

Українська державна академія залізничного транспорту

ОГАР Олександр Миколайович

УДК 656.212.5

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА МЕТОДІВ
РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі «Управління експлуатаційною роботою», Міністерство інфраструктури України

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор
Данько Микола Іванович,
Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра «Управління експлуатаційною роботою», ректор

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Негрей Віктор Якович,
Білоруський державний університет транспорту, перший проректор

доктор технічних наук, професор
Нечаєв Григорій Іванович
Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, кафедра «Транспортні системи», завідувач кафедри

доктор технічних наук, професор
Алексієв Олег Павлович,
Харківській національний автомобільно-дорожній університет, кафедра «Мехатроніка автотранспортних засобів», завідувач кафедри

Захист відбудеться „23” червня 2011 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

Автореферат розісланий „20” травня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Прохорченко А.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Вступ. Підвищення заощадження паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів є однією з головних проблем залізничного транспорту України. В першу чергу це пов'язано з дефіцитом фінансових коштів, постійним ростом цін на енергоносії, недосконалістю конструкції і технології роботи засобів транспорту, невідповідністю потужності технічного оснащення залізничних станцій обсягам переробки, значним ступенем зносу основних фондів, який на даний момент перевищує 56%, та іншими факторами. Рішенням вказаної проблеми є техніко-технологічна модернізація виробничих процесів, яка, окрім підвищення ефективності функціонування галузі і забезпечення її подальшого розвитку, попередить виникнення техногенних катастроф та створить сприятливі умови для росту конкурентоспроможності залізничного транспорту і якості надання транспортних послуг. При цьому слід відзначити, що термінової комплексної модернізації потребує більша частина виробничих процесів залізниць України. Одним з таких процесів є складний процес розформування-формування потоку составів на сортувальних гірках.

Актуальність теми. На даний момент сортувальні гірки є одним з основних споживачів паливно-енергетичних і виробничих ресурсів на транспорті і відповідальною ланкою за скорочення простоїв вагонів на станціях. Використання вказаних ресурсів суттєво підвищують такі фактори, як недосконалість існуючої технології регулювання швидкості скочування відчепів і технічних засобів, що забезпечують це регулювання, відсутність комплексної автоматизації процесу розформування составів на залізничних станціях України, зокрема систем підтримки прийняття рішень оперативним персоналом, застосування традиційної конструкції поздовжнього профілю, наявність у ряді випадків надлишкової висоти гірок та низький рівень урахування параметрів метеорологічних умов в процесі експлуатації сортувальних пристроїв. Слід також відзначити, що випадковий характер вказаних параметрів, а також системний підхід до експлуатації та розрахунку сортувальних гірок, не в повній мірі враховуються на стадії їх проектування або реконструкції, що відповідним чином відображається на якості проектів.

Тому подальший розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку параметрів сортувальних гірок на основі системного підходу з урахуванням випадкового характеру чинників, що впливають на швидкість скочування відчепів з гірки, являє собою актуальну науково-прикладну проблему.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалася у відповідності з Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту (Розпорядження КМУ від 27 грудня 2006 р. №651-р), Законом України про енергозбереження (№75/94-ВР від 01 липня 1994 р.), Порядком нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві (Постанова КМУ від

15 липня 1997 р. №786) та Енергетичною стратегією України на період до 2030 року (Розпорядження КМУ від 15 березня 2006 р. №145-р).

Напрямок досліджень відповідає також темам науково-дослідних робіт, в яких прийнято безпосередню участь в якості виконавця: «Дослідження та розробка методики нормування маневрової роботи зі зниженням витрат паливно – енергетичних ресурсів на залізницях України» (держ. реєстр. № 0104U003709), «Розробка концепції реформування і Програми розвитку промислового залізничного транспорту ДК «Промтранс» на основі ресурсозберігаючих технологій на період 2007 – 2015 рр.» (держ. реєстр. № 0107U000104), «Розробка Єдиного технологічного процесу роботи під'їзної колії Закритого акціонерного товариства «Донецьксталь» – металургійний завод» та станції примикання Донецьк ДП «Донецька залізниця» (держ. реєстр. № 0108U003761), «Розробка та формування автоматизованих логістичних технологій залізничного транспорту» (держ. реєстр. № 0108U000077).

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку параметрів сортувальних гірок для отримання приросту синергетичного ефекту, мірою якого є економічна ефективність від впровадження раціональних конструкції і технології роботи сортувального пристрою за період життєвого циклу.

Реалізація вказаної мети потребує:

- проведення аналізу теорії і практики експлуатації сортувальних гірок, існуючих методів розрахунку їх параметрів та показників сортувального процесу на залізничних станціях України;
- формування системного підходу до визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів і стратегії експлуатації гірок;
- удосконалення діючого наукового підходу до комплексного розрахунку висоти та поздовжнього профілю сортувальних гірок;
- удосконалення імітаційних моделей процесу скочування відчепів з гірки з урахуванням стохастичної природи параметрів метеорологічних умов;
- розробки наукового підходу до формування структур гіркових горловин з вагонними уповільнювачами легких типів та комплексного показника кількісної оцінки їх якості;
- удосконалення системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів в умовах відсутності повної інформації про характер руху повітряних мас, стан і ходові характеристики вагонів та гальмовий ефект вагонних уповільнювачів.

Об'єктом дослідження є сортувальний процес залізниць України.

Предметом дослідження є конструктивно-технологічні параметри сортувальних гірок.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у дисертації задач використано відповідні математичні методи, а саме: для формування системного підходу до визначення раціональних конструктивно-технологічних

параметрів і стратегії експлуатації сортувальних гірок застосовано методи теорії систем; для формування нового підходу до представлення параметрів метеорологічних умов при розрахунках гірки і моделюванні сортувального процесу – методи теорії імовірності та математичної статистики; для удосконалення методу розрахунку додаткового питомого опору від середовища і вітру – методи теорії поля; для удосконалення наукового підходу до розрахунку раціональних параметрів поздовжнього профілю насувної і спускної частин гірки – методи нелінійного та стохастичного програмування; для моделювання процесів насуву, розпуску і розформування потоку составів з гірки, а також для моделювання скочування розрахункових бігунів – методи імітаційного моделювання із застосуванням ПЕОМ; для визначення показників властивостей надійності структур гіркових горловин – методи теорій імовірності, надійності та диференціального обчислення; для визначення раціонального числа і розміщення малопотужних уповільнювачів в гіркових горловинах нового класу – методи нелінійного стохастичного цілочисельного програмування; для розробки методу комплексної оцінки структур гіркових горловин – методи теорій міри та статистичного аналізу; для розробки системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів – методи теорії нейронних мереж.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертації отримали подальшого розвитку теорія експлуатації та методи розрахунку параметрів сортувальних гірок. Запропоновані наукові положення базуються на системному підході і на відмінність від відомих раніше враховують випадковий характер параметрів метеорологічних умов та збільшують приріст синергетичного ефекту при впровадженні раціональних конструкції і технології роботи сортувального пристрою.

Вперше:

– сформовано комплекс моделей для визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів і стратегії експлуатації сортувальних гірок. Вказані моделі дозволяють у комплексі визначати ефективний варіант конструкції і технології роботи сортувального пристрою. При цьому забезпечується раціональне використання паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів в заданих умовах експлуатації;

– створено метод розрахунку швидкості і напрямку вітру в точці місцезнаходження вагону на основі даних метеорологічних датчиків, що встановлюються на полігоні і відображають реальну динаміку зміни вказаних параметрів. На відмінність від відомих підходів до урахування параметрів метеорологічних умов при розрахунках гірки і моделюванні процесу розформування составів вперше враховано випадкову природу швидкості і напрямку вітру, що дозволяє суттєво підвищити якісний рівень імітаційних моделей і, відповідно, достовірність результатів моделювання;

– створено науковий підхід до формування структур гіркових горловин, призначених для застосування інтервального регулювання швидкості скочування відчепів на спускній частині гірки ланцюгом малопотужних уповільнювачів. Раціональне число і розміщення цих уповільнювачів визначаються з використанням моделі стохастичного цілочисельного програмування. Даний підхід орієнтований на підвищення рівня збереження виробничих та перевізних ресурсів, що є його відмінністю від існуючих наукових підходів.

Удосконалено та набуло подальшого розвитку:

– удосконалено діючий науковий підхід до комплексного розрахунку висоти та поздовжнього профілю сортувальних гірок шляхом створення комплексу моделей нелінійного та стохастичного програмування. На відмінність від існуючих моделей раціоналізація конструкції поздовжнього профілю спускної частини здійснюється за умовою мінімізації висоти гірки з урахуванням випадкового характеру руху повітряних мас, а насувної частини – за критерієм мінімуму витрат палива з урахуванням опору від середовища і вітру та осьової моделі вагону. Запропонований підхід дозволяє суттєво підвищити точність розрахунку конструктивних параметрів сортувальних гірок і зменшити витрати паливно-енергетичних і виробничих ресурсів;

– подальшого розвитку набули наукові підходи щодо управління швидкістю скочування відчепів з гірки шляхом застосування системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для гіркових операторів, у якій на відмінність від відомих систем передбачається новий підхід до визначення керуючих дій оперативним персоналом в умовах відсутності повної інформації про характер руху повітряних мас, стан і ходові характеристики вагонів та гальмовий ефект вагонних уповільнювачів. Такий підхід дозволяє наблизити функціонування системи «Сортувальна гірка» до нормальної фазової траєкторії.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані наукові положення щодо розрахунку раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок можуть бути використаними при новому будівництві, реконструкції та перебудові існуючих сортувальних пристроїв. Застосування вказаних параметрів в реальних умовах експлуатації сортувальної гірки дозволить отримати приріст синергетичного ефекту. При цьому окремо може вирішуватися задача визначення раціональної швидкості розпуску составів при заданих обсягах переробки, засобах регулювання швидкості скочування відчепів і конструктивних параметрах плану та поздовжнього профілю сортувальної гірки.

Застосування структур гіркових горловин нового класу на залізничних станціях України дозволить підвищити ресурсозбереження та якість сортувального процесу при забезпеченні необхідного рівня їх надійності.

Запропонований метод комплексної оцінки структур гіркових горловин може бути використаним для обґрунтування варіантів переобладнання гальмових позицій спускної частини і підгіркових колій вітчизняних сортувальних гірок при

виконанні комплексних програм Укрзалізниці щодо підвищення надійності, безпеки та ефективності сортувального процесу.

Впровадження розробленої системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для гіркових операторів на залізничних станціях України дозволить підвищити енергозбереження та якісні показники сортувального процесу. При цьому запропонована структура локальної інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки, основним елементом якої є система інтелектуальної підтримки, може бути використаною при розробці нових систем автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів та удосконаленні існуючих.

Результати роботи застосовано при переобладнанні гальмових позицій спускної частини на сортувальних станціях Основа і Харків-Сортувальний Південної залізниці та у навчальному процесі УкрДАЗТ і ШПК при УкрДАЗТ, що підтверджено відповідними актами. Окремі наукові положення використано у проекті вітчизняних Правил і норм проектування сортувальних пристроїв.

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, що опубліковані зі співавторами, особистий внесок наступний: у [1] – формування моделі для дослідження впливу параметрів поздовжнього профілю насувної частини гірок на витрати палива гірковими локомотивами; у [2] – розробка процедури визначення витрат палива при насуві та розпуску составів; у [3] – дослідження особливостей конструкцій поздовжнього профілю насувної частини сортувальних гірок залізничних станцій України; у [4] – аналіз існуючих і перспективних конструкцій вагонних уповільнювачів; у [5] – аналіз кількісних показників та методів оцінки рівня безпеки руху в транспортних системах; у [6] – аналіз конструкцій існуючих гіркових горловин вітчизняних сортувальних пристроїв; у [7] – обґрунтування напрямків удосконалення конструкцій гіркових горловин; у [8, 9, 11] – аналіз результатів моделювання; у [10] – розробка та аналіз узагальненої моделі функціонування системи «Сортувальна гірка» з точки зору людського фактору; у [12, 13] – огляд існуючих способів професійного відбору операторів та пристроїв оцінювання їх дій; у [14] – обґрунтовано критерій оптимізації параметрів сортувальної гірки; у [15] – визначення та аналіз факторів, що впливають на конструкцію гіркової горловини; у [16] – визначення сфер застосування нових конструкцій гіркових горловин; у [17] – обґрунтування наукового підходу до комплексного розрахунку конструктивних параметрів сортувальних гірок; у [18] – обґрунтування режимів гальмування розрахункових бігунів; у [19] – дослідження впливу структури парку вагонних уповільнювачів на показники сортувального процесу; у [24] – обґрунтування шляху розв’язання задачі раціоналізації розташування вагонних уповільнювачів; у [25] – дослідження рівня відмов на сортувальних гірках залізниць України; у [26] – розробка розрахункових схем для визначення кута між напрямком вітру і напрямком руху вагона; у [27, 28] – формування наукових підходів до представлення плану і поздовжнього профілю елементів сортувального комплексу та параметрів метеорологічних умов при розрахунках гірки та імітаційному моделюванні сортувального процесу; у [30] – удосконалення

процедури визначення експлуатаційних витрат на відшкодування втрат від ушкодження вагонів і вантажів; у [31] – аналіз технології митного контролю та огляду вантажів в контейнерно-контрейлерних поїздах; у [32, 34] – аналіз процесу розформування составів на залізничних станціях; у [36] – дослідження особливостей функціонування сортувальної гірки на основі теорії масового обслуговування; у [37] – аналіз діючого підходу до вибору типу сортувального пристрою; у [38] – аналіз відомих конструкцій поздовжнього профілю закордонних сортувальних пристроїв; у [40] – розробка тематичних тестів за розділом «Сортувальні станції».

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на: 63-72-й міжнародних науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту, 2002-2010 рр. (м. Харків); 1-й міжнародній конференції «Ресурсозберігаючі технології в експлуатації засобів транспорту в умовах реформування залізниць України», 2007 р. (м. Євпаторія); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті», 2008 р. (м. Дніпропетровськ); міжнародній науково-практичній конференції «Современные направления теоретических и прикладных исследований» Одеського національного морського університету, 2009 р. (м. Одеса); міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» 2009 р. (сmt. Коктебель); 22-й міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины», 2009 р. (м. Алушта); 70-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 2010 р. (м. Дніпропетровськ), семінарі-наradі Укрзалізниці «Розвиток сортувальних станцій. Раціоналізація розподілу сортувальної роботи між ними та вибір оптимальних схем направлення вагонопотоків», 2010 р. (м. Знам'янка).

Повністю дисертація доповідалась на об'єднаних наукових семінарах кафедр Білоруського державного університету транспорту (м. Гомель), Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Луганськ), Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків) та науково-технічній нараді Державного науково-дослідного центру залізничного транспорту України (м. Київ).

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 30 основних і 11 додаткових наукових праць у виданнях, що затверджені ВАК України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 368 сторінок, з яких обсяг основного тексту – 253 сторінки. Робота ілюстрована 71 рисунком, з яких 17 рисунків на 21 сторінці, наведено 24 таблиці, з яких 8 таблиць на 8 сторінках. Список використаних джерел складає 268 найменувань на 28 сторінках, 7 додатків на 58 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми для удосконалення теоретичних підходів до експлуатації та розрахунку параметрів сортувальних гірок, сформульовано мету та задачі дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, викладено наукову новизну та практичну цінність дисертації, подано її загальну характеристику.

У першому розділі, виходячи з мети дисертації, проведено аналіз актуальних проблем експлуатації механізованих і автоматизованих сортувальних гірок, наукових підходів до розрахунку їх висоти та поздовжнього профілю, відомих структур гіркових горловин, методів їх розрахунку і оцінки та показників сортувального процесу на залізничних станціях України.

Створенням і розвитком теорії експлуатації, методів розрахунку та оцінки конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок займалися такі вчені та практики, як Л.В. Абуладзе, Є.В. Архангельський, К.С. Ахвердієв, М.М. Бабаєв, П.В. Бартенєв, І.В. Берестов, С.А. Бессоненко, В.І. Бобровський, М.П. Божко, В.Я. Болотний, Т.В. Бутько, Є.А. Гібшман, А.Н. Гуда, Ю.Т. Гурічев, М.І. Данько, М.Г. Дашков, О.М. Долаберідзе, Ю.І. Єфіменко, І.В. Жуковицький, Г.І. Загарій, В.М. Іванченко, В.К. Івашкевич, А.М. Карпов, Д.М. Козаченко, А.М. Козлов, Б.О. Кривошей, О.М. Лебединська, Д.В. Ломотько, М.Н. Луговцов, І.М. Малишев, С.С. Мацкель, Ю.А. Муха, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, Г.І. Нечаєв, В.Д. Нікітін, В.М. Образцов, В.Є. Павлов, А.З. Пестременко, А.С. Писанко, М.В. Правдін, М.О. Рогинський, В.М. Рудановський, І.Є. Савченко, І.І. Страковський, Л.Б. Тішков, М.П. Топчієв, М.М. Уздін, М.І. Федотов, О.М. Шабельніков, В.П. Шейкін, В.І. Шелухін, О.Г. Шепілова, А.П. Шипулін та інші.

Аналіз відомих теоретичних підходів до експлуатації та розрахунку параметрів сортувальних гірок довів, що:

- 1) не в повній мірі вирішено проблеми якісного регулювання швидкості скочування відчепів і вибору раціональної конструкції поздовжнього профілю;
- 2) недостатньо уваги приділено проблемі ресурсозбереження при гальмуванні відчепів вагонними уповільнювачами і формуванні структур гіркових горловин;
- 3) не в повній мірі вивчено можливості і ефективність систем підтримки прийняття рішень для гіркових операторів.

Крім того, вимагають доопрацювання методи розрахунку висоти сортувальної гірки та додаткового питомого опору руху вагона від середовища і вітру, а рекомендації Правил і норм проектування сортувальних пристроїв щодо вибору швидкості розпуску составів в залежності від потужності сортувальної гірки – перегляду.

Слід зазначити, що основними причинами, що перешкоджають забезпеченню необхідного рівня якості сортувального процесу, є відсутність інформації про стан колісних пар вагонів, похибки у визначенні їх ходових характеристик, нестабільність коефіцієнту тертя між колесами вагона і шинами вагонних уповільнювачів, складність прогнозування величини додаткових питомих опорів від стрілок і кривих, середовища та вітру, які мають випадкову природу, та недосконалість технології інтервального (інтервально-прицільного) регулювання швидкості скочування відчепів на спускній частині гірки і прицільного – на підгіркових коліях.

Основним недоліком теорії експлуатації та методів розрахунку параметрів сортувальних гірок є відсутність наукових підходів, що одночасно визначають і стратегію функціонування сортувального пристрою на період життєвого циклу, і його раціональні конструктивно-технологічні параметри. Тобто комплексно рішення вказаних задач не розглядалось.

Таким чином, має місце коло проблем, вирішення яких можливе тільки шляхом удосконалення теоретичних підходів до експлуатації та розрахунку параметрів сортувальних гірок з урахуванням ресурсозбереження.

У другому розділі обґрунтовано вибір напрямку досліджень і сформовано системний підхід до визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів (висоти, параметрів профілю, швидкості розпуску составів, параметрів регулювання швидкості скочування відчепів) і стратегії експлуатації сортувальних гірок. При визначенні ефективності їх експлуатації запропоновано враховувати наступні показники використання ресурсів: витрати дизельного палива гірковими локомотивами (G_n), витрати електроенергії на регулювання швидкості скочування відчепів з гірки ($G_{ел}$), потрібне число вагонних уповільнювачів на спускній частині ($N_{сч}$) та підгіркових коліях ($N_{ск}$), потрібне число гіркових локомотивів ($N_{зл}$), складову робочого парку вагонів (P'). Наведені показники є визначальними при оцінці варіантів конструкції сортувальних пристроїв. Перший і другий показники характеризують використання паливно-енергетичних ресурсів, третій, четвертий і п'ятий – виробничих ресурсів, шостий – перевізного ресурсу.

Попереднім аналізом доведено, що висота гірки безпосередньо впливає на такі показники, як G_n , $G_{ел}$, $N_{сч}$, $N_{ск}$. При цьому залежність вказаних показників від висоти гірки є прямо пропорційною.

Збільшення швидкості розпуску составів V_p покращить (тенденція зменшення) лише три показники: G_n , $N_{зл}$ і P' . Для іншої підмножини показників, а саме $G_{ел}$, $N_{сч}$, $N_{ск}$, збільшення V_p може призвести до значних додаткових капітальних і експлуатаційних витрат. Тобто задачу визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок слід кваліфікувати як оптимізаційну відносно швидкості розпуску составів.

У реальному масштабі часу швидкість виконання маневровим локомотивом окремих операцій гіркового технологічного процесу (заїзду, перестановки, насуву, розпуску і осаджування) ($V_{л}(t)$) можна вважати єдиним керованим вхідним впливом на систему „Сортувальна гірка”. Позначимо множину впливів, що здійснюють цілеспрямовану зміну стану системи „Сортувальна гірка” через $U(t)$. До множини некерованих вхідних впливів $V(t)$ відносяться параметри, що відображають поточний стан метеорологічних умов (температура зовнішнього повітря ($t^o(t)$), швидкість ($V_{в}(t)$) та напрямок ($\beta(t)$) вітру), та інтенсивність вхідного вагонопотоку у момент часу t ($\lambda(t)$).

Стан системи „Сортувальна гірка” у момент часу t можна записати у наступному виді

$$Q(t) = F^o(t, Q_o, Z(t), P(t), U(t), V(t)), \quad (1)$$

де F^o – оператор стану системи; Q_o – початковий стан системи; $Z(t)$ – характеристики системи, які залежать від множини вхідних впливів $U(t) \cup V(t)$ на систему; $P(t)$ – множина параметрів керування, які можуть змінюватись у процесі функціонування системи та забезпечувати підвищення її якості.

Початковим станом системи є множина наступних параметрів: число гіркових локомотивів ($N_{зл}$), крутизна елементів поздовжнього профілю насувної частини гірки ($I_{нч}$), крутизна елементів поздовжнього профілю спускної частини гірки ($I_{сч}$), число вагонних уповільнювачів, що розташовані на спускній частині ($N_{сч}$), число вагонних уповільнювачів, що розташовані на сортувальних коліях ($N_{ск}$), потужність ($P_{лок}$) і довжина ($l_{лок}$) гіркового локомотиву, число стрілочних переводів ($N_{стр}$) і кривих діляниць колій ($N_{кр}$), координати центрів переводів ($x_{ун}, y_{ун}$) і вершин кутів повороту ($x_{вк}, y_{вк}$), кути повороту на стрілочних переводах ($\alpha_{стр}$) та кривих діляницях колій ($\alpha_{кр}$), радіуси перевідних кривих стрілочних переводів ($R_{стр}$) і кривих діляниць колій ($R_{кр}$), радіуси вертикальних кривих (R_v), число колій у парку приймання (m_k), годинні витрати палива гірковим локомотивом ($q_{зод}$), витрати електроенергії на одне спрацювання вагонного уповільнювача ($q_{ел}$), вартість дизельного палива (e_n) і електроенергії ($e_{ел}$), вартість вагонних уповільнювачів (K_{yn}) і гіркових локомотивів ($K_{лок}$), тарифні ставки робітників, що обслуговують вагонні уповільнювачі ($C_{мс}^{yn}$) і гіркові локомотиви ($C_{мс}^{лок}$), нормативні працевитрати на технічне обслуговування вагонних уповільнювачів ($T_{мо}^{yn}$) і гіркових локомотивів ($T_{мо}^{лок}$), вартість вагоно-годин простою ($e_{ваг-зод}$), об'єм (V_3) і вартість проведення (e_3) земляних робіт, вартість систем автоматизації ($C_{авт}$).

Основною характеристикою системи, що залежить від множини вхідних впливів $U(t)$ і $V(t)$, є рівень годинного завантаження гірки у момент часу t ($\rho_z(t)$). До параметру керування слід віднести миттєву питому роботу гальмових сил при гальмуванні відчепів на спускній частині і підгіркових коліях ($h_z(t)$). Виходом системи „Сортувальна гірка” є множина параметрів

$$Y(t) = (G_n(t), G_{el}(t), n_{yuk}(t), t_{oc}^{nn}(t)), \quad (2)$$

де $G_n(t)$ – сумарні витрати палива гірковими локомотивами на насув і розпуск составів; $G_{el}(t)$ – сумарні витрати електроенергії на регулювання швидкості скочування відчепів; $n_{yuk}(t)$ – сумарне число ушкоджених вагонів на гірці; $t_{oc}^{nn}(t)$ – сумарна тривалість простою составів у парку приймання в очікуванні розформування.

Значення вихідних параметрів $Y(t)$ є координатами фазової траєкторії у фазовому просторі та залежать від вхідних впливів $U(t)$ і $V(t)$, внутрішньої характеристики системи $Z(t)$ і параметру керування $P(t)$. Таким чином, виходячи із системного підходу, закон функціонування системи „Сортувальна гірка” буде мати наступний вид

$$Y(t) = G^o(t, Q_o, Z(t), P(t), U(t), V(t), S(t)) \quad (3)$$

або

$$Y(t) = G^o(t, Q_o, \rho_z(t), h_z(t), V_n(t), t^o(t), V_e(t), \beta(t), \lambda(t), S(t)), \quad (4)$$

де G^o – оператор виходу; $S(t)$ – вектор структурної перебудови; $Q_o = (N_{zl}, I_{nc}, I_{sc}, N_{sc}, N_{sk}, P_{лок}, l_{лок}, N_{стр}, N_{кр}, x_{цп}, y_{цп}, x_{вк}, y_{вк}, \alpha_{стр}, \alpha_{кр}, R_{стр}, R_{кр}, R_v, m_k, q_{zod}, q_{el}, e_n, e_{el}, K_{yn}, K_{лок}, C_{мс}^{yn}, C_{мс}^{лок}, T_{то}^{yn}, T_{то}^{лок}, e_{ваз-зод}, V_3, e_3, C_{авт})$.

Структурною перебудовою системи може бути зміна: конструкції поздовжнього профілю сортувальної гірки; конструкції плану колійного розвитку сортувальної гірки; числа вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях; типів гіркових локомотивів; режимів регулювання швидкості скочування відчепів з гірки; систем автоматизації сортувального процесу.

Структурна перебудова може відбутися в наслідок: зміни розрахункових метеорологічних умов скочування відчепів з гірки; зміни обсягу і структури вагонопотоку, що переробляється; переоснащення гальмових позицій; природного погіршення технічних характеристик гіркових локомотивів і вагонних уповільнювачів; перебудови (реконструкції) передгіркової горловини; зміни вартості паливно-енергетичних ресурсів; зміни тарифних ставок робітників, що обслуговують гіркові локомотиви і вагонні уповільнювачі; зміни нормативних працевитрат на технічне обслуговування гіркових локомотивів і вагонних уповільнювачів; зміна вартості вагоно-годин простою.

Конфігурація фазового простору Φ системи визначається з урахуванням обмежень на вхідний керований вплив $V_l(t)$, некеровані вхідні впливи $t^o(t)$, $V\beta(t)$, $\beta(t)$, $\lambda(t)$, характеристику системи $\rho_z(t)$ та параметр керування $h_z(t)$

$$\Phi \in E_k$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq V_l(t) \leq V_3^{\max} \text{ нпу } t_{n.3} \leq t \leq t_{3.3}; \\ 0 \leq V_l(t) \leq V_n^{\max} \text{ нпу } t_{n.n} \leq t \leq t_{3.n}; \\ 0 \leq V_l(t) \leq V_n^{\max} \text{ нпу } t_{n.n} \leq t \leq t_{3.n}; \\ |V_l(t) - V_p| \leq 0,5 \text{ нпу } t_{n.p} \leq t \leq t_{3.p}; \\ 0 \leq V_l(t) \leq V_{oc}^{\max} \text{ нпу } t_{n.oc} \leq t \leq t_{3.oc}; \\ t_{\min}^o \leq \bar{t}^o(t) \leq t_{\max}^o, \quad 0 \leq V\beta(t) \leq V\beta_{\max}; \\ 0 \leq \beta(t) \leq 360, \quad \lambda_{\min} \leq \lambda(t) \leq \lambda_{\max}; \\ \rho_z(t) \leq 0,85, \quad 0 \leq h_z(t) \leq h_z^{\max}, \end{array} \right. \quad (5)$$

де $V_3^{\max}, V_n^{\max}, V_n^{\max}, V_{oc}^{\max}$ – максимальна швидкість відповідно заїзду гіркового локомотива у парк приймання, перестановки составу з парку приймання на витяжну колію, насуву состава на гірку та осаджування вагонів на сортувальних коліях, м/с; $t_{n.3}, t_{3.3}, t_{n.n}, t_{3.n}, t_{n.n}, t_{3.n}, t_{n.p}, t_{3.p}, t_{n.oc}, t_{3.oc}$ – моменти часу відповідно початку і закінчення заїзду гіркового локомотива у парк приймання, перестановки составу з парку приймання на витяжну колію, насуву состава на гірку, розпуску состава з гірки та осаджування вагонів на сортувальних коліях, с; t_{\min}^o, t_{\max}^o – відповідно мінімально і максимально можлива температура зовнішнього повітря, °С; $V\beta_{\max}$ – максимально можлива швидкість вітру, м/с; $\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ – відповідно мінімально і максимально можлива інтенсивність вхідного вагонопотоку, ваг./год.; h_z^{\max} – максимально можлива питома робота гальмових сил при гальмуванні вагонів на спускній частині і підгіркових коліях, кДж/ н..

Оскільки конструкція поздовжнього профілю і число вагонних уповільнювачів залежать від заданої швидкості розпуску составів, визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальної гірки слід здійснювати за умовою мінімізації сумарних капітальних і експлуатаційних витрат системи (E) за період життєвого циклу ($t_{жц}$), де

$$E = f(G_n, G_{ел}, n_{ушк}, t_{оч}^{nn}, N_{зл}, N_{сч}, N_{ск}, V_3),$$

$$E = \int_0^{t_{жц}} E(V_p, t) dt \rightarrow \min. \quad (6)$$

Мінімізація цільової функції здійснюється за умовою $0,8 \leq V_p \leq V_p^{\max}$, де V_p^{\max} – максимально можлива швидкість розпуску составів, м/с.

У якості життєвого циклу системи пропонується обрати період часу, обмежений середнім терміном служби вагонних уповільнювачів (16 або 20 років в залежності від типу засобів регулювання швидкості скочування відчепів, які передбачаються у проекті).

Швидкість розпуску і режими гальмування відчепів, що забезпечують мінімальні види витрат системи з наростаючим підсумком за період життєвого циклу, визначають стратегію її експлуатації. Реалізація цієї стратегії шляхом ефективного керування процесом розформування составів повинна наближувати функціонування системи до нормальної фазової траєкторії, що може бути представлено наступною моделлю

$$\int_0^{t_1} |E_p(t) - E_\phi(t)| dt \rightarrow 0, \quad (7)$$

$$0 \leq t_1 \leq t_{\text{жц}}, \quad (8)$$

де $E_p(t), E_\phi(t)$ – миттєві експлуатаційні витрати системи відповідно при її раціональних конструктивно-технологічних параметрах і фактичні, млн грн.

Науковий підхід до комплексного розрахунку конструктивних параметрів сортувальних гірок, що запропоновано у дисертації, на відмінність від традиційного підходу базується на визначенні вказаних параметрів в ході імітаційного моделювання скочування розрахункових бігунів на ЕОМ з урахуванням випадкового характеру окремих параметрів метеорологічних умов (швидкості та напрямку вітру).

В умовах наявності вихідних даних, що мають випадкову природу, висоту гірки слід визначати по кожній колії сортувального парку. Далі отримані висоти для коректності порівняння перераховуються відносно будь-якої розрахункової точки з урахуванням поперечного профілю, якщо головки рейок сортувальних колій знаходяться на різних рівнях, і поздовжнього профілю, якщо розрахункові точки розташовані у різних створах. Фактичною висотою гірки є найбільша з перерахованих висот

$$H_{\Gamma} = \max_{z=1, \dots, R} (H_{\Gamma_z} + \Delta h_z^{\text{non}} + \Delta h_z^{\text{noz\delta}}) - \Delta h_p^{\text{non}} - \Delta h_p^{\text{noz\delta}}, \quad (9)$$

де R – число сортувальних колій; H_{Γ_z} – висота гірки по сортувальній колії z , м. H_{Γ_z} є сумою профільних висот раціональної конструкції поздовжнього профілю; $\Delta h_z^{\text{non}}, \Delta h_z^{\text{noz\delta}}$ – різниця рівнів головок рейок сортувальної колії z і колії, відносно розрахункової точки якої проводяться перерахунки висот (далі вихідної колії), відповідно у поперечному і поздовжньому профілях, м; $\Delta h_p^{\text{non}}, \Delta h_p^{\text{noz\delta}}$ – різниця рівнів головок рейок розрахункової і вихідної сортувальних колій відповідно у поперечному і поздовжньому профілях, м.

Розрахунковою серед R сортувальних колій слід вважати колію, для якої $(H_{\Gamma_z} + \Delta h_z^{non} + \Delta h_z^{noz\delta})$ приймає найбільше значення.

Задача визначення раціональних конструктивних параметрів поздовжнього профілю спускної частини по сортувальній колії z у стохастичній постановці має наступний аналітичний вид

$$H_{\Gamma_z} = (I_{1_z} \cdot l_{1_z} + I_{2_z} \cdot l_{2_z} + I_{4_z} \cdot l_{4_z} + I_{5_z} \cdot l_{5_z}) \cdot 10^{-3} + C_z \rightarrow \min, \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{1_z} \leq 50, I_{2_z} \geq 7, 23 \leq I_{1_z} - I_{2_z} \leq 25; I_{4_z} \geq 7, 7 \leq I_{5_z} \leq 26,5; \\ P(h_{\omega_z}^{*PB}(I, V\theta(t), \beta(t)) \leq H_{\Gamma_z} + h_o^{PB}) \geq 0,95; \\ P(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\ P(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\ \dots\dots\dots \\ P(\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\ P(\delta_{PB-XB_z}^{*VII.1}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*VII.1}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\ P(\delta_{PB-XB_z}^{*VII.2}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*VII.2}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\ \dots\dots\dots \\ P(\delta_{PB-XB_z}^{*VII.k}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a, P(\delta_{XB-PB_z}^{*VII.k}(I, V\theta(t), \beta(t)) \geq 1) \geq a; \\ F(V\theta) = \frac{1}{\sigma(V\theta) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{V\theta} \exp\left(\frac{-(V\theta - M(V\theta))^2}{2 \cdot (\sigma(V\theta))^2}\right) dV\theta; \\ F(\beta) = \frac{1}{\sigma(\beta) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\beta} \exp\left(\frac{-(\beta - M(\beta))^2}{2 \cdot (\sigma(\beta))^2}\right) d\beta, \end{array} \right. \quad (11)$$

де $C_z = (7 \cdot l_{3_z} + 1,5 \cdot l_{6_z} + 0,6 \cdot l_{7_z}) \cdot 10^{-3}$; $I_{1_z}, l_{1_z}, \dots, I_{7_z}, l_{7_z}$ – відповідно крутизна, ‰, і довжина, м, 1-го, ..., 7-го елементів поздовжнього профілю; $h_{\omega_z}^{*PB}(I, V\theta(t), \beta(t))$ – випадкове значення витраченої енергетичної висоти розрахункового бігуна (РБ) на подолання всіх видів опору при скочуванні від вершини гірки (ВГ) до розрахункової точки (РТ) сортувальної колії z , кДж/кН; $I = (I_{1_z}, \dots, I_{7_z})$; $V\theta(t), \beta(t)$ – випадкова динаміка зміни відповідно швидкості, м/с, і напрямку, °, вітру при скочуванні РБ і ХБ з гірки. На підставі виконаних у розділі 3 досліджень зроблено припущення про розподіл вказаних випадкових величин за нормальним законом; h_o^{PB} – початкова енергетична висота РБ на ВГ, кДж/кН; $\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.1}(I, V\theta(t), \beta(t))$, $\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.2}(I, V\theta(t), \beta(t))$, ..., $\delta_{PB-XB_z}^{*CTP.n}(I, V\theta(t), \beta(t))$,

$\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.1}(I, V\theta(t), \beta(t))$, $\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.2}(I, V\theta(t), \beta(t))$, ..., $\delta_{XB-PB_z}^{*CTP.n}(I, V\theta(t), \beta(t))$, $\delta_{PB-XB_z}^{*YI.1}(I, V\theta(t), \beta(t))$, $\delta_{PB-XB_z}^{*YI.2}(I, V\theta(t), \beta(t))$, ..., $\delta_{PB-XB_z}^{*YI.k}(I, V\theta(t), \beta(t))$, $\delta_{XB-PB_z}^{*YI.1}(I, V\theta(t), \beta(t))$, $\delta_{XB-PB_z}^{*YI.2}(I, V\theta(t), \beta(t))$, ..., $\delta_{XB-PB_z}^{*YI.k}(I, V\theta(t), \beta(t))$ – випадкове значення інтервалу відповідно на 1-му, 2-му, ..., n -му стрілочному переводі і 1-му, 2-му, ..., k -му вагонному уповільнювачу при скочуванні розрахункових бігунів на колію z і суміжну з нею колію у розрахункових сполученнях РБ-ХБ і ХБ-РБ, с, де ХБ – хороший бігун; a – задана імовірність виконання умови інтервального регулювання; $M(V\theta)$, $M(\beta)$, $\sigma(V\theta)$, $\sigma(\beta)$ – математичні очікування та середні квадратичні відхилення відповідно швидкості, м/с, та напрямку, °, вітру.

Задача визначення раціональних конструктивних параметрів поздовжнього профілю насувної частини сформульована як задача нелінійного програмування при допущенні про постійність швидкості та напрямку вітру протягом насуву та розпуску состава

$$G_n = 10^3 \left(B_{z_{XX}} \cdot \left(\int_{V_0^{XX}}^{V_1^{XX}} \frac{dV}{Z(I_1^{нас}, I_2^{нас})} + \int_{V_2^{XX}}^{V_3^{XX}} \frac{dV}{Z(I_1^{нас}, I_2^{нас})} + \dots + \int_{V_{k-1}^{XX}}^{V_k^{XX}} \frac{dV}{Z(I_1^{нас}, I_2^{нас})} \right) + \right. \\ \left. + B_{z_{1\Pi}} \cdot \left(\int_{V_0^{1\Pi}}^{V_1^{1\Pi}} \frac{dV}{Z(I_1^{нас}, I_2^{нас})} + \int_{V_2^{1\Pi}}^{V_3^{1\Pi}} \frac{dV}{Z(I_1^{нас}, I_2^{нас})} + \dots + \int_{V_{m-1}^{1\Pi}}^{V_m^{1\Pi}} \frac{dV}{Z(I_1^{нас}, I_2^{нас})} \right) + \dots + \right. \\ \left. + B_{z_{8\Pi}} \cdot \left(\int_{V_0^{8\Pi}}^{V_1^{8\Pi}} \frac{dV}{Z(I_1^{нас}, I_2^{нас})} + \int_{V_2^{8\Pi}}^{V_3^{8\Pi}} \frac{dV}{Z(I_1^{нас}, I_2^{нас})} + \dots + \int_{V_{p-1}^{8\Pi}}^{V_p^{8\Pi}} \frac{dV}{Z(I_1^{нас}, I_2^{нас})} \right) \right) \rightarrow G_{n \min}, \quad (12)$$

$$\begin{cases} 0 \leq I_1^{нас} \leq 2; \quad 8 \leq I_2^{нас} \leq 16; \\ (I_1^{нас} \cdot l_1^{нас} + I_2^{нас} \cdot l_2^{нас}) \cdot 10^{-3} = h_{np}; \\ 0 < V(I_1^{нас}, I_2^{нас}) \leq V_{нас}^{\max} \quad \text{при } 0 \leq t \leq T_{кд}^{зан}; \\ V_p \leq V(I_1^{нас}, I_2^{нас}) < V_{нас}^{\max} \quad \text{при } T_{кд}^{зан} < t \leq T_{кд}^{36}; \\ |V(I_1^{нас}, I_2^{нас}) - V_p| \leq \Delta V \quad \text{при } T_{кд}^{36} < t \leq T_{3p}; \\ f_m(V(I_1^{нас}, I_2^{нас})) \cdot (P + Q) \cdot 10^{-3} \leq F_{m \max}, \end{cases} \quad (13)$$

де $B_{z_{XX}}$, $B_{z_{1\Pi}}$, ..., $B_{z_{8\Pi}}$ – витрати палива за одиницю часу відповідно на холостому ході, 1-ій, ..., 8-ій позиціях контролеру, кг/с; V_0^{XX} , V_2^{XX} , V_{k-1}^{XX} , $V_0^{1\Pi}$, $V_2^{1\Pi}$, $V_{m-1}^{1\Pi}$, ..., $V_0^{8\Pi}$, $V_2^{8\Pi}$, $V_{p-1}^{8\Pi}$, V_1^{XX} , V_3^{XX} , V_k^{XX} , $V_1^{1\Pi}$, $V_3^{1\Pi}$, $V_m^{1\Pi}$, ..., $V_1^{8\Pi}$, $V_3^{8\Pi}$, $V_p^{8\Pi}$ – швидкості составу у моменти часу початку і кінця роботи гіркового локомотива відповідно на холостому ході, 1-ій, ..., 8-ій позиціях контролеру, м/с; $Z(I_1^{нас}, I_2^{нас}) = g'(S) \cdot (f_m(V(I_1^{нас}, I_2^{нас}))) + I_{екв}(S, I_1^{нас}, I_2^{нас}) - \omega_0^{лок}(V(I_1^{нас}, I_2^{нас})) -$

$-\omega_0^{cosm}(S) - \omega_{ck}(S, V(I_1^{nac}, I_2^{nac})) - \omega_{cv}(S, V(I_1^{nac}, I_2^{nac}))$; I_1^{nac}, I_2^{nac} – крутизна відповідно першого і другого елементів поздовжнього профілю, $^{\circ}$; $g'(S)$ – прискорення вільного падіння з урахуванням моменту інерції мас, що обертаються, локомотиву і вагонів составу, $м/с^2$; $f_m(V(I_1^{nac}, I_2^{nac}))$ – миттєва питома сила тяги локомотива, $Н/кН$; $V(I_1^{nac}, I_2^{nac})$ – миттєва швидкість составу, що насувається або розпускається з гірки, $м/с$; $I_{екв}(S, I_1^{nac}, I_2^{nac})$ – миттєва крутизна еквівалентного уклону, $^{\circ}$; S – шлях, що пройдено локомотивом з вагонами з моменту початку насуву состава на гірку, $м$; $\omega_0^{лок}(V(I_1^{nac}, I_2^{nac}))$ – миттєвий основний питомий опір гіркового локомотива, $Н/кН$; $\omega_0^{cosm}(S)$ – основний питомий опір составу, $Н/кН$; $\omega_{ck}(S, V(I_1^{nac}, I_2^{nac}))$, $\omega_{cv}(S, V(I_1^{nac}, I_2^{nac}))$ – миттєвий додатковий питомий опір руху локомотива і составу відповідно від стрілок і кривих, середовища і вітру, $Н/кН$.; l_1^{nac}, l_2^{nac} – довжина відповідно першого і другого елементів поздовжнього профілю насувної частини, $м$; h_{np} – задана профільна висота насувної частини, $м$; V_{nac}^{max} – максимальна швидкість насуву составу на гірку, $м/с$; V_p – задана швидкість розпуску составу, $м/с$; $T_{кд}^{зан}, T_{кд}^{зв}$ – моменти часу відповідно заняття і звільнення першою віссю составу контрольної ділянки (зони зменшення швидкості насуву составу до заданої швидкості розпуску), $с$; ΔV – задане найбільше відхилення миттєвої швидкості составу від заданої швидкості розпуску, $м/с$; $T_{зр}$ – момент закінчення розпуску составу, $с$; P, Q' – вага відповідно локомотива і составу, $Н$; $F_{m\ max}$ – максимальна сила тяги локомотива, $Н$.

Таким чином, для можливості урахування імовірнісної природи параметрів метеорологічних умов при конструктивних і технологічних розрахунках сортувальної гірки виникає задача створення методу розрахунку швидкості і напрямку вітру в точках місцезнаходження вагону на основі даних метеорологічних датчиків.

У третьому розділі удосконалено метод розрахунку додаткового питомого опору руху вагона від середовища і вітру. Запропонований теоретичний підхід до розрахунку вказаного виду опору базується на урахуванні випадкової природи окремих параметрів метеорологічних умов і миттєвого кута відхилення вагона від базису гіркової горловини при моделюванні скочування розрахункових бігунів або процесу розформування составів.

Дослідження швидкості і напрямку вітру протягом трьох місяців довели, що їх випадкові значення підпорядковуються в основному нормальному закону розподілу. При цьому за час скочування відчепу з гірки вказані параметри можуть змінюватись в достатньо широкому діапазоні (рис. 1), що суттєвим чином відображається на величині інтервалів між відчепами на розрахункових елементах гірки.

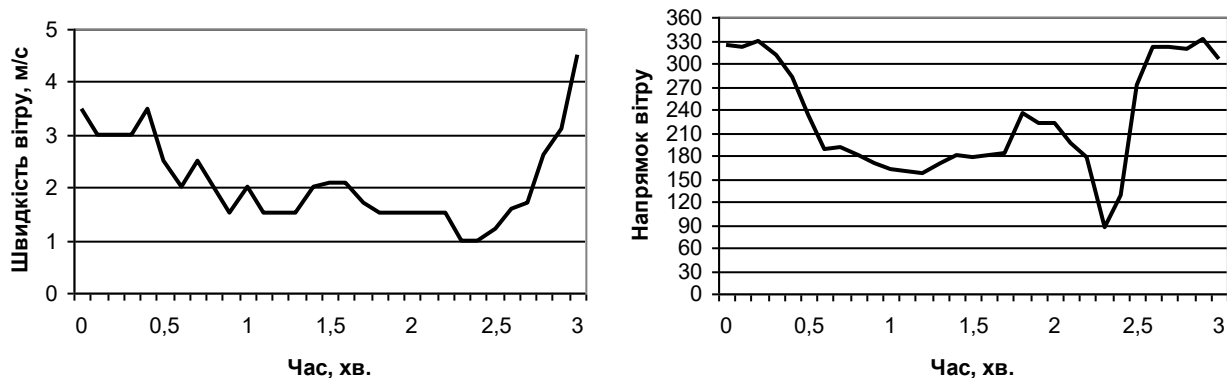


Рис. 1. Графіки залежності швидкості і напрямку вітру від часу

Для моделювання процесу розформування составів або скочування розрахункових бігунів у розрахункових сполученнях швидкість і напрямок вітру можуть бути задані функціями, які апроксимують дані реальних метеорологічних датчиків або динамічний ряд випадкових значень, що підпорядковуються заданому закону розподілу з відповідними параметрами.

У роботі розглянуто два способи рішення задачі про визначення швидкості та напрямку вітру в точці місцезнаходження вагону на полігоні. Перший спосіб передбачає використання процедури ітераційного пошуку вказаних параметрів в точках маршруту скочування відцепу, другий – інтерполяційного багаточлену

$$w = - \frac{\begin{vmatrix} 1 & z_0 & z_0^2 & \dots & z_0^n & w_0 \\ 1 & z_1 & z_1^2 & \dots & z_1^n & w_1 \\ 1 & z_2 & z_2^2 & \dots & z_2^n & w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & z_n & z_n^2 & \dots & z_n^n & w_n \\ 1 & z & z^2 & \dots & z^n & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & z_0 & z_0^2 & \dots & z_0^n \\ 1 & z_1 & z_1^2 & \dots & z_1^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & z_n & z_n^2 & \dots & z_n^n \end{vmatrix}}, \quad (14)$$

де w – комплексне число, значення дійсної (a) і уявної (b) частин якого використовуються для розрахунку швидкості ($V\epsilon^*$) і напрямку (β^*) вітру в точці місцезнаходження вагону з координатами (x_ϵ, y_ϵ) ,

$$V\epsilon^* = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad (15)$$

$$\beta^* = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}; \quad (16)$$

$z_0, z_1, z_2, \dots, z_n$ – комплексні числа, дійсна і уявна частини яких є відповідно абсцисами і ординатами розміщення $n+1$ метеорологічних датчиків на полігоні $((x_{m\partial 0}, y_{m\partial 0}), (x_{m\partial 1}, y_{m\partial 1}), (x_{m\partial 2}, y_{m\partial 2}), \dots, (x_{m\partial n}, y_{m\partial n}))$. В умовах припущення про розташування вказаних датчиків в одну лінію, що співпадає з базисом гіркової горловини, $z_0 = x_{m\partial 0}, z_1 = x_{m\partial 1}, z_2 = x_{m\partial 2}, \dots, z_n = x_{m\partial n}$; $w_0, w_1, w_2, \dots, w_n$ – комплексні числа, дійсна і уявна частини яких є абсолютними величинами проекції вектора миттєвої швидкості вітру відповідно на вісь x і y в зоні розміщення 0 -го $(V_{e_0}^* \cdot \cos \beta_0^*, V_{e_0}^* \cdot \sin \beta_0^*)$, 1 -го $(V_{e_1}^* \cdot \cos \beta_1^*, V_{e_1}^* \cdot \sin \beta_1^*)$, 2 -го $(V_{e_2}^* \cdot \cos \beta_2^*, V_{e_2}^* \cdot \sin \beta_2^*)$, ..., n -го $(V_{e_n}^* \cdot \cos \beta_n^*, V_{e_n}^* \cdot \sin \beta_n^*)$ метеорологічних датчиків; z – комплексне число, дійсна і уявна частини якого є абсолютними величинами проекції радіус-вектора до точки (x_e, y_e) відповідно на вісь x і y .

Реалізація процедури ітераційного пошуку швидкості і напрямку вітру в точці місцезнаходження вагону на ЕОМ показала порівняно низьку точність розрахунку вказаних параметрів. Другий спосіб виявився значно ефективнішим і з точки зору точності розрахунку, і з позиції витрат часу на отримання результату.

У четвертому розділі сформовано узагальнену процедуру визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок (рис. 2), удосконалено відомі імітаційні моделі скочування відчепів з гірки та розроблено програмне забезпечення для розрахунку вказаних параметрів і якісних показників сортувального процесу.

Вихідними даними до розрахунку вказаних параметрів є (блок 2): розрахунковий період; середньодобові розміри переробки; характеристика структури вагонопотоку, що надходить у переробку; середня температура зовнішнього повітря, вибіркові середні та середньоквадратичні відхилення швидкості і напрямку вітру у випадково обрану добу кожного місяця розрахункового періоду; координати характерних точок плану елементів сортувального комплексу (парку приймання, сортувальної гірки та підгіркового парку); координати точок перелому поздовжнього профілю; параметри кривих дільниць колій, стрілочних переводів і глухих перехрещень; характеристики вагонів, маневрових локомотивів і засобів регулювання швидкості скочування відчепів та їх вартості; додаткові дані для розрахунку експлуатаційних витрат.

Після введення вихідних даних для випадково обраної доби кожного місяця розрахункового періоду формуються залежності швидкості і напрямку вітру від часу та моделюється призначення, тип, число осей, вага і основний питомий опір кожного вагона, а також заповнення підгіркових колій перед розпуском першого состава (блок 3).

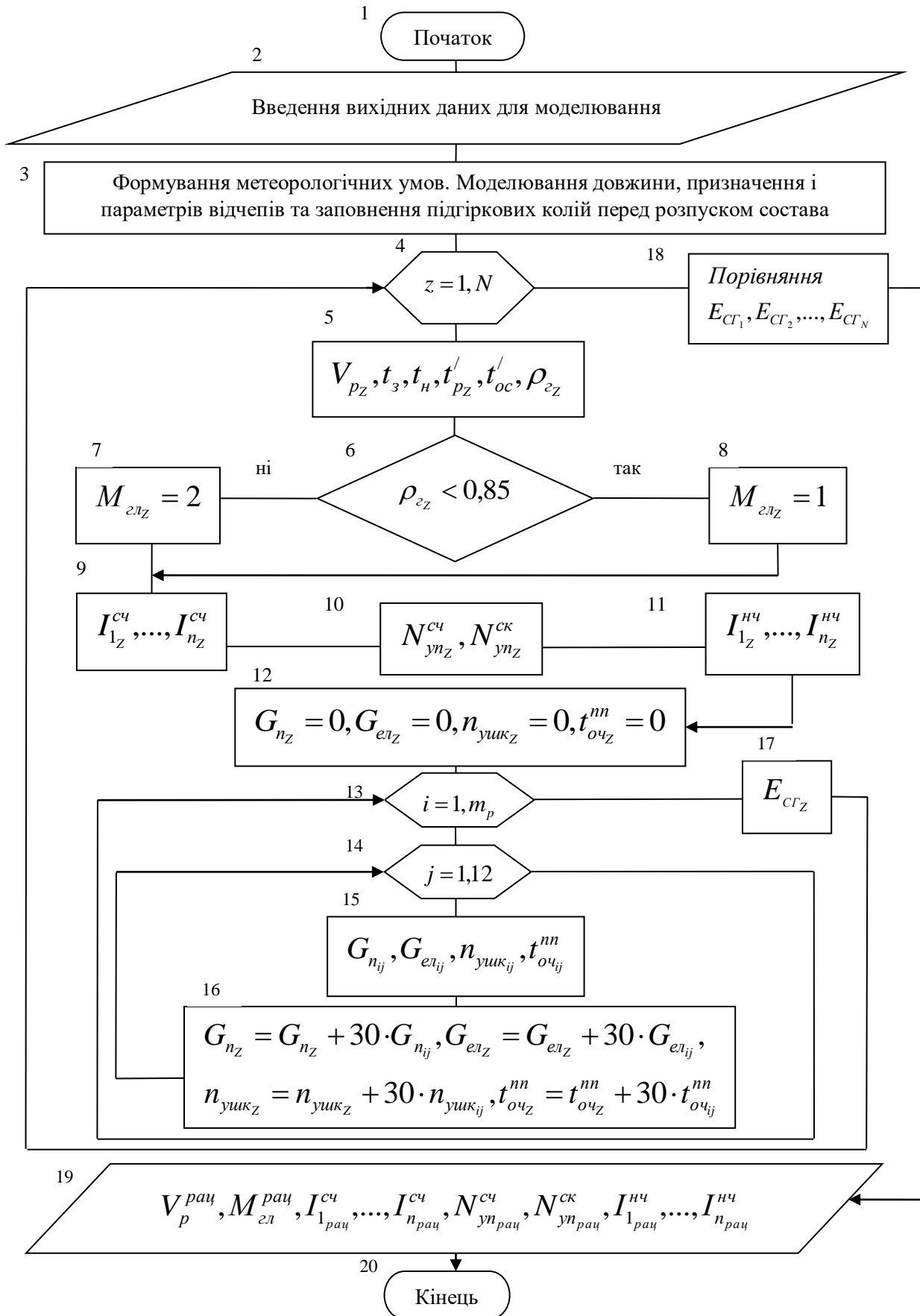


Рис. 2. Узагальнена процедура визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок

Функціонування сортувальної гірки розглядається при різних варіантах швидкості розпуску составів (V_{pz}), для чого задається відповідний цикл (блок 4). Число цих варіантів (N) визначається діапазоном можливих швидкостей розпуску (при ручному розчепленні вагонів від 0,8 до 1,9 м/с, автоматичному – від 0,8 до 2,2 м/с) і величиною дискретного кроку ΔV_p .

Після ідентифікації швидкості розпуску у відповідності з номером її варіанту розраховуються середні тривалості заїзду гіркового локомотива у парк приймання, насуву і розпуску составу, осаджування вагонів на підгіркових коліях та рівень завантаження гірки при наявності одного гіркового локомотива (блок 5). Якщо рівень завантаження гірки перевищує 0,85 (блок 6), приймається два гіркових локомотива (блок 7), інакше – один (блок 8).

Далі визначаються раціональні параметри поздовжнього профілю спускної (блок 9) і насувної (блок 11) частин гірки та розрахунок потрібного числа вагонних уповільнювачів (блок 10), базуючись на результатах розрахунку потужності гальмових засобів.

На наступному етапі розраховуються та додаються витрати палива гірковими локомотивами на насув і розпуск составів, витрати електроенергії на регулювання швидкості скочування відчепів, число ушкоджених вагонів і додатковий простій составів у парку приймання в очікуванні розформування, який є функцією гіркових технологічних інтервалів у вихідному варіанті і варіанті, що розглядається (блоки 15, 16). Реалізується дана процедура шляхом порівнювання вказаних параметрів до нуля (блок 12) та завдання циклів для числа розрахункових років (блок 13) і числа місяців (блок 14).

Після цього для кожного варіанту швидкості розпуску составів розраховується економічний ефект від впровадження конструкції, технічного оснащення і технології роботи сортувальної гірки (блок 17).

Шляхом порівняння результатів розрахунку економічних ефектів визначаються і виводяться на друк раціональні конструктивно-технологічні параметри сортувальної гірки, а саме швидкість розпуску составів, число гіркових локомотивів, крутизна елементів поздовжнього профілю та число вагонних уповільнювачів (блоки 18, 19).

Моделювання окремих параметрів структури вагонопотоку, що надходить у переробку, а саме довжини, призначення і параметрів відчепів, здійснюється з використанням методів, що запропоновані вченими ДНУЗТ.

Оскільки план і поздовжній профіль елементів сортувального комплексу представляють з себе сукупності прямих ділянок колій і кругових кривих заданого радіусу (R), в імітаційних моделях вони (план і профіль) описуються системами відповідних рівнянь. Для реалізації даного підходу виведено рівняння кола з центром у точці O (рис. 3)

$$\left(X - X_B - \frac{T \cdot \begin{vmatrix} (Y_A - Y_B) & \rho_1 \\ (Y_C - Y_B) & \rho_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X_A & X_B & X_C \\ Y_A & Y_B & Y_C \end{vmatrix}} \right)^2 + \left(Y - Y_B - \frac{T \cdot \begin{vmatrix} \rho_1 & (X_A - X_B) \\ \rho_2 & (X_C - X_B) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X_A & X_B & X_C \\ Y_A & Y_B & Y_C \end{vmatrix}} \right)^2 = R^2. \quad (17)$$

де
$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad (18)$$

$$\rho_1 = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}; \quad (19)$$

$$\rho_2 = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2}. \quad (20)$$

Арктангенси перших похідних параметрично заданих функцій, що описують план і поздовжній профіль, визначають відповідно миттєвий кут відхилення кожного вагона відцепу від базису гіркової горловини і миттєву еквівалентну крутизну уклону в точці місцезнаходження його центру тяжіння.

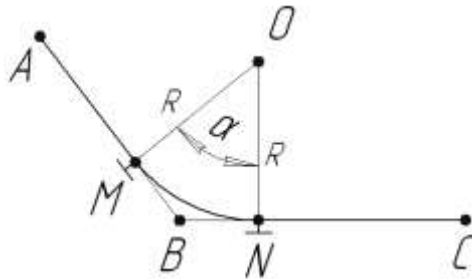


Рис. 3. Фрагмент плану колійного розвитку у площині XY або поздовжнього профілю у площині ZS , де S вісь розгорнутої колії маршруту насуву складу до ВГ або скочування відцепу з гірки

Таким чином, кожній ділянці колії елементів сортувального комплексу (далі технологічній ділянці), що обмежена характерними точками плану і профілю, поставлено у відповідність вектор параметрів

$$D = (N_{m,d}, X_n, Y_n, S_n, X_k, Y_k, S_k, N_p^{nl}, N_p^{np}, l_d, \Theta, l_{nl}, \varphi, I_{iz.c}^{cmp}, I_{iz.c}^{yn}, I_2, I_{ch}, Z_{yn}), \quad (21)$$

де $N_{m,d}$ – порядковий номер технологічної ділянці; $X_n, Y_n, S_n, X_k, Y_k, S_k$ – координати відповідно початку і кінця технологічної ділянці, м; N_p^{nl}, N_p^{np} – порядковий номер рівняння кривої, що проходить через початкову і кінцеву точки технологічної ділянці відповідно у плані і профілі; l_d – довжина технологічної ділянці, м; Θ, l_{nl}, φ – відповідно тип, довжина, м, і кут повороту кривої (при її наявності), °, елемента плану, в межах якого розташована технологічна ділянці ($\Theta=0$, якщо елемент плану є кривою або прямою ділянціною колії, і $\Theta=1$, якщо елемент плану є стрілочним переводом);

$I_{із.с}^{cmp}, I_{із.с}^{yn}$ – ідентифікатор розташування технологічної дільниці в межах ізольованої секції відповідно стрілочного перевodu і вагонного уповільнювача (якщо технологічна дільниця розташована в межах ізольованої секції стрілочного перевodu, то $I_{із.с}^{cmp} = 1$, інакше $I_{із.с}^{cmp} = 0$; аналогічно ідентифікується розташування вказаної дільниці в межах ізольованої секції вагонного уповільнювача); $I_2, I_{сн}$ – ідентифікатор розташування технологічної дільниці відповідно в межах гальмових шин вагонних уповільнювачів і в зоні дії додаткового питомого опору від снігу та інею (якщо технологічна дільниця розташована в межах гальмових шин вагонних уповільнювачів, то $I_2 = 1$, інакше $I_2 = 0$; аналогічно ідентифікується розташування вказаної дільниці в зоні дії додаткового питомого опору від снігу та інею); Z_{yn} – структура вагонного уповільнювача, в межах якого розташована технологічна дільниця,

$$Z_{yn} = (T_{yn}, H_{yn}^{4e}, H_{yn}^{6e}, H_{yn}^{8e}, l_{yn}^{cm}, l_{yn}^{bal}, p_{гц}, p_{нц}, p_o), \quad (22)$$

де T_{yn} – тип вагонного уповільнювача; $H_{yn}^{4e}, H_{yn}^{6e}, H_{yn}^{8e}$ – витрачена енергетична висота на гальмування повновантажного відповідно чотиривісного, шестивісного і восьмивісного вагону, кДж/кН; $l_{yn}^{cm}, l_{yn}^{bal}$ – довжина вагонного уповільнювача відповідно по стикам і гальмовим балкам, м; $p_{гц}$ – тиск робочого тіла в гальмових циліндрах, МПа; $p_{нц}$ – номінальний тиск робочого тіла в гальмових циліндрах, МПа; p_o – частина тиску робочого тіла в гальмових циліндрах, що витрачається на піднімання (переміщення) маси гальмової системи, МПа.

Для визначення координат характерних точок елементів сортувального комплексу і величини додаткового питомого опору від стрілок і кривих використано наступну структуру стрілочного перевodu

$$S = (T_{cmp}, X_{цп}, Y_{цп}, \alpha, R_{пер}, a, a_o, b, l_{із.с}), \quad (23)$$

де T_{cmp} – тип стрілочного перевodu; $X_{цп}, Y_{цп}$ – координати центра стрілочного перевodu, м; α – кут відхилення від осі основної колії, °; $R_{пер}$ – радіус перевної кривої стрілочного перевodu, м; a, a_o, b – відстань від центру стрілочного перевodu відповідно до стику рамної рейки, вістряків і вихідного стику, м; $l_{із.с}$ – довжина ізольованої секції стрілочного перевodu, м.

Об'єктами рухомого складу, що задіяні у сортувальному процесі, є состави, відчепи і вагони. Модель состава представлено структурою

$$B_{сост} = (n_{ваг}, n_{відч}, B_{лок}, B_{відч}), \quad (24)$$

де $n_{ваг}, n_{відч}$ – відповідно число вагонів і відцепів у составі; $B_{лок}$ – структура гіркового локомотива, що обслуговує даний состав,

$$B_{лок} = (P_{лок}, l_{лок}, n_{п.к.}, F_k, B_2), \quad (25)$$

де $P_{лок}, l_{лок}$ – відповідно вага, кН, і довжина, м, локомотива; $n_{н.к.}$ – число позицій контролера; F_k – сила тяги локомотива, Н; B_z – годинна витрата палива, кг/год.; $B_{відч}$ – структура кожного відчепу даного составу

$$B_{відч} = (N_{відч}, K_{приз}, m_{ваг}, B_{ваг}), \quad (26)$$

де $N_{відч}$ – порядковий номер відчепу у составі; $K_{приз}$ – номер колії призначення даного відчепу; $m_{ваг}$ – число вагонів у відчепі; $B_{ваг}$ – структура кожного вагона у відчепі

$$B_{ваг} = (N_{ваг}, T_{ваг}, n_{ос}, l_{ваг}, S_{ваг}, O_{ваг}, Q_{ваг}, \omega_o), \quad (27)$$

де $N_{ваг}$ – порядковий номер вагона у відчепі; $T_{ваг}, n_{ос}, l_{ваг}, S_{ваг}, O_{ваг}, Q_{ваг}, \omega_o$ – відповідно тип, число осей, довжина, м, мідель, м², осьова модель, вага, кН, і основний питомий опір, Н/кН, вагона.

В основу математичного опису переміщення відчепів покладено диференціальне рівняння, що запропоновано д.т.н. В.І. Бобровським, у формі $S'' = f(t, S, S')$. Такий вибір обґрунтовується особливістю запропонованого у роботі методу розрахунку додаткового питомого опору від середовища і вітру, який на відмінність від традиційного підходу є функцією не однієї, а трьох змінних (S, V, t), що присутні у диференціальному рівнянні у явному виді.

Вибір ефективного режиму регулювання швидкості скочування відчепів на спускній частині гірки розглянуто як задачу нелінійного програмування, в якій незалежними змінними виступають допустимі швидкості виходу відчепів відповідно з I і II гальмових позицій ($V_{вих1}, V_{вих2}$),

$$E_p = E_{ушк}(V_{вих1}, V_{вих2}) + E_{ел}^p(V_{вих1}, V_{вих2}) + \Delta E_{nn}(V_{вих1}, V_{вих2}) \rightarrow E_{p \min}, \quad (28)$$

$$V_{вих1}^{PB} \leq V_{вих1} \leq V_{вих1}^{XB}; V_{вих2} \leq V_{вих2}^{XB}, \quad (29)$$

де $E_{ушк}(V_{вих1}, V_{вих2})$ – експлуатаційні витрати на відшкодування втрат від ушкодження вагонів і вантажів, тис. грн; $E_{ел}^p(V_{вих1}, V_{вих2})$ – експлуатаційні витрати на електроенергію, необхідну для регулювання швидкості скочування відчепів, тис. грн; $\Delta E_{nn}(V_{вих1}, V_{вих2})$ – додаткові експлуатаційні витрати, пов'язані з простоєм составів у парку приймання в очікуванні розформування, тис. грн.; $V_{вих1}^{PB}, V_{вих1}^{XB}$ – швидкість виходу з I гальмової позиції відповідно ДП і ХБ при вільному скочуванні, м/с; $V_{вих2}^{XB}$ – швидкість виходу ХБ з II гальмової позиції при вільному скочуванні, м/с.

Для визначення витрат палива маневровим локомотивом при виконанні окремих операцій гіркового технологічного процесу розроблено спеціальну процедуру, на базі якої сформовано імітаційну модель насуву і розпуску составів з гірки. На відмінність від існуючих моделей розрахунок миттєвого додаткового питомого опору руху состава від стрілок і кривих здійснюється в залежності від координат осей вагонів составу. Крім того, у вигляді окремого параметру враховано вплив середовища і вітру на швидкість руху локомотива

з вагонами, що дозволило на 6,3% підвищити точність розрахунку витрат дизельного палива в окремі періоди року.

Достовірність результатів моделювання процесу скочування відчепів з гірки склала не менше 93,8% при найгірших метеорологічних умовах і гальмуванні відчепів на гальмових позиціях спускної частини і підгіркових колій. Причинами виникнення похибки моделювання є наявність випадкових гальмових характеристик вагонних уповільнювачів та стохастичний характер основного і додаткових питомих опорів від стрілок і кривих, середовища і вітру, які в реальному масштабі часу точно розрахувати майже неможливо.

У п'ятому розділі розроблено науковий підхід до формування спеціальних структур гіркових горловин, які дозволяють реалізувати плавне регулювання швидкості скочування відчепів в межах спускної частини гірки вагонними уповільнювачами легких типів (РНЗ-2, РНЗ-2М, ЗВУ-07), що встановлюються на 3-х, 4-х або 5-ти гальмових позиціях.

Дослідження на імітаційній моделі процесу скочування відчепів з гірки ефективності використання структур гіркових горловин нового класу в умовах експлуатації сортувальних пристроїв залізничних станцій України показали, що поряд з наявністю можливості плавної зміни швидкості скочування відчепів вказані структури при певних вихідних даних забезпечують збереження виробничих ресурсів (вагонних уповільнювачів паркової гальмової позиції).

Для об'єктивної оцінки ефективності застосування запропонованих структур гіркових горловин сформовано математичну модель визначення потрібного числа вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки та раціонального варіанту їх розташування в межах спускної частини. У якості критерію оптимізації розглянуто мінімум капіталовкладень у засоби регулювання швидкості скочування відчепів, які передбачається використовувати на позиціях сортувального пристрою. Для побудови моделі введено наступні множини і величини: I – множина колійних ділянок, призначених для розміщення окремо взятого вагонного уповільнювача гіркової горловини; i – номер колійної ділянки із множини I , $i \in I$; J – множина сортувальних колій; j – номер сортувальної колії із множини J , $j \in J$; I^j – підмножина колійних ділянок по маршруту скочування на сортувальну колію j , $I^j \subset I$; $i(j)$ – номер колійної ділянки з підмножини I^j , $i(j) \in I^j$; $I^{s1}, I^{s2}, \dots, I^{sk}$ – підмножина колійних ділянок по маршруту скочування ХБ відповідно до стрілочного перевалу $1, 2, \dots, k$, $I^{s1}, I^{s2}, \dots, I^{sk} \subset I$; $i(s1), i(s2), \dots, i(sk)$ – номер колійної ділянки відповідно з підмножини $I^{s1}, I^{s2}, \dots, I^{sk}$, $i(s1) \in I^{s1}, i(s2) \in I^{s2}, \dots, i(sk) \in I^{sk}$; $I^{k\partial 2}, I^{k\partial 3}, \dots, I^{k\partial n}$ – підмножина колійних ділянок по маршруту скочування ХБ відповідно до колійної ділянки $2, 3, \dots, n$, де n – порядковий номер останньої колійної ділянки гіркової горловини, $I^{k\partial 2}, I^{k\partial 3}, \dots, I^{k\partial n} \subset I$; $i(k\partial 2), i(k\partial 3), \dots, i(k\partial n)$ – номер

коліїної дільниці відповідно з підмножини $I^{\kappa\partial 2}, I^{\kappa\partial 3}, \dots, I^{\kappa\partial n}$, $i(\kappa\partial 2) \in I^{\kappa\partial 2}, i(\kappa\partial 3) \in I^{\kappa\partial 3}, \dots, i(\kappa\partial n) \in I^{\kappa\partial n}$; $Z_{\Gamma}(i(j))$ – множина ступенів гальмування ХБ на вагонному уповільнювачі, що розташований на $i(j)$ -ій колійній дільниці, $Z_{\Gamma}(i(j)) = \{0, 1, 2, 3, 4\}$, $i(j) \in I^j$, $I^j \subset I$; $z_{\Gamma i(j)}$ – ступінь гальмування ХБ із множини $Z_{\Gamma}(i(j))$, $z_{\Gamma i(j)} \in Z_{\Gamma}(i(j))$. Якщо $z_{\Gamma i(j)} = 0$, то на вагонному уповільнювачі, що розташований на $i(j)$ -ій колійній дільниці, гальмування ХБ не відбувається.

У відповідності до цього цільову функцію записано у наступному аналітичному виді

$$K(x) = K_{yn}^{сч} \cdot \sum_{i \in I} x_i + K_{yn}^{ск} \cdot \sum_{\substack{j \in J, \\ i(j) \in I^j}} N_{yn}^{nzn} (V_{\theta}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(j)}^{XB}(z_{\Gamma i(j)}(x_{i(j)}))) \rightarrow \min, \quad (30)$$

де $K_{yn}^{сч}, K_{yn}^{ск}$ – вартість вагонних уповільнювачів, обраних для застосування на гальмових позиціях відповідно спускної частини і ПГП, тис. грн; $H_{\Gamma i(j)}^{XB}$, $z_{\Gamma i(j)}$ – відповідно величина, кДж/кН, та ступінь гальмування ХБ на вагонному уповільнювачі, що розташований на $i(j)$ -ій колійній дільниці; $x_{i(j)}$ – число вагонних уповільнювачів на $i(j)$ -ій колійній дільниці, $x_{i(j)} \in \{0, 1\}$, $i(j) \in I^j$, $I^j \subset I$; N_{yn}^{nzn} – число вагонних уповільнювачів на ПГП j -ої сортувальної колії

$$N_{yn}^{nzn} = \left[\frac{1}{h_{yn}^{ном}} \left(\frac{V_{вхnznj}^{XB 2} - V_{вихnzn}^{XB 2}}{2 \cdot g'_{XB}} + l_{nzn} \cdot (i_{nzn} - \omega_o^{XB} - \omega_{кр}^{XB} - \omega_{св}^{XB} - \omega_{сн}^{XB}) \cdot 10^{-3} \right) \right], \quad (31)$$

де $h_{yn}^{ном}$ – номінальна потужність уповільнювачів ПГП, кДж/кН; $V_{вхnznj}^{XB}$ – найбільша швидкість входу ХБ на ПГП j -ої сортувальної колії, м/с. $V_{вихnzn}^{XB}$ є функцією $V_{\theta}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(j)}^{XB}(z_{\Gamma i(j)}(x_{i(j)}))$, де $i(j) \in I^j$, $I^j \subset I$; $V_{вихnzn}^{XB}$ – швидкість виходу ХБ з ПГП, $V_{вихnzn}^{XB} = 1,4$ м/с; g'_{XB} – прискорення вільного падіння з урахуванням моменту інерції мас, що обертаються, ХБ, м/с²; l_{nzn} – довжина дільниці ПГП, в межах якої здійснюється регулювання, м; i_{nzn} – крутизна уклону ПГП, ‰; ω_o^{XB} – основний питомий опір ХБ, Н/кН; $\omega_{кр}^{XB}, \omega_{св}^{XB}, \omega_{сн}^{XB}$ – середні значення додаткового питомого опору ХБ відповідно від кривих, середовища і вітру, снігу та інею в межах дільниці ПГП, Н/кН.

Задача визначення потрібного числа вагонних уповільнювачів на ГП СГ та раціонального варіанту їх розташування в межах спускної частини для заданої конструкції гіркової горловини вирішується при наступних обмеженнях-нерівностях

$$\left. \begin{aligned}
& P\left(V_{\text{вхк}\delta 2}^{XB} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta 2)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta 2)} \left(x_{i(\kappa\delta 2)}\right)\right)\right) \leq V_{\max} \right) \geq a; \\
& \dots\dots\dots \\
& P\left(V_{\text{вхк}\delta n}^{XB} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta n)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta n)} \left(x_{i(\kappa\delta n)}\right)\right)\right) \leq V_{\max} \right) \geq a; \\
& P\left(\delta_{PB-XB}^{*s1} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(s1)} \left(x_{i(s1)}\right)\right)\right) \geq 0 \right) \geq a; \\
& P\left(\delta_{XB-PB}^{*s1} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(s1)} \left(x_{i(s1)}\right)\right)\right) \geq 0 \right) \geq a; \\
& \dots\dots\dots \\
& P\left(\delta_{PB-XB}^{*sk} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(sk)} \left(x_{i(sk)}\right)\right)\right) \geq 0 \right) \geq a; \\
& P\left(\delta_{XB-PB}^{*sk} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(sk)} \left(x_{i(sk)}\right)\right)\right) \geq 0 \right) \geq a; \\
& P\left(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\delta 2} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta 2)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta 2)} \left(x_{i(\kappa\delta 2)}\right)\right)\right) \geq 0 \right) \geq a; \\
& P\left(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\delta 2} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta 2)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta 2)} \left(x_{i(\kappa\delta 2)}\right)\right)\right) \geq 0 \right) \geq a; \\
& \dots\dots\dots \\
& P\left(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\delta n} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta n)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta n)} \left(x_{i(\kappa\delta n)}\right)\right)\right) \geq 0 \right) \geq a; \\
& P\left(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\delta n} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta n)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta n)} \left(x_{i(\kappa\delta n)}\right)\right)\right) \geq 0 \right) \geq a; \\
& F(V\vartheta) = \frac{1}{\sigma(V\vartheta) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{V\vartheta} \exp\left(\frac{-(V\vartheta - M(V\vartheta))^2}{2 \cdot (\sigma(V\vartheta))^2}\right) dV\vartheta; \\
& F(\beta) = \frac{1}{\sigma(\beta) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\beta} \exp\left(\frac{-(\beta - M(\beta))^2}{2 \cdot (\sigma(\beta))^2}\right) d\beta, \tag{32}
\end{aligned} \right\}$$

де $V_{\text{вхк}\delta 2}^{XB} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta 2)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta 2)} \left(x_{i(\kappa\delta 2)}\right)\right)\right), \dots, V_{\text{вхк}\delta n}^{XB} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta n)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta n)} \left(x_{i(\kappa\delta n)}\right)\right)\right)$ – швидкість входу ХБ, м/с, відповідно на колійну дільницю 2, ..., n, $i(\kappa\delta 2) \in I^{\kappa\delta 2}, \dots, i(\kappa\delta n) \in I^{\kappa\delta n}$; V_{\max} – максимально можлива швидкість входу вагонів на вагонні уповільнювачі ГП спускної частини, м/с; $\delta_{PB-XB}^{*s1} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(s1)} \left(x_{i(s1)}\right)\right)\right), \delta_{XB-PB}^{*s1} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(s1)} \left(x_{i(s1)}\right)\right)\right), \dots,$ $\delta_{PB-XB}^{*sk} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(sk)} \left(x_{i(sk)}\right)\right)\right), \delta_{XB-PB}^{*sk} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(sk)} \left(x_{i(sk)}\right)\right)\right),$ $\delta_{PB-XB}^{*\kappa\delta 2} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta 2)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta 2)} \left(x_{i(\kappa\delta 2)}\right)\right)\right), \delta_{XB-PB}^{*\kappa\delta 2} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta 2)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta 2)} \left(x_{i(\kappa\delta 2)}\right)\right)\right), \dots,$ $\delta_{PB-XB}^{*\kappa\delta n} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta n)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta n)} \left(x_{i(\kappa\delta n)}\right)\right)\right), \delta_{XB-PB}^{*\kappa\delta n} \left(V\vartheta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\delta n)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(\kappa\delta n)} \left(x_{i(\kappa\delta n)}\right)\right)\right)$ – випадкове значення інтервалу відповідно на стрілочному переводі 1, ..., k і колійній дільниці 2, ..., n при скочуванні розрахункових бігунів у розрахункових сполученнях РБ-ХБ і ХБ-РБ, с.

Результатом розрахунку потрібного числа вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки та раціоналізації їх розташування в межах спускної частини може бути отримання декількох рівних за

капіталовкладеннями проектних рішень. Для можливості прийняття остаточного рішення щодо визначення ефективного варіанту структури гіркової горловини із множини структур, що розглядаються, сформовано комплексний показник їх якості, який окрім капіталовкладень у засоби регулювання швидкості скочування відчепів (K), враховує показники надійності вказаних структур (імовірність безвідмовної роботи структури ($P(t)$)) і середній термін служби вагонних уповільнювачів ($T_{сл}$) і середню величину «вікна», що приходить на один перероблений вагон (λ),

$$\Theta = 0,3267 \cdot G'_1 + 0,2733 \cdot G'_2 + 0,1667 \cdot G'_3 + 0,2333 \cdot G'_4, \quad (33)$$

де

$$G'_1 = \frac{\sup K - K}{\sup K - \inf K}; \quad G'_2 = \frac{P(t)}{\sup P(t) - \inf P(t)}; \quad (34)$$

$$G'_3 = \frac{T_{сл}}{\sup T_{сл} - \inf T_{сл}}; \quad G'_4 = \frac{\sup \lambda - \lambda}{\sup \lambda - \inf \lambda}. \quad (35)$$

Слід зазначити, що застосування нових структур гіркових горловин на залізничних станціях України можливе тільки в умовах повної або часткової автоматизації сортувального процесу.

У шостому розділі удосконалено систему підтримки прийняття рішень для гіркових операторів і структуру локальної інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки.

У сфері вантажних перевезень проблема підвищення якості регулювання швидкості скочування відчепів на спускній частині сортувальних гірок і підгіркових коліях залізничних станцій України є однією з головних. В першу чергу це пов'язано з тим, що достатньо складно забезпечити високі якісні показники сортувального процесу за рахунок лише досвіту гіркових операторів. 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. Крім того, достатньо складно спрогнозувати поведінку повітряних мас, що діють на відчеп у процесі скочування з гірки, і урахувати випадкові гальмові характеристики вагонних уповільнювачів. Таким чином, виникає слабо структурована задача якісного регулювання швидкості скочування відчепів з гірки.

Слід також відзначити, що ні на одній із сортувальних гірок залізничних станцій України не вирішується проблема збереження електроенергії на регулювання швидкості скочування відчепів шляхом оптимізації режимів їх гальмування перед початком розпуску составів. Хоча на даний момент існують теоретичні підходи до вирішення вказаного класу задач.

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 інтегрувати в гіркові автоматизовані комплекси з можливістю безпосереднього втручання оператора гірки в процес розпуску.

В основу системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів покладено математичний апарат нейронних мереж, яка навчається із вчителем. Задачею людини є контроль за ходом навчання і втручання в даний процес, якщо в тому є необхідність.

Навчання слід здійснювати шляхом отримання рішення, що максимально задовольняє умові забезпечення енергозбереження. При запропонованому підході навчання мережі повинно базуватися на результатах моделювання умовно-ідеального скочування відчепів розрахункового складу (рис. 4). 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 розроблено спеціальну процедуру.

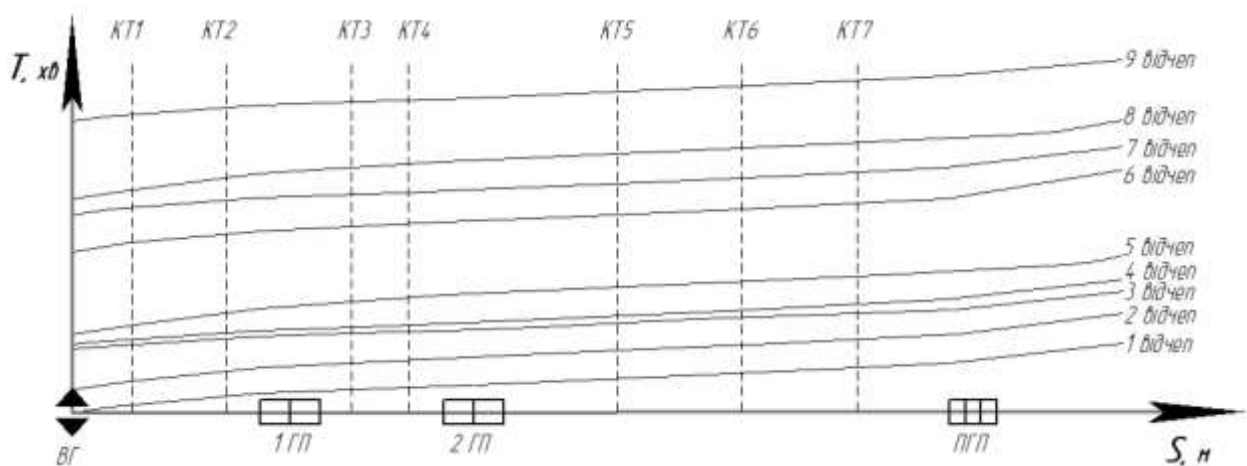


Рис. 4. Криві тривалості умовно-ідеального скочування відчепів

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. Криву тривалості руху відчепу при вказаних умовах названо кривою фактичного скочування.

В умовах відсутності повної інформації про стан колісних пар, ходові якості вагонів і характер руху повітряних мас у процесі скочування відчепу з гірки майже завжди буде похибка моделювання умовно-ідеального скочування. Не зважаючи на це, криву тривалості умовно-ідеального скочування запропоновано вважати планом скочування відчепу при навчанні

нейронної мережі. Тобто до задачі вказаної 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. Вказаний стан позначено 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 знаходиться у стані 0 або 1, позначено станом «2».

У якості прикладу розглянуто процедуру прийняття рішення щодо гальмування відчепу на II ГП при умові, що його відрив відбувся в межах дільниці ВГ–КТ1 і гальмування на I ГП не відбувалось (код стану **1111**). Рішення повинно прийматися у 4-й контрольній точці. Вихідними даними для прийняття рішення є:

$$\delta_{3\text{ун.}}^{\text{факт.}}, \Delta t_{\omega}^{\text{КТ4-КТ1}}, t_{\text{факт.}}^{\text{КТ1-КТ4}}, N_{\text{р.стр.}}, l_{\text{відч.}}^{\text{кр.ос.}}, Q_{\text{відч.}}, X_{\text{ЦВ}}, l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}},$$

де $\delta_{3\text{ун.}}^{\text{факт.}}$ – фактичний інтервал між даним відчепом і попереднім відчепом відповідно на 1-му і 3-му уповільнювачах спускної частини, с; $\Delta t_{\omega}^{\text{КТ4-КТ1}}$ – складова різниці модельної і фактичної тривалостей руху відчепу від КТ1 до КТ4, що створюється в наслідок похибки розрахунку питомих сил опору руху відчепу, с; $t_{\text{факт.}}^{\text{КТ1-КТ4}}$ – фактична тривалість руху відчепу відповідно від КТ1 до КТ4, с; $N_{\text{р.стр.}}$ – номер стрілки розділення даного відчепу з попереднім; $l_{\text{відч.}}^{\text{кр.ос.}}$ – довжина відчепу по крайнім осям, м; $Q_{\text{відч.}}$ – вага відчепу, кН; $X_{\text{ЦВ}}$ – координата центра ваги відчепу, м; $l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}}$ – фактична довжина пробігу відчепу від ПГП до вагонів, що накопичуються на сортувальній колії, м.

Вектор входу позначено наступним чином $X_{\text{вх}} = (x_1, \dots, x_8)^T$, де $x_1 = \delta_{3\text{ун.}}^{\text{факт.}}$, $x_2 = \Delta t_{\omega}^{\text{КТ4-КТ1}}$, $x_3 = t_{\text{факт.}}^{\text{КТ1-КТ4}}$, $x_4 = N_{\text{р.стр.}}$, $x_5 = l_{\text{відч.}}^{\text{кр.ос.}}$, $x_6 = Q_{\text{відч.}}$, $x_7 = X_{\text{ЦВ}}$, $x_8 = l_{\text{проб.}}^{\text{факт.}}$. Для отримання вихідного вектора $Y_{\text{вих}} = (y_1, y_2, y_3, y_4)^T$, де $y_1 = Z_3$, $y_2 = t_{\text{Г3}}$, $y_3 = Z_4$, $y_4 = t_{\text{Г4}}$; Z_3 , $t_{\text{Г3}}$, Z_4 , $t_{\text{Г4}}$ – ступінь і тривалість, с, гальмування відчепу відповідно на 3-му і 4-му вагонних уповільнювачах спускної частини, використано тришарову нейронну мережу, архітектуру якої наведено на рис. 5.

Ефективне функціонування системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів може бути забезпечено тільки за рахунок використання відповідного комплексу пристроїв гіркової автоматики. Для системи, що пропонується, вказаний комплекс складається з обмеженого числа елементів у порівнянні з гірковими автоматизованими комплексами. Цими елементами є система контролю заповнення колій сортувального парку, магнітні і метеорологічні датчики.

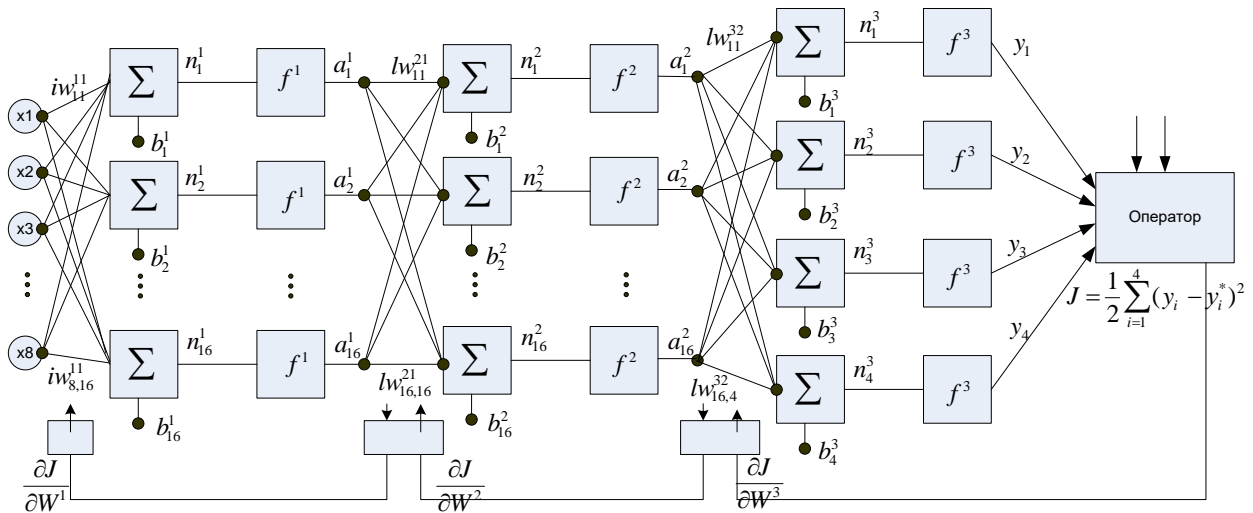


Рис. 5. Архітектура нейронної мережі системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів

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 (рис. 6).

ВИСНОВКИ

У дисертації отримано нове рішення проблеми удосконалення теорії експлуатації та методів розрахунку параметрів сортувальних гірок, що базується на використанні системного підходу та урахуванні випадкового характеру параметрів метеорологічних умов. Запропоновані підходи дозволяють отримати приріст синергетичного ефекту при впровадженні раціональних конструкції і технології роботи сортувальної гірки та підвищити якість сортувального процесу.

Основні наукові результати і висновки дисертації наступні:

1. Аналіз конструкцій, методів розрахунку та технології роботи сортувальних гірок довів, що:

– існуючі підходи до розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок базуються на використанні нормативних значень швидкості розпуску составів, розрахункових сполучень бігунів з заданими числовими характеристиками, типових структур гіркових горловин, розрахункових сприятливих і несприятливих метеорологічних умов, що обмежує можливості збереження паливно-енергетичних, виробничих та перевізних ресурсів при оптимізації конструкції і технології роботи гірки, і, як наслідок, отримання додаткового загальносистемного ефекту;

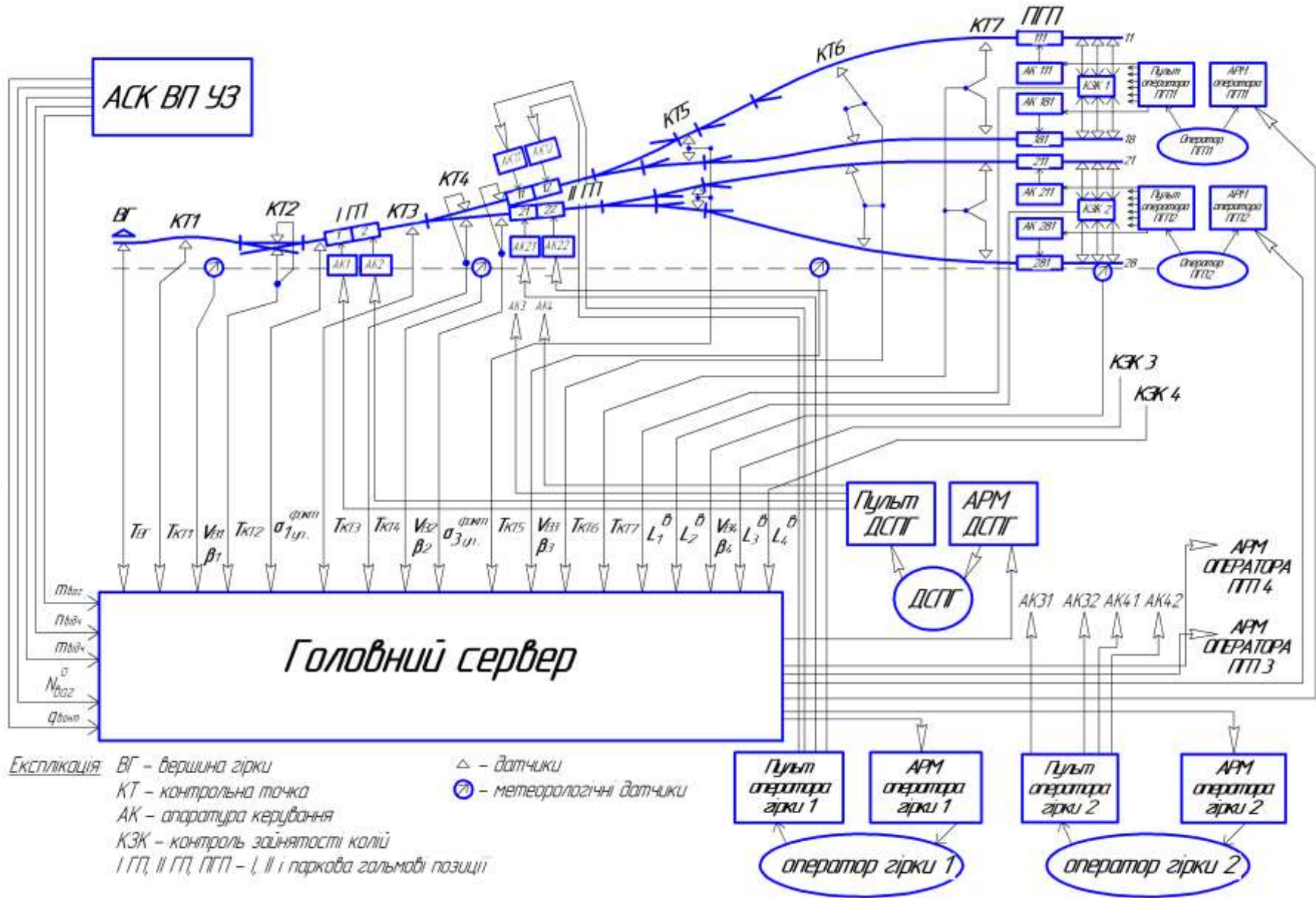


Рис. 6. Структура локальної інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки

– недостатньо вивченим є питання зменшення витрат палива гірковими локомотивами, які суттєвим чином залежать від швидкості розпуску составів, конструкції поздовжнього профілю насувної частини, параметрів метеорологічних умов і у 3-15 разів більші витрат електроенергії на гальмування відчепів, що доведено моніторингом використання вказаних ресурсів на окремих сортувальних станціях України;

– існуючі імітаційні моделі сортувального процесу не в повній мірі враховують реальні метеорологічні умови і траєкторію руху вагона при розрахунках додаткового питомого опору від середовища і вітру, що ставить під сумнів достовірність результатів моделювання скочування відчепів з гірки;

– не повністю вирішено проблему якісного регулювання швидкості скочування відчепів в умовах автоматизації сортувального процесу. Основними причинами є складність вимірювання або прогнозування стану колісних пар і ходових характеристик вагонів, поведінки повітряних мас протягом скочування відчепу з гірки і випадкових гальмових характеристик вагонних уповільнювачів.

2. На основі системного підходу сформовано теоретичне обґрунтування щодо визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів і стратегії експлуатації сортувальних гірок. Окрім можливості отримання комплексного рішення задач раціоналізації вказаних параметрів і визначення стратегічного напрямку експлуатації сортувальних пристроїв на стадії проектування, запропоновані наукові положення дозволяють у динаміці оцінити якість конструкції і технології роботи існуючих сортувальних гірок та скорегувати параметри їх керування.

3. Удосконалено методи розрахунку висоти та поздовжнього профілю гірки. Враховано реальний неупорядкований характер пульсацій швидкості і напрямку вітру у приземному слою, стохастичну природу додаткового питомого опору руху вагона від стрілок і кривих та план гіркової горловини при визначенні додаткового питомого опору від середовища і вітру. Використання запропонованих методів дозволяє отримати такі конструктивні параметри сортувальних гірок, які в повній мірі відповідають технічним і технологічним вимогам, забезпечують безпеку сортувального процесу і мінімізують використання паливно-енергетичних і виробничих ресурсів при заданій швидкості розпуску.

4. Удосконалено імітаційні моделі скочування відчепів з гірки. При цьому:

– враховано випадкові характеристики параметрів метеорологічних умов та кут відхилення вагону від базису гіркової горловини в процесі його скочування з гірки. Застосування запропонованого методу розрахунку швидкості і напрямку вітру у будь-якій точці полігону в імітаційних моделях скочування відчепів з гірки дозволяє суттєво підвищити адекватність вказаних моделей процесу, що розглядається;

– запропоновано нову форму представлення плану і поздовжнього профілю в імітаційних моделях гіркових технологічних процесів, сформовано моделі технологічних дільниць елементів сортувального комплекту і маршрутів

прямування відчепів конкретного состава з парку приймання на колії підгіркового парку, удосконалено диференціальне рівняння скочування відчепів з гірки, моделі одиниць рухомого складу, вагонного уповільнювача і стрілочного переводу, що дозволить підвищити достовірність результату моделювання і, як наслідок, покращити якість сортувального процесу;

– достовірність результатів моделювання у порівнянні з натурними спостереженнями складає при вільному скочуванні відчепів і швидкості вітру від 0 до 1 м/с 98,2%, від 1 до 7 м/с – 96,4%, від 7 до 15 м/с – 95,3%. При гальмуванні відчепів достовірність відповідно складає 96,8%, 95,1% і 93,8%. Перевірка моделі на адекватність довела, що основний вплив на достовірність моделювання здійснюють випадкові гальмові характеристики вагонних уповільнювачів та стохастичний характер додаткових питомих опорів від стрілок і кривих, середовища і вітру. Випадкові характеристики останнього чинника раніше не враховувались.

– приріст синергетичного ефекту за період життєвого циклу сортувальної гірки при її раціональних конструктивно-технологічних параметрах, приведенні вартісних оцінок витрат різних років до останнього року вказаного періоду та обсягах переробки 2000, 3500 і 5000 вагонів на добу відповідно склав 128, 144 і 165 млн грн. Приріст вказаного ефекту при порівнянні раціональних і традиційних конструкції і технології роботи сортувальної гірки при обсягах переробки 2000 вагонів на добу склав 103 млн грн.

5 Розроблено науковий підхід до формування структур гіркових горловин з елементами квазібезперервного регулювання швидкості скочування відчепів уповільнювачами легких типів. При цьому:

– сформовано математичну модель визначення потрібного числа вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки та раціонального варіанту їх розташування в межах спускної частини. В основу запропонованої моделі покладено модель стохастичного цілочисельного програмування, що дозволило врахувати випадковий характер руху повітряних мас. Множиною рішень моделі може бути декілька припустимих варіантів (альтернатив). Для вибору кращого варіанту розроблено комплексний показник кількісної оцінки якості структур гіркових горловин, який враховує витрати на спорудження і експлуатацію сортувального пристрою та показники надійності вказаних структур. Результати оцінки довели, що рівень якості нових структур вищий на не менше ніж 5% у порівнянні з типовими структурами, що свідчить про доцільність застосування запропонованих структур при новому будівництві і у якості структурних перебудов системи „Сортувальна гірка”;

– впровадження нових структур гіркових горловин дозволить суттєво підвищити рівень збереження виробничих і перевізних ресурсів, що доведено відповідними техніко-економічними розрахунками. У порівнянні із застосуванням типових структур в умовах нового будівництва приріст синергетичного ефекту за період життєвого циклу сортувальної гірки складе не менше 170 млн грн.

6 Удосконалено систему інтелектуальної підтримки прийняття рішень для гіркових операторів, в основу якої покладено процедуру отримання умовно-оптимальних параметрів гальмування відчепів до початку їх відриву від состава і метод коректування вказаних параметрів в процесі скочування відчепів з гірки, що реалізовано з використанням нейронної мережі, похибка роботи якої після навчання склала 0,03%. На основі даної системи і комплексу пристроїв гіркової автоматики сформовано структуру локальної інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки та комплекс відповідних задач на АРМ оперативного персоналу. Основним функціональним призначенням вказаної структури є формування керуючих дій (ступеню та тривалості гальмування відчепів на вагонних уповільнювачах) для гіркових операторів, які виводяться на екран монітору. Додатковим функціональним призначенням локальної інформаційно-керуючої системи є обчислення приблизного значення основного питомого опору руху відчепу шляхом відтворення реальних характеристик руху повітряних мас в будь-якій точці маршруту прямування відчепу. Проблему обчислення вказаного параметру вирішено вперше.

Запропонований підхід до управління процесом скочування відчепів з гірки дозволить підвищити енергозбереження і якість сортувального процесу при порівняно низьких капіталовкладеннях в пристрої гіркової автоматики за рахунок відсутності необхідності встановлення радіолокаційних вимірювачів швидкості, вимірювачів ходових якостей і ваги вагонів та інших пристроїв.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Основні праці:

1. Бутько, Т. В. Дослідження впливу конструктивних параметрів поздовжнього профілю насувної частини гірок на витрати палива при розформуванні составів [Текст] / Т. В. Бутько, О. М. Огар, М. П. Топчієв // Удосконалення управління експлуатаційною роботою залізниць : міжвуз. зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 53. – С. 13-19.
2. Бутько, Т. В. Розробка моделі для визначення витрат палива гірковими локомотивами при насуві та розформуванні составів [Текст] / Т. В. Бутько, М. І. Данько, О. М. Огар, М. П. Топчієв // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К. : Техника, 2004. – Вып. 58. – С. 217-221.
3. Аналіз конструкції поздовжнього профілю насувної частини сортувальних пристроїв станцій залізниць України [Текст] / М. П. Топчієв, В. С. Алейник, І. В. Берестов та ін. // Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України : зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 62. – С. 67-75.
4. Новий уповільнювач вагонний універсальний УВУ [Текст] / М. І. Луханін, М. С. Юрченко, М. І. Данько та ін. // Залізничний транспорт України. – 2006. – № 3. – С. 48-50.

5. Огар, О. М. Методи оцінки рівня безпеки руху в транспортних системах [Текст] / О. М. Огар, С. О. Бантюкова // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К. : Техника, 2006. – Вып. 72. – С. 307-313.

6. Огар, О. М. Аналіз і особливості конструкції гіркових горловин вітчизняних сортувальних пристроїв [Текст] / О. М. Огар, О. В. Розсоха, С. М. Светличний // Зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 85. – С. 57-64.

7. Огар, О. М. Напрямки удосконалення конструкцій гіркових горловин сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження [Текст] / О. М. Огар, О. В. Розсоха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/2 (29). – С. 54-58.

8. Дослідження ефективності застосування нових гіркових горловин [Текст] / М. І. Данько, І. В. Берестов, О. М. Огар, О. В. Розсоха // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 1. – С. 18-21.

9. Огар, О. М. Ефективність роботи гірок середньої потужності при застосуванні нових гіркових горловин [Текст] / О. М. Огар, О. В. Розсоха, І. П. Федорко // Зб. наук. праць. – Д. : ДонІЗТ, 2008. – Вип. 14. – С. 10-18.

10. 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.

11. Огар, О. М. Ефективність застосування малопотужних уповільнювачів на спускній частині нових гіркових горловин [Текст] / О. М. Огар, Д. С. Лючков, О. В. Розсоха // Зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 99. – С. 139-151.

12. Пат. 35699 Україна, МПК G09B 9/00, A61B 5/00. Пристрій для навчання та оцінювання роботи операторів [Текст] / В. М. Астахов, С. О. Бантюкова, О. М. Огар; заявники і патентоволодарі В. М. Астахов, С. О. Бантюкова, О. М. Огар – № u 2008 09764; заявл. 25.07.2008; опубл. 25.09.2008, Бюл. № 18.

13. Пат. 40353 Україна, МПК G09B 9/00. Спосіб професійного відбору операторів [Текст] / В. М. Астахов, С. Є. Бантюков, С. О. Бантюкова, О. М. Огар; заявники і патентоволодарі В. М. Астахов, С. Є. Бантюков, С. О. Бантюкова, О. М. Огар – № u 2008 09765; заявл. 25.07.2008; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.

14. Берестов, І. В. Математична модель для визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок [Текст] / І. В. Берестов, О. М. Огар, О. Б. Ахієзер, М. Ю. Куценко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 1/6 (37). – С. 4-8.

15. Огар, О. М. Аналіз існуючих методів оцінки конструкцій гіркових горловин [Текст] / О. М. Огар, В. І. Мойсеєнко, О. В. Розсоха // Удосконалення управління експлуатаційною роботою: зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – С. 24-31.

16. Огар, О. М. Сфери застосування нових гіркових горловин [Текст] / О. М. Огар, О. В. Розсоха // Зб. наук. праць. – Д. : ДонІЗТ, 2009. – Вип. 17. – С. 5-8.

17. До питання розробки методики комплексного розрахунку оптимальних конструктивних параметрів сортувальних гірок [Текст] / І. В. Берестов, О. М. Огар, О. Б. Ахієзер, М. Ю. Куценко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 2/3 (38). – С. 56-60.

18. Огар, О. М. Дослідження впливу режимів гальмування розрахункових бігунів на потужність паркової гальмової позиції [Текст] / О. М. Огар, М. Ю. Куценко, В. М. Грицай // Зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 103. – С. 256-260.

19. Огар, О. М. Аналіз структури парку технічних засобів сортувальних гірок України та її вплив на основні показники роботи підсистеми розформування [Текст] / О. М. Огар, О. М. Ходаківський, М. Ю. Куценко, Я. В. Басов // Зб. наук. праць (Вісник СНУ ім. В. Даля). – Л. : СНУ ім. В. Даля, 2009. – № 5(135). – С. 171-175.

20. Огар, О. М. Удосконалення наукового підходу до розрахунку висоти сортувальної гірки [Текст] / О. М. Огар // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/3 (40). – С. 44-47.

21. Огар, О. М. Удосконалення методу розрахунку додаткового питомого опору від середовища і вітру при моделюванні скочування вагонів з гірки [Текст] / О. М. Огар // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту: зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 108. – С. 150-154.

22. Огар, О. М. Системний підхід до технічної експлуатації та комплексного розрахунку раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок [Текст] / О. М. Огар // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/11 (40). – С. 4-10.

23. Огар, О. М. Удосконалення наукового підходу до розрахунку раціональних параметрів поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок [Текст] / О. М. Огар // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 5/3 (41). – С. 11-15.

24. Данько, М. І. Математична модель визначення раціонального варіанту механізації сортувальних гірок при застосуванні нових конструкцій гіркових горловин [Текст] / М. І. Данько, О. М. Огар, О. В. Розсоха // Зб. наук. праць. – Д. : ДонІЗТ, 2009. – Вип. 19. – С. 5-12.

25. 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.

26. Огар, О. М. Розроблення процедури визначення кута між напрямком вітру і напрямком руху вагона при конструктивних і технологічних розрахунках сортувальної гірки [Текст] / О. М. Огар, У. С. Лопало, Н. І. Опока // Зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 112. – С. 163-167.

27. Огар, О. М. Математичний опис плану і поздовжнього профілю елементів сортувального комплексу в імітаційних моделях гіркових технологічних процесів [Текст] / О. М. Огар, С. Є. Бантюков, М. В. Антуф'єва // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 2/3 (44). – С. 53-56.

28. Огар, О. М. Представлення параметрів метеорологічних умов при розрахунках гірки і моделюванні сортувального процесу [Текст] / О. М. Огар, С. О. Бантюкова, О. С. Губачова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 4/3 (46). – С. 4-7.

29. 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.

30. Удосконалення методики економічного порівняння варіантів технічного оснащення сортувальних пристроїв [Текст] / І. В. Берестов, О. М. Огар, М. Ю. Куценко, О. В. Розсоха // Зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 42-47.

Додаткові праці:

31. Алешинский, Е. С. Разработка Временной технологии таможенного контроля и осмотра грузов в контейнерно-контрейлерных поездах на территории Украины [Текст] / Е.С. Алешинский, А. Н. Огарь // Типовая Временная технология таможенного контроля и осмотра грузов в контейнерно-контрейлерных поездах Украины. Книга №5. – К. , 2003. – 120 с.

32. Огар, О. М. Аналіз конструктивно-технологічних параметрів вантажної станції з позиції ресурсозбереження [Текст] / О. М. Огар, Б. В. Менших, М. М. Рачок // Зб. наук. праць. Ч. 1. – Х. : УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 84. – С. 91-94.

33. Огар, О. М. Обґрунтування необхідності удосконалення методів розрахунку сортувальних гірок [Текст] / О. М. Огар // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: міжнар. наук.-практ. конф., 15-16 травня 2008 р., Днепропетровськ. : тези доп. – Днепропетровськ. : ДНУЗТ, 2008. – С. 21.

34. Дослідження роботи гірки станції Основа як системи масового обслуговування [Текст] / О. М. Ходаківський, О. М. Огар, Д. В. Шумик та ін. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 6/6 (36). – С. 53–56.

35. Огар, О. М. Обґрунтування методу розрахунку висоти сортувальної гірки [Текст] / О. М. Огар // Современные направления теоретических и прикладных исследований, 2009: сб. науч. трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф., 16-27 марта 2009 г., Одесса. Т. 2. Транспорт, физика и математика. – Одесса : Черноморье, 2009. – С. 3-4.

36. Дослідження особливостей функціонування елементів сортувальної станції на основі теорії масового обслуговування [Текст] / О. М. Ходаківський, О. М. Огар, Д. В. Константинов та ін. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №2. – С. 43-46.

37. Огар, О. М. Вплив обсягів переробки вагонопотоків на тип сортувального пристрою [Текст] / О. М. Огар, О. О. Шапатіна // Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України: зб. наук. праць за матеріалами 5-ї міжнар. наук.-практ. конф., 1-6 червня 2009 р., Коктебель (Вісник економіки транспорту і промисловості). – Х. : УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 27. – С. 61. – (Спецвип.).

38. Огар, О. М. Аналіз відомих типів поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок і початку підгіркових колій [Текст] / О. М. Огар, О. О. Шапатіна, Г. О. Крашенініна, Я. Ю. Літвінова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 3/4 (39). – С. 4-7.

39. Огар, О. М. Удосконалення наукового підходу до оптимізації поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок [Текст] / О. М. Огар // Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины: матеріали доповідей на 22-й міжнар. наук.-практ. конф., вересень 2009 р., Алушта / Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №4. – С. 56-57. – (Додаток).

40. Залізничні станції та вузли (тематичні тести для самостійної підготовки студентів до екзаменаційних модулів) [Текст] : навч. посіб. / І. В. Берестов, М. І. Данько, В. І. Крячко та ін. ; під заг. ред. М. І. Данька – Х. : УкрДАЗТ, 2009. – 284 с.

41. Огар, О. М. Технічна експлуатація та комплексний розрахунок раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок на основі системного підходу [Текст] / О. М. Огар // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: 70 міжнар. наук.-практ. конф., 15-16 квітня 2010 р., Дніпропетровськ: тези доп. – Д. : ДНУЗТ, 2010. – С. 138-139.

АНОТАЦІЯ

Огар О.М. Розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2011.

Дисертацію присвячено вирішенню наукової проблеми удосконалення теорії експлуатації та методів розрахунку параметрів сортувальних гірок з урахуванням збереження паливно-енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів. З цією метою гірку розглянуто як систему, раціональний варіант конструкції і технології роботи якої визначається за критерієм мінімуму

сумарних капітальних і експлуатаційних витрат за період життєвого циклу.

Для комплексного розрахунку висоти і поздовжнього профілю сортувальних гірок розроблено моделі нелінійного і стохастичного програмування. При цьому для урахування випадкової природи параметрів метеорологічних умов при розрахунках гірки і моделюванні сортувального процесу створено метод розрахунку швидкості і напрямку вітру в точці місцезнаходження вагону. Вказаний метод використано в розробленій імітаційній моделі процесів скочування окремих відчепів з гірки, насуву, розпуску і розформування потоку составів. Для підвищення достовірності результатів моделювання, які використовуються для розрахунку приросту синергетичного ефекту системи за період життєвого циклу, в імітаційній моделі застосовано нову форму представлення плану і поздовжнього профілю елементів сортувального комплексу.

З метою збереження виробничих ресурсів сформовано нові структури гіркових горловин з вагонними уповільнювачами легких типів. Ефективне керування процесом розформування потоку составів забезпечено шляхом удосконалення системи підтримки прийняття рішень для гіркових операторів. При впровадженні раціональних конструкції і технології роботи сортувальної гірки приріст синергетичного ефекту за період життєвого циклу склав 128, 144 і 165 млн грн при обсягах переробки 2000, 3500 і 5000 вагонів на добу відповідно.

Ключові слова: сортувальна гірка, експлуатація, конструктивно-технологічні параметри, висота, поздовжній профіль, гіркова горловина, вагонний уповільнювач, система підтримки прийняття рішень, ресурс.

АННОТАЦИЯ

Огарь А.Н. Развитие теории эксплуатации и методов расчета конструктивно-технологических параметров сортировочных горок. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2011.

Диссертация посвящена решению научной проблемы усовершенствования теории эксплуатации и методов расчета параметров сортировочных горок с учетом сбережения топливно-энергетических, производственных и перевозочных ресурсов. С этой целью горка рассмотрена как система, рациональный вариант конструкции и технологии работы которой определяется по критерию минимума суммарных капитальных и эксплуатационных расходов за период жизненного цикла с приведением стоимостных оценок этих расходов в разные годы к последнему году. Рациональные технологические параметры сортировочной горки (скорость роспуска и допустимые скорости выхода отцепов с тормозных позиций спускной части) определяют стратегию ее эксплуатации на период жизненного цикла или до начала структурной перестройки.

Комплексный расчет высоты и продольного профиля сортировочных горок базируется на результатах имитационного моделирования скатывания расчетных бегунов с учетом случайного характера скорости и направления ветра. Оптимизационные расчеты профиля спускной части выполняются с использованием разработанной модели стохастического программирования по условию минимизации высоты горки. Оптимизация продольного профиля подвижной части рассмотрена как задача нелинейного программирования. В качестве критерия оптимизации приняты затраты дизельного топлива на надвиг и роспуск составов.

Для учета случайной природы параметров метеорологических условий при расчетах горки и моделировании сортировочного процесса создан метод расчета скорости и направления ветра в точке местонахождения вагона на основе данных нескольких метеорологических датчиков, которые устанавливаются на полигоне и отображают (моделируют) реальную динамику изменения указанных параметров. Данный метод использован в разработанной имитационной модели процессов скатывания отдельных отцепов, надвига, роспуска и расформирования потока составов. Для повышения достоверности результатов моделирования, которые используются для расчета прироста синергетического эффекта системы за период жизненного цикла, в имитационной модели применена новая форма представления плана и продольного профиля элементов сортировочного комплекта, которая позволяет учитывать угол отклонения вагона от базиса горочной горловины. Задача выбора эффективного режима регулирования скорости скатывания отцепов рассмотрена как задача нелинейного программирования. При разработке процедуры расчета расхода топлива горочным локомотивом на надвиг и роспуск составов отдельно учтено дополнительное удельное сопротивление от среды и ветра, в результате чего достоверность моделирования повысилась на 6,3%.

С целью сбережения производственных ресурсов сформированы новые структуры горочных горловин с вагонными замедлителями легких типов, рациональное число и размещение которых определяется с использованием модели стохастического целочисленного программирования. Принятие окончательного решения, касающегося выбора эффективной конструкции при наличии альтернативных решений, выполняется с использованием предложенного комплексного показателя их качества.

Эффективное управление процессом расформирования потока составов обеспечено путем усовершенствования системы поддержки принятия решений для горочных операторов. Формирование управляющих воздействий основывается на процедуре получения условно-оптимальных параметров торможения отцепов до момента их отрыва от состава и методе их корректирования в процессе скатывания отцепов с горки.

При внедрении рациональных конструкции и технологии работы сортировочной горки прирост синергетического эффекта за период жизненного цикла составил 128, 144 и 165 млн грн при размерах переработки 2000, 3500 и

5000 вагонов в сутки соответственно.

Ключевые слова: сортировочная горка, эксплуатация, конструктивно-технологические параметры, высота, продольный профиль, горочная горловина, вагонный замедлитель, система поддержки принятия решений, ресурс.

THE SUMMARY

Ogar O.M. Development of the theory of operation and methods of calculation the constructive-technological parameters of sorting humps. – The Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a speciality 05.22.20 – exploitation and repair of means of transport; the Ukrainian state academy of railway transport; Kharkiv, 2011.

The thesis is devoted to the solution of scientific problems of improvement of the theory of operation and methods of calculation of parameters of sorting humps of the resource saving. With this purpose hill considered as a system, rational variant of a design and technology of work of which is determined by the criterion of minimal total capital and operating costs for the period of the life cycle.

For complex calculation of height and longitudinal profile sorting humps of developed model of nonlinear and stochastic programming. At the same time to take into account random nature of the parameters of the meteorological conditions in the calculation of hump and modelling of the sorting process is a method of calculating the wind speed and direction at the point seat of the car. The method used in the developed simulation model processes of rolling separate regulation, thrust, the dismantling and removal of flux compositions. To improve the reliability of the simulation results, which are used to calculate the growth of the synergetic effect of the system life cycle, in a simulation model is applied a new form of submission of the plan and the longitudinal profile of the screening kit.

With the purpose to save the production resources formed a new structure for hump car yard neck with carload delay fuses light types. Effective management of the process of the dissolution of the flow of achieved through the improvement of decision-making support systems for hump car yard for operators. In the implementation of rational design and technology work hump growth of the synergetic effect for the period of a life cycle amounted to 128, 144, 165 million uah with the size of 2000, 3500 and 5000 cars per day, respectively.

Keywords: sorting hump, operation, design and technological parameters, height, straight profile, neck, wagon retarder, system of support of decision-making, resource.

Огар Олександр Миколайович

УДК 656.212.5

РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

доц. Альошинський Є.С.

Підписано до друку 17.05.11 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 1,9. Обл.-вид.арк. 2,0.
Замовлення № 180 Тираж 100.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050 , Харків - 50, пл. Фейербаха, 7