

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Українська державна академія залізничного транспорту

ЛАВРУХІН ОЛЕКСАНДР ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 656.222.3:658.5

**ФОРМУВАННЯ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОЇЗДОПОТОКАМИ**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі управління експлуатаційною роботою, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий консультант – доктор технічних наук, професор
Данько Микола Іванович,
Українська державна академія залізничного транспорту,
ректор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Губенко Володимир Костянтинович,
Приазовський державний технічний університет,
завідувач кафедри технологій міжнародних перевезень і
логістики

доктор технічних наук, професор
Жуковицький Ігор Володимирович
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
завідувач кафедри електронно-обчислювальних машин

доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України в галузі науки і
техніки
Стасюк Олександр Іонович
Державний економіко-технологічний університет
транспорту, завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технології транспорту

Захист відбудеться „_____” _____ 20__ р. о _____ 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 ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту, за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий „_____” _____ 20__ р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

ЛАВРУХІН ОЛЕКСАНДР ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 656.222.3:658.5

**ФОРМУВАННЯ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОЇЗДОПОТОКАМИ**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

доц. Калашнікова Т.Ю.

Підписано до друку” ____ ” _____ 2012р.
Формат паперу 60 ×84 1/16. Папір для множних апаратів.
Умовн. – рук. Арк. 1,0. Обл.-вид. Арк. 1,1
Замовлення № ____ . Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТ. Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007р.
Друкарня УкрДАЗТу: 61050, Харків - 50, майдан Фейєрбаха, 7

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

В умовах ринку транспортних послуг залізничний транспорт посідає провідне місце серед інших видів транспорту, про це свідчить той факт, що на його частку припадає більш 60 % вантажо- і 40 % пасажирообігу.

Ефективна робота залізничної інфраструктури залежить від раціонального використання засобів транспорту та людських ресурсів. Це можливо в умовах впровадження інноваційних проектів та удосконалення існуючих технологій роботи залізниць.

Світові тенденції розвитку транспортного ринку свідчать про необхідність переорієнтації виробництва в бік поліпшення якості обслуговування клієнтів при умові збільшення прибутковості галузі, але, на жаль, на сьогодні спостерігаються дестабілізуючі процеси, які негативно відбиваються на якості роботи Укрзалізниці (УЗ). Зазначені процеси у своїй більшості обумовлюються недосконалою чинною системою оперативного планування та управління перевізним процесом. Тому згідно з „Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту України”, затвердженою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 р. № 651-р постає наукова проблема формування моделей і методів інтелектуальної технології оперативного управління поїздопотоків.

Останні офіційно опубліковані дані Укрзалізниці свідчать про погіршення виконання показників у порівнянні з попередніми роками. Так, простій вагона на одній технічній станції з 2005 року збільшився на 2,75 години, що становить майже 30 %. Як правило, погіршення цього показника свідчить про зменшення вагонопотоку, що у свою чергу призводить до збільшення часу на формування поїздів різних категорій. Це означає, що існуючі технології формування, просування та обробки поїздопотоків можуть не відповідати існуючим вимогам реального часу.

Також у негативний бік змінився якісний показник часу простою вантажного вагона під однією вантажною операцією. Так, простій під однією вантажною операцією з 2005 року збільшився на 15,39 години, що становить близько 40 %. Погіршення цього показника пов'язане з тим, що залізниця і вантажовідправник дуже повільно, в технологічному аспекті, реагують на зменшення або збільшення вантажопотоку.

І хоча в умовах погіршення проаналізованих показників відбулося певне підвищення середньої дільничної швидкості на 15 км/год, істотного позитивного впливу на величину обігу вантажного вагона – основного комплексного показника ефективності використання рухомого складу, не відбулося, а, навпаки, він збільшився на 30,72 %.

Основною проблемою погіршення певних показників є недосконалість систем планування та управління поїздопотоків, функціонування яких фактично базуються на технологіях, сформованих для роботи в умовах планової економіки. Ці технології орієнтовані, як правило, на виконання кількісних і якісних показників роботи підрозділів залізничного транспорту з мінімальним дотриманням вимог клієнтів. При цьому на процес перевезення в таких умовах має значний вплив людський фактор, який у своїй більшості негативно відбивається на раціональності

використання технічних та людських ресурсів (локомотиви, вагони, локомотивні бригади, бригади оглядачів тощо). Але слід зазначити, що незважаючи на те, що в певних випадках негативний вплив на виконання кількісних і якісних показників обумовлений людським фактором, логіка прийняття рішень людини дозволяє узагальнювати на перший погляд незалежні показники й надавати наближені рішення, які є в окремих ситуаціях найбільш раціональними. Разом з тим у нестандартних ситуаціях, які чинять психологічний тиск, людина-оператор може прийняти неякісні, а в певних випадках небезпечні рішення щодо виконання технологічного процесу роботи. Також слід зауважити, що робота диспетчерського персоналу в сучасних умовах обумовлюється значною часткою невизначеності вхідної інформації, яка є основоположною при прийнятті якісних рішень. Діючий комплекс автоматизованих засобів не дозволяє якісно обробляти дану інформацію з подальшим наданням найбільш доцільних стратегій вирішення поставлених задач, що робить прийнятну систему оперативного управління поїздопотокami не відповідною сучасному рівню та потребам галузі.

Найбільш логічним із шляхів виходу з даної ситуації є формування комплексної інтелектуальної автоматизованої технології оперативного управління поїздопотокami, яка дозволить оптимізувати процеси, пов'язані з плануванням експлуатаційної роботи та просуванням поїздів при безумовному забезпеченні високого рівня безпеки та отриманні підвищеної прибутковості залізничної галузі на основі моделювання процесів когнітивної діяльності людини.

Вирішення цієї наукової проблеми потребує формування наукових підходів щодо формалізації комплексу процесів, пов'язаних з оперативним управлінням поїздопотокami, а саме: процесу визначення основних параметрів оперативного плану поїзної роботи полігону залізничної станції; процесу оперативного визначення раціонального режиму обслуговування місцевої роботи дільниці локомотивами; процесу роботи залізничної станції при виконанні поїзної роботи, який дозволить отримувати обґрунтовані рішення щодо вибору раціонального та небезпечного варіанта прийняття і безупинного пропуску поїздів; процесу визначення раціональної пріоритетності закінчення формування поїздів; процесу визначення пріоритету при відправленні вантажних поїздів зі станції на основі дотримання раціонального співвідношення елементів обігу вантажного вагона.

Реалізація зазначених заходів дозволить розробити комплексну автоматизовану технологію оперативного управління перевізним процесом на базі принципів розподіленого штучного інтелекту, що у свою чергу дозволить оптимізувати виконання процедур, пов'язаних з просуванням поїздів усіх категорій при забезпеченні високого рівня безпеки та економічної доцільності за рахунок злагодженої і ритмічної роботи всіх ієрархічних рівнів УЗ. За рахунок інтегрування комплексу моделей оперативного управління до автоматизованих робочих місць оперативних працівників усіх рівнів буде досягнуто глобальне удосконалення існуючої інформаційно-керуючої системи Укрзалізниці.

Таким чином, вирішення поставленої проблеми формування методів і моделей комплексної інтелектуальної технології оперативного управління поїздопотокami є своєчасною та актуальною.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалася відповідно до „Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту України”, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 р. № 651-р, а також науково – дослідницьких тем: „Розробка математичної моделі та технології автоматизованого поточного планування поїздоутворення на сортувальній станції” (держ. реєстр. № 0107U000105), „Проведення дослідження та розробка концепції, технології і організаційної структури по створенню логістичного центру залізниць України” (держ. реєстр. № 0107U002794), „Розробка та формування автоматизованих логістичних технологій залізничного транспорту” (держ. реєстр. № 0108U000077), „Аналіз та розробка технології автоматизованого поточного змінно-добового планування поїзної та вантажної роботи рівня залізниці” (держ. реєстр. № 0108U002312), „Дослідження вагонопотоків та розробка вимог до складання технологічного процесу роботи залізничного напрямку” (держ. реєстр. № 0111U005204), „Розробка і дослідження технології перевізного процесу на залізничному транспорті на основі ресурсозбереження” (держ. реєстр. № 0105U000898), „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 технології автоматизації корегування ПФП в умовах нерівномірного виникнення потужних струменів вагонопотоків” (держ. реєстр. № 0110U002133), „Управління на мережі залізниць парком вантажних вагонів різної форми власності в нових умовах” (держ. реєстр. № 0110U004890), „Формування комплексу універсальних моделей, реалізація яких забезпечує раціональну організацію вантажопотоків на залізничній транспортній мережі” (держ. реєстр. № 0111U002236), „Розробка інструкції з обліку і аналізу виконання графіку руху пасажирських, приміських і вантажних поїздів” (держ. реєстр. № 0111U005425).

Мета і задачі дослідження

Метою даної дисертаційної роботи є вирішення наукової проблеми формування моделей і методів інтелектуальної технології оперативного планування та управління поїздопотоками на всіх структурних рівнях Укрзалізниці, що, на відміну від існуючої технології, дозволить оптимізувати процеси, пов’язані з плануванням експлуатаційної роботи та просуванням поїздів при забезпеченні високого рівня безпеки й економічної доцільності на основі імітації процесів когнітивної діяльності людини. Реалізація цієї мети потребує постановку та вирішення таких основних задач:

1. Провести статистичні дослідження основних показників експлуатаційної роботи підрозділів Укрзалізниці, які свідчать про недосконалість технологій оперативного планування та управління поїздопотоками з їх подальшим детальним аналізом.

2. Провести аналіз існуючих наукових підходів щодо удосконалення технологій оперативного планування та управління перевізним процесом.

3. Провести аналіз діючих автоматизованих систем управління перевізним процесом, які експлуатуються на території України і за кордоном.

4. Сформувати математичну модель визначення раціонального варіанта оперативного плану поїзної роботи залізничної станції, яку може бути покладено в основу комплексної технології оперативного планування на всіх рівнях Укрзалізниці.

5. Розробити модель визначення варіанта оперативного плану місцевої роботи на основі раціонального використання технічних засобів та людських ресурсів.

6. Сформувати параметр безпечного управління поїздами на залізничній станції, який дозволить оцінити рівень безпеки при виконанні поїзної роботи людиною-оператором без застосування автоматизованих засобів управління на лінійних підрозділах Укрзалізниці.

7. Розробити модель роботи залізничної станції при виконанні поїзної роботи, яка дозволить надавати обґрунтовані рішення черговому по станції щодо вибору раціонального та небезпечного варіанта прийняття і безупинного пропуску поїздів.

8. Формалізувати процедуру та сформувати модель визначення раціональної пріоритетності закінчення формування поїздів, які стануть основою прийняття остаточного рішення поїзним диспетчером щодо вибору черговості відправлення поїздів на дільницю згідно з діючим графіком руху поїздів.

9. Формалізувати процедуру визначення пріоритету при відправленні вантажних поїздів зі станції на основі дотримання раціонального співвідношення елементів обігу вантажного вагона, яка дозволить поїзному диспетчеру в оперативному режимі визначати доцільні варіанти підв'язки поїздів під нитки графіка руху за умови отримання найбільшого економічного ефекту від перевезень.

10. Сформувати комплексну інтелектуальну технологію оперативного управління перевізним процесом, яка стане основою формування загальної автоматизованої системи на базі принципів розподіленого штучного інтелекту.

11. Удосконалити існуючу інформаційно-керуючу систему Укрзалізниці на основі інтегрування комплексу моделей оперативного планування та управління на АРМ оперативних працівників усіх рівнів.

12. Удосконалити процедуру автоматичного надходження оперативних даних до існуючих автоматизованих систем, які використовуються на УЗ для визначення місцезнаходження рухомого складу шляхом застосування GPS-технологій.

13. Оцінити економічну доцільність від впровадження сформованої комплексної технології оперативного планування та управління поїздопотоками.

Об'єкт дослідження – процес управління поїздопотоками на рівні залізничних підрозділів.

Предмет дослідження – технологія інтелектуального управління поїздопотоками.

Методи дослідження

Виконані дослідження базуються: на процедурі моніторингу; методах теорії ймовірностей та математичної статистики для проведення аналізу існуючих експлуатаційних показників перевізного процесу; методах побудови штучних нейронних мереж для визначення раціонального варіанта виконання поїзної роботи на залізничній станції; застосуванні теорії нечітких множин і нечіткої логіки для

формування набору типових ситуацій та вибору пріоритетності при пропуску поїздів.

Наукова новизна одержаних результатів

В дисертаційній роботі теоретично обґрунтовано наукові підходи щодо формування інтелектуальної технології оперативного управління поїздопотокami в межах таких підсистем Укрзалізниці, як дирекція залізничних перевезень (ДН), так і залізниця в цілому, яка дозволяє оптимізувати процедури, пов'язані з просуванням поїздів при забезпеченні високого рівня безпеки на основі імітації процесів когнітивної діяльності людини. Для досягнення мети наукової роботи було вперше:

- сформовано оптимізаційну модель розрахунку оперативного плану поїзної роботи залізничної станції, в основу якої покладені формалізовані процедури визначення нечітких входних параметрів поїзної роботи;

- сформовано модель визначення варіанта оперативного плану місцевої роботи на основі застосування еволюційних методів, яка забезпечує раціональне використання технічних засобів та людських ресурсів;

- сформовано параметр безпечного управління поїздами, в основу якого покладено розроблений метод визначення його основних елементів, що дозволяє оцінити рівень безпеки при виконанні поїзної роботи людиною-оператором без застосування автоматизованих засобів, у тому числі в нестандартних ситуаціях та у випадках психофізіологічного перенапруження;

- сформовано модель роботи залізничної станції при виконанні поїзної роботи з елементами штучного інтелекту, яка дозволяє надавати обґрунтовані рішення черговому по станції щодо вибору раціонального і безпечного варіанта прийняття та безупинного пропуску поїздів з можливістю самонавчання та пристосування до мінливих умов експлуатації;

- формалізовано процедуру і сформовано нечітку оптимізаційну модель, які надають можливість встановлювати пріоритетність закінчення формування поїздів в оперативних умовах, при врахуванні нечіткості входних даних, і являють собою основу для формування розподіленої системи підтримки прийняття рішень оперативних працівників рівня дирекції залізничних перевезень;

- формалізовано процедуру визначення пріоритету при відправленні вантажних поїздів зі станції на основі дотримання раціонального співвідношення елементів обігу вантажного вагона, яка дозволяє в оперативному режимі поїзному диспетчеру визначати доцільні варіанти підв'язки поїздів під нитки графіка руху за умови отримання найбільшого економічного ефекту від перевезень;

- сформовано комплексну інтелектуальну технологію оперативного управління перевізним процесом, в основу якої покладено принципи розподіленого штучного інтелекту, що у свою чергу дозволяє отримати синергетичний ефект від високого рівня використання автоматизованих засобів на всіх ієрархічних рівнях управління перевезеннями;

удосконалено:

- інформаційно-керуючу систему Укрзалізниці шляхом інтегрування розробленого комплексу моделей на АРМ оперативних працівників усіх рівнів за умови дотримання основних принципів системного підходу, що забезпечує інтелектуальне супроводження процесу управління просуванням поїздопотоків;

- процедуру автоматичного надходження оперативних даних про місцезнаходження рухомого складу шляхом застосування GPS-технологій до існуючих автоматизованих систем, які використовуються на УЗ.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблений комплекс моделей дозволяє здійснювати процедуру оперативного управління поїзною роботою на залізничних підрозділах при дотриманні умов безпечної експлуатації.

Формалізовано процедуру визначення кількості поїздів, що підлягають прийманню станцією з кожного напрямку, яка дозволяє визначати не тільки, прибуде чи ні вантажний поїзд на станцію призначення, а також упевненість у даній події. Сформована процедура дозволяє реалізувати технологію оперативного стеження за станом кожного поїзда на мережі залізниць України й надавати обґрунтовані рішення щодо раціонального просування поїздопотоків на основі процесів, які супроводжують хід поїздоутворення й просування поїздів по дільницях, а також часу їх тривання (акт впровадження „Головне управління перевезень Укрзалізниці”).

Сформовано модель визначення варіанта оперативного плану місцевої роботи на основі застосування еволюційних методів, яка забезпечує раціональне використання технічних засобів та людських ресурсів (акт впровадження „Південна залізниця”).

Запропоновано систему оцінки рівня небезпеки при виконанні поїзної роботи оперативними працівниками лінійних підрозділів, яка відповідає певним значенням розрахованого параметра безпечної експлуатації K_6 . За результатами розрахунку K_6 для позакласної сортувальної станції Основа Харківської дирекції залізничних перевезень Південної залізниці її було віднесено до 4-го рівня безпеки.

Сформовано модель інтелектуальної системи управління процесом визначення раціональної колії приймання поїздів різних категорій, яка в оперативному режимі надає можливість черговому по станції визначити відповідний парк (приймання, транзитний, відправлення) та доцільну колію приймання або пропуску за умови забезпечення безпеки руху (акт впровадження „Південна залізниця”).

Розроблено модель визначення пріоритетності формування поїздів, яка у реальному режимі часу дозволяє оперативному персоналу залізниць визначити пріоритетність виконання операцій, пов'язаних із закінченням формування поїздів, що забезпечує визначення раціонального варіанта відправлення їх за призначенням і як наслідок дозволяє отримати значний економічний ефект від залізничних перевезень за умови дотримання вимог вантажовласників щодо своєчасної доставки вантажів (акт впровадження на ДП „Донецька залізниця”).

Формалізовано процедуру визначення пріоритету при відправленні вантажних поїздів зі станції на основі дотримання раціонального співвідношення елементів обігу вантажного вагона, яка дозволяє поїзному диспетчеру відповідно до чинного нормативного графіка руху і технічних нормативів роботи залізничного транспорту в оперативних умовах визначати раціональну послідовність відправлення, безупинного пропуску, схрещення або обгону поїздів по станціях як на одноколійних лініях, так і на двоколійних з урахуванням відхилення часу проходження від розкладу руху (акт впровадження на ДП „Донецька залізниця”).

У результаті проведення процедури імітаційного моделювання на полігонах Південної та Донецької залізниці було отримано такі дані щодо виконання основних експлуатаційних показників: зменшення простою вантажного вагона на проміжних та вантажних станціях під накопиченням на 31 %; скорочення часу простою вагонів в очікуванні локомотиву на 56 %; скорочення часу простою вагонів біля вхідних сигналів на 75 %; скорочення часу простою локомотивів біля вхідних сигналів, 50 %; скорочення часу від розгонів-уповільнень поїздів після зупинки біля вхідних сигналів на 84 %; скорочення часу простою локомотиву в очікуванні закінчення формування складу на 62 %; скорочення простою вантажного вагону на технічних станціях під накопиченням на 19 %; скорочення простою вантажного вагону на станціях в очікуванні вантажних операцій на 80 %; скорочення терміну доставки вантажу на 18 %; скорочення основного комплексного показника – обігу вантажного вагона на 18 %. При впровадженні сформованої технології інтелектуального автоматизованого оперативного планування та управління поїздопотоками було отримано загальну економію за рахунок досягнення синергетичного ефекту на полігоні Південної залізниці у розмірі 10715956,32 грн/р.

Комплекс розроблених моделей рекомендовано інтегрувати до автоматизованих робочих місць оперативного персоналу рівня дирекції залізничних перевезень, рівня залізниці та УЗ, які відповідають за процеси оперативного планування та управління поїздопотоками на мережі.

Розроблений комплекс моделей рекомендовано для використання на всіх залізницях України.

Основні результати і розроблені наукові підходи щодо формування комплексної інтелектуальної технології оперативного управління поїздопотоками використані і впроваджені на Донецькій та Південній залізницях, на базі Головного управління перевезень Укрзалізниці, а також у навчальний процес Української державної академії залізничного транспорту (УкрДАЗТ) при вивченні дисциплін "Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень" та при проведенні навчально-дослідних робіт студентів і магістрів. Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами та патентами на корисні моделі.

Особистий внесок здобувача

Усі наукові результати роботи отримані особисто автором та проводилися в Українській державній академії залізничного транспорту. У статтях, які опубліковані у співавторстві, автору належить: у статті [2] сформовано ряд основних принципів, які покладено в основу систем підтримки прийняття рішень, що розроблюються для залізничного транспорту. У статті [4] сформовано нечітку ситуаційну модель, яку можна використовувати як основу формування системи підтримки прийняття рішень щодо формування та просування поїздів на мережі. У статті [5] формалізовано процедуру організації вагонопотоків з місць навантаження. У статті [6] сформовано тришарову нейронну мережу, яка є основою раціональної взаємодії підрозділів залізничного вузла. У статті [8] формалізовано основні параметри, які впливають на процес прямування поїзда і прибуття його на станції обробки та розформування. У статті [9] запропоновано процедуру оперативного перерозподілу локомотивного парку на мережі транспорту незагального користування. У статті [11] сформовано

удосконалену систему підтримки прийняття рішень оперативного персоналу залізничної станції, пов'язаного з формуванням та відправленням поїздів. У статті [12] запропоновано модель управління процесом комерційного огляду на станції, яка дозволяє суттєво скоротити час перебування поїздів та вагонів на лінійних підрозділах загального користування. У статті [13] сформовано модель управління маневровою роботою залізничної станції, яка дозволяє мінімізувати експлуатаційні витрати, пов'язані з формуванням поїздів. У статті [14] сформовано основні методологічні підходи щодо реалізації системи змінно-добового планування при використанні теорії нейронних мереж. У статті [16], на основі імітаційного моделювання, формалізовано процедуру формування поїздів, яка надає можливість мінімізувати час накопичення вагонів на состави поїздів. У статті [17] запропоновано підходи, щодо формування моделі оперативного планування експлуатаційної роботи сортувальної станції. У статті [18] запропоновано підходи щодо удосконалення системи оперативного планування з урахуванням нечітких вхідних даних. У статті [19] розроблено аналітичну модель для реалізації інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення щодо управління процесом приймання-відправлення поїздів на залізничній станції. У статті [20] визначено основні параметри, які впливають на якість оперативного планування роботи залізничної станції в умовах нечіткої вхідної інформації. У статті [21] запропонована модель динамічного аналізу основних елементів обігу вантажного вагона, що надає можливості в оперативному режимі визначати взаємний їх вплив. У статті [22] сформовано математичну модель визначення категорії вантажного поїзда. У статті [24] формалізовано процедуру автоматизованого управління місцевою роботою диспетчерської дільниці. У статті [25] визначено залежності обігу вантажного вагона від його елементів у термінах гібридних мереж. У статті [27] визначено елементи цільової функції, яка дозволяє мінімізувати експлуатаційні витрати при перерозподілі порожнього вагонопотоку на дільниці. У статті [29] сформовано цільову функцію, яка є основою вирішення задачі пошуку оптимального варіанта розподілу порожніх вагонів при виконанні місцевої роботи. У статті [30] запропоновано підходи щодо реалізації моделі оперативного планування поїздоутворення на залізничній станції з урахуванням нечіткості вхідних даних. У статті [31] сформовано модель оперативного планування поїздоутворення на залізничній станції в умовах невизначеності. У статті [35] сформовано модель визначення раціональних варіантів пропуску вантажних поїздів по залізничних дільницях. У [39] формалізовано технологію функціонування автоматизованого робочого місця поїзного диспетчера при визначенні раціональних варіантів обслуговування дільниць локомотивами. У [40] формалізовано процедуру визначення пріоритетів поїздів при їх відправленні з залізничної станції.

Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалено: на 2-й міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України” (смт Коктебель, 7–11 червня 2006 р.); першій міжнародній конференції „Ресурсозберігаючі технології в експлуатації засобів транспорту в умовах реформування залізниць України” (м. Харків, 22–25 травня 2007 р.); другій міжнародній науково-практичній

конференції (м. Київ, 2007 р.); четвертій міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України” (м. Харків, 2008 р.); міжнародній науково-практичній конференції „Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті” (м. Дніпропетровськ, 15–16 травня 2008р); 5-й міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України” (м. Харків, 2009 р.); 23-й міжнародній конференції „Перспективні комп’ютерні, керуючі і телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України” (м. Алушта, 2011 р.); 7-й міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України” (м. Харків, 2011 р.); 74-й міжнародній науково-практичній конференції УкрДАЗТ (м. Харків, 2012 р.).

Дисертацію в повному обсязі розглянуто та схвалено на розширеному засіданні кафедри „Управління експлуатаційною роботою” (УЕР) УкрДАЗТ (м. Харків); на науковому семінарі кафедри „Транспортні технології” Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (м. Харків); на міжкафедральному науковому семінарі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (м. Дніпропетровськ); на розширеному науковому семінарі кафедри „Морські перевезення” Одеського національного морського університету (м. Одеса).

Публікації

Відповідно до теми дисертації опубліковано 54 наукових праці, у тому числі 38 наукових статей (тринадцять з них без співавторів), 9 тез доповідей у виданнях, що затверджені Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України, 5 додаткових праць, 2 патенти на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації

Дисертація складається зі вступу, сімох розділів, висновків, списку використаних джерел та 5 додатків.

Повний обсяг роботи складає 412 сторінок, з яких обсяг основного тексту 362 сторінки. Робота ілюстрована 134 рисунками, з них 4 на окремих сторінках наведено 15 таблиць, з них 1 на окремій сторінці, список використаних джерел із 253 найменувань на 25 сторінках і 5 додатків на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, відображені наукова новизна та практична цінність, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі дисертації на основі аналізу експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту та існуючих технологій оперативного управління перевезеннями зроблено висновок, що на даний момент недостатньо уваги приділяється вирішенню проблем, які пов’язані із формуванням технологій та моделей інтелектуального управління перевізним процесом.

У розвиток теорії та практики технології перевізного процесу, а саме удосконаленню систем управління поїздопотоками зробили значний внесок такі

вчені та практики: Абрамов А.А., Акулінічев В.М., Архангельський Є.В., Атаманенко Є.Г., Бернгард К.А., Бородін А.Ф., Бобровський В.І., Бикадоров А.В., Бутько Т.В., Буянов В.А., Волков В.С., Воробйов Н.А., Грунтов П.С., Губенко В.К., Данько М.І., Дьяков Ю.В., Єфименко Ю.І., Жуковицький І.В., Івницький В.А., Іловайський М.Д., Каретніков А.Д., Козлов В.Є., Котенко А.М., Кузнецова Г.А., Кулешов В.М., Ломотько Д.В., Міроненко В.К., Нагорний Є.В., Негрей В.Я., Нечаєв Г.І., Прохорченко А.В., Угрюмов А.К., Скалозуб В.В., Сміхов А.О., Сотніков Є.А., Стасюк О.І., Тихомиров І.Г., Тишкін Є.М., Чернюгов А.Д., Шаров В.А., Шафіт Є.М., Шибасєв О.Г., Яновський П.О. та інші.

Аналіз попередніх досліджень, присвячених розробці наукових підходів щодо формування та удосконалення існуючих технології оперативного управління поїздопотоків показав, що у своїй більшості вони не враховують можливість використання методів автоматизованого інтелектуального управління вантажними перевезеннями. Це у свою чергу не відповідає об'єктивності і раціональності управління через наявність постійного потужного впливу людського фактора, який в критичних ситуаціях може негативно впливати не тільки на економічні показники, але й на безпеку руху. Було визначено, що найбільш раціональним і логічним виходом з даної ситуації є впровадження інтелектуальних систем, які дозволяють досягти розумного співвідношення між застосуванням комп'ютерних технологій, в основу функціонування яких покладено принципи когнітивності, та безпосереднього впливу людини на остаточне рішення, що в загальному результаті дозволить досягти зменшення впливу людського фактора на процес перевезень та підвищити якість і швидкість прийняття рішень в поїзній роботі на полігонах залізничної мережі.

В розділі зазначається, що використання автоматизованих систем з елементами штучного інтелекту надасть можливість оперативному і управлінському персоналу більше зосередитися на оперативній роботі, яка буде базуватися на основі обґрунтованих стратегій просування вагонопотоків, наданих цими системами, і як наслідок це дозволить досягти покращення виконання кількісних і якісних показників роботи за рахунок: підвищення безпеки руху, зменшення часу на прийняття рішень, прийняття рішень на основі техніко-економічного обґрунтування, прийняття раціональних рішень у нестандартних ситуаціях.

У другому розділі сформовано оптимізаційну модель оперативного планування поїзної роботи на залізничній станції з елементами штучного інтелекту у такому вигляді

$$\Delta N(x_1, x_2, x_3, m, f, u_1, u_2, u_3) = \sum_{i=1}^l \sum_{p=1}^k |N_{ip}^{nl} - N_{ip}^{euk}| \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 & x_1 \leq 24 - t_\phi \\
 & x_2 \leq 24 - \left(\sum_{j=1}^h t_j + \sum_{q=1}^w t_q \right) \\
 \text{при обмеженнях} & \quad \text{при } x_1 + x_2 \leq 24, \\
 & u_1 \geq m_m \\
 & u_2 \geq m_m \\
 & u_3 \geq 1
 \end{aligned} \tag{2}$$

де ΔN - параметр виконання плану; N_{ip}^{nl} - заплановане число поїздів, які будуть перероблюватися на станції (прибуття, відправлення, формування маршрутів); N_{ip}^{rl} - реальне виконання поїзної роботи станції; i - кількість станцій на дільниці, яка бере участь в оперативному плануванні; P - параметр оперативного плану поїзної роботи, який відповідає обсягу поїзної роботи (кількість відправлених, прибулих поїздів та сформованих маршрутів); x_1 - час до відправлення поїзда зі станції формування (при умові наявності на станції формування вагонів у кількості, необхідній для формування поїзда), год; x_2 - час проходження поїзда від станції формування до станції розформування (з урахуванням перегінних часів ходу, часів на схрещення, обгони тощо), год; x_3 - час до закінчення доби, год; t_ϕ - час на формування певного поїзда, год; m - кількість вагонів, що можуть бути включеними до одного складу поїзда, ваг; f - час, що залишився до кінця доби, год; t_j - час проходження поїздів по перегонах ($j = 1, 2, \dots, h$, де h - кількість перегонів), год; t_q - час простою поїздів під схрещеннями, обгонами, з неприймання на станцію ($q = 1, 2, \dots, w$, де w - кількість розмежувальних пунктів, на яких відбувалася затримка поїзда), год; u_1 - наявна кількість вагонів на станції і на підходах до неї для формування відправницького маршруту, ваг; m_m - нормативна довжина маршруту на певному напрямку, ваг; u_2 - наявна вивантажувальна спроможність підприємства, на яке призначено маршрут, ваг; u_3 - кількість технічних станцій на шляху прямування маршруту.

На кожний елемент цільової функції (1) впливає ряд незалежних параметрів, згідно із цим задачу формування моделі оперативного планування поїзної роботи доцільно віднести до класу слабкоструктурованих й вирішувати на основі застосування методів нечіткої логіки.

Згідно з цільовою функцією (1), постає задача формалізації комплексу процедур визначення основних параметрів оперативного плану поїзної роботи.

Таким чином, формалізація процедури визначення кількості поїздів, що підлягають прийманню станцією з кожного напрямку, починається з визначення трійки лінгвістичних змінних у вигляді: $\langle x_1, T_1, H_1 \rangle$, $\langle x_2, T_2, H_2 \rangle$, $\langle x_3, T_3, H_3 \rangle$, $\langle d, T_4, E \rangle$. Безпосередньо переходячи до відтворення визначених лінгвістичних змінних, одержано

$$\langle x_1, T_1, A \rangle \rightarrow \langle \text{"Час до відправлення"}, T_1, [a_{\min}, a_{\max}] \rangle, \tag{3}$$

де $T_1 = \{ \text{"в межах доби"}, \text{"можливо в межах доби"}, \text{"за межами доби"} \}$; a_{\min}, a_{\max} - область визначення $A = \{a\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує величину часу, який залишився до відправлення поїзда свого формування.

$$\langle x_2, T_2, B \rangle \rightarrow \langle \text{"Час слідування"}, T_2, [b_{\min}, b_{\max}] \rangle, \quad (4)$$

де $T_2 = \{ \text{"в межах доби"}, \text{"можливо в межах доби"}, \text{"за межами доби"} \}$; b_{\min}, b_{\max} - область визначення $B = \{b\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує величину часу прямування поїзда до станції призначення.

$$\langle x_3, T_3, C \rangle \rightarrow \langle \text{"Час до закінчення доби"}, T_3, [c_{\min}, c_{\max}] \rangle, \quad (5)$$

де $T_3 = \{ \text{"не встигне"}, \text{"можливо встигне"}, \text{"встигне"} \}$; c_{\min}, c_{\max} - область визначення $C = \{c\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує величину часу, який залишився до закінчення звітної доби.

$$\langle d, T_4, E \rangle \rightarrow \langle \text{"Прибуття"}, T_4, [e_{\min}, e_{\max}] \rangle, \quad (6)$$

де $T_4 = \{ \text{"не прибуде"}, \text{"можливо прибуде"}, \text{"прибуде"} \}$; e_{\min}, e_{\max} - область визначення $E = \{e\}$ вихідної нечіткої змінної, яка відбиває ступінь впевненості у прибутті поїзда на станцію призначення.

Формалізація визначеної процедури буде ґрунтуватися на застосуванні алгоритму Sugeno, оскільки основним завданням є визначення конкретного значення на основі комбінації вхідних змінних.

В основу формалізації комплексу процедур визначення параметрів оперативного плану поїзної роботи станції покладено набір функцій належності ($\mu_{a_i}(a), \mu_{a_n}(b), \mu_{a_k}(c), \mu_{a_q}(v), \mu_{a_w}(h), \mu_{a_c}(s), \mu_{a_d}(g), \mu_{a_i}(j)$) з відповідними параметрами, прикладом яких є функція

$$\mu_{a_1}(a) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma}} e^{-\frac{[a_1 - \bar{a}_1]^2}{2\sigma^2}}, \quad (7)$$

де c - коефіцієнт зміщення; σ - коефіцієнт масштабу; \bar{a}_1 - математичне очікування часу, який відповідає нечіткій змінній - "в межах доби" (в даному випадку обирається на основі інформації про відправлення поїзда зі станції формування, тобто дорівнює 0 годин).

На рисунку 1 наведено графічну інтерпретацію сформованих функцій належності.

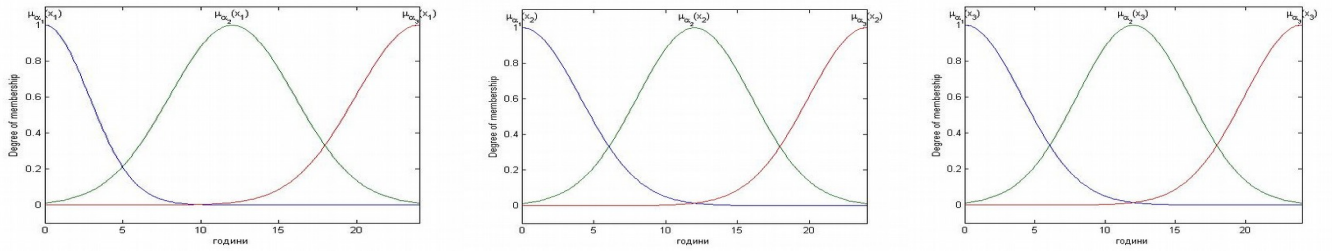


Рис.1. Функції належності $\mu_{\alpha_i}(a)$, $\mu_{\alpha_n}(b)$, $\mu_{\alpha_k}(c)$

Для формалізації процедури знаходження впевненості у відправленні поїзда зі станції формування в планову добу необхідно визначити лінгвістичні змінні: $\langle m, T_5, V \rangle$, $\langle f, T_6, H \rangle$, $\langle y, T_7, P \rangle$. Безпосередньо переходячи до формалізації визначених лінгвістичних змінних, одержано

$$\langle m, T_5, V \rangle \rightarrow \langle \text{"Кількість вагонів"}, T_5, [v_{\min}, v_{\max}] \rangle, \quad (8)$$

де $T_5 = \{ \text{"група вагонів"}, \text{"неповний склад"}, \text{"поїзд"} \}$; v_{\min}, v_{\max} - область визначення $V = \{v\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує кількість вагонів, що можуть бути включеними до одного складу поїзда.

$$\langle f, T_6, H \rangle \rightarrow \langle \text{"Час до закінчення формування"}, T_6, [h_{\min}, h_{\max}] \rangle, \quad (9)$$

де $T_6 = \{ \text{"початок доби"}, \text{"середина доби"}, \text{"кінець доби"} \}$; h_{\min}, h_{\max} - область визначення $H = \{h\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує час, що залишився до кінця доби.

$$\langle y, T_7, P \rangle \rightarrow \langle \text{"Відправлення"}, T_7, [p_{\min}, p_{\max}] \rangle, \quad (10)$$

де $T_7 = \{ \text{"не відправиться"}, \text{"можливо відправиться"}, \text{"відправиться"} \}$; p_{\min}, p_{\max} - область визначення $O = \{o\}$ вихідної нечіткої змінної, яка відбиває ступінь впевненості у відправленні поїзда зі станції формування.

Формування правил, побудова відповідних функцій належності та логічних висновків буде отримано аналогічно першій процедурі.

Формалізація останньої процедури ґрунтується на визначенні наступного комплексу лінгвістичних змінних: $\langle u_1, T_8, S \rangle$, $\langle u_2, T_9, G \rangle$, $\langle u_3, T_{10}, J \rangle$, $\langle l, T_{11}, U \rangle$

$$\langle u_1, T_8, S \rangle \rightarrow \langle \text{"Кількість вагонів"}, T_8, [s_{\min}, s_{\max}] \rangle, \quad (11)$$

де $T_8 = \{ \text{"група вагонів"}, \text{"можливий маршрут"}, \text{"маршрут"} \}$; s_{\min}, s_{\max} - область визначення $S = \{s\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує величину часу, який залишився до відправлення поїзда свого формування.

$$\langle u_2, T_9, G \rangle \rightarrow \langle \text{"Вивантажувальна спроможність"}, T_9, [g_{\min}, g_{\max}] \rangle, \quad (12)$$

де $T_9 = \{ \text{"не відправиться"}, \text{"можливо відправиться"}, \text{"відправиться"} \}$; g_{\min}, g_{\max} - область визначення $G = \{g\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує можливості вивантажувальної станції щодо переробки вагонів.

$$\langle u_3, T_{10}, J \rangle \rightarrow \langle \text{"Кількість технічних станцій"}, T_{10}, [j_{\min}, j_{\max}] \rangle, \quad (13)$$

де $T_{10} = \{ \text{"не раціонально"}, \text{"раціонально"} \}$; j_{\min}, j_{\max} - область визначення $J = \{j\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує кількість технічних станцій, яку поїзд буде проходити без переробки.

$$\langle l, T_{11}, U \rangle \rightarrow \langle \text{"Маршрут"}, T_{11}, [u_{\min}, u_{\max}] \rangle, \quad (14)$$

де $T_{11} = \{ \text{"не доцільно"}, \text{"можливо"}, \text{"доцільно"} \}$; u_{\min}, u_{\max} - область визначення $U = \{u\}$ вихідної нечіткої змінної, яка відбиває ступінь впевненості у доцільності формування маршруту.

Достовірність функціонування сформованої моделі, в основу якої покладено формалізовані процедури визначення основних параметрів оперативного плану поїзної роботи, перевірено на основі розрахунку середньої відносної помилки. Згідно з цим, значення середньої відносної помилки Δ з виконання поїзної роботи перебувають у межах $[0.7; 3.08]$. Для вирішення задач експлуатації та отримання параметрів оперативного плану досягнута точність роботи моделі є достатньою, згідно з чим можливо вважати сформовану модель визначення параметрів оперативного плану поїзної роботи залізничної станції адекватною.

У третьому розділі сформовано модель визначення варіанта оперативного плану місцевої роботи на основі застосування генетичного алгоритму, яка забезпечує раціональне використання технічних засобів та людських ресурсів. Згідно з цим пропонується цільова функція у вигляді інтегрального показника

$$R = \int_{t_k}^{t_n} f(L(t), V(t)) dt \rightarrow \min, \quad (15)$$

де $L(t)$ - вектор стану системи – диспетчерська дільниця, який характеризується незмінними параметрами підсистеми, а саме – кількість лінійних об'єктів, кількість вагонів, що перебувають у процесі накопичення, та завантажені вагони в парку відправлення; $V(t)$ - вектор управління системою, який характеризується змінними параметрами підсистеми ДН, зокрема – експлуатаційні витрати, які враховують простій вагонів під накопиченням, простій вагонів в очікуванні прибуття локомотива та витрати, пов'язані з прямуванням локомотива по дільниці, витрати, пов'язані з простоем локомотивів на станціях в очікуванні підготовки составів або груп вагонів під вивезення; t_n, t_k - відповідно початковий та кінцевий моменти часу періоду управління ДНЦ

$$L(t) = (S_i, R_{ik}, m_i^{нак}(t), m_i^{oid}(t)), \quad (16)$$

де S_i - станції, які входять до складу диспетчерської дільниці на яких виконується місцева робота, $i = \overline{1, n}$ (n - кількість станцій диспетчерської дільниці); R_{ik} - множина перегонів, що з'єднують станції дільниці; $m_i^{нак}(t)$ - кількість вагонів, які перебувають під накопиченням у момент часу (t) ; $m_i^{oid}(t)$ - кількість вагонів, які перебувають в очікуванні локомотива в момент часу (t) .

Взявши до уваги, що результатом управління місцевою роботою полігону диспетчерської дільниці є множина часів простою рухомого складу (вагонів та локомотивів), яким доцільно надати вартісну оцінку, доцільно подати вектор управління $V(t)$ в такому вигляді

$$V(t) = (c_{\text{вг}} \cdot t_i^{m_i^{нак}}, c_{\text{вг}} \cdot t_i^{m_i^{oid}}, c_{\text{лз1}} \cdot t_i^S, c_{\text{лз2}} \cdot t_i^D), \quad (17)$$

де $c_{\text{вг}}$ - вартість години простою вагона на коліях загального користування, грн; $c_{\text{лз1}}$ - вартість години простою локомотива на станції, грн; $c_{\text{лз2}}$ - приведена вартість години роботи поїзного локомотива на дільниці, грн; t_i^S - час простою локомотива на станції в очікуванні поїзда або причіпної групи вагонів, год; t_i^D - роботи локомотива на дільниці (час у русі), год.

Оскільки природа інтегрального показника якості управління місцевою роботою на дільниці має в основі вартісну природу, то доцільно у вигляді функціонала прийняти скалярний добуток векторів $L(t)$ та $V(t)$, тобто у явному вигляді інтегральний показник якості управління R має такий вигляд

$$R = \int_{t_k}^{t_n} \sum_{i=1}^n (L(t), V(t)) dt \rightarrow \min, \quad (18)$$

$$\begin{aligned} & \begin{cases} m_i^{oid} = 0, \\ P = 1 \text{ при } t_i^S + t_i^D \leq 24 - t_{ек}, \\ P > 1 \text{ при } t_i^S + t_i^D > 24 - t_{ек}, \\ t_{лб} \leq 12 \end{cases} \end{aligned} \quad (19)$$

де P - кількість локомотивів, які обслуговують місцеву роботу; $t_{ек}$ - час на екіпірування локомотива протягом доби, год; $t_{лб}$ - час роботи локомотивної бригади з урахуванням прийняття та здавання робочої зміни, год.

В даній науковій роботі використано підхід, який ґрунтується на застосуванні еволюційного методу обчислення, в основу якого покладено генетичний алгоритм.

Формування моделі визначення раціонального варіанта оперативного плану місцевої роботи на базі генетичного алгоритму поряд з формуванням цільової функції (fitness function) та її обмежень передбачає генерацію батьківської хромосоми. Згідно з цим запропоновано батьківську хромосому ch визначати таким чином

$$ch = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}, \quad (20)$$

де g_1, g_2, \dots, g_n - гени, які відповідають закодованому значенню номера станції формування поїздів або причіпних груп вагонів.

$$\begin{aligned} g_1 &= \{0, 1, 2, \dots, k\}, \\ &\dots \\ g_n &= \{0, 1, 2, \dots, k\}. \end{aligned} \quad (21)$$

де $0, 1, 2, \dots, k$ - кількість поїздів або причіпних груп вагонів, які формуються на n станції.

Для можливості функціонування генетичного алгоритму необхідно обрати оптимальний спосіб схрещення хромосом. У результаті аналізу існуючих кросинговерів було обрано кросинговер перестановки (permutation), оскільки він відповідає умовам поставленої задачі, які передбачають наявність певної кількості визначених генів при формуванні батьківської пари хромосом.

Можливість моделювання процесу визначення раціонального варіанта обслуговування місцевої роботи кількома локомотивами базується на умові розділення батьківської хромосоми на дві частини. У першій частині буде кодуватися послідовність обслуговування станцій, а в другій частині хромосоми гени будуть визначати мінімально-потрібну кількість локомотивів та закріплення за кожним з них певної послідовності. Відповідно до цього можна виразити формальне визначення хромосоми

$$ch = ch_{\text{посл}} + ch_{\text{кл}}, \quad (22)$$

де $ch_{\text{посл}}$ - частина хромосоми, яка відповідає за послідовність обслуговування станцій дільниці; $ch_{\text{кл}}$ - частина хромосоми, яка відповідає за вибір кількості локомотивів та визначає режим роботи кожного з них.

На рисунку 2 відображено приклад графічної інтерпретації формування хромосоми (22).

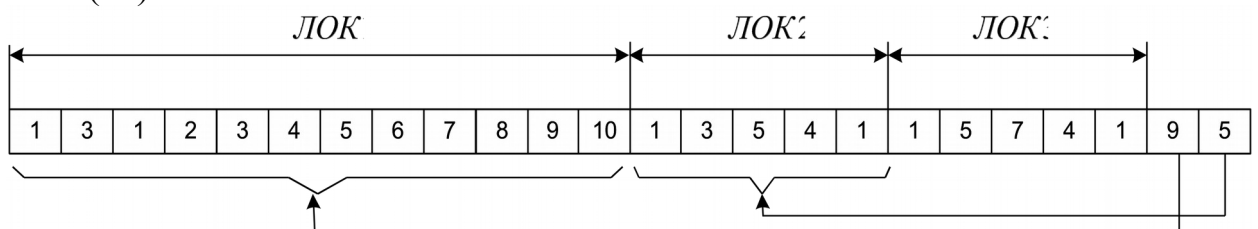


Рис. 2. Приклад генерації хромосоми, яка моделює роботу трьох локомотивів

Сформована хромосома представляє собою раціональний варіант обслуговування станцій дільниці локомотивами, які забезпечують вивезення місцевого вагонопотоку. Ефективна робота розробленої моделі можлива при її інтеграції до автоматизованого робочого місця оперативного персоналу, який безпосередньо займається плануванням та виконанням місцевої роботи на залізничних дільницях. Як правило, визначені завдання покладено на поїзних диспетчерів. Усі операції, пов'язані з плануванням та просуванням поїздопотоків, поїзний диспетчер повинен виконувати при безумовному дотриманні правил безпеки руху та у безпосередньому взаємозв'язку із черговим по станції. З цією метою в подальшому доцільно визначити основні критерії, які впливають на безпеку руху поїздів, та сформуванню технологію управління рухом поїздів у межах залізничної станції, яка буде безпосередньо ув'язана з технологією виконання місцевої роботи дільниці поїзним диспетчером.

У четвертому розділі вирішується задача формування параметра безпечної експлуатації поїзною роботою на залізничній станції, який буде характеризувати рівень безпечної експлуатації протягом визначеного інтервалу.

Даний параметр має в першу чергу ґрунтуватися на відношенні кількості випадків, які мали місце в результаті невиконання відповідних інструкцій і могли призвести до транспортних подій з різними наслідками, до загальної кількості випадків, які виникали протягом визначеного інтервалу, в даному випадку зміни, згідно з цим

$$K_6 = \frac{z_{зан} + z_{вм} + z_{не} + z_{нас}^{cx} + z_3 + z_3^{ei\delta}}{\sum z_{заг}} \rightarrow 0, \quad (23)$$

де $z_{зан}$ - параметр, який відповідає за кількість поїздів, які було прийнято на зайняту колію протягом зміни; $z_{вм}$ - параметр, який відповідає за кількість поїздів, які прибувають на станцію з негабаритним вантажем на неспеціалізовану колію протягом зміни; $z_{не}$ - параметр, який відповідає за кількість довгосоставних поїздів, що прибувають на станцію на неспеціалізовану колію протягом зміни; $z_{нас}^{cx}$ - параметр, який відповідає за кількість схрещень пасажирських поїздів з вантажними порушенням вимог ТРА станції протягом зміни; z_3 - параметр, який відповідає за кількість поїздів, які надходять на станцію при заборонному сигналі світлофора протягом зміни; $z_3^{ei\delta}$ - параметр, який відповідає за кількість поїздів, які відправляються зі станції при заборонному показанні вихідного світлофора (внаслідок реалізації даної дії поїзд може бути відправлений на фактично зайнятий перегін) протягом зміни.

Задача формування параметра безпечної експлуатації K_6 слабкоструктурована за своєю сутністю і вирішення її буде ґрунтуватися на узагальненні ряду незалежних та різних, а в деяких випадках і зовсім безрозмірних параметрів та факторів. Відповідно до цього в даному випадку доцільно застосувати теорію нечіткої логіки, яка дозволяє адекватно вирішувати задачі даного класу.

Вирішення задачі трансформації параметра безпечної експлуатації в даному випадку буде ґрунтуватися на формуванні ряду функцій належності, які будуть відтворювати та враховувати набір таких факторів та параметрів: 1. Функція

належності $\mu_{\alpha_w^z}(z)$ описує параметр, який відповідає за прийняття поїзда на зайняту колію. 2. Функція належності $\mu_{\alpha_q^d}(d)$ відтворює параметр, який відповідає за прийняття або пропуск поїзда з негабаритним вантажем залізничною станцією по неспеціалізованій колії. 3. Функція належності $\mu_{\alpha_e^f}(f)$ характеризує параметр, який відповідає за прийняття або пропуск довгосоставного поїзда на залізничну станцію по неспеціалізованій колії. 4. Функція належності $\mu_{\alpha_r^g}(g)$ описує параметр, який відповідає за приймання пасажирського поїзда на станцію та пропуск по суміжній колії вантажного поїзда під час висадки пасажирів. 5. Функція належності $\mu_{\alpha_t^h}(h)$ описує параметр, який відповідає за прийняття поїзда на залізничну станцію при заборонному показанні вхідного сигналу. 6. Функція належності $\mu_{\alpha_y^j}(j)$ описує параметр, який відповідає за відправлення поїзда з залізничної станції при заборонному показанні вхідного сигналу. 7. Функція належності $\mu_{\alpha_c^k}(k)$ описує параметр, який відповідає за стаж роботи на посаді оперативного працівника (в даному випадку мається на увазі посада чергового по станції). 8. Функція належності $\mu_{\alpha_p^t}(t)$ описує параметр, який відповідає за рівень уваги оперативного працівника (чергового по станції) протягом робочої зміни (12 годин). 9. Функція належності $\mu_{\alpha_s^{va}}(v)$ описує параметр, який відповідає за рівень завантаження оперативного персоналу поїзною роботою (мається на увазі кількість прийнятих, відправлених та пропущених поїздів по станції за робочу зміну).

Таким чином, далі необхідно визначити 9 терм-множин та відповідних до них ознак функцій належності, які чинять вплив на параметр безпечної експлуатації в поїзній роботі. У даному випадку детально розглянуто принципи формування терм-множин та відповідних до них ознак функцій належності $\mu_{\alpha_w^z}(z)$

$$\langle \tilde{\alpha}_w^z, T_1, Z \rangle \rightarrow \langle \text{"зайнята колія"}, T_1, [z_{\min}, z_{\max}] \rangle, \quad (24)$$

де $T_1 = \{ \text{"сер. інцидент"}, \text{"аварія"}, \text{"катастрофа"} \}$; z_{\min}, z_{\max} - область визначення базової множини $Z = \{z\}$, яка характеризує кількість випадків прийняття поїзда на зайняту колію і представляє собою область визначення нечіткої змінної $\tilde{\alpha}_w^z$

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha}_w^z &= \left\langle \mu_{\alpha_w^z}(z)/(z) \right\rangle, (z \in Z), \\ &\langle \text{"сер. інцидент"}, [z_{\min}, z_{\max}], \tilde{\alpha}_1^z \rangle, \\ &\langle \text{"аварія"}, [z_{\min}, z_{\max}], \tilde{\alpha}_2^z \rangle, \\ &\langle \text{"катастрофа"}, [z_{\min}, z_{\max}], \tilde{\alpha}_3^z \rangle. \end{aligned} \quad (25)$$

Відповідно до визначених параметрів нечітких змінних стає можливим побудувати графічну інтерпретацію функцій належності, які стануть основою визначення ступенів впливу того чи іншого фактора з наведеного переліку на рівень безпечної експлуатації. У даній роботі використано підхід, при якому побудова відповідних функцій належності виконується на основі використання так званих універсальних шкал виміру значень параметрів, які підлягають оцінюванню.

Перевагою використання універсальних шкал при оцінюванні стану об'єкта дослідження є їх відносна незалежність від умов експлуатації. При постійній базовій терм-множині лінгвістичної змінної, що використовується для опису станів рівня безпечної експлуатації відповідно 9 визначених параметрів, приведення її завдання у відповідність до мінливих умов експлуатації виконується шляхом корегування функції відображення π , за допомогою якої здійснюються прямі і зворотні переходи з предметної шкали на універсальну.

Застосовуючи процедуру побудови універсальних шкал для всіх значень α_w^3 ($w \in T_1 = \{1,2,3\}$) лінгвістичної змінної, стає можливим одержати функцію належності $\mu_{\tilde{\alpha}_w^3}$, яка відповідає значенням $\tilde{\alpha}_w^3$ на універсальній шкалі (рис. 3).

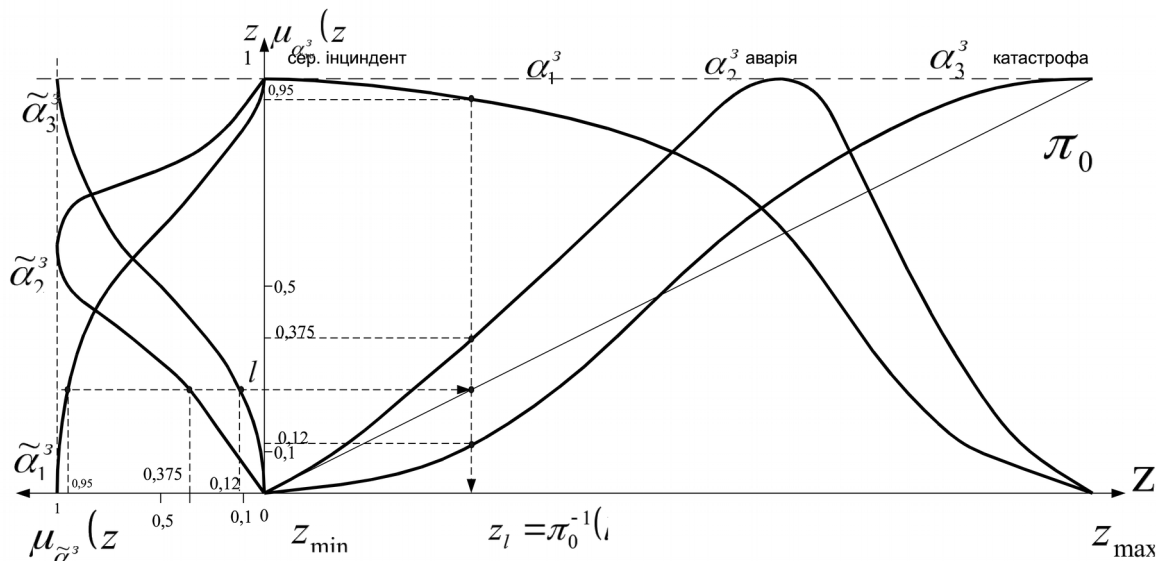


Рис. 3. Графічна інтерпретація побудови функцій належності $\mu_{\tilde{\alpha}_w^3}$

Функція π_0 , яка використовується в процедурі побудови універсальної шкали, в першому наближенні описує функцію відображення π_1 , за допомогою якої здійснюється перехід з предметної шкали на універсальну і навпаки (рис.4).

Функції належності ($\mu_{\alpha_q^3}, \mu_{\alpha_e^3}, \mu_{\alpha_p^3}, \mu_{\alpha_r^3}, \mu_{\alpha_y^3}, \mu_{\alpha_u^3}, \mu_{\alpha_p^3}, \mu_{\alpha_s^{3ав}}$), які описують інші визначені параметри та їх функції відображення ($\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9, \pi_7, \pi_8, \pi_9, \pi_{10}$) будуться аналогічно.

Після того як було сформовано всі визначені функції належності та функції відображення, можливо виконати трансформацію параметра безпечної експлуатації K_0 . Причому слід зауважити, що функції відображення $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6$ будуть мати вплив на виникнення відповідних експлуатаційних подій $z_{зан}, z_{вм}, z_{нв}, z_{нас}^{cx}, z_3, z_3^{vid}$.

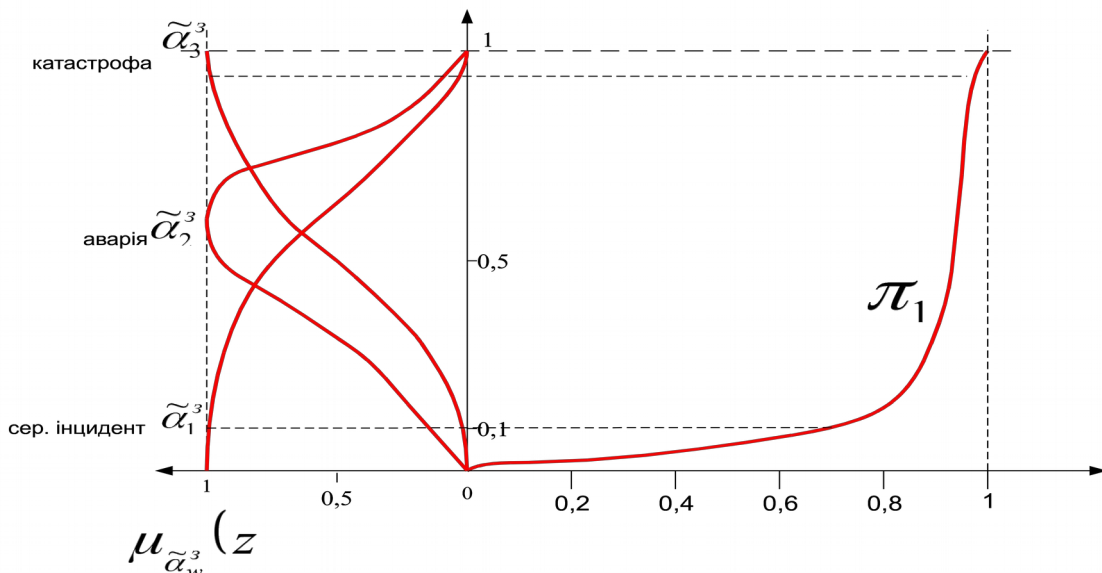


Рис. 4. Формування функції відображення π_1

Оскільки функції відображення $\pi_7, \pi_8, \pi_9, \pi_{10}$ не мають прямого впливу на конкретні поїзні ситуації і при певних умовах експлуатації можуть впливати одночасно на всі означені події, то значення цих функцій будуть враховуватися шляхом виконання процедури диз'юнкції

$$K_6 = \frac{(z_{зан} \cdot \pi_1 + z_{вм} \cdot \pi_2 + z_{нв} \cdot \pi_3 + z_{нас}^{сх} \cdot \pi_4 + z_3 \cdot \pi_5 + z_3^{від} \cdot \pi_6) \cdot (\pi_7 V \pi_8 V \pi_9 V \pi_{10})}{\sum z_{заг}} \rightarrow 0. \quad (26)$$

Після того як було сформовано параметр безпечної експлуатації, доцільно сформуванати систему оцінки, яка буде відповідати певним значенням розрахованого параметра. З цією метою в даній роботі було сформовано метод визначення крайніх значень термів відповідних функцій належності. Безпосередньо систему оцінки розроблено відповідно до існуючої класифікації транспортних порушень.

Згідно з сформованою системою оцінки параметра в результаті розрахунку, станцію Основа Південної залізниці було віднесено до 4-го рівня безпечної експлуатації.

Після того як було сформовано параметр безпечної експлуатації, який може бути покладеним в основу обґрунтування доцільності обладнання робочих місць оперативного персоналу автоматизованими засобами, у подальшому доцільно безпосередньо перейти до формування технології автоматизованого управління експлуатаційною роботою залізничної станції.

П'ятий розділ присвячено формуванню комплексної моделі роботи залізничної станції при виконанні поїзної роботи з елементами штучного інтелекту. Згідно з цим було сформовано цільову функцію (27), яка відповідає вибору колії приймання або пропуску вантажного поїзда за умови досягнення мінімальних експлуатаційних витрат

$$Q(m) = t_{np}^{ex} \cdot m \cdot c_{\theta-\epsilon} + t_{ex} \cdot m \cdot c_{\theta-\epsilon}^p + t_{np} \cdot m \cdot c_{\theta-\epsilon} + t_p \cdot m \cdot c_{\theta-\epsilon} + t_l^{MAN} \cdot c_{l-\epsilon}^{MAN} + m_{фор} \cdot c_{\theta-\epsilon} \cdot \int_{t_{поч}}^{t_{зак}} f(t_{нак}) dt_{нак} \rightarrow \min \quad (27)$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} m_{норм} \leq m \leq m_{ок}, \\ t_{np}^{ex} = 0, \\ t_{ex} \leq \frac{l_{ex}^{min}}{V_{ex}}, \\ t_p \leq t_{норм}, \\ t_l^{MAN} \leq t_l^{норм} \end{cases} \quad (28)$$

де t_{np}^{ex} - час простою вагона у вхідного сигналу, год; $c_{\theta-\epsilon}$ - вартість однієї вагоно-години простою, грн; m - склад поїзда, ваг; t_{ex} - час слідування поїзду від вхідного світлофору станцій на колію приймання або пропуску, год; $c_{\theta-\epsilon}^p$ - вартість однієї вагоно-години в русі, грн; t_{np} - простій вагонів на станції (в очікуванні обробки, під обробкою, міжопераційні простої), год; t_p - час на розформування поїзда, год; t_l^{MAN} - час роботи маневрового локомотива, що припадає на розформування одного поїзда, год; $c_{l-\epsilon}^{MAN}$ - вартість однієї години роботи маневрового локомотива, грн; $m_{фор}$ - кількість вагонів у складі поїзда, що формується на станції (швидкість накопичення залежить від кількості вагонів у поїздах, що прибувають); $t_{поч}$ - початок процесу накопичення поїзду, год; $t_{зак}$ - час закінчення процесу накопичення поїзда, год; $m_{норм}$ - нормативна довжина поїзда, ваг; $m_{ок}$ - довжина поїзду, регламентована максимальною довжиною колії приймання певної станції, ваг; l_{ex}^{min} - мінімальна відстань, яку має проїхати поїзд для зайняття колії приймання, км; V_{ex} - швидкість входу поїзда на станцію, км/год; $t_l^{норм}$ - нормативний час роботи маневрового локомотива, лок/год.

Слід зауважити, що окрім економічної доцільності при виконанні поїзної роботи на станції, оперативні робітники (чергові по станції) повинні в першу чергу керуватися умовами безпечної експлуатації, параметри якої було визначено в 4-му розділі. Таким чином, подальше моделювання та вирішення задачі формування моделі визначення раціональної колії для поїзда при дотриманні умов безпеки з урахуванням умов з попереднього розділу буде базуватися на основі врахування таких факторів: 1. Вільності колій парку приймання (x_1). 2. Місткості колії (x_2). 3. Категорії поїзда (x_3). 4. Призначення поїзда (парний або непарний напрямок у випадку зупинки поїзда на станції з подальшим його відправленням у тому ж складі, а при подальшому розформуванні необхідно враховувати призначення вагонів у складі поїзда згідно з планом формування по коліях сортувального парку) (x_4). 5. Наявності в складі поїзду певних напрямків і категорій вагонів з небезпечним та негабаритним вантажем (x_5). 6. Виконання операцій з посадки-висадки пасажирів та одночасному пропуску по суміжній (з боку пасажирської будівлі) колії вантажного поїзда (x_6).

Для побудови загальної моделі роботи залізничної станції при виконанні поїзної роботи за умови врахування економічної доцільності та безпеки руху обрано апарат нейронних мереж, який дозволяє при певних умовах забезпечити ефективне та безпечне управління об'єктами залізничного транспорту з можливістю подальшого пристосування під мінливі експлуатаційні умови.

Відповідно до цього поточний стан нейрона в загальному вигляді може визначатися для поставленої задачі як

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + b, \quad (29)$$

де x_i - чисельна характеристика об'єкта на залізничній станції; n - кількість станційних об'єктів, які беруть участь у виконанні поїзної роботи; w_i - синаптичні зв'язки або вага відповідного синаптичного зв'язку; b - чисельне значення зміщення.

Виходом нейрона є функція його стану

$$Y = f(S). \quad (30)$$

У даній роботі для побудови комплексної моделі роботи залізничної станції при виконанні поїзної роботи побудовано нейронну мережу з двома прихованими шарами (рис. 5).

Для забезпечення навчання побудованої моделі використано метод – навчання з вчителем, при якому на вхід подається вектор множини значень X , які характеризують поточний поїзний стан парку залізничної станції та рухомий склад

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}. \quad (31)$$

Поряд з визначенням вхідного вектора необхідно задати вихідний вектор значень у вигляді

$$Y = \{Y_1, Y_2\}, \quad (32)$$

де Y_1 - значення, яке відповідає певному парку прибуття поїзда (транзитний, приймальний або відправний); Y_2 - значення, яке відповідає номеру колії приймання в парку, визначеному значенням Y_1 .

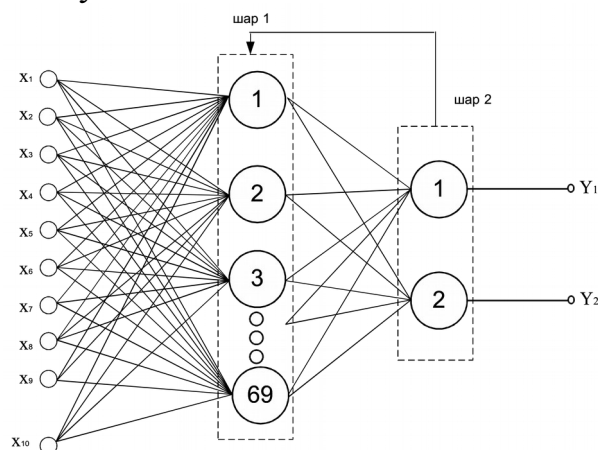


Рис. 5. Двошарова рекурентна нейронна мережа для визначення колії приймання поїзда на залізничну станцію

Виходячи з поставленої задачі, побудовано відображення $X \rightarrow Y$ таке, щоб на кожний можливий вхідний сигнал X формувалася правильний вихідний сигнал Y . Відображення задано кінцевим набором пар по типу - $(\langle \text{вхід} \rangle, \langle \text{відомий вихід} \rangle)$

$$X \rightarrow Y = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle \rightarrow \langle Y_1, Y_2 \rangle = (\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle, \langle Y_1, Y_2 \rangle). \quad (33)$$

У даній роботі використано метод двійкового кодування, який дозволяє (при навчанні нейронної мережі) зменшити навантаження на технічні пристрої обчислення при врахуванні значного числа параметрів, які характеризують стан колій і поїзда, який надходить на станцію приймання або безупинного пропуску.

Перш ніж безпосередньо перейти до навчання нейронної мережі на прикладах, які передбачають дотримання умов безпечної експлуатації, необхідно провести її тренування на основі вимог цільової функції (27). Для цього необхідно передбачити умову вільності всіх колій станції.

Після завершення процедури навчання нейронної мережі було сформовано тестовий робочий інтерфейс, який на основі введених параметрів колій відповідних парків станції Основа Південної залізниці та характеристики поїзда, що прибуває на станцію, надає рекомендації черговому по станції про раціональну колію приймання на основі врахування факторів безпеки та економічної доцільності.

Таким чином, було сформовано комплексну модель інтелектуальної автоматизованої системи управління процесом визначення раціональної колії приймання поїздів різних категорій, яка в оперативному режимі надає можливість черговому по станції визначити відповідний парк (приймання, транзитний, відправлення...) та необхідну колію приймання або пропуску за умови забезпечення безпеки руху.

Логічним продовженням запропонованої інтелектуальної технології управління поїзною роботою черговим по станції є формування технології управління експлуатаційною роботою станції, яка пов'язана з просуванням поїздів по дільницях і призначена для роботи на автоматизованих робочих місцях маневрового та поїзного диспетчерів.

У шостому розділі вирішується задача формування інтелектуальної технології просування поїздопотоків на полігонах залізниць. Реалізація поставленої задачі ґрунтується на формалізації процедур, основною задачею яких є зменшення впливу людського фактора при прийнятті оперативних рішень щодо просування поїздопотоків по дільницях.

Відповідно до цього вирішено слабкоструктуровану задачу формалізації процедури визначення пріоритету закінчення формування вантажних поїздів в термінах нечіткої логіки за умови досягнення мінімальних експлуатаційних витрат

$$P(m_i^v, n, \Delta r, \Delta v) \Rightarrow (\cup(m_i^v \cap n \cap \Delta r \cap \Delta v) = \tilde{\alpha}_y^p) \rightarrow \min, \quad (34)$$

де m_i^v - множина параметрів, які відповідають загальній кількості вагонів i -го призначення, які перебувають на станції і на підходах до неї, ваг; n - множина параметрів, які відповідають за число поїздів, що необхідно розформувати для накопичення одного поїзда певного призначення; Δr_i - множина параметрів, які відповідають за значення відхилення часу прибуття локомотива під состав r_i (у конкретному випадку визначається з АСК ВП УЗ) від часу закінчення формування поїзда $r_{ок}$, год; Δv_{pr} - множина параметрів, які відповідають за значення відхилення часу закінчення вантажних операцій з вагонами, які перебувають на станції v_{vo} , від часу прибуття вагонів під вантажні операції v_{pr} , год; $\tilde{\alpha}_y^p$ - нечітка підмножина лінгвістичної змінної $\langle z, T_4, R \rangle$

$$\langle z, T_4, R \rangle \rightarrow \langle \text{"Пріоритет"}, T_4, [r_{\min}, r_{\max}] \rangle, \quad (35)$$

де $T_4 = \{ \text{"перший"}, \text{"другий"}, \text{"третій"} \}$; r_{\min}, r_{\max} - область визначення $R = |r|$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує певний пріоритет формування поїздів. Нечітку підмножину $\tilde{\alpha}_b^p$ множини R можна подати у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha}_b^p &= \left\langle \mu_{\tilde{\alpha}_b^p}(r) / r \right\rangle, \quad (r \in R). \\ \langle \text{"перший"}, [e_{\min}, e_{\max}], \tilde{\alpha}_1^p \rangle, & \quad \langle \text{"перший"}, [1,3], \tilde{\alpha}_1^p \rangle, \\ \langle \text{"другий"}, [e_{\min}, e_{\max}], \tilde{\alpha}_2^p \rangle, & \Rightarrow \langle \text{"другий"}, [1,3], \tilde{\alpha}_2^p \rangle, \\ \langle \text{"третій"}, [e_{\min}, e_{\max}], \tilde{\alpha}_3^p \rangle, & \quad \langle \text{"третій"}, [1,3], \tilde{\alpha}_3^p \rangle. \end{aligned} \quad (36)$$

З метою формалізації процедури визначення пріоритету закінчення формування вантажних поїздів параметри умови (34) представлено відповідним набором лінгвістичних змінних з певними ознаками.

$$\langle m_i^v, T, V \rangle \rightarrow \langle \text{"Кількість вагонів"}, T, [g_{\min}, g_{\max}] \rangle, \quad (37)$$

де $T = \{ \text{"група вагонів"}, \text{"поїзд"} \}$; g_{\min}, g_{\max} - область визначення $G = |g|$ відповідної нечіткої змінної, що характеризує величину кількості вагонів, які перебувають у межах станції або на підходах до неї.

$$\langle n, T_1, Q \rangle \rightarrow \langle \text{"Рівень розформування"}, T_1, [q_{\min}, q_{\max}] \rangle, \quad (38)$$

де $T_1 = \{ \text{"мінімальний"}, \text{"середній"}, \text{"максимальний"} \}$; q_{\min}, q_{\max} - область визначення $Q = |q|$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує величину кількості розформованих поїздів, необхідних для накопичення нового состава.

$$\langle \Delta r_i, T_2, W \rangle \rightarrow \langle \text{"наявність локомотива"}, T_2, [w_{\min}, w_{\max}] \rangle, \quad (39)$$

де $T_2 = \left\{ \text{"-недоцільно", "доцільно", "+недоцільно"} \right\}$; w_{\min}, w_{\max} - область визначення $W = \{w\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує часове відхилення часу прибуття поїзного локомотива від середнього значення часу формування поїзда певного призначення.

$$\langle \Delta v_{pr}, T_3, E \rangle \rightarrow \langle \text{"відхилення прибуття"}, T_3, [e_{\min}, e_{\max}] \rangle, \quad (40)$$

де $T_2 = \left\{ \text{"-недоцільно", "доцільно", "+недоцільно"} \right\}$; e_{\min}, e_{\max} - область визначення $E = \{e\}$ відповідної нечіткої змінної, яка характеризує відхилення часових значень прибуття вантажного поїзда на станцію призначення від закінчення вантажних операцій з поїздами, що надійшли раніше.

Після визначення лінгвістичних змінних було побудовано відповідні функції належності, які було покладено в основу формування нечітких правил для створення нечіткої бази знань (на основі алгоритму нечіткого висновку Mamdani). Обраний алгоритм надає можливість отримувати як чисельні, так і лінгвістичні значення пріоритету. Реалізація сформованої моделі надає можливості, в оперативному режимі, визначати пріоритети закінчення формування вантажних поїздів. Однак, у процесі виконання експлуатаційної роботи можуть виникати ситуації, при яких певні призначення будуть отримувати однакові значення пріоритету. Відповідно до цього, з метою деталізації визначення пріоритету, доцільно сформувати математичну модель, в основу якої буде покладено визначення питомих експлуатаційних витрат на основі параметрів, які увійшли до умови (34). Таким чином, було сформовано нечітку оптимізаційну модель

$$C(m_i^v) = \frac{\bar{t}_v^{pr} \cdot c_v \cdot m_s}{\mu_v(m_i^v) \cdot m_i^v} + \frac{\frac{c_{rf} \cdot n}{\mu_{rf}(m_s/n) \cdot \frac{m_s}{n}}}{\mu_v(m_i^v) \cdot m_i^v} + \frac{\mu_l(\Delta r_l) \cdot \Delta r_l \cdot c_v \cdot m_s}{\mu_v(m_i^v) \cdot m_i^v} + \frac{c_v \sum_{l=1}^w \mu_{pr}(\Delta v_{pr}) \cdot \Delta v_{pr} \cdot m_l}{\mu_v(m_i^v) \cdot m_i^v} \rightarrow \min, \quad (41)$$

$$\begin{array}{l} \text{при обмеженнях} \\ \begin{array}{l} \square 0 < m_i^v \leq m_{mic} \\ \square \\ \square n \geq 1 \end{array} \end{array}, \quad (42)$$

де $\mu_v(m_i^v)$ - значення функції належності кількості вагонів, які перебувають на станції і відповідають поняттю – „повноскладний поїзд”; \bar{t}_v^{pr} - середній час простою одного вагона в очікуванні розформування та під накопиченням на станції, год; c_v - витрати на одну годину простою, грн/год; $\mu_{rf}(m_s/n)$ - значення функції належності, яка характеризує ступінь належності значенню співвідношення кількості вагонів, необхідних для накопичення поїзда нового призначення, до кількості поїздів, у яких вони знаходяться, і відповідає поняттю – „раціональне

співвідношення”; c_{rf} - витрати на розформування одного поїзда, год; m_s - кількість вагонів, необхідних для накопичення поїзда нового призначення, ваг; $\mu_l(\Delta r_l)$ - значення функції належності, яка характеризує ступінь належності відхилення часу прибуття поїзного локомотива під состав поїзда від часу закінчення формування поїзда і відповідає поняттю – „несвоєчасне прибуття локомотива”; $\mu_{pr}(\Delta v_{pr})$ - значення функції належності, яка характеризує ступінь належності відхилення часу прибуття вагонів на станцію виконання вантажних операцій до їх початку і відповідає поняттю – „нераціональне прибуття”; m_{vo} - чисельність нової партії вагонів, що надійшли для виконання вантажних операцій, ваг; W - кількість груп вагонів, що прибувають на різні вантажні станції або на адресу різних вантажоотримувачів; m_{mic} - місткість станції, при якій виконується умова її безперебійної роботи, ваг.

Таким чином, було розроблено модель пріоритетного формування поїздів на станції, яка враховує не лише фактори, що належать до категорії технологічних, а також економічні параметри, про що свідчить цільова функція (41). Це робить сформовану модель стійкою по відношенню до мінливих ринкових умов.

Попередня модель передбачає визначення пріоритету формування поїздів на станції з подальшим їх відправленням, але через станцію також можуть проходити транзитні поїзди без переробки. У даному випадку постає задача визначення черговості відправлення поїздів на дільниці серед составів свого формування і транзитів без переробки за умови дотримання техніко-економічної доцільності. Згідно з цим пропонується формалізувати процедуру визначення пріоритетного відправлення поїздів на дільниці за умови отримання раціонального співвідношення елементів параметруа обігу вантажного вагона $Q_{вант}$ при досягненні мінімальних експлуатаційних витрат. Застосовуючи логічну операцію для чітких чисельних значень з використанням принципів узагальнення отримано

$$P(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5) \Rightarrow (\cup(p_1 \cap p_2 \cap p_3 \cap p_4 \cap p_5) = K_y) \rightarrow \min, \quad (43)$$

$$\begin{aligned} & \begin{cases} l = l_b, l_{nor} = 0, \\ L_{mex} \geq 300, t_{mex} \leq t_{norm}, \\ t_b \leq t_H, K_M = 2, \end{cases} \\ \text{за умови} & \end{aligned} \quad (44)$$

де p_1 - множина значень термінів доставки вантажів, год; p_2 - множина вагонів з простроченим терміном в составі поїзда, ваг; p_3 - множина відстаней прямування поїзда, км; p_4 - множина часів на виконання вантажних операцій з вагонами в даному поїзді, год; p_5 - множина часів на переробку на попутних технічних станціях (транзит з переробкою та без переробки), год; K_y - чисельне значення пріоритету щодо порядку відправлення або пропуску поїздів через станцію ($y = 1, 2, 3$

); l_o - повний рейс вагона, км; l_{nop} - порожній рейс, км (відстань, яку проходить вагон від пункту вивантаження до пункту нового навантаження); L_{mex} - вагонне плече (характеризує відстань пробігу вагонів між технічними станціями, на яких відбувається технічне обслуговування), км; t_{mex} - середній простій вагонів на одній технічній станції, год; t_e - середній простій вагона, що приходить на одну вантажну операцію, год; κ_m - коефіцієнт місцевої роботи.

З метою формалізації процедури визначення пріоритету відправлення та проходження вантажних поїздів через станцію, параметри виразу (43) представлено відповідним набором лінгвістичних змінних з певними ознаками

$$\langle p_1, T_1^{id}, A_1 \rangle \rightarrow \langle \text{"строк доставки"}, T_1^{id}, [a_1^{\min}, a_1^{\max}] \rangle, \quad (45)$$

де $T_1^{id} = \{\text{"низький"}, \text{"критичний"}\}$; a_1^{\min}, a_1^{\max} - область визначення базової множини $A_1 = [a_1]$, яка характеризує величину строку доставки вантажу.

$$\langle p_2, T_2^{kw}, A_2 \rangle \rightarrow \langle \text{"кількість вагонів"}, T_2^{kw}, [a_2^{\min}, a_2^{\max}] \rangle, \quad (46)$$

де $T_2^{kw} = \{\text{"мінімальна"}, \text{"максимальна"}\}$; a_2^{\min}, a_2^{\max} - область визначення базової множини $A_2 = [a_2]$, яка характеризує кількість вагонів у складі поїзда з критичним строком доставки.

$$\langle p_3, T_3^{vp}, A_3 \rangle \rightarrow \langle \text{"відстань прямування"}, T_3^{vp}, [a_3^{\min}, a_3^{\max}] \rangle, \quad (47)$$

де $T_3^{vp} = \{\text{"мінімальна"}, \text{"максимальна"}\}$; a_3^{\min}, a_3^{\max} - область визначення базової множини $A_3 = [a_3]$, яка характеризує відстань прямування певного поїзда від станції відправлення до станції призначення або розпилення.

$$\langle \tilde{\alpha}_o^{hw}, T_4^{hw}, A_4 \rangle \rightarrow \langle \text{"час на ВО"}, T_4^{hw}, [a_4^{\min}, a_4^{\max}] \rangle, \quad (48)$$

де $T_4^{hw} = \{\text{"мінімальний"}, \text{"максимальний"}\}$; a_4^{\min}, a_4^{\max} - область визначення базової множини $P_4 = [p_4]$, яка характеризує відсоток часу перебування вантажного вагона під вантажними операціями від загального обігу; $ВО$ - вантажні операції, год.

$$\langle p_5, T_5^{hp}, P_5 \rangle \rightarrow \langle \text{"простій на ТС"}, T_5^{hp}, [a_5^{\min}, a_5^{\max}] \rangle, \quad (49)$$

де $T_5^{hp} = \{\text{"мінімальний"}, \text{"максимальний"}\}$; a_5^{\min}, a_5^{\max} - відповідно мінімальне і максимальне значення базової множини $A_5 = [a_5]$, яка характеризує відсоток часу перебування вантажного вагона на технічних станціях від загального обігу.

Як і у випадку формалізації попередньої процедури, в подальшому формується нечітка база правил та визначається чітке значення пріоритетів відправлення поїздів

зі станції (визначені процедури виконуються на основі використання алгоритму нечіткого висновку Sugeno).

Слід зауважити, що сформована модель може бути використаною при визначенні пріоритету для безупинного пропуску, схрещення або обгону поїздів як на одноколійних лініях так і на двоколійних, з урахуванням відхилення часу проходження від нормативного графіка руху.

Для ефективного функціонування формалізованих процесів та моделей у подальшому необхідно сформувати комплексну інтелектуальну технологію на основі розподіленої системи підтримки прийняття рішення оперативним персоналом.

Сьомий розділ присвячено синтезу розроблених моделей та формуванню технології автоматизованого оперативного управління перевізним процесом на основі розподіленого штучного інтелекту. Для досягнення цієї мети передбачено, що всі розроблені інтелектуальні модулі управління оперативною роботою будуть функціонувати в середовищі розробки та реалізації оперативних планів роботи.

Використовуючи основні принципи системного підходу, було сформовано загальну умову отримання синергетичного ефекту E_c від синтезу розроблених моделей та формалізованих процедур

$$E_c = \Delta N \cup R \cup Q(m) \cup S \cup P \cup C \cup K, \quad (50)$$

де ΔN - модель визначення оптимальних параметрів оперативного плану; R - модель визначення оптимального виконання плану місцевої роботи; $Q(m)$ - модель визначення оптимальних параметрів економічної доцільності прийняття поїздів на залізничну станцію; S - модель на основі нейронної мережі щодо визначення раціональної колії приймання поїзда за умови дотримання параметрів безпечної експлуатації; P - модель пріоритетного формування поїздів; C - модель визначення мінімальних приведених витрат щодо пріоритетного формування поїздів; K - модель визначення пріоритетного відправлення поїздів на дільниці.

З метою синтезу сформованих моделей та визначення рівня зміни основних показників експлуатаційної роботи було проведене комплексне моделювання. У результаті імітації роботи комплексної інтелектуальної моделі оперативного управління поїздопотокami на полігонах Південної та Донецької залізниці було досягнуто: зменшення простою вантажного вагона на проміжних та вантажних станціях під накопиченням на 31 %; скорочення часу простою вагонів в очікуванні локомотива, на 56 %; скорочення часу простою вагонів біля вхідних сигналів на 75 %; скорочення часу простою локомотивів біля вхідних сигналів на 50 %; скорочення часу від розгонів-уповільнень поїздів після зупинки біля вхідних сигналів на 84 %; скорочення часу простою локомотива в очікуванні закінчення формування состава на 62 %; скорочення простою вантажного вагона на технічних станціях під накопиченням на 19 %; скорочення простою вантажного вагона на станціях в очікуванні вантажних операцій на 80 %; скорочення терміну доставки вантажу на 18 %; скорочення основного комплексного показника – обігу вантажного вагона на 18 %. При впровадженні сформованої технології інтелектуального автоматизованого оперативного планування та управління поїздопотокami було отримано загальну

економію за рахунок досягнення синергетичного ефекту на полігоні Південної залізниці у розмірі 10715956,32 грн/р.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено наукову проблему формування моделей і методів комплексної інтелектуальної автоматизованої технології оперативного управління поїздопотоками на всіх структурних рівнях Укрзалізниці, які, на відміну від існуючих, дозволяють оптимізувати процеси, пов'язані з плануванням експлуатаційної роботи та просуванням поїздів при забезпеченні високого рівня безпеки і економічної доцільності на основі імітації процесів когнітивної діяльності людини.

На основі проведених у роботі досліджень можна констатувати:

1. Проведено статистичні дослідження основних показників експлуатаційної роботи підрозділів Укрзалізниці, в результаті яких визначено, що простій вагона на одній технічній станції з 2005 року збільшився на 2,75 години, що становить майже 30 %; простій під однією вантажною операцією з 2005 року збільшився на 15,39 години, що становить близько 40 %; час обігу вантажного вагона збільшився на 31 %. Визначені негативні тенденції свідчать про недосконалість існуючих технологій оперативного управління поїздопотоками, які фактично базуються на технологіях, сформованих для роботи в умовах планової економіки. Ці технології орієнтовані, як правило, на виконання кількісних і якісних показників роботи підрозділів залізничного транспорту з мінімальним дотриманням вимог клієнтів. При цьому на процес перевезення в таких умовах має значний вплив людський фактор, який у своїй більшості негативно відбивається на раціональності використання технічних та людських ресурсів.

2. Проведено аналіз існуючих наукових підходів щодо удосконалення технологій оперативного управління перевізним процесом у результаті якого було визначено два основні напрямки, які принципово відрізняються способами реалізації. До першого, класичного, можна віднести способи, в яких практично відсутні інтелектуальні підходи при тому, що в технологічному аспекті спостерігається щільний взаємозв'язок певних технологічних елементів, з яких складається робота оперативного персоналу при просуванні поїздопотоків. До другого напрямку належать способи, які мають під собою інтелектуальну основу, що надає можливість більш якісно використовувати ресурси автоматизованих систем при отриманні раціональних рішень. На даний момент ці напрямки в результаті не дають можливості сформулювати загальну технологію оперативного управління поїздопотоками.

3. Проведено аналіз діючих автоматизованих систем управління перевізним процесом, які експлуатуються на території України і за кордоном, у результаті якого було визначено основні їх недоліки, пов'язані з тим, що фактично всі вони мають інформаційно-довідковий характер. Було зазначено, що незважаючи на те, що в певних випадках негативний вплив на виконання кількісних і якісних показників обумовлений людським фактором, логіка прийняття рішень людини дозволяє узагальнювати на перший погляд незалежні показники і надавати наближені

рішення, які є в окремих ситуаціях найбільш раціональними. Діючий комплекс автоматизованих засобів не дозволяє якісно обробляти вхідну інформацію з подальшим наданням найбільш доцільних стратегій вирішення поставлених задач, що робить прийнятну систему оперативного управління поїздопотокami не відповідною сучасному рівню та потребам галузі.

4. Сформовано оптимізаційну модель розрахунку оперативного плану поїзної роботи залізничної станції, в основу якої покладені формалізовані процедури визначення нечітких вхідних параметрів поїзної роботи. Визначено, що адекватне функціонування моделі забезпечується при досягненні значень нечіткої вихідної змінної за всіма вхідними параметрами в межах $[0.9,1]$;

5. Розроблено модель визначення варіанта оперативного плану місцевої роботи на основі застосування генетичного алгоритму, яка забезпечує раціональне використання технічних засобів та людських ресурсів. Модель характеризується порівняною простотою реалізації і ефективністю при функціонуванні в реальних умовах.

6. Сформовано критерій безпечного управління поїзною роботою на залізничній станції і розроблено метод визначення його основних параметрів, що надає можливість оцінити рівень безпеки при виконанні поїзної роботи людиною-оператором без застосування автоматизованих засобів управління поїзною роботою на лінійних підрозділах Укрзалізниці при врахуванні діючої класифікації транспортних подій.

7. Розроблено комплексну модель роботи залізничної станції при виконанні поїзної роботи, в основу якої покладено принципи самонавчання на базі нейронних мереж, яка дозволяє після здійснення процедури навчання використовувати робоче місце чергового по станції як засіб, який забезпечує вибір раціонального та безпечного варіанта прийняття та безупинного пропуску поїздів.

8. На основі проведеного дослідження було встановлено основні параметри, які впливають на прийняття рішень маневровим та поїзним диспетчером щодо встановлення порядку виконання процесів розформування-формування поїздів на станції. Враховуючи зазначені параметри, було сформовано модель визначення раціональної пріоритетності закінчення формування поїздів. Ця процедура може вважатися основою управління експлуатаційною роботою, пов'язаною з формуванням поїздопотоків.

9. За умови врахування параметрів, які впливають на черговість виконання операцій з розформування-формування, було сформовано нечітку оптимізаційну модель визначення раціональної пріоритетності закінчення формування поїздів. Сформована модель служить економічно-обґрунтованим важелем, який забезпечує прийняття рішення у випадку отримання однакових пріоритетів при формуванні поїздів.

10. На основі дотримання раціонального співвідношення елементів обігу вантажного вагона, формалізовано процедуру визначення пріоритету відправлення вантажних поїздів зі станції. Це дозволяє поїзному диспетчеру в оперативних умовах визначати раціональну послідовність відправлення, безупинного пропуску, схрещення або обгону поїздів по станціях як на одноколійних лініях, так і на двоколійних, з урахуванням відхилення часу прямування від розкладу руху.

11. Використовуючи принципи системного підходу, було проведено процедуру синтезу розроблених моделей, у результаті якої сформовано комплексну інтелектуальну автоматизовану технологію оперативного управління перевізним процесом, яка є основою формування загальної автоматизованої системи на базі принципів розподіленого штучного інтелекту.

12. Синергетичний ефект було досягнуто за рахунок удосконалення інформаційно-керуючої системи Укрзалізниці на основі інтегрування комплексу моделей оперативного управління до автоматизованих робочих місць керівників та оперативних працівників усіх рівнів.

13. Удосконалено процедуру автоматичного надходження оперативних даних до існуючих автоматизованих систем, які використовуються на Укрзалізниці для місцезнаходження рухомого складу шляхом застосування GPS-технологій.

14. Проведено імітаційне моделювання роботи синтезованої інтелектуальної моделі оперативного управління поїздопотоками на полігонах Південної та Донецької залізниці, в результаті якого було отримано такі дані щодо виконання основних експлуатаційних показників: зменшення простою вантажного вагона на проміжних та вантажних станціях під накопиченням на 31 %; скорочення часу простою вагонів в очікуванні локомотива на 56 %; скорочення часу простою вагонів біля вхідних сигналів на 75 %; скорочення часу простою локомотивів біля вхідних сигналів на 50 %; скорочення часу від розгонів-уповільнень поїздів після зупинки біля вхідних сигналів на 84 %; скорочення часу простою локомотива в очікуванні закінчення формування состава на 62 %; скорочення простою вантажного вагону на технічних станціях під накопиченням на 19 %; скорочення простою вантажного вагону на станціях в очікуванні вантажних операцій на 80 %; скорочення терміну доставки вантажу на 18 %; скорочення основного комплексного показника – обігу вантажного вагона на 18 %. При впровадженні сформованої технології інтелектуального автоматизованого оперативного управління поїздопотоками було отримано загальну економію за рахунок досягнення синергетичного ефекту на полігоні Південної залізниці у розмірі 10715956,32 грн/р.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Основні праці:

1. Лаврухін, О.В. Оперативне корегування вагонопотоку в межах існуючого плану формування поїздів / О.В. Лаврухін // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. – К.: Техніка, 2004. – Вип. 58. – С. 221-225.

2. Бутько, Т.В. Принципи створення систем підтримки прийняття рішень на залізничному транспорті / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2005. – Вип. 2. – С. 5-12.

3. Лаврухін, О.В. Оптимізація роботи залізничних підрозділів на основі застосування нейронних мереж / О.В. Лаврухін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2005. – Вип. 3. – С. 20-26.

4. Бутько, Т.В. Нечітка логіка в ситуаційних моделях на залізничному транспорті / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін, О.П. Бочаров // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2005. – Вип. 66. – С. 5-10.

5. Бутько, Т.В. Передумови створення методу розробки плану формування вантажних поїздів на основі систем з можливістю самонавчання/ Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін, О.П. Бочаров // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. – Х., 2006. – Вип. 1. – С. 53-56.
6. Лаврухін, О.В. Застосування апарату нечітких множин для моделювання системи управління роботою залізничного вузла / О.В. Лаврухін, В.В. Петрушов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2006. – Вип. 5. – С. 13-17.
7. Лаврухін, О.В. Розробка моделі системи підтримки прийняття рішень на залізничному транспорті / О.В. Лаврухін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДІТ, 2006. – Вип.11. – С. 84-86.
8. Бутько, Т.В. Удосконалення технології організації перевезень в умовах невизначеності на основі раціонального використання засобів транспорту / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2006. – Вип. 8. – С. 21-29.
9. Ломотько, Д.В. Удосконалення технології використання засобів залізничного транспорту незагального користування на основі створення баз резерву / Д.В. Ломотько, О.В. Лаврухін, В.М. Прохоров, В.І. Панкратов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2007. – Вип. 10. – С. 5-14.
10. Лаврухін, О.В. Розробка моделі формування збірного поїзду в умовах нечіткої вхідної інформації / О.В. Лаврухін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2007. – Вип. 9. – С. 24-30.
11. Лаврухін, О.В. Удосконалення автоматизованих робочих місць оперативного персоналу на базі інформаційно-керуючих систем / О.В. Лаврухін, І.В. Мікулін // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 85. – С. 70-78.
12. Лаврухін, О.В. Удосконалення технології комерційного огляду на сортувальній прикордонній станції / О.В. Лаврухін, Д.В. Козаков // Зб. наук. Праць ІППК. – Х.: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 84. – С. 72-80.
13. Лаврухін, О.В. Принципи удосконалення технології управління маневровою роботою на основі байесових мереж / О.В. Лаврухін, В.М. Прохоров // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2007. – Вип. 11. – С. 21-27.
14. Лаврухін, О.В. Методи удосконалення системи змінно-добового планування на основі теорії нейронних мереж / О.В. Лаврухін, О.П. Бочаров, О.А. Горбачов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2007. – Вип. 12. – С. 25-33.
15. Лаврухін, О.В. Удосконалення технології змінно-добового планування рівня станцій на основі нейронних мереж / О.В. Лаврухін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. – Х., 2008. – Вип. 1. – С. 10-14.
16. Лаврухін, О.В. Імітаційна модель процесу формування поїздів на технічних станціях / О.В. Лаврухін, А.С. Махан // Зб. наук. Праць ІППК. – Х.: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 92. – С. 39-42.
17. Лаврухін, О.В. Удосконалення системи оперативного планування експлуатаційної роботи сортувальної станції / О.В. Лаврухін, Ю.С. Старостіна // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. 13. – С. 12-21.

18. Лаврухін, О.В. Удосконалення оперативного планування роботи вантажної станції в умовах нечіткої вихідної інформації / О.В. Лаврухін, І.О. Левченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна – Дніпропетровськ: ДІТ, 2008. – Вип. 25. – С. 162-164.
19. Бутько, Т.В. Розробка моделі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення по управлінню процесом приймання-відправлення поїздів на залізничній станції / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін, В.М. Прохоров // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. Х., 2008. – Вип. 3. – С. 61-65.
20. Лаврухін, О.В. Удосконалення оперативного планування роботи залізничної станції в умовах нечіткої інформації / О.В. Лаврухін, К.Ф. Таран, Т.В. Тарасенко // Зб. наук. Праць ІППК. – Х.: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 93. – С. 40-47.
21. Лаврухін, О.В. Розробка математичної моделі динамічного аналізу елементів обігу вантажного вагона / О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. 14. – С. 18-26.
22. Лаврухін, О.В. Розробка динамічної моделі визначення категорії поїздів на основі нечіткої логіки / О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. 15. – С. 9-16.
23. Лаврухін, О.В. Розробка системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу залізниць на основі сучасних інформаційних технологій / О.В. Лаврухін, В.М. Прохоров, В.О. Кутومانов // Зб. наук. Праць – Х.: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 93. – С. 40-47.
24. Лаврухін, О.В. Удосконалення технології виконання місцевої роботи диспетчерської дільниці шляхом впровадження автоматизації / О.В. Лаврухін, С.В. Лень // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 112. – С. 115-119.
25. Бутько, Т.В. Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 22. – С. 18-26.
26. Данько, М.І. Удосконалення процесу змінно-добового планування на основі застосування інтелектуальних методів / М.І. Данько, О.В. Лаврухін, Л.І. Рибальченко, В.О. Романчук // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 7-11.
27. Лаврухін, О.В. Формування критерію безпеки для оцінки транспортної події – прийняття поїзда на зайняту колію / О.В. Лаврухін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. – Х., 2011. – Вип. 2. – С. 102-108.
28. Лаврухін, О.В. Формування наукових підходів щодо пріоритетного формування поїздів при застосуванні інтелектуальних методів / О.В. Лаврухін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 24. – С. 11-18.
29. Лаврухін, О.В. Удосконалення оперативного планування поїздоутворенням на залізничній станції в умовах нечіткої інформації / О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко, А.А. Задевалов-Оганесян, П.В. Рудь // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 120. – С. 76-80.

30. Данько, М.І. Оптимізація використання порожнього парку вагонів за допомогою генетичних алгоритмів /М.І. Данько, О.В. Лаврухін, Л.І. Рибальченко // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 7-12.
31. Лаврухін, О.В. Удосконалення системи оперативного планування при вирішенні задачі поїздоутворення в умовах нечіткої вихідної інформації / О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко // Вісник донецької академії автомобільного транспорту, 2011. Вип. 1. С. 42-50.
32. Лаврухін, О.В. Розробка підходів щодо пріоритетного формування поїздів на основі застосування інтелектуальних методів / О.В. Лаврухін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 25. – С. 32-38.
33. Лаврухін, О.В. Визначення цільової функції пріоритетного відправлення вантажних поїздів зі станції / О.В. Лаврухін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2011. – Вип. 2/10 (50). – С. 20-22.
34. Лаврухін, О.В. Визначення економічних параметрів цільової функції пріоритетного відправлення вантажних поїздів / О.В. Лаврухін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. – Вип. 3/3. – С. 29-31
35. Лаврухін, О.В. Формування моделі визначенні раціональних варіантів пропуску поїздів по дільниці / О.В. Лаврухін, С. Мартіросян // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. – Вип. /3 (52) – С. 35-37
36. Лаврухін, О.В. Визначення технологічних параметрів цільової функції пріоритетного відправлення вантажних поїздів / О.В. Лаврухін // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2011. – Вип. 23. – С. 91-95.
37. Лаврухін, О.В. Формування основ щодо розробки автоматизованої інтелектуальної системи управління рухом вантажних поїздів на станції / О.В. Лаврухін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. – Х., 2011. – Вип. 3. – С. 3-8.
38. Лаврухін, О.В. Формування підходів щодо реалізації системи підтримки прийняття рішень оперативного управління з розподіленим штучним інтелектом / О.В. Лаврухін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 27. – С. 18-25.
39. Патент 66788 Україна МПК В61L 25/00, В61L 27/00, G06F 7/100, G06N 7/100. Автоматизоване робоче місце поїзного диспетчера / О.В. Лаврухін, Т.В. Бутько, Г.С. Бауліна, Т.В. Головка; заявники і патентоволодарі О.В. Лаврухін, Т.В. Бутько, Г.С. Бауліна, Т.В. Головка – № у 2011 13755; заявл. 22.11.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.
40. Патент 67140 Україна МПК В61L 25/00, В61L 27/00, G06F 7/100, G06N 7/100. Автоматизована система визначення пріоритетів поїздів при їз відправленні з залізничних станцій / О.В. Лаврухін, Т.В. Бутько, Т.О. Костиркіна, Л.І. Рибальченко; заявники і патентоволодарі О.В. Лаврухін, Т.В. Бутько, Т.О. Костиркіна, Л.І. Рибальченко – № у 2011 05425; заявл. 28.04.2011; опубл. 10.02.2012, Бюл. №3.

Праці апробаційного характеру:

41. Розробка моделі оперативного корегування поїздоутворення в умовах функціонування міжнародних транспортних коридорів / М.І. Данько, О.В. Лаврухін, Ю.А. Рябушка, Т.Т. Берестова // Тези доповідей 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції [„Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України”]. Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків, 2006. – Вип. 14. – С. 5-6.

42. Удосконалення автоматизованих робочих місць оперативного персоналу на базі інформаційно-керуючих систем / О.В. Лаврухін, І.В. Мікулін // Тези доповідей, Першої міжнародної конференції [„Ресурсозберігаючі технології в експлуатації засобів транспорту в умовах реформування залізниць України”]. 22-25 травня. – Харків, 2007. – С. 6.

43. Удосконалення технології використання засобів залізничного транспорту незагального користування з використанням кластерного аналізу / Д.В. Ломотько, О.В. Лаврухін, В.М. Прохоров, В.І. Панкратов // Матеріали Другої Міжнародної науково-практичної конференції [„Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті 2007”]. – Київ, 2007. – С. 242-244.

44. Удосконалення технології розподілу вагонів на основі автоматизації процесів змінно-добового планування / О.В. Лаврухін // Тези доповідей 4-ї Міжнародної науково-практичної конференції [„Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України”]. Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків, 2008. – Вип. 22. – С. 63-64.

45. Питання удосконалення оперативного планування роботи вантажної станції в умовах нечіткої вихідної інформації / О.В. Лаврухін, І.О. Левченко // Тези міжнародної науково-практичної конференції „Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті” (15.05.08-16.05.08 р.). – Дніпропетровськ, 2008. – С. 16-17.

46. Підходи щодо створення автоматизованої системи управління місцевою роботою з елементами штучного інтелекту / О.В. Лаврухін // Тези доповідей 5-ї Міжнародної науково-практичної конференції „Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України”. Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків, 2009. – Вип. 27. – С. 58.

47. Формування підходів щодо реалізації системи підтримки прийняття рішень оперативного управління з розподіленням штучним інтелектом / О.В. Лаврухін // Матеріали доповідей 24-ї міжнародної конференції [„Перспективні комп’ютерні, керуючі і телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України”]. – Алушта, 2011. – С.126.

48. Формування підходів щодо реалізації системи підтримки прийняття рішень оперативного управління експлуатаційною роботою з розподіленням штучним інтелектом / О.В. Лаврухін // Тези доповідей 7-ї міжнародної науково-практичної конференції [„Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України”]. Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків, 2011. – Вип. 34. – С. 87-88.

49. Формування моделей і методів інтелектуальної автоматизованої технології оперативного планування та управління поїздопотоками / О.В. Лаврухін //

Тези 74-ї міжнародної науково-практичної конференції УкрДАЗТ. – Харків, 2012.– Вип. 129. – С. 258.

Додаткові праці:

50. Лаврухін, О.В. Технологія роботи припортового вузла на основі логістичних принципів / О.В. Лаврухін, М.М. Распутін // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2008. – №92. – С. 54-57.

51. Лаврухін, О.В. Удосконалення технології змінно-добового планування шляхом впровадження автоматизації / О.В. Лаврухін, А.О. Гаркавий, І.В. Скобель // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2010. – №112. – С. 115-119.

52. Данько, М.І. Загальний курс та технології роботи транспорту / Т.В. Бутько, О.В. Березань, В.М. Кулешов, О.В. Лаврухін та ін. – Х.: УкрДАЗТ, 2008. – 302 с.

53. Данько, М.І. Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті / Т.В. Бутько, О.В. Березань, П.В. Долгополов, В.М. Кулешов, Т.Ю. Калашнікова, О.В. Лаврухін та ін. – Х.: УкрДАЗТ, 2009. – 183 с.

54. Лаврухін, О.В. Інформаційні системи та технології при управлінні залізничними перевезеннями / О.В. Лаврухін, П.В. Долгополов В.В. Петрушов, О.М. Ходаківський.– Х.:ТОВ „Компанія СМІТ”, 2011. – 118с.

АНОТАЦІЯ

Лаврухін О.В. Формування моделей і методів інтелектуальної технології оперативного управління поїздопотокками. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. – Українська державна академія залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Харків, 2012.

Дисертацію присвячено вирішенню наукової проблеми формування моделей і методів інтелектуальної технології оперативного управління поїздопотокками. З цією метою, дотримуючись принципів системного підходу, було сформовано ряд моделей і методів, які адекватно відтворюють процеси ефективного виконання експлуатаційного процесу роботи при плануванні та просуванні поїздопотоків по підрозділах залізниць України. В основу сформованого комплексу моделей покладено умови імітації когнітивної діяльності людини при прийнятті оперативних рішень щодо виконання технологічного процесу роботи, пов'язаного з плануванням та просуванням поїздопотоків. Ці умови досягнуто за рахунок використання: апарату нечіткої логіки для врахування нечіткості вхідної оперативної інформації при плануванні та просуванні поїздопотоків; апарату нейронних мереж, використання якого дозволило сформувати модель безпечного та ефективного виконання поїзного процесу на залізничних станціях з можливістю подальшого самонавчання (приспосовування до мінливих умов експлуатації); апарату генетичного алгоритму,

використання якого дозволило оптимізувати роботу рухомих одиниць транспорту при виконанні місцевої роботи дільниць.

Для досягнення синергетичного ефекту було сформовано структуру оперативного управління залізничним транспортом з розподілим штучним інтелектом, яка включає в себе основні підрозділи залізничного транспорту, пов'язані з формуванням та просуванням поїздопотоків. Проведено імітаційне моделювання роботи синтезованої інтелектуальної моделі оперативного управління поїздопотоками на полігонах Південної та Донецької залізниці, в результаті якого було отримано такі дані щодо виконання основних експлуатаційних показників: зменшення простою вантажного вагона на проміжних та вантажних станціях під накопиченням на 31 %; скорочення часу простою вагонів в очікуванні локомотива на 56 %; скорочення часу простою вагонів біля вхідних сигналів на 75 %; скорочення часу простою локомотивів біля вхідних сигналів на 50%; скорочення часу від розгонів-уповільнень поїздів після зупинки біля вхідних сигналів на 84 %; скорочення часу простою локомотиву в очікуванні закінчення формування складу на 62 %; скорочення простою вантажного вагону на технічних станціях під накопиченням на 19 %; скорочення простою вантажного вагона на станціях в очікуванні вантажних операцій на 80 %; скорочення терміну доставки вантажу на 18 %; скорочення основного комплексного показника – обігу вантажного вагона на 18 %. При впровадженні сформованої технології інтелектуального автоматизованого оперативного планування та управління поїздопотоками було отримано загальну економію за рахунок досягнення синергетичного ефекту на полігоні Південної залізниці у розмірі 10715956,32 грн/р.

Ключові слова: оперативний план, поїзна робота, нечітка модель, управління поїздопотоками, нейронна мережа, генетичний алгоритм, розподілений штучний інтелект, місцева робота, система підтримки прийняття рішень, автоматизована система управління, синергетичний ефект.

АННОТАЦІЯ

Лаврухин А.В. Формирование моделей и методов интеллектуальной технологии оперативного управления поездопотоками. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины, Харьков, 2012.

Диссертационная работа посвящена решению научной проблемы формирования моделей и методов интеллектуальной технологии оперативного управления поездопотоками. С этой целью, основываясь на принципах системного подхода, был сформирован ряд моделей, которые адекватно отображают процессы рационального выполнения эксплуатационного процесса работы при планировании и продвижении поездопотоков по подразделениям железных дорог Украины. В основу сформированного комплекса моделей и формализованных процедур положены принципы имитации когнитивной деятельности человека при принятии оперативных решений. Таким образом, на основе нечеткой логики была

сформирована оптимизационная модель оперативного планирования поездной работы железнодорожной станции. Разработана модель определения рационального варианта выполнения плана местной работы на основе применения эволюционных методов расчета, которая, в отличие от существующей технологии, позволяет обеспечить рациональный режим обслуживания железнодорожных станций участка локомотивами. Сформирован параметр безопасного управления движением поездов на железнодорожной станции, который позволил оценить уровень безопасности при выполнении поездной работы человеком-оператором без применения автоматизированных средств управления поездной работой. Разработана модель работы железнодорожной станции при выполнении поездной работы, в основу которой положены принципы самообучения на базе нейронных сетей. Для согласованной работы маневрового и поездного диспетчеров формализованы процедуры определения рациональной приоритетности выполнения операций с поездами.

Синергетический эффект был получен за счет усовершенствования информационно-управляющей системы Укрзалізнични на основе интегрирования комплекса моделей оперативного управления в автоматизированные рабочие места руководителей и оперативных работников всех уровней.

В результате проведения процедуры моделирования на полигонах Южной железной дороги синтезированной комплексной модели оперативного управления поездопотоками получены следующие результаты: уменьшен простой грузового вагона на промежуточных и грузовых станциях под накоплением на 31 %; сокращено время простоя вагона в ожидании локомотива на 56 %; сокращено время простоя вагонов у входных сигналов на 75 %; сокращено время простоя локомотива у входных сигналов на 50 %; сокращено время от разгонов-замедлений поездов после остановки у входных сигналов на 84 %; сокращено время простоя локомотива в ожидании окончания формирования состава на 62 %; сокращено время простоя грузового вагона на технических станциях под накоплением на 19 %; сокращен простой грузового вагона на станциях в ожидании грузовых операций на 80 %; сокращен срок доставки груза на 18 %; достигнуто сокращение основного комплексного показателя – обращения грузового вагона на 18 %. При внедрении сформированной технологии интеллектуального оперативного управления поездопотоками была получена общая экономия за счет достижения синергетического эффекта на полигоне Южной железной дороги в размере 10715956,32 грн/г.

Ключевые слова: оперативный план, поездная работа, нечеткая модель, управление поездопотоками, нейронная сеть, генетический алгоритм, распределенный искусственный интеллект, местная работа, система поддержки принятия решений, автоматизированная система управления, синергетический эффект.

THE SUMMARY

Lavrukhin O. The forming of models and approaches of intelligent technologies of operational management of railway traffic. – manuscript.

Dissertation for the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.22.01 – transport systems. – Ukrainian State Academy of Railway Transport, Ministry of Education, Youth and Sports of Ukraine, Kharkov, 2012.

The thesis is devoted to solving scientific problems of forming models and intelligent technologies of operational management of railway train traffic. For this purpose, following the principles of a systems approach, the number of models and methods that adequately reflect the effective implementation of the operational processes of the planning and promoting of railway train traffic through railways of Ukraine was formed.

In basis of formed complex of models the terms of imitation of cognitive activity of man are fixed at the acceptance of operative decisions, in relation to implementation of technological process of work related to planning and advancement of train traffics. These terms were attained due to the use of fuzzy logic for taking into account of uncertainty of incoming operative information at planning and advancement of train traffic; to neural networks, the use of that allowed to form the model of safe and effective implementation of train process with possibility of the further self-training (adaptation is to the changeable external environments); to genetic algorithm, the use of that allowed to optimize using of movable units of transport for implementation of local work of areas.

For the achievement of synergetic effect the structure of operative management a railway transport was formed with the up-diffused artificial intelligence, that includes for itself basic subdivisions of railway transport related to forming and advancement of train traffic. The imitation design of work of the synthesized intellectual operative case of train traffics frame is conducted on the grounds of the South and Donetsk railway as a result of that next data were got in relation to implementation of basic operating indexes: reduction to the outage of freight carriage on the intermediate and freight stations under an accumulation on 31 %; reduction of time of outage of carriages in expectant of locomotive, on 56 %; reduction of time of outage of carriages is near entrance signals on 75 %; reduction of time of outage of locomotives near entrance signals, 50 %; reduction of time from accelerations-decelerations of trains after a stop near entrance signals on 84 %; reduction of time of outage of locomotive is in expectant of completion of forming of train on 62 %; reduction of outage of freight carriage on the technical stations under an accumulation on 19 %; reduction of outage of freight carriage on the stations in expectant of freight operations on 80 %; reduction of term of delivery to the load is on 18 %; reduction of basic complex index - turnover of freight carriage on 18 %. At introduction of the formed technology of the intellectual automated operative planning and management of train traffic a general economy was got due to the achievement of synergetic effect on the ground of the South railway in size 10715956,32 of UAH per year.

Keywords: operative plan, train work, fuzzy model, management of train traffics, neural network, genetic algorithm, up-diffused artificial intelligence, local work, system of support of making decision, decision support systems, synergistic effect.