), номерів вагонів ($N_{вагон.}$) та колій їх призначення ($N_{приз.}$). На підставі цих даних визначається номер стрілки розділення суміжних відчепів ($N_{розр.}$), довжина відчепів по крайнім осям ($l_{відч.ас.}$), їх вага ($Q_{відч.}$) і координата центра ваги ($X_{цв.}$);

2) з моменту відриву кожного відчепу від состава, що фіксується магнітними датчиками, які розташовуються до ВГ, моделюється його умовно-оптимальне гальмування (при середніх значеннях швидкості і напрямку вітру, які розраховуються на основі даних метеорологічних

датчиків, середньому значенні основного питомого опору руху відчепу, яке визначається виходячи з вагової категорії вагонів даного відчепу, і ідеальному стані колісних пар). При цьому на екран головного монітору виводиться план скочування відчепу, що забезпечує збереження енергоресурсів;

3) уточнюється значення основного питомого опору руху відчепу (рис. 3.8), з урахуванням якого здійснюється перше корегування параметрів умовно-оптимального гальмування на II ГП і ПГП та будується скорегований план скочування.

Вказана процедура є успішною для тих відцепів, які на дільниці КТ1-КТ2 були у стані вільного руху. Якщо в момент відриву відчепу перша вісь знаходилась в межах дільниці КТ1-КТ2, точність розрахунку основного питомого опору руху відчепу зменшується.

Для відцепів, що відриваються від составу за КТ2 уточнення вказаного опору неможливе. Реалізовується процедура уточнення при відомих моментах входу першої осі відчепу на КТ1 і КТ2 з урахуванням динаміки зміни параметрів метеорологічних умов (швидкості та напрямку вітру) від моменту відриву відчепу до моменту входу на КТ2. Необхідна інформація для уточнення зберігається у головному сервері. Процедура першого корегування параметрів гальмування на II ГП і ПГП здійснюється з моменту входу відчепу на КТ2;

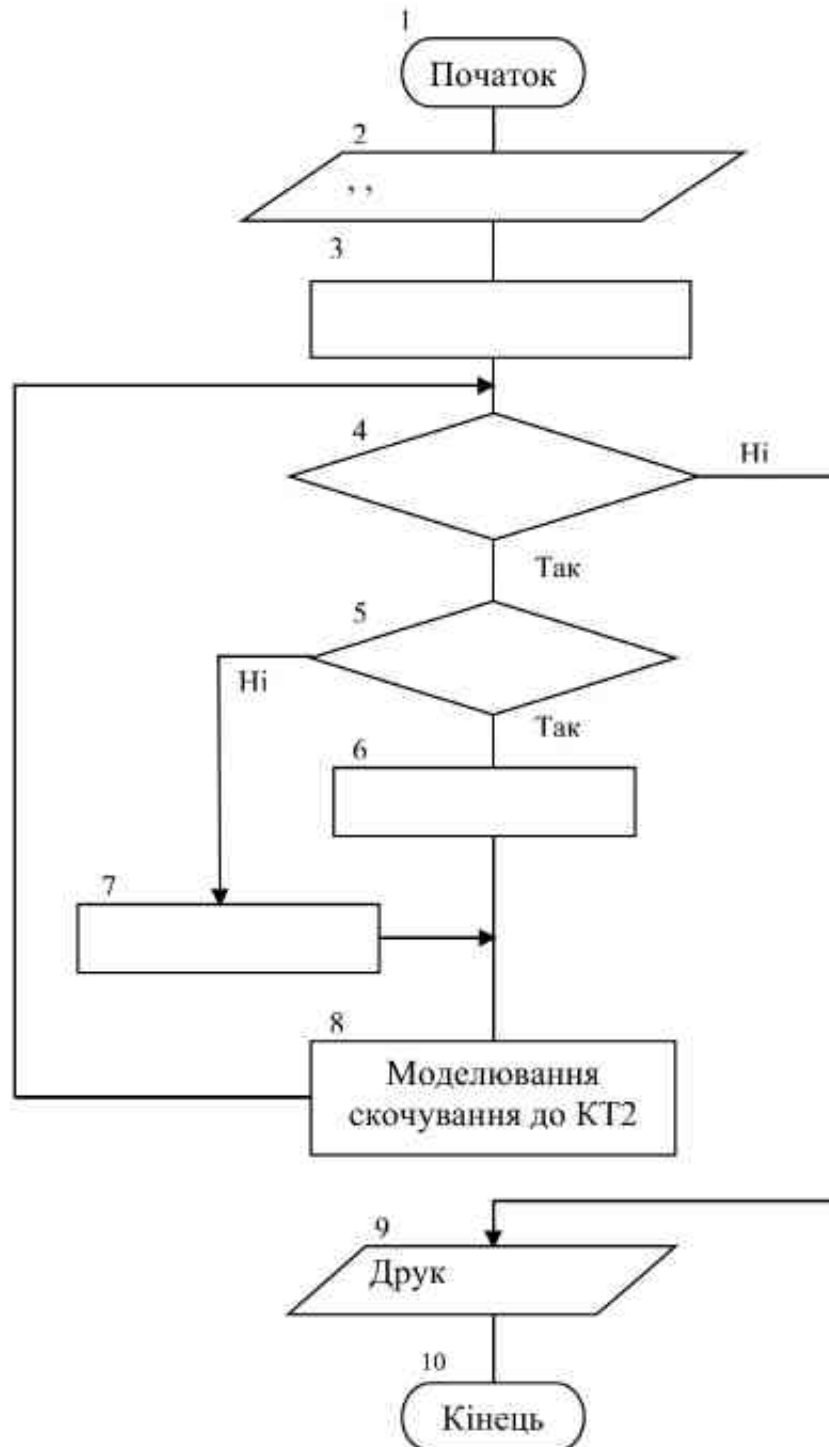


Рисунок 3.8 – Процедура уточнення значення основного питомого опору руху відчепа

4) за допомогою нейронної мережі здійснюється корегування параметрів умовно-оптимального гальмування на I ГП і друге корегування – на II ГП і ПГП. Додатковою інформацією для корегування є величина запасу

інтервалу між даним і попереднім відчепом на перших уповільнювачах гальмових позицій спускної частини та фактична довжина пробігу даного відчепу від ПГП до вагонів, що накопичуються на сортувальній колії. Запаси інтервалів розраховуються на підставі даних про число осей і моменти входу відчепів на вказані уповільнювачі та виходу з них, а фактична довжина пробігу – на підставі даних, що надходять з КЗК і зберігаються у головному сервері.

Процедура корегування параметрів гальмування на I ГП здійснюється з моменту входу відчепу на КТ2, а другого корегування на II ГП і ПГП – відповідно з моменту входу на КТ4 і КТ7. Оскільки для формування рішення можуть бути потрібними дані про моменти входу першої осі відчепу на КТ3, КТ5 і КТ6, вказані дані фіксуються у головному сервері;

5) скореговані параметри гальмування з'являються у вигляді підказок на екранах моніторів операторів гірки, а на головному моніторі відображаються криві тривалості реального скочування відчепів.

При впровадженні системи підтримки прийняття рішень передбачається підвищення безпеки сортувального процесу зокрема в сортувальному парку. Цей параметр пропонується називати «безпека при співударянні вагонів в сортувальному парку», який буде у подальшому характеризуватись імовірністю перевищення швидкості співударяння вагонів в сортувальному парку.

Наприкінці слід зробити ряд висновків:

- завдяки впровадженню системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів з елементами штучного інтелекту зменшиться імовірність перевищення швидкості співударяння вагонів в сортувальному парку через похибки у діях операторів гірки, що призведе до зменшення ризику виникнення аварійної ситуації, а це у свою чергу – до зменшення витрат на її ліквідацію;

- формування керуючих дій (ступеню і тривалості гальмування відчепів на уповільнювачах спускної частини і ПГП) здійснюється у два етапи. На

першому етапі (до початку розпуску) отримуються умовно-оптимальні параметри гальмування відчепів, на другому (в процесі скочування) – коректуються з урахуванням множини поточних характеристик процесу скочування вагону і навколишнього середовища. Такий підхід дозволяє в більшій мірі врахувати випадковий характер чинників, що впливають на швидкість скочування відчепів;

- застосування нейронної мережі для коректування параметрів гальмування відчепів, похибка роботи якої після навчання склала 0,03%, дає можливість за достатньо короткий проміжок часу отримати скореговані параметри, що є важливим фактором в умовах динамічності розпуску составів;

- застосування удосконаленої структури локальної інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки дозволяє вирішувати ряд важливих задач в процесі розформування составу: вказана система в реальному масштабі часу забезпечує необхідною інформацією систему підтримки прийняття рішень для гіркових операторів; обчислює приблизне значення основного питомого опору руху відчепу. Запропонований інформаційно-керуючий комплекс дає можливість суттєво підвищити енергозбереження і якість сортувального процесу;

- суттєвим достоїнством інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки, що запропоновано у роботі, є відсутність необхідності встановлення таких традиційних елементів автоматизованих гіркових комплексів, як радіолокаційних вимірювачів швидкості скочування відчепів, вимірювачів ходових якостей і ваги вагонів.

3.3 Визначення імовірностей виникнення небезпечних ситуацій пристроїв сортувальної гірки

Основним поняттям безпеки функціонування техніки є небезпечна ситуація. Мається на увазі не взагалі відмова техніки, а небезпечна відмова,

що приводить до небезпечної ситуації. Небезпечна відмова – подія, яка полягає в порушенні працездатного та захисного станів об'єкта і призводить до його небезпечного стану [21-26].

Під час функціонування сортувальної гірки існує певна загроза від неї життю та здоров'ю людей, навколишньому природному середовищу та ін. Тому безпеку гірки не можна трактувати як повну відсутність в ній небезпечних станів (у більшості випадків імовірність виникнення таких небезпечних станів дуже мала).

Безпека сортувальної гірки – властивість її виконувати задані функції без недопустимого ризику створення нею аварійних ситуацій, які можуть призвести до загибелі, травмування, погіршення здоров'я людей, негативного впливу на довкілля, визначеного матеріального чи іншого збитку.

Враховуючи вищезазначене, основним показником безпеки буде імовірність небезпечної відмови певних елементів сортувальної гірки як технічної системи. В нашій роботі для оцінки безпеки руху на сортувальній гірці використовувати наступні імовірності:

- імовірність виникнення небезпечної ситуації на стрілочних переводах та коліях $P_{нс(ск)}$;
- імовірність виникнення небезпечної ситуації на пристроях СЦБ та гальмування вагонів $P_{нс(сцб)}$;
- імовірність перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів в сортувальному парку $P_{нс(шс)}$.

Поняття «безпека» щільно пов'язано з поняттям «надійність». Надійність – це властивість виробу (системи) зберігати у встановлених межах часу значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання, транспортування та інших дій [21].

Одним з основних термінів, що характеризують надійність, є відмова. Відмова – подія, після якої об'єкт або його частина перестає виконувати

(цілком або частково) свої функції.

Імовірність безпечної роботи – імовірність того, що протягом заданого наробітку небезпечна відмова об'єкту не виникне. Визначаємо її за класичною формулою з урахуванням інтенсивності небезпечних відмов на протязі періоду t

$$P_{\delta} = e^{-\lambda_{\delta} \cdot x}, \quad (3.21)$$

де λ_{δ} – інтенсивність небезпечних відмов, 1/год.

Імовірність виникнення небезпечної ситуації знаходиться за формулою

$$Q_{\delta} = 1 - P_{\delta}, \quad (3.22)$$

Імовірності виникнення небезпечних ситуацій на стрілочних переводах та коліях $P_{НС(СК)}$, а також на пристроях СЦБ та гальмування вагонів $P_{НС(СЦБ)}$ визначаються за формулою окремо для кожного з показників

$$P_{НС(СК, СЦБ)} = 1 - e^{-\lambda_{НС(СК, СЦБ)} \cdot x}, \quad (3.23)$$

де $\lambda_{НС(СК, СЦБ)}$ – інтенсивності виникнення небезпечних ситуацій на стрілочних переводах та коліях, а також на пристроях СЦБ та гальмування вагонів, 1/год.

Проаналізувавши статистичні дані за 6 місяців роботи Північної сортувальної гірки стосовно небезпечних відмов на стрілочних переводах та коліях, а також на пристроях СЦБ та гальмування вагонів, виконавши експертний аналіз серед спеціалістів господарств колії та СЦБ станції, що розглядається, встановлено:

- інтенсивність виникнення небезпечних ситуацій на стрілочних переводах та коліях становить $\lambda_{НС(СК)} = 0,0005 \text{ випадок / год}$ Equation.3, а значення імовірності $P_{НС(СК)} = 1 - 2,718^{-0,001524} = 0,011$;

- інтенсивність виникнення небезпечних ситуацій на пристроях СЦБ та гальмування вагонів становить $I_{НС(СЦБ)} = 0,001 \text{ випадок / год Equation.3}$, а значення імовірності $P_{НС(СЦБ)} = 1 - 2,718^{-0,00124} = 0,024$.

Імовірність перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів в сортувальному парку $P_{НС(ШС)}$ буде знаходитись як

$$P_{НС(ШС)} = 1 - e^{-\lambda_{НС(ШС)} \cdot X}, \quad (3.24)$$

де $\lambda_{НС(ШС)}$ – інтенсивність випадків перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів в сортувальному парку, 1/год.

Інтенсивність випадків перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів в сортувальному парку знаходиться за формулою

$$I_{НС(ШС)} = \frac{N_{НС(ШС)}}{N_{\text{ваг}}}, \text{Equation.3} \quad (3.25)$$

де $N_{НС(ШС)}$, $N_{\text{ваг}}$ Equation.3 – кількість відчепів, які з'єднались у сортувальному парку зі швидкістю понад допустимого значення; загальна кількість відчепів.

Згідно завдання на гірці за добу (24 години) переробляється 3500 ваг. В середньому у відчепі 3 ваг, тому за добу в середньому через гірку проходить 1667 відчепів.

До впровадження системи підтримки прийняття рішень гірковими операторами на кожні 1500 відчепів приходить в середньому 1 випадок співударяння вагонів у парку понад допустиму швидкість. Отже на 1667 відчепів за добу приходить в середньому 1,11 таких випадків. Тобто $I_{НС(ШС)} = 0,046 \text{ випадок / год Equation.3}$, а значення імовірності

$$P_{НС(ШС)} = 1 - 2,718^{-0,04624} = 0,668.$$

Після впровадження системи підтримки прийняття рішень гірковими операторами на кожні 63000 відчепів буде приходитись в середньому 1 випадок співударяння вагонів у парку понад допустиму швидкість. Отже на 1667 відчепів за добу буде приходитись в середньому 0,0264 таких випадків. Тобто $I_{nc(inc)} = 0,0011 \text{ випадок} / \text{год Equation.3}$, а значення імовірності буде

$$P_{nc(inc)} = 1 - 2,718^{-0,001124} = 0,026.$$

4 Техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів з підвищення ефективності роботи станції

4.1 Визначення капітальних та експлуатаційних витрат

Впровадження заходів з підвищення ефективності роботи станції розглядається для Північної сортувальної гірки.

В роботі у розділі 3 розроблено математичну модель визначення оптимальних режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці з позиції збереження ресурсів залізничного транспорту.

За результатами моделювання (табл. 3.1) визначені витрати електроенергії для регулювання швидкості скочування відчепів, тис.кВт×год./рік, що надало розрахувати грошові витрати на електроенергію для регулювання швидкості скочування відчепів, тис. грн./рік. Ці дані отримано для двох варіантів: 1 – до впровадження заходів з підвищення ефективності роботи станції; 2 – після впровадження заходів з підвищення ефективності роботи станції. Ці дані внесено до табл. 4.1.

На підставі розробленої моделі оптимізації на даній сортувальній гірці запропоновано впровадити локальну інформаційно-керуючу систему сортувальної гірки з елементами штучного інтелекту.

Ефективне функціонування системи підтримки прийняття рішень гірковими операторами може бути забезпечено тільки за рахунок використання відповідного комплексу пристроїв гіркової автоматики. Для системи, що пропонується, вказаний комплекс повинен складатися з обмеженого числа елементів у порівнянні з гірковими автоматизованими комплексами, а саме:

- 1) магнітних датчиків;
- 2) метеорологічних датчиків;
- 3) системи контролю заповнення колій сортувального парку.

При визначенні вартості цієї системи було використано дані з відкритого доступу у мережі Internet (157 тис.дол. США).

При впровадженні запропонованої системи підтримки прийняття рішень на гірці буде зменшено кількість випадків співударяння вагонів у парку понад допустиму швидкість.

Розрахунок інтенсивностей випадків перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів в сортувальному парку розраховано у п. 3.3 даної роботи. До впровадження цієї системи на кожні 1500 відчепів приходить в середньому 1 випадок співударяння вагонів у парку понад допустиму швидкість. Отже за добу на 1667 відчепів приходить в середньому 1,11 таких випадків. Після впровадження системи на кожні 63000 відчепів буде приходитись в середньому 1 випадок співударяння вагонів, тобто за добу на 1667 відчепів буде приходитись в середньому 0,0264 таких випадків.

Витрати на ліквідацію наслідків від перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів у сортувальному парку знайдено за формулою

$$E^{cw} = n_{cy} \times e_{zn}, \quad (4.1)$$

де n_{cy} Equation.3 – середня кількість випадків співударяння вагонів у сортувальному парку за рік;

e_{zn} Equation.3 – середня вартість ліквідації наслідків від перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів у сортувальному парку, тис.грн/випадок.

Величину e_{zn} Equation.3 знайдено за результатами експертних досліджень та звітної документації за результатами відшкодування наслідків небезпечних подій.

Для 1 варіанту

$$E^{ce}_1 = 1,11 \times 365 \times \$ = 2025,75 \text{ тис.грн/рік.}$$

Для 2 варіанту

$$E^{ce}_2 = 0,0264 \times 365 \times \$ = 48,18 \text{ тис.грн/рік.}$$

Річні витрати на матеріали та запасні частини приладів системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів визначено за формулою

$$E^{2a} = 0,04 \times B_{СППР}, \quad (4.2)$$

де $B_{СППР}$ – вартість системи підтримки прийняття рішень гірковими операторами, тис. грн.

$$E^{2a} = 0,04 \times 925 = 157,00 \text{ тис.грн/рік.}$$

Витрати на технічне обслуговування приладів системи підтримки прийняття рішень розраховано з урахуванням заробітної платні та витрат праці на технічне обслуговування знайдено за формулою

$$E^{mo} = \frac{C_{TC} \times T_{mo} \times 2 \times 1,22}{1000}, \quad (4.3)$$

де C_{TC} – тарифна ставка працівників, що обслуговують систему, грн/год. При середній заробітній платні 8000 грн./міс без обов'язкових відрахувань та місячному годинному фонді 168 год. тарифна ставка складає 29,76 грн./год.;

T_{mo} – витрати праці на технічне обслуговування приладів системи, чол.-год./міс.

12 – кількість місяців у році;

1,22 – додаткові нарахування на єдиний соціальний внесок 22 %.

$$E^{mo} = \frac{29,76 \times 4 \times 2 \times 2,22}{1000} = 1,95 \text{ тис.грн/рік.}$$

Таблиця 4.1 – Розрахунок капітальних і експлуатаційних витрат

Найменування показника	Варіант 1	Варіант 2
1. Капітальні витрати, тис. грн./рік		
- обладнання Північної сортувальної гірки системою підтримки прийняття рішень для гіркових операторів	-	3925,00
Разом капітальних витрат	-	3925,00
2. Експлуатаційні витрати, тис. грн./рік		
- витрати на електроенергію для регулювання швидкості скочування відчепів	2935,00	2539,15
- витрати на ліквідацію наслідків від перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів у сортувальному парку	2025,75	48,18
- витрати на матеріали і запасні частини приладів системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів	-	157,00
- витрати на технічне обслуговування приладів системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів	-	1,95
Разом експлуатаційних витрат	4960,75	2746,28

4.2 Визначення економічного ефекту

Економічний ефект – це результат спрямований на досягнення цілей, для зменшення витрат, а саме результативність від впровадження запропонованих заходів [27].

Показник економічного ефекту за розрахунковий період визначається як різниця між сукупними витратами до і після впровадження заходів з удосконалення системи управління безпеки руху сортувальної гірки

$$E_n = \underset{t=t_n}{\overset{t_k}{a}} E_t a_t = \underset{t=t_n}{\overset{t_k}{a}} (B_{t_1} - B_{t_2}) a_t, \quad (4.4)$$

де B_{t_1} , B_{t_2} – сукупні витрати до і після заходів з оптимізації в t -му році розрахункового періоду;

t_n – початковий рік розрахункового періоду;

t_k – кінцевий рік розрахункового періоду;

a_t – коефіцієнт приведення ефекту різних років до розрахункового періоду.

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

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

$$a_t = \frac{a_1 + E_H}{1 + I + R} \cdot \frac{\overset{t_p - t_k}{\ddot{O}}}{\ddot{O}}, \quad (4.5)$$

де E_H – середня річна ставка комерційних банків за депозитними внесками (дисконтна ставка), в частках одиниці; $E_H = 14\%$;

I – річний рівень інфляції, що прогнозується на період здійснення проекту, $I = 7\%$;

R – ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту, в частках одиниці, $R = 1\%$;

t_p – порядковий номер розрахункового року;

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

За розрахунковий період взято 5 років, тобто строк з 2026р. по 2030р.

Таким чином:

$$a_1 = \frac{a}{e} \frac{1+0,14}{1+0,07+0,01} \frac{\delta^4}{\theta} = 1,37;$$

$$a_2 = \frac{a}{e} \frac{1+0,14}{1+0,07+0,01} \frac{\delta^3}{\theta} = 1,27;$$

$$a_3 = \frac{a}{e} \frac{1+0,14}{1+0,07+0,01} \frac{\delta^2}{\theta} = 1,17;$$

$$a_4 = \frac{a}{e} \frac{1+0,14}{1+0,07+0,01} \frac{\delta^1}{\theta} = 1,08;$$

$$a_5 = \frac{a}{e} \frac{1+0,14}{1+0,07+0,01} \frac{\delta^0}{\theta} = 1,00.$$

Результати розрахунку економічного ефекту від заходів, що впроваджуються, наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок економічного ефекту

Показник	Розрахунковий період				
	2026	2027	2028	2029	2030
До впровадження заходів					
1. Одноразові капітальні витрати K_0 , тис. грн.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2. Експлуатаційні поточні витрати I_0 , тис. грн.	4960,75	4960,75	4960,75	4960,75	4960,75
3. Сукупні витрати $(B_0 = K_0 + I_0)$, тис. грн.	4960,75	4960,75	4960,75	4960,75	4960,75
4. Коефіцієнт приведення a_t	1,37	1,27	1,17	1,08	1,00
5. Всього витрат з урахуванням коефіцієнту приведення $(B_0 \cdot a)$, тис.грн.	6796,22	6300,15	5804,08	5357,61	4960,75
Після впровадження заходів					
6. Одноразові капітальні витрати K_0 , тис. грн.	3925,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продовження таблиці 4.2

Показник	Розрахунковий період				
	2026	2027	2028	2029	2030
7. Експлуатаційні поточні витрати I_t , тис. грн.	2746,28	2746,28	2746,28	2746,28	2746,28
8. Сукупні витрати ($B_t = K_t + I_t$), тис. грн.	6671,28	2746,28	2746,28	2746,28	2746,28
9. Коефіцієнт приведення a_t	1,37	1,27	1,17	1,08	1,00
10. Всього витрат з урахуванням коефіцієнту приведення ($Bt \cdot a$), тис.грн.	9139,65	3487,77	3213,14	2965,98	2746,28
11. Економічний ефект з урахуванням приведення до першого року (гр.5-гр.10), тис.грн.	-2343,43	2812,37	2590,93	2391,62	2214,47
12. Економічний ефект наростаючим підсумком, тис.грн.	-2343,43	468,94	3059,87	5451,49	7665,96

З результатів табл. 4.2 видно, що економічний ефект від заходів з удосконалення системи управління безпекою руху Північної сортувальної гірки на 5-й рік експлуатації складе 7665,96 тис.грн.

Висновки

У роботі вирішено науково-прикладну задачу удосконалення технології роботи сортувальної гірки шляхом оптимізації режимів гальмування відчепів з позиції збереження енергетичних ресурсів. В результаті проведеного комплексу заходів отримано:

- проведено техніко-експлуатаційну характеристику сортувальної станції, що розглядається;
- проаналізовано основні конструктивно-технологічні характеристики існуючих сортувальних пристроїв України. Намічено шляхи удосконалення технології сортувального процесу та підвищення рівня його автоматизації;
- розроблено модель визначення оптимальних режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці з позиції ресурсозбереження. В якості полігона для досліджень обрано Північну сортувальну гірку;
- розроблено систему підтримки прийняття рішень для гіркових операторів з елементами штучного інтелекту;
- проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів. Економічний ефект від впровадження цих заходів на 5-й рік експлуатації буде складати 7665,96 тис.грн.

Список використаних джерел

1 Розсоха, О.В. Аналіз функціонування систем управління безпекою руху поїздів на залізницях країн Євросоюзу [Текст] / О.В. Розсоха, Ю.В. Смачило // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 151. – С. 4–11.

2 Розсоха, О.В. Функціонування систем керування безпекою руху на залізницях України [Текст] / О.М. Огар, Ю.О. Пазойський, О.В. Розсоха, А.А. Сідраков, Ю.В. Смачило // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 18–28.

3 Zhi-Chun Li, William H.K. Lam, S.C. Wong, A. Sumalee. Design of a rail transit line for profit maximization in a linear transportation corridor. [Text] / Zhi-Chun Li, William H.K. Lam, S.C. Wong, A. Sumalee // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Select Papers from the 19th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. – Elsevier Ltd, 2012. – Volume 48. – P. 50-70. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554511000627>.

4 Zoran Ž. Avramović. Method for evaluating the strength of retarding steps on a marshalling yard hump. [Text] / Zoran Ž. Avramović // European Journal of Operational Research. – Elsevier Ltd, 1995. – Volume 85, Issue 3. – P. 504-514. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221792001299>.

5 Діденко, В.В. Аналіз конструкції сортувальної гірки станції, що обслуговує металургійний комбінат [Текст] / В.В. Діденко, А.С. Рикущ, О.М. Олександров // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 13. – С. 226-236.

6 Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування [Текст]: ГБН В.2.3-37472062-1:2012 : затв. Міністерством інфраструктури України 17.01.2013 : замість ВСН 207-89/МПС СССР : чинні від 01.03.2013. – К. [б. в.], 2012. – 112 с.

7 Огар, О.М. Аналіз існуючих методів оцінки конструкцій гіркових горловин [Текст] / О.М. Огар, В.І. Мойсеєнко, О.В. Розсоха // Зб. наук. праць. – Харків : УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 102. – С. 24–31.

8 Данько, М.І. Розробка методу комплексної оцінки конструкцій гіркових горловин [Текст] / М.І. Данько, О.М. Огар, О.В. Розсоха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 6/3(42). – С. 30–33.

9 Шейкін, В.П. Експлуатація механізованих сортувальних гірок [Текст] / В.П. Шейкін; – К.: Транспорт, 1992. – 240 с.

10 Шелухін, В.І. Автоматизація і механізація сортувальних гірок [Текст]: Підручник для технікумів та коледжів залізничного транспорту / В.І. Шелухін; – К.: Маршрут, 2005. – 240 с.

11 Порівняльний аналіз технічних засобів для механізації та автоматизації сортувальних станцій [Текст]: Науково-дослідний звіт / [відп. ред. О.В. Ніколаєв]. – 2007. – 341 с.

12 Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування [Текст] : ГБН В.2.3-37472062-1:2012 : затв. Міністерством інфраструктури України 17.01.2013 : замість ВСН 207-89/МПС ССРСР: чинні від 01.03.2013. – К. [б. в.], 2012. – 112с.

13 Посібник із застосування правил та норм проектування сортувальних пристроїв [Текст] : навч. посібник / Ю.О. Муха, Л.Б. Тішков, В.П. Шейкін та ін.; під. заг. ред. Ю.О. Мухи – Транспорт, 1994. – 220с.

14 Огар, О.М. Розвиток теорії та методів розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.20 / О.М. Огар [Українська державна академія залізничного транспорту]. – Харків, 2011. – 368 с.

15 Литвиненко, А.Є. Метод спрямованого перебору в системах управління та діагностування [Текст] / А.Є. Литвиненко. – К. : НАУ, 2007. – 328 с.

16 Огар, О. М. Інтелектуальна підтримка процесів прийняття рішень при регулюванні швидкості скочування відчепів з гірки [Текст] / О. М. Огар // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 5–6. – С. 39 – 44.

17 Огар, О. М. Управління ризиками в системі „сортувальна гірка” [Текст] / О. М. Огар, С. О. Бантюкова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – №4. – С. 41–46.

18 Медведєв, В. С. Нейронні мережі [Текст] / В. С. Медведєв, В.Г. Потемкін. Matlab 6 – К., 2002. – 496 с.

19 Круглов, В.В. Нечітка логіка та штучні нейронні мережі [Текст] : навчальний посібник / В. В. Круглов, М. І. Длі, Р. Ю. Голунов . – К. : Видавництво фізико-математичної літератури, 2001. – 224 с.

20 Генетичні алгоритми, штучні нейронні мережі та проблеми віртуальної реальності [Текст] / Г. К. Вороновський, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергєєв. – Х. : ОСНОВА, 1997. – 112 с.

21 Федюкін, В.К. Методи оцінки та управління якістю промислової продукції [Текст] / В.К. Федюкін, В.Д. Дурнєв, В.Г. Лебедев. – Х.: Інформаційно-видавничий дім «Филинь», Рілант, 2000. – 328 с.

22 ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст]. - чинний від 1995-01-01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 91 с. – (Національний стандарт України).

23 ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги [Текст]. - чинний від 1994-04-01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 37 с. – (Національний стандарт України).

24 ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та

методи випробовування [Текст]. - чинний від 2003-07-01. – К. : Держстандарт України, 2003. – 32с. – (Національний стандарт України).

25 Кустов, В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики [Текст]: [навчальний посібник] / В.Ф. Кустов. – Харків : УкрДАЗТ. – 2008. – 212 с.

26 ГОСТ 27.301-95. Надійність в техніці. Розрахунок надійності. Основні положення [Текст]. - чинний від 1995-04-26. – Мінськ: Міждержавна рада зі стандартизації, метрології та сертифікації, 1995. – 15с. – (Міждержавний стандарт).

27 Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті [Текст] : навч. посібник / Є.І. Балака, О.І. Зоріна, Н.М. Колеснікова, І.М. Писаревський . – Харків: Транспорт, 2005. – 186 с.

28 ДСТУ 7.1:2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання (ГОСТ 7.1:2003, IDT) [Текст]. – Взамен ГОСТ 7.1-84, ГОСТ 7.16-79, ГОСТ 7.18-79, ГОСТ 7.34-81, ГОСТ 7.40-82 ; введ. 2007-07-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 48 с. (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи).

29 Козар, Л.М. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна частина). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення. Методичний посібник з додержання вимог нормоконтролю у студентській навчальній звітності [Текст]: навч. посібник / Л.М. Козар, Є.В. Коновалов, А.О. Лапко та ін.; за заг. ред. Л.М. Козара – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – 58 с.

Додаток А

Схема сортувальної станції

249

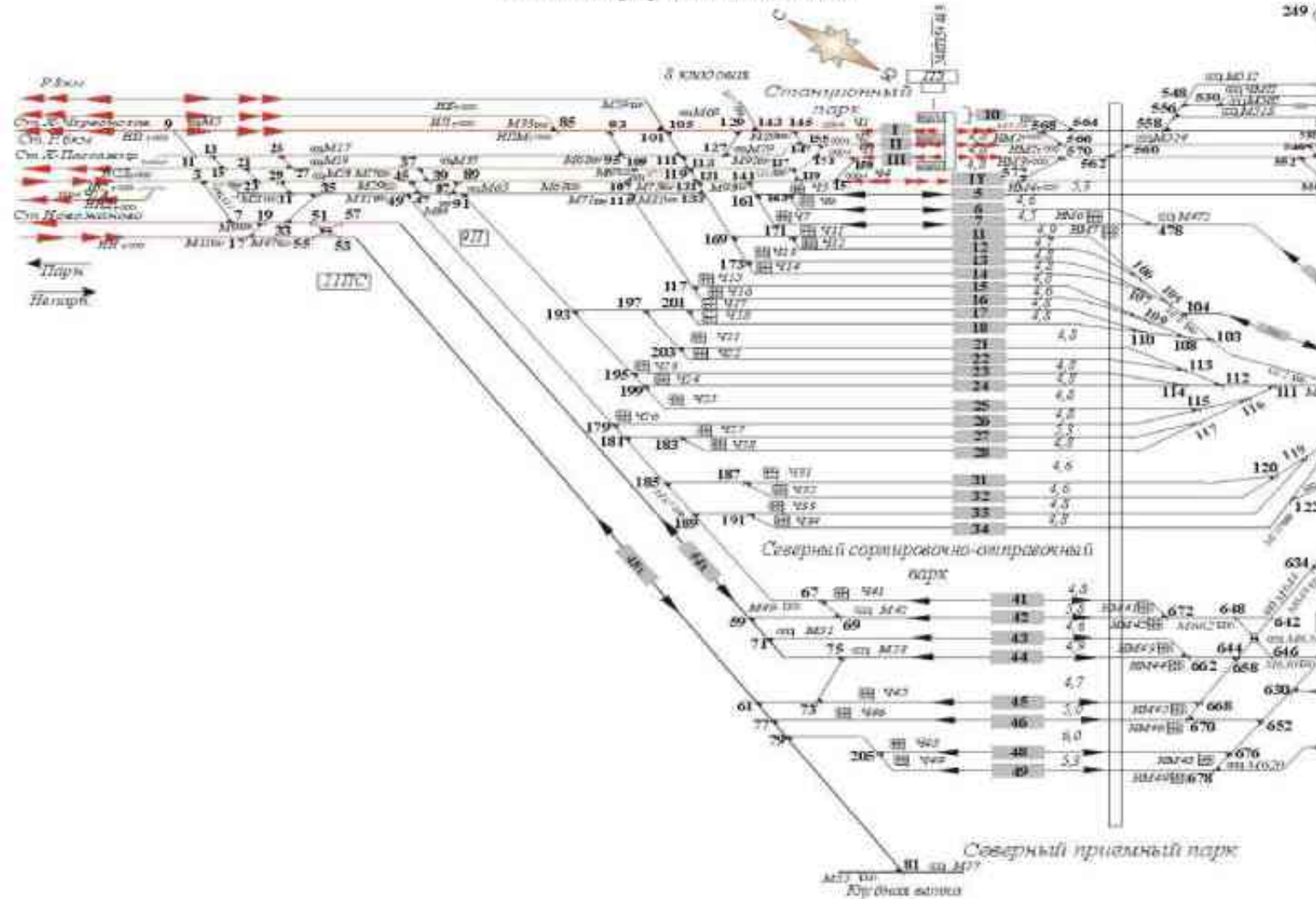
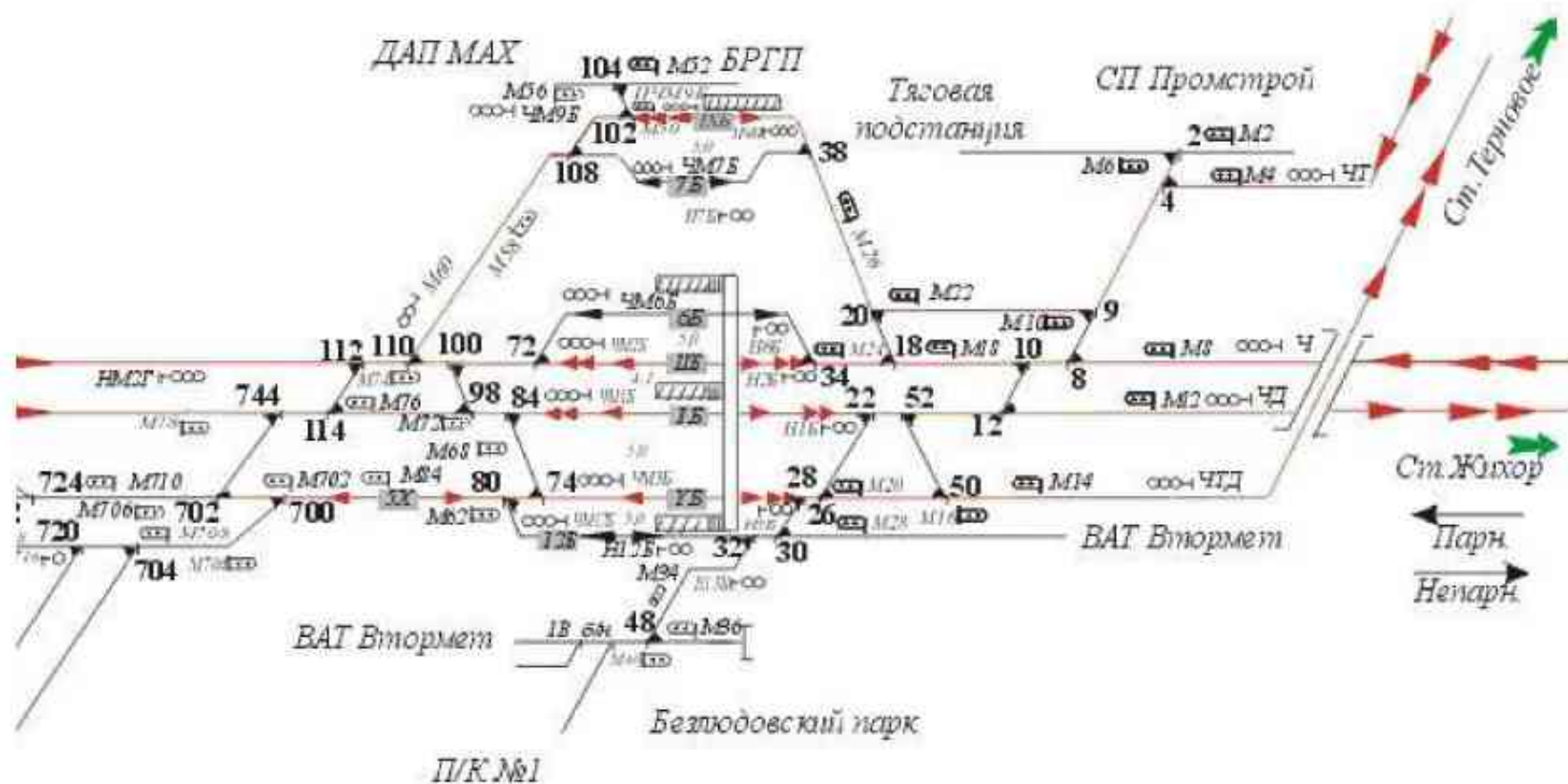


Рисунок А.1 – Схема сортувальної станції

252 ● 253

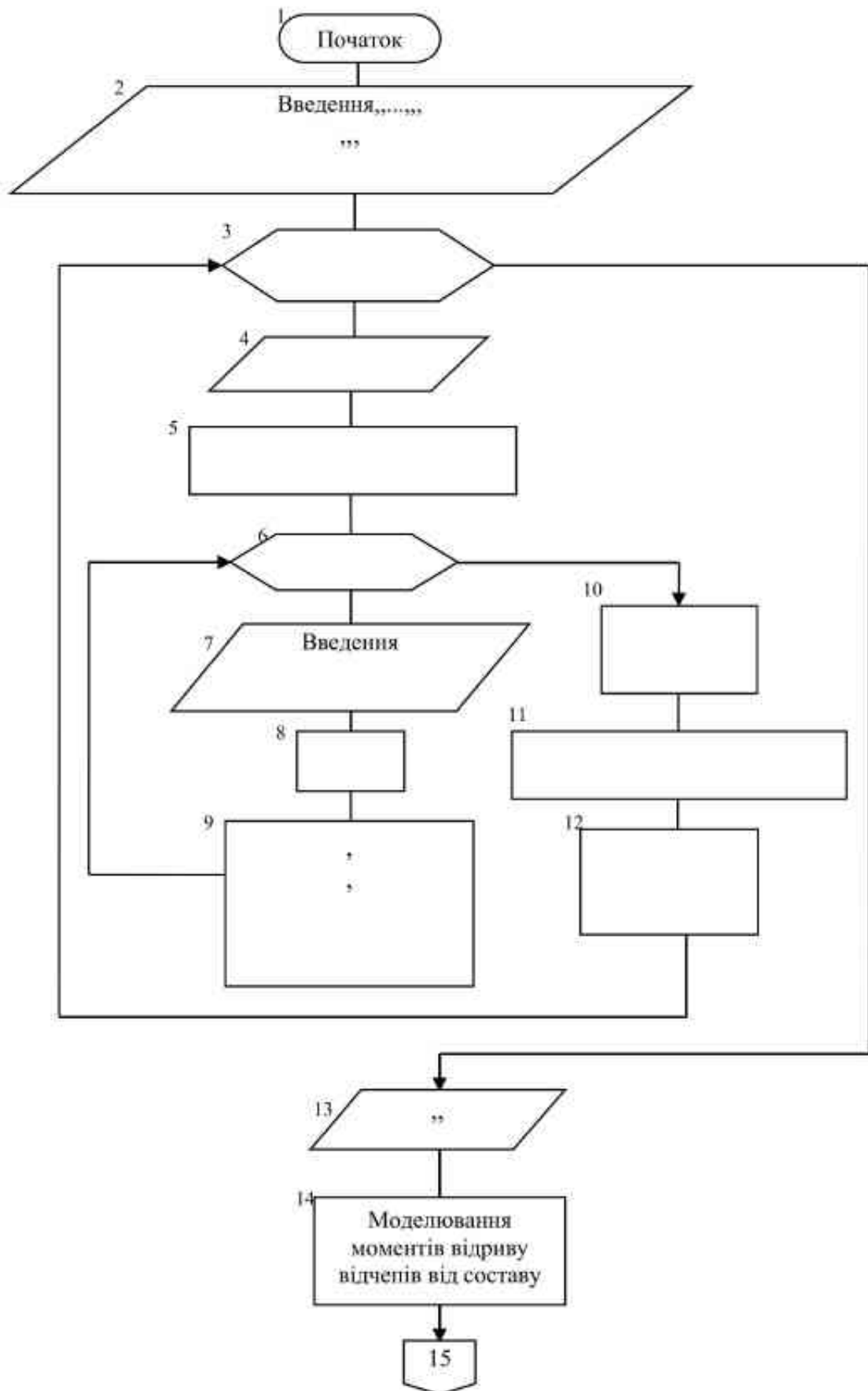
253 ● 254

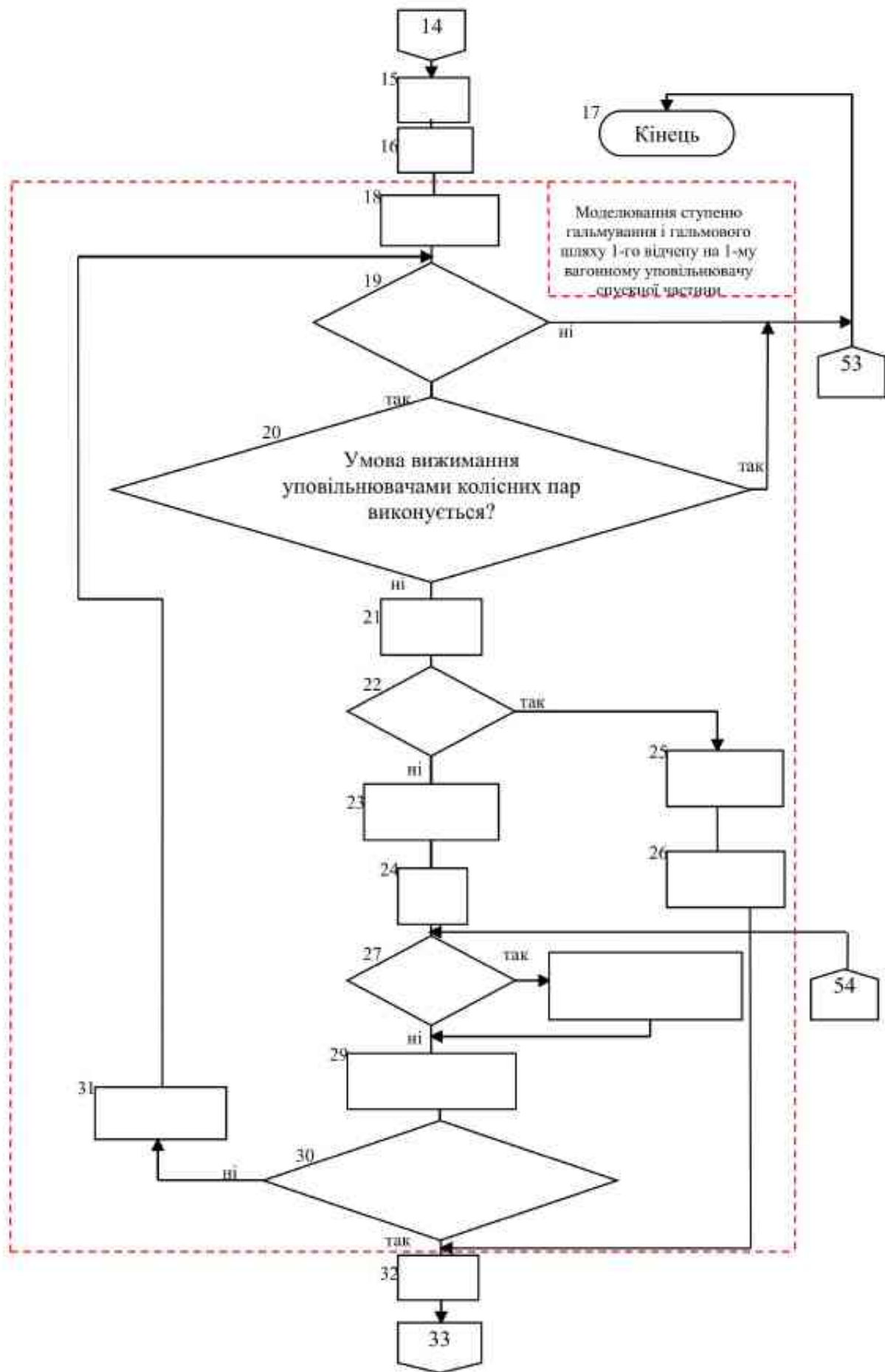
254 ● 255

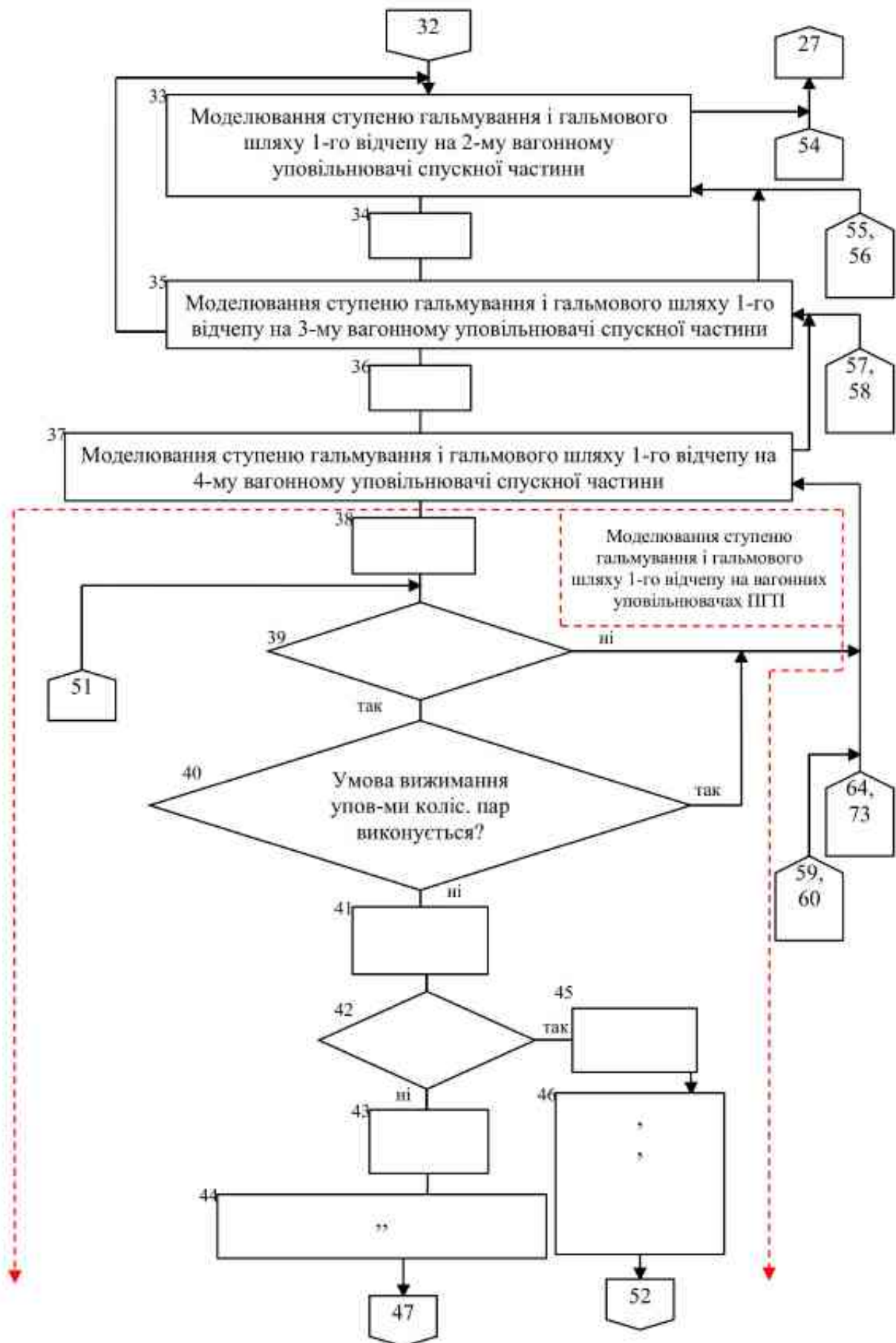


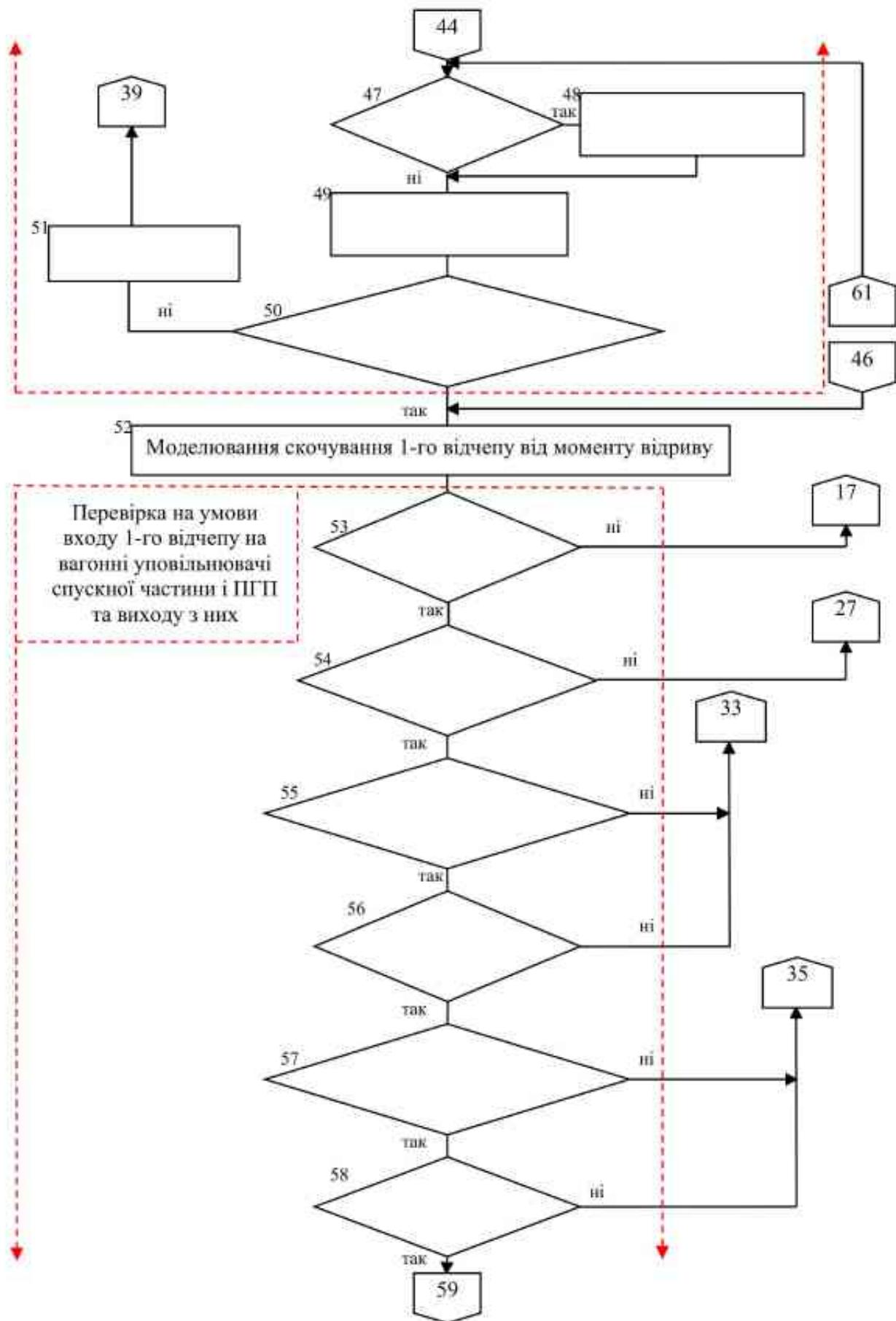
Додаток Б

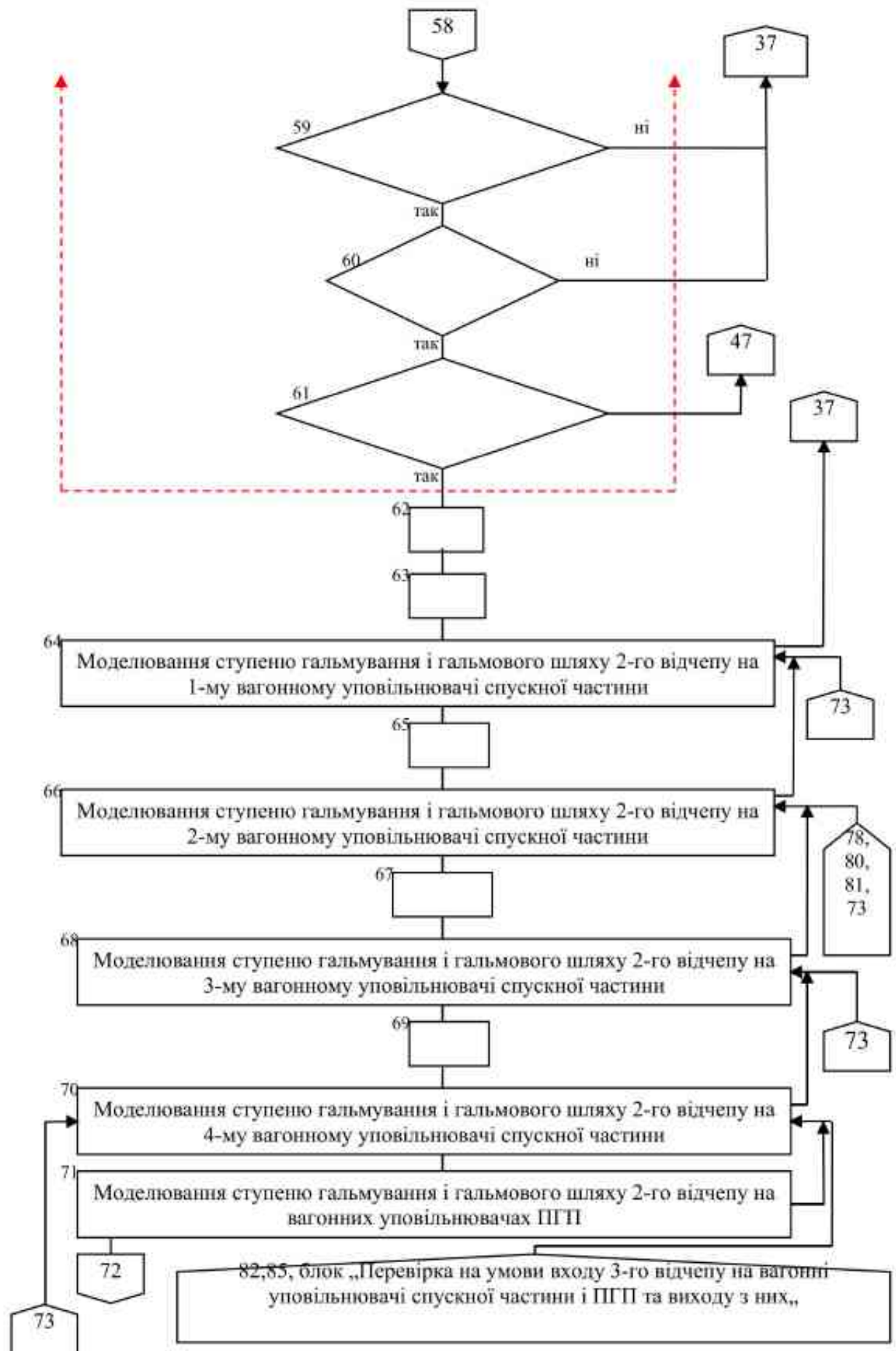
Структурно-логічна процедура розрахунку раціональних параметрів гальмування відчепів

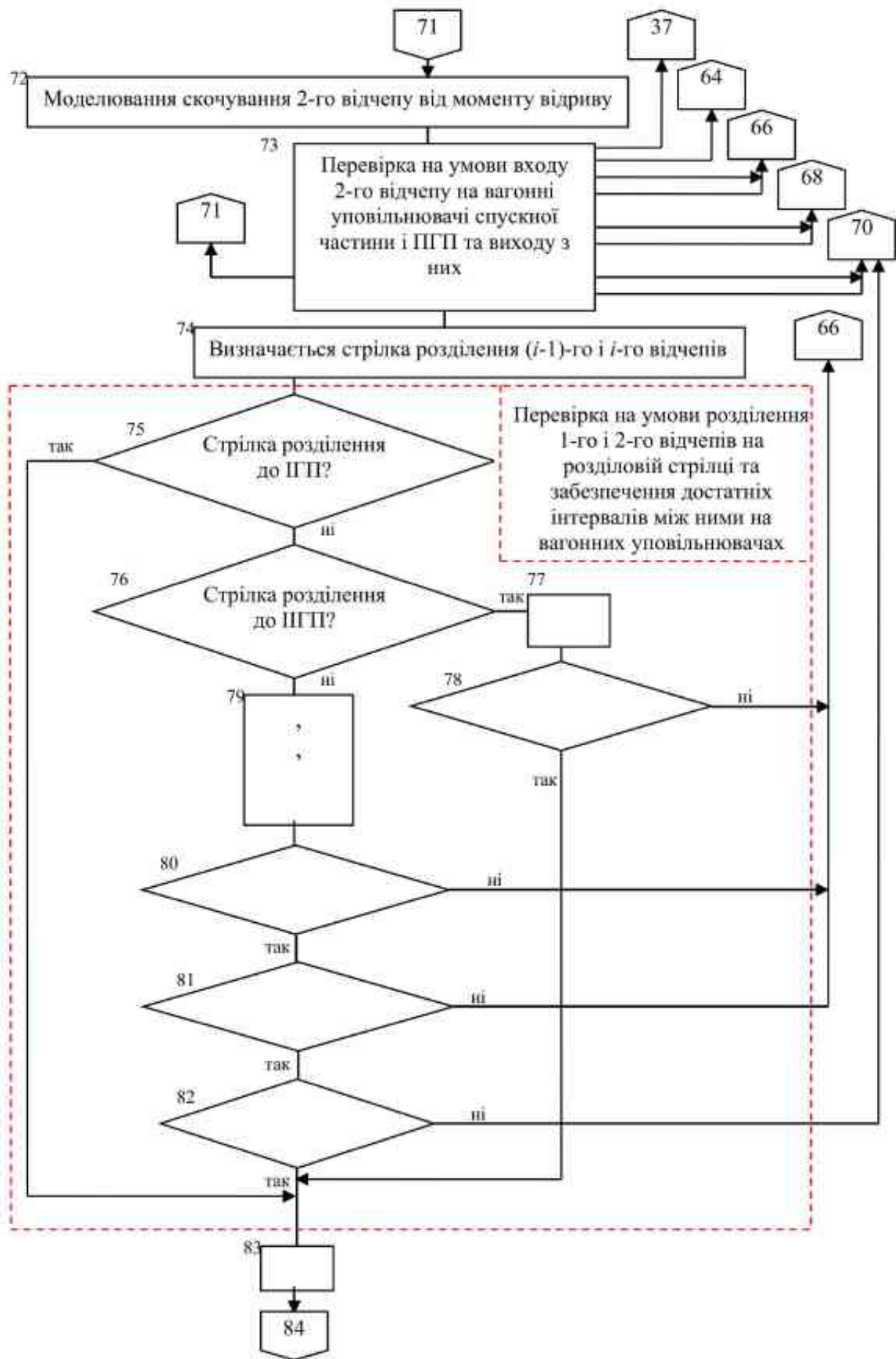


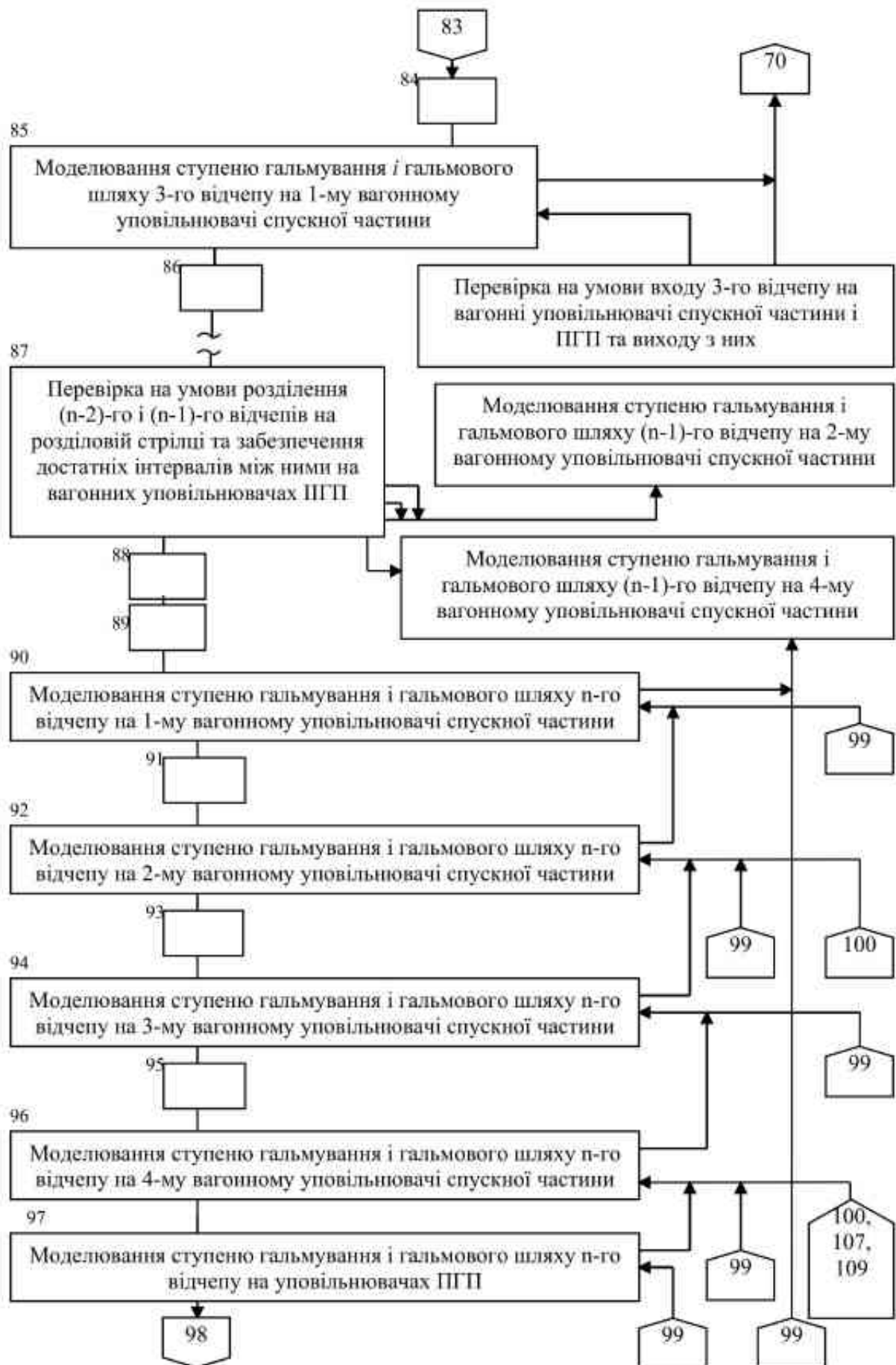


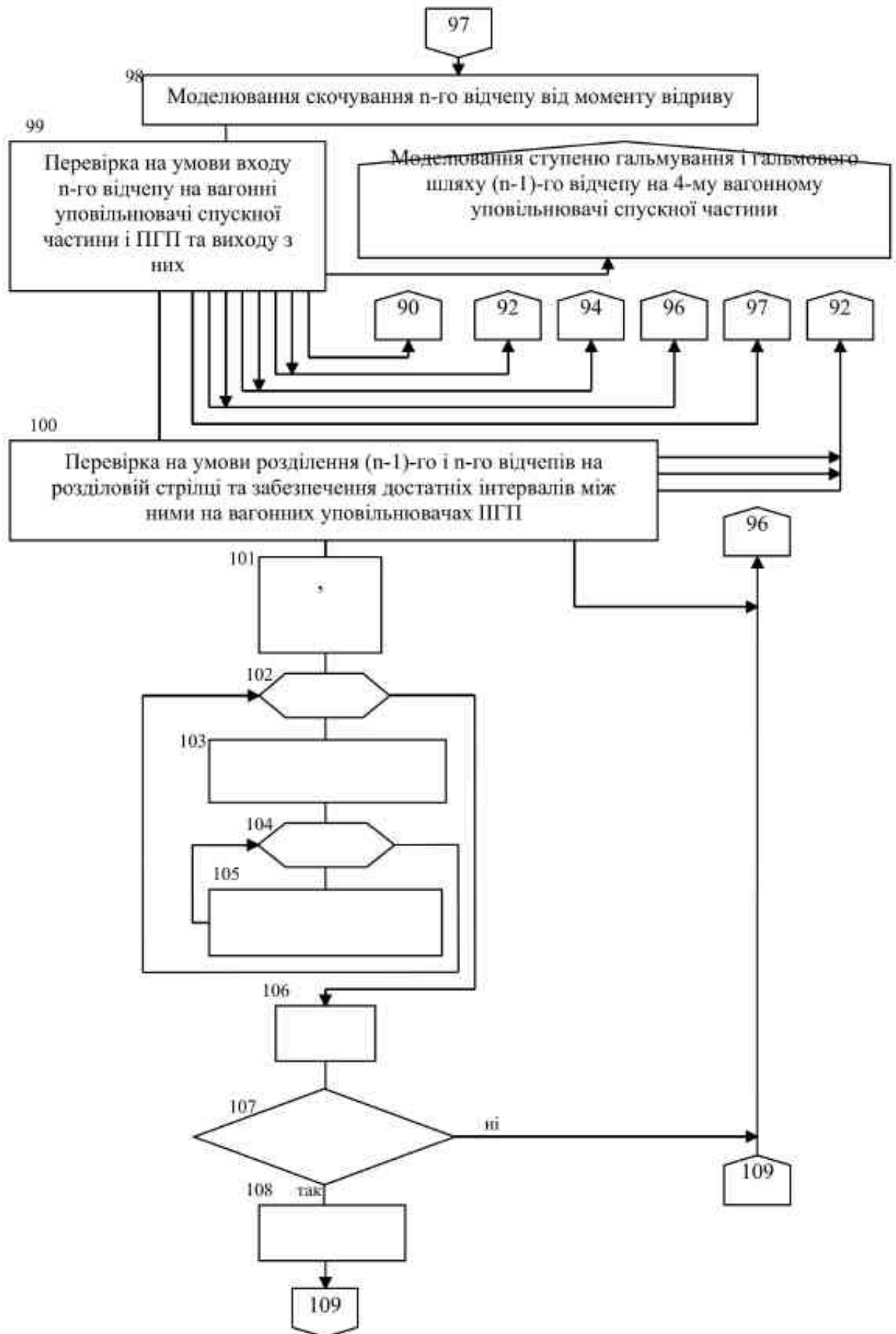


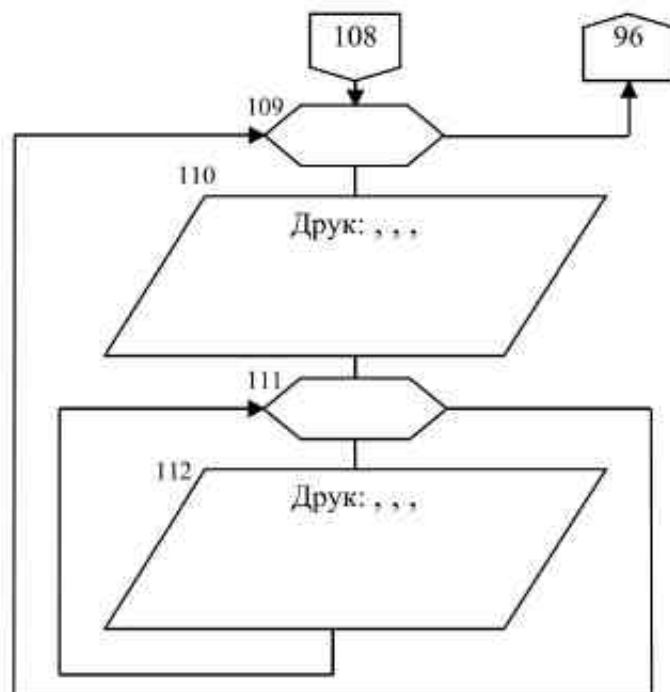












Додаток В

Вихідні дані для розрахунку параметрів керування гальмовими засобами

Таблиця В.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів керування гальмовими засобами

Гальмова позиція, відносно якої приймається рішення щодо гальмування відчепу	Контрольна точка, в якій приймається рішення щодо гальмування відчепу	Стан відчепу у контрольній точці	Примітка	Код станів відчепу у контрольних точках, що розташовані до ГП	Вихідні дані для прийняття рішення щодо гальмування відчепу	Рішення щодо гальмування відчепу
1	2	3	4	5	6	7
I	2	Невільного руху	Відчеп знаходиться в процесі насуву состава на гірку	00	–	$Z_1 = 0,$ $Z_2 = 0$
		Вільного руху	Відрив відчепу відбувся в межах ділянки ВГ–КТ1	11	$d_{1\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{в}}^{\text{КТ2-КТ1}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ1-КТ2}}, N_{\text{р.стр.}},$ $I_{\text{сп.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ЦВ}}$	$Z_1, t_{\Gamma 1},$
			Відрив відчепу відбувся в межах ділянки КТ1–КТ2	01	$d_{1\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{в}}^{\text{КТ2}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ1-КТ2}}, N_{\text{р.стр.}}, I_{\text{сп.ос.}},$ $Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ЦВ}}$	$Z_2, t_{\Gamma 2}$
II	4	Вільного руху	Відрив відчепу відбувся в межах ділянки ВГ–КТ1. Гальмування на I ГП не відбувалось	1111	$d_{1\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{в}}^{\text{КТ4-КТ1}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ1-КТ4}}, N_{\text{р.стр.}},$ $I_{\text{сп.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ЦВ}}, I_{\text{факт.}}^{\text{прод.}}$	$Z_3, t_{\Gamma 3},$ $Z_4, t_{\Gamma 4}$
			Відрив відчепу відбувся в межах ділянки КТ1–КТ2. Гальмування на I ГП не відбувалось	0111	$d_{1\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{в}}^{\text{КТ4-КТ2}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ2-КТ4}}, N_{\text{р.стр.}},$ $I_{\text{сп.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ЦВ}}, I_{\text{факт.}}^{\text{прод.}}$	
			Відрив відчепу відбувся в межах ділянки КТ2–КТ3	0011	$d_{1\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{в}}^{\text{КТ4-КТ3}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ3-КТ4}}, N_{\text{р.стр.}},$ $I_{\text{сп.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ЦВ}}, I_{\text{факт.}}^{\text{прод.}}$	
			Відрив відчепу відбувся в межах ділянки КТ3–КТ4	0001	$d_{1\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{в}}^{\text{КТ4}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ3-КТ4}}, N_{\text{р.стр.}}, I_{\text{сп.ос.}},$ $Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ЦВ}}, I_{\text{факт.}}^{\text{прод.}}$	

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6	7
II	4	Вільного руху	Відрив відчепу відбувся в межах ділянки ВГ–КТ1. В КТ3 відчеп знаходився у процесі гальмування на I ГП	1101	$d_{3\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{КТ4}}, D_{\text{КТ2-КТ1}}^{\text{КТ2-КТ1}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ1-КТ2}}, N_{\text{р.стр.}}, l_{\text{відч.}}^{\text{р.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ІВ}}, l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}}$	$Z_3, t_{\Gamma 3},$ $Z_4, t_{\Gamma 4}$
			Відрив відчепу відбувся в межах ділянки КТ1–КТ2. В КТ3 відчеп знаходився у процесі гальмування на I ГП	0101	$d_{3\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{КТ4}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ3-КТ4}}, N_{\text{р.стр.}}, l_{\text{відч.}}^{\text{р.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ІВ}}, l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}}$	
		Невільного руху	Відрив відчепу відбувся в межах ділянки ВГ–КТ1. В КТ3 і КТ4 відчеп знаходиться в процесі гальмування на I ГП	1100	$d_{3\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{КТ4}}, D_{\text{КТ2-КТ1}}^{\text{КТ2-КТ1}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ1-КТ2}}, N_{\text{р.стр.}}, l_{\text{відч.}}^{\text{р.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ІВ}}, l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}}$	$Z_1=0,$ $Z_2=0;$
			Відрив відчепу відбувся в межах ділянки КТ1–КТ2. В КТ3 і КТ4 відчеп знаходиться в процесі гальмування на I ГП	0100	$d_{3\text{зн.}}^{\text{факт.}}, D_{\text{КТ4}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ1-КТ2}}, N_{\text{р.стр.}}, l_{\text{відч.}}^{\text{р.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ІВ}}, l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}}$	$Z_3, t_{\Gamma 3},$ $Z_4, t_{\Gamma 4}$
ПГП	7	Вільного руху	В КТ5 і КТ6 відчеп знаходився у стані вільного руху	2222111	$D_{\text{КТ7-КТ5}}^{\text{КТ7-КТ5}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ5-КТ7}}, l_{\text{відч.}}^{\text{р.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ІВ}}, l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}}$	$Z_5, t_{\Gamma 5}$
			В КТ5 відчеп знаходився у процесі гальмування на II ГП, в КТ6 – у стані вільного руху	2222011	$D_{\text{КТ7-КТ6}}^{\text{КТ7-КТ6}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ6-КТ7}}, l_{\text{відч.}}^{\text{р.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ІВ}}, l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}}$	
			В КТ5 і КТ6 відчеп знаходився у процесі гальмування на II ГП	2222001	$D_{\text{КТ7}}^{\text{КТ7}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ6-КТ7}}, l_{\text{відч.}}^{\text{р.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ІВ}}, l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}}$	

Таблиця В.2 – Вхідні і бажані вихідні вектори нейронної мережі

№ вектора	Вхідні вектори								Вихідні бажані вектори			
	$d_{з.ун.}^{факт.},$ с	$Dt_{н}^{КТ4-КТ1},$ с	$t_{факт.}^{КТ1-КТ4},$ с	$N_{р.стр.}$	$I_{кр.ос-нагрч.},$ м	$Q_{відч.},$ кН	$X_{цв.},$ м	$I_{факт.проб.},$ м	Z_3	$t_{Г3},$ с	Z_4	$t_{Г4},$ с
1	5,97	0,8	28,91	31	13,92	873	6,96	157	3	3,2	3	3,5
2	99,00	0,3	29,99	3	28,30	1124	12,30	538	2	2,3	2	2,5
3	15,17	2,1	29,52	42	21,74	1030	12,57	222	1	1,9	1	2,0
4	29,68	-2,3	33,46	21	49,42	2224	20,40	635	0	0,0	0	0,0
5	22,20	1,6	31,40	24	14,73	235	7,36	108	1	3,4	1	5,1
6	99,00	3,8	29,30	3	13,92	690	6,96	320	3	1,8	3	2,2
7	7,17	3,9	29,67	11	20,24	884	10,12	327	2	2,8	2	3,0
8	12,36	3,2	31,13	13	14,62	497	7,31	453	2	1,7	2	2,4
9	13,62	-2,0	29,86	24	16,40	1059	8,20	280	0	0,0	0	0,0
10	8,43	2,4	29,95	25	13,57	250	6,78	185	1	0,8	1	1,2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Примітка: Якщо розділення суміжних відчепів відбулося до II ГП, то запас інтервалу $d_{з.ун.}^{факт.}$ приймається рівним 99 секунд.

Додаток Г

Структура локальної інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки, що пропонується

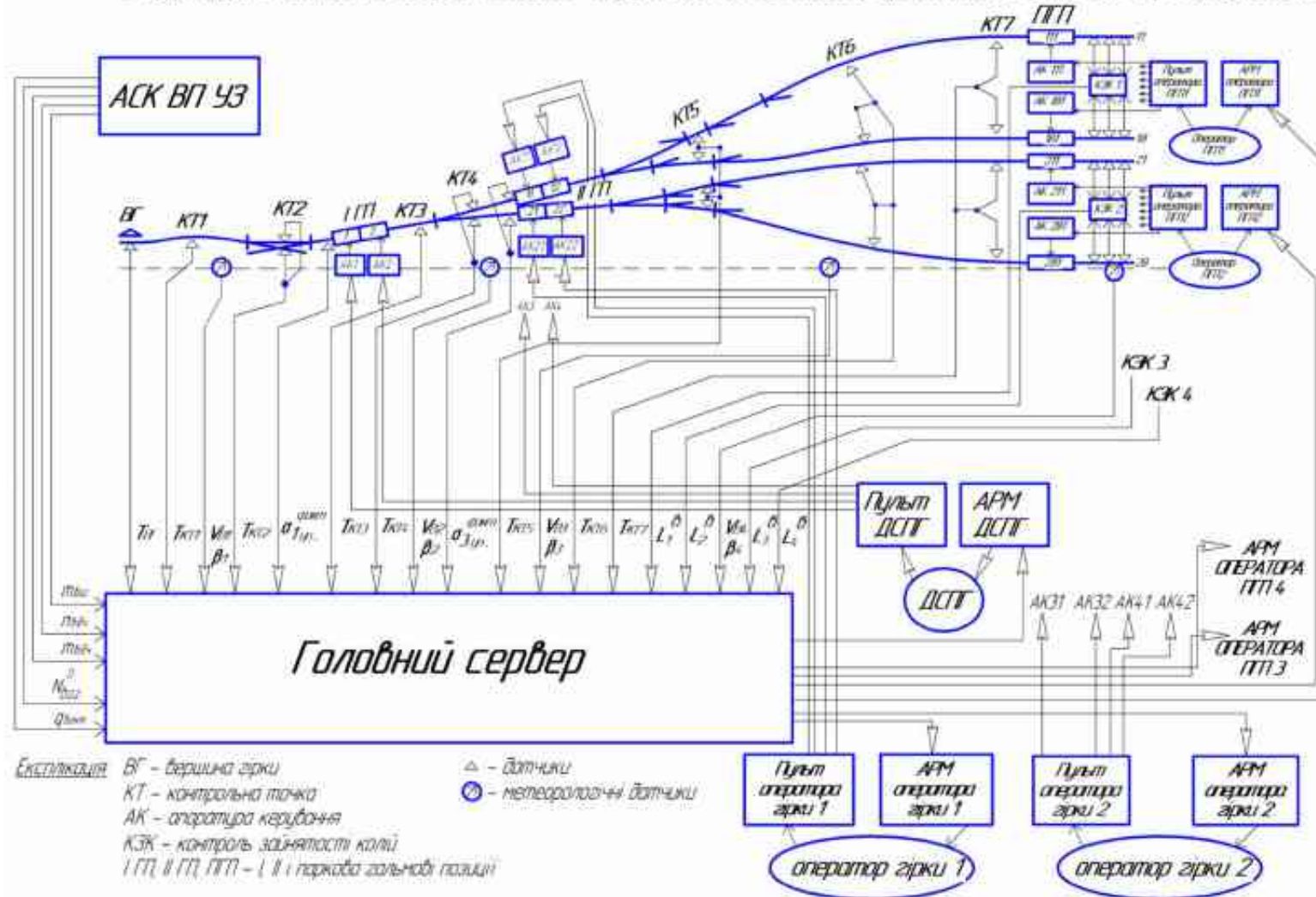


Рисунок Г.1 – Структура локальної інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки

АКТ
перевірки кваліфікаційної роботи магістра
на наявність ознак академічного плагіату

Відповідно до даних сервісу Strikeplagiarism праця «РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ З ПОЗИЦІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ», автор ЮТРОВ Іван Ігорович, містить 35,88 % текстових збігів. Ознаки академічного плагіату відсутні.

Перевірку виконала доцент
кафедри залізничних станцій та вузлів



Ганна ШАПОВАЛ