

УДК 656.222.5.6

О. О. БАРДАСЬ^{1*}

1* Каф. «Транспортні вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта bardas_oleksandr@ukr.net, ORCID 0000-0001-8772-9328

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ ПОЇЗНОЮ РОБОТОЮ ПАРКУ ПРИЙМАННЯ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Мета. Метою даної роботи являється удосконалення нейромережевої моделі вибору колії приймання поїзда на сортувальну станцію за рахунок декомпозиції нейронної мережі на сукупність взаємопов'язаних блоків, кожен із яких вирішує окреме елементарне завдання. **Методика.** Модель вибору колії приймання поїзда сформовано на основі штучної нейронної мережі. Формування вектора входних параметрів пропонується виконувати на основі даних АСК ВП УЗ-С. З метою спрощення процедури навчання нейромережевої моделі пропонується виконати декомпозицію нейронної мережі із виділенням блоку прогнозування руху, блоку прогнозування звільнення колій парку приймання та блоку визначення ступенів пріоритетності колій приймання. **Результати.** Представлена удосконалена нейромережева модель дозволяє враховуючи прогноз прибуття поїздів та прогноз розвитку ситуації в парку приймання, визначати раціональні колії для приймання поїздів. За рахунок виділення окремих елементарних завдань, що вирішуються нейромережевою моделлю, був виконаний поділ суцільної нейронної мережі на окремі блоки, кожен із яких відповідальний за окреме завдання. **Наукова новизна.** Наукова новизна роботи полягає в спрощенні процедури навчання нейромережевої моделі вибору колії приймання поїзда на сортувальну станцію, що досягається за рахунок декомпозиції нейронної мережі на окремі блоки, кожен із яких вирішує окреме елементарне завдання. **Практична значимість.** Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що представлена модель може бути використана при створенні системи підтримки прийняття рішень ДСП парку приймання при виконанні поїзної та маневрової роботи.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, черговий по станції, прогноз прибуття поїздів, система підтримки прийняття рішень.

Вступ

Керування поїзною роботою на сортувальних станціях являється важливим та відповідальним завданням, ефективність вирішення якого значною мірою визначає якість використання станційної інфраструктури та рухомого складу. Основна відповідальність за вирішення цього завдання покладається на чергових по станції. Робота чергового по станції виконується в умовах динамічної зміни поточної ситуації та дуже часто – в умовах певної невизначеності. В зв'язку з цим створення надійних систем підтримки прийняття рішень чергових по станції в цілому та ДСП парків приймання зокрема, являється актуальним і важливим завданням.

Алгоритми та правила формування і прийняття рішень при керуванні поїзною роботою в парках приймання сортувальних станцій відносяться до категорії знань, які важко піддаються формалізації. В такій роботі велике значення має практичний досвід та навіть, деякою мірою, інтуїція, яку з наукової точки зору можна розг-

лядати як проекцію набутого досвіду на поточну ситуацію, в якій знаходиться особа, що приймає рішення. Ці специфічні особливості керування поїзною та маневровою роботою вимагають використання відповідних математичних моделей, методів та підходів при розробці систем підтримки прийняття рішень ДСП. До найбільш перспективних можна віднести продукційні моделі представлення знань [1], моделі на основі нечіткої логіки [2, 3] та на основі штучних нейронних мереж [4, 5].

Одним із найбільш масових завдань, із яким доводиться мати справу ДСП парку приймання сортувальної станції, являється завдання визначення послідовності виконання поїзних та маневрових пересувань, а також завдання вибору колій для приймання і пропуску поїздів. Окремо також можна виділити задачі керування черговістю розформування-формування поїздів [6]. Останні являють собою досить складну проблему, яка до того ж не входить в безпосередню компетенцію ДСП, тому в рамках даної роботи не розглядається.

В даній роботі розглядається завдання раціонального вибору колії приймання поїзда на сортувальну станцію. При цьому алгоритми прийняття рішень ДСП формалізовано на основі штучної нейронної мережі.

Мета

Метою даної роботи являється удосконалення нейромережевої моделі вибору колії приймання поїзда на сортувальну станцію за рахунок декомпозиції нейронної мережі на сукупність взаємопов'язаних блоків, кожен із яких вирішує окреме елементарне завдання.

Методика

Під час вибору колії приймання поїзда, черговий по станції керується деякими правилами, які в цілому спрямовані для забезпечення таких умов:

- приймання та пропуску поїздів без затримок, а також паралельності виконання операцій (з урахуванням розвитку ситуації в майбутньому);
- безпеки руху;
- зменшення витрат енергії, що пов'язані із розформуванням составів та переведенням стрілочних переводів.

Вибір колії приймання поїзда ДСП здійснює в момент його відправлення із сусідньої станції. Враховуючи, що в середньому перегінний час ходу між станціями становить 10-15 хв, рішення доводиться приймати із урахуванням експертного прогнозу розвитку ситуації в парку приймання на глибину до 15 хв.

На коліях приймання із поїздами виконується складний комплекс технологічних операцій із підготовки составів до розпуску та їх розпуску із сортувальної гірки. Для прийняття раціональних рішень щодо приймання поїзда на станцію, ДСП повинен мати прогноз роботи парку приймання на найближчий час. Слід зазначити, що на поточний момент АСК ВП УЗ-Є не забезпечує оперативне планування таким прогнозом. Тому ДСП, як правило, керуючись доступними відомостями та власним досвідом, виконує експертне передбачення розвитку ситуації в парку та обирає відповідно до цього колію приймання поїзда.

У роботі [7] було представлено комплексну нейромережеву модель вибору колії приймання поїзда, що прибуває на сортувальну станцію. В якості вхідних параметрів нейронної мережі використовується максимально широкий діапазон факторів впливу відповідно до рекомендацій [8]:

– категорія поїзда (у розформування, транзитний, транзитний з частковою переробкою, пасажирський, ін.);

– ознака довгосоставності поїзда;

– ознаки негабаритності вантажів у складі поїзда;

– ознаки небезпечності вантажів у складі поїзда.

Крім цього, у нейромережевій моделі [7] статичні характеристики поїзда, що очікується прибуттям на станцію, були доповнені динамічними характеристиками – очікуваним моментом прибуття та номером підходу прибуття поїзда.

Навчання представленої нейронної мережі виконувалось за допомогою ергатичної моделі роботи ДСП парку приймання сортувальної станції, розробленої на кафедрі станцій та вузлів ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна. Головне вікно програми представлено на рис. 1.

Процедура створення «уроків» для навчання нейронної мережі була покладена на дослідника. В момент надходження запиту на відправлення поїзда із сусідньої станції, імітаційна модель зупинялась і дослідник повинен був, поперше, указати ступінь пріоритетності кожної колії, а по-друге, – приготувати маршрут приймання на колію із найвищим ступенем пріоритету.

Перші ж експерименти виявили істотне обмеження запропонованого підходу до навчання – неприпустимо великі витрати часу для створення «уроків» у достатній кількості. У зв'язку з цим, у даній роботі пропонуються деякі кроки із удосконалення нейромережевої моделі, представленої в [7], з метою спрощення процедури її навчання.

У роботі [7] нейронну мережу вибору колії приймання було представлено у вигляді двох послідовних мереж. Перша із них була призначена для отримання прогнозу прибуття поїздів на станцію [9, 10], а друга – для безпосереднього визначення ступеня пріоритетності кожної колії. Такий принцип декомпозиції пропонується розширити та використати його з метою подальшого подрібнення одного глобального завдання на сукупність елементарних завдань. Таким чином, удосконалена нейромережева модель буде складатися із трьох блоків (див. рис. 2):

– блок прогнозування прибуття поїздів (блок ППП);

– блок прогнозування моментів звільнення колій парку приймання (блок ПМЗК);

– блок безпосереднього визначення ступенів пріоритетності колій (блок ВСПК).

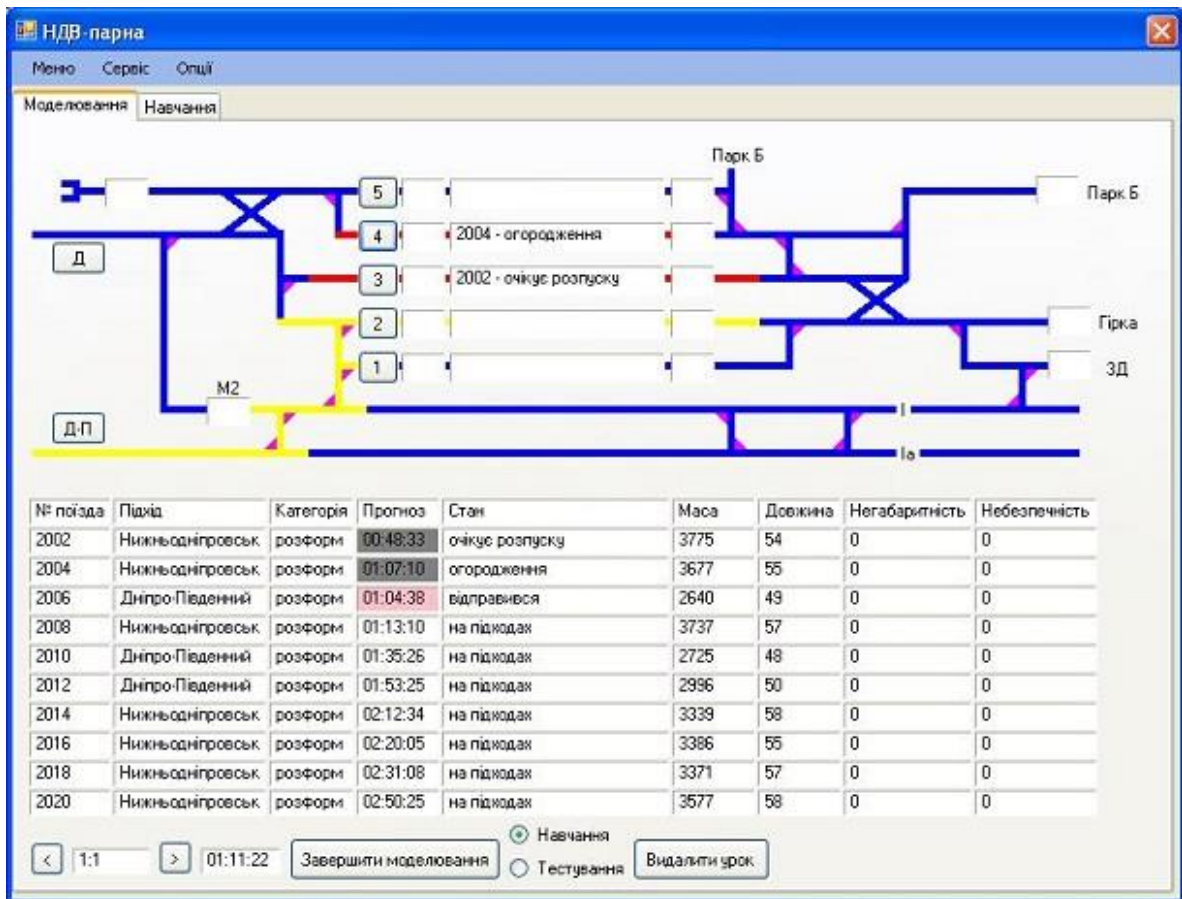


Рис. 1 Головне вікно ергатичної моделі для навчання нейронної мережі

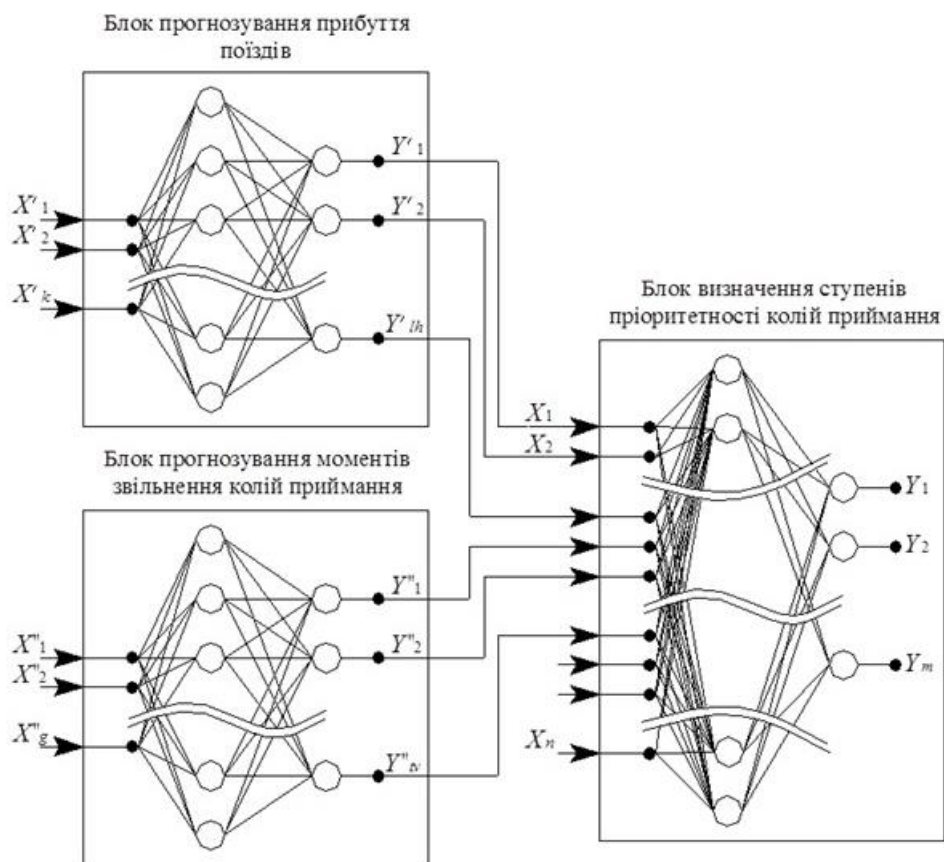


Рис. 2 Архітектура комплексної нейронної мережі вибору колії приймання поїзда

За рахунок такої декомпозиції з'являється можливість виконувати навчання кожного блоку нейронної мережі окремо. За рахунок цього, по-перше, навчання кожного блоку можна виконувати на основі тих факторів, які являються істотними для контекстного завдання, абстрагуючись від необхідності враховувати всі фактори. Це, звісно, спрощує процедуру та тривалість навчання.

По-друге, за рахунок декомпозиції, основний блок нейронної мережі – блок ВСПК, отримує інформацію в більш зрозумілому для кінцевої мети вигляді. Складність при роботі із розподіленим обчисленнями, до яких відноситься нейромережеве моделювання, полягає в тому, що дослідник отримує відповідь на своє запитання, але не отримує пояснення – чому відповідь саме така. Наприклад, нейрони вихідного шару можуть констатувати, що для приймання чергового поїзда слід обрати колію № 2, але пояснення такої відповіді ховається у випадкових поєднаннях синаптичних зв'язків. Очевидно, що більш складні та неочевидні завдання, які вирішуються на основі великої кількості факторів, які, до того ж, не являються факторами прямого впливу, вимагають більш тонкої організації синаптичних зв'язків нейронної мережі. А це, в свою чергу потребує більшої кількості дослідів для створення навчальних «уроків». З огляду на ці міркування, використання блоком ВСПК результатів роботи блоків прогнозування призводить до спрощення завдання і до скорочення потрібного часу на навчання комплексної нейромережевої моделі в цілому.

Вектор вхідних параметрів блоку ППП ви- значається на основі набору факторів, представлених в [9]:

$$\bar{X}' = \{X'_1, X'_2, \dots, X'_k\}. \quad (1)$$

Серед цих факторів можна виділити масу та довжину составів, наявність обмежень у русі поїздів, період доби, кількість поїздів на дільниці та багато інших.

Вихідний шар нейронів блоку ППП формує вектор

$$\bar{Y}' = \{Y'_{11}, Y'_{12}, \dots, Y'_{ij}, \dots, Y'_{lh}\}, \quad (2)$$

де Y'_{ij} – числове значення, що характеризує ймовірність прибуття i -го поїзда в певний проміжок часу, який відповідає j -му інтервалу, $i = 1..l$, $j = 1..h$.

Вираз (2) представляє прогноз прибуття глибиною на l поїздів. Глибина прогнозу поїз-

дів повинна визначатися індивідуально для кожної сортувальної станції. При цьому нейрони вихідного шару повинні бути жорстко закріплені за окремими підходами, з яких прибувають поїзди. Наприклад, для схеми колійного розвитку, що представлена на рис. 1, окрема частина нейронів повинна формувати прогноз прибуття поїздів із підходу Д, а інша частина нейронів повинна формувати прогноз прибуття поїздів із підходу Д-П.

Слід зазначити, що глибина прогнозування прибуття поїздів повинна визначатися із урахуванням особливостей конструкції колійного розвитку парку приймання. Наприклад, схема колійного розвитку парку приймання, показана на рис. 1, дозволяє приймати поїзди із підходу Д на колії № 2 – 5, а із підходу Д-П – лише на колії № 1 – 2. В такій ситуації рішення про приймання поїзда із підходу Д на колію № 2 обов'язково повинно бути обґрунтованим і враховувати прогнозовані моменти прибуття хоча б двох поїздів із підходу Д-П.

Вектор вхідних параметрів блоку ПМЗК описується виразом

$$\bar{X}'' = \{X''_1, X''_2, \dots, X''_g\}. \quad (3)$$

Цей вектор пропонується формувати на основі даних, що максимально повно описують поточну ситуацію в парку приймання. Для цього слід враховувати розміщення поїздів на коліях парку приймання, моменти фактичного прибуття в парк та поточний стан цих поїздів. Слід відмітити, що стан поїзда може визначатися лише тією інформацією, яка є в наявності в автоматизованих системах керування. Фактично в АСК ВП УЗ-Є доступна лише невелика частина потрібної інформації. Ця інформація надходить у вигляді інформаційних повідомлень:

201 – повідомлення про прибуття поїзда;

09 – коректувальне повідомлення, повинно вводитися після завершення технічного огляду;

203 – повідомлення про завершення розформування поїзда.

Вихідний шар нейронів блоку ПМЗК формує вектор

$$\bar{Y}'' = \{Y''_{11}, Y''_{12}, \dots, Y''_{ij}, \dots, Y''_{tv}\}, \quad (4)$$

де Y''_{ij} – числове значення, що характеризує ймовірність звільнення i -ї колії в певний проміжок часу, який відповідає j -му інтервалу, $i = 1..t$, $j = 1..v$.

Навчання блоків ППП та ПМЗК пропонується виконувати на основі статистичних даних

виконаного руху поїздів. Основною перевагою такого підходу являється економія часу на створенні достатньої кількості уроків для навчання нейронної мережі.

Вектор вхідних параметрів блоку визначення ступенів пріоритетності колій приймання формується на основі вихідних векторів (2, 4), та на основі додаткової інформації, яка повинна бути врахована [8]:

- стан зайнятості чи вільності колії;
- категорія поїзда, що знаходиться на колії;
- ознаки негабаритності вантажів у складі поїзда, що стоїть на колії;
- ознаки небезпечності вантажів у складі поїзда, що стоїть на колії.

Із переліченого набору факторів формується вектор вхідних параметрів, який описує стан парку приймання та підходів до сортувальної станції в цілому.

З точки зору теорії розподілених обчислень, задачу вибору колії для приймання поїзда можна віднести до задач класифікації образів або класів. Згідно [11], для задачі класифікації на M класів, в якій об'єднання M класів формує весь простір вхідних сигналів, для представлення всіх можливих результатів класифікації потрібно M виходів. Зважаючи на це, кількість нейронів вихідного шару блоку визначення ступенів пріоритетності колій, визначається кількістю колій приймання та пропуску поїздів. При цьому передбачається, що кожен вихідний нейрон відповідає певній колії парку приймання та генерує сигнал в діапазоні $[0;1]$, який відповідає ступеню доцільності вибору такої колії для приймання чи пропуску поїзда. Таким чином, результатом роботи нейронної мережі вибору колії приймання являється вектор

$$\bar{Y} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}, \quad (5)$$

де m – кількість колій в парку приймання сортувальної станції.

Навчання комплексної нейронної мережі, представленої на рис. 2, пропонується виконувати в два етапи. На першому етапі виконується навчання блоків ППП та ПМЗК. При цьому використовуються статистичні дані виконаного руху поїздів. Для цього за допомогою імітаційної моделі роботи підсистеми розформування, представленої на рис. 1, спочатку виконується імітаційне моделювання руху поїздів без участі дослідника. Потім на основі отриманих статистичних даних формуються так звані «уроки» для навчання нейронної мережі. Кожен урок включає в себе, по-перше, зріз поточної ситуації в момент надходження запиту на відправ-

лення чергового поїзда із сусідньої станції, а по-друге, – правильну відповідь нейронів вихідного шару. Правильна відповідь для нейронів вихідного шару блоку ППП визначається максимально можливим збудженням нейрону, що відповідає певному інтервалу часу протягом якого поїзд фактично з'явиться на станції. Для блоку ПМЗК правильна відповідь визначає інтервал часу протягом якого колія парку приймання буде звільнена.

На другому етапі навчання комплексної нейронної мережі виконується навчання блоку визначення ступеня пріоритетності колій приймання. При цьому імітаційна модель підсистеми розформування повинна використовуватись в якості ергатичної моделі [12]. Це означає, що на даному етапі на дослідника покладається завдання безпосереднього керування процесом вибору колій для приймання поїздів і створення таким чином «уроків» для навчання нейронної мережі. Правила, якими на даному етапі повинна користуватись особа, що виконує моделювання, представлені в [7]. Використання таких правил дозволить виконувати навчання нейронної мережі на більш якісному рівні.

Результати

Представлена удосконалена нейромережева модель дозволяє враховуючи прогноз прибуття поїздів та прогноз розвитку ситуації в парку приймання, визначати раціональні колії для приймання поїздів. При цьому, за рахунок виділення окремих елементарних завдань, що вирішуються нейромережевою моделлю, був виконаний поділ суцільної нейронної мережі на окремі блоки, кожен із яких відповідальний за окреме завдання.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні нейромережевої моделі вибору колії приймання поїзда на сортувальну станцію, що досягається за рахунок декомпозиції нейронної мережі із виділенням взаємопов'язаних блоків, кожен із яких вирішує окреме елементарне завдання. За рахунок такого поділу спрощується процедура створення уроків та навчання нейронної мережі.

Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що представлена модель може бути використана при створенні системи підтримки прийняття рішень ДСП парку приймання при виконанні поїзної та маневрової роботи.

Висновки

Виконані дослідження дозволяють встановити наступні висновки.

1. З метою врахування прогнозу прибуття поїздів на станцію, нейромережеву модель вибору колії приймання поїзда слід сформувати на основі трьох пов'язаних блоків – блоку прогнозування прибуття поїздів, блоку прогнозування моментів звільнення колій парку приймання та блоку безпосереднього визначення ступенів пріоритетності колій.

2. Навчання блоків прогнозування прибуття поїздів та прогнозування моментів звільнення колій парку приймання доцільно виконувати на основі статистичних даних виконаного руху поїздів. За рахунок цього з'являється можливість значно спростити процедуру створення уроків для навчання блоків нейронної мережі.

3. Навчання блоку визначення ступенів пріоритетності колій доцільно виконувати з використанням ергатичної імітаційної моделі підсистеми розформування із залученням дослідника для формування експертних оцінок ступенів пріоритетності колій.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Долгий, И. Д. Динамические модели прогнозирования движения поездов в интеллектуальных системах диспетчерского управления / Долгий И. Д., Криволапов С. В. // Вестник Рост. гос. ун-та путей сообщ. – 2012. № 4. – С. 75-81.

2. Chen, G. Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic and fuzzy control systems / Guanrong Chen, Trung Pat Pham, – New York: CRC Press, 2001. – 316 p.

3. Лаврухін, О. В. Розробка моделі підтримки прийняття рішень на залізничному транспорті / О. В. Лаврухін Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 11. – С. 84-86.

4. Bavarian, B. Introduction to neural networks for intelligent control [Електрон. ресурс] / B. Bavarian // Control Systems Magazine, IEEE. – 1988. – № 6(2). – P. 3-7. – Режим доступу – <http://ieeecs.org/CSM/library/1988/april1988/w03-07.pdf>. – перевірено 12.02.2018.

А. А. БАРДАСЬ

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДНОЙ РАБОТОЙ ПАРКА ПРИЕМА СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Цель. Целью данной работы является усовершенствование нейросетевой модели выбора пути приема поезда на сортировочную станцию за счет декомпозиции нейронной сети на совокупность взаимосвязанных блоков, каждый из которых решает отдельную элементарную задачу. **Методика.** Модель выбора пути прие-

5. Лаврухін, О. В. Формування підходів щодо реалізації системи підтримки прийняття рішень оперативного управління поїздопотоками з розподіленим штучним інтелектом / О. В. Лаврухін // Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – Вип. 8. – С. 88-99.

6. Bardas, O. Influence research of traffic prediction accuracy on effective management of the trains breaking-up order / O. Bardas, I. Skovron, Y. Demchenko and others // Transport Problems. International scientific journal. 2017, Volume 12, Issue 1. – Gliwice, 2017. – P. 151 – 158.

7. Бардась, О. О. Удосконалення інтелектуальних технологій виконання поїзної роботи на сортувальних станціях / О. О. Бардась // Транспортні системи та технології перевезень. – 2016. – Вип. 11. – С. 9-15.

8. Лаврухин, А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы / А. В. Лаврухин // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1(55). – С. 43-53.

9. Вернигора, Р. В. Структура та принципи функціонування прогнозуєної моделі роботи залізничного напрямку / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Транспортні системи та технології перевезень. – 2015. – Вип. 9. – С. 16-22.

10. Вернигора, Р. В. Дослідження ефективності використання нейронних мереж при прогнозуванні прибуття поїздів на технічні станції / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3/3 (75). – С. 23-27.

11. Haykin, S. Neural networks. A comprehensive foundation / S. Haykin, – Hamilton: McMaster University, 2005. – 823 p.

12. Бобровский, В. И. Количественная оценка технико-технологических параметров железнодорожных станций на основе эргатических моделей / В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16 – С. 50-57.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Альошинським Є. С. (Украина)

Надійшла до редколегії 10.10.2018.

Прийнята до друку 15.10.2018.

ма поезда сформирована на основе искусственной нейронной сети. Формирование вектора входных параметров предлагается выполнять на основе данных АСК ВП УЗ-С. С целью упрощения процедуры обучения нейросетевой модели предлагается выполнить декомпозицию нейронной сети с выделением блока прогнозирования движения, блока прогнозирования освобождения путей парка прибытия и блока определения степеней приоритетности путей приема. **Результаты.** Представленная усовершенствованная нейросетевая модель позволяет учитывая прогноз прибытия поездов и прогноз развития ситуации в парке приема, определять рациональные пути для приема поездов. За счет выделения отдельных элементарных заданий, решаемых нейросетевой моделью, было выполнено разделение нейронной сети на отдельные блоки, каждый из которых отвечает за выполнение отдельного задания. **Научная новизна.** Научная новизна работы заключается в упрощении процедуры обучения нейросетевой модели выбора пути приема поезда на сортировочную станцию, которое достигается за счет декомпозиции нейронной сети на отдельные блоки, каждый из которых решает отдельное элементарное задание. **Практическая значимость.** Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что представленная модель может быть использована при создании системы поддержки принятия решений ДСП парка приема при выполнении поездной и маневровой работы.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, дежурный по станции, прогноз прибытия поездов, система поддержки принятия решений.

O. O. BARDAS

IMPROVING THE INTELLIGENCE MODEL OF TRAIN TRAFFIC MANAGEMENT ON ARRIVAL YARDS OF SORTING STATIONS

Purpose. The purpose of this article is to improve the neural network model of the train receiving path selection by neural network decomposition into a set of interrelated blocks, each of which solves an elementary problem. **Methodology.** As a model of selection the train receive path is selected artificial neural network. Formation of the input parameters vector is proposed to be carried out based on data of automated rail traffic management systems. In order to simplify the procedure of the neural network learning, it is proposed to decompose the neural network with the allocation of a arrival prediction unit, the arrival paths release prediction unit and the unit of arrival paths priority determining. **Findings.** Represented complex neural network model allows determining efficient trains arrival paths, taking into account the trains arrival forecast and forecast of the arrival park situation. By separating the elementary tasks solved by the neural network model, the neural network was divided into separate units, each of which is responsible for performing a separate task. **Originality.** The scientific novelty of this work consists in simplifying the neural network learning procedure of the model of train arrival path selecting, which is achieved due to decomposition of the neural network into separate units, each of which solves a separate elementary task. **Practical value.** The practical significance of the results is that the presented model can be used when creating a decision support system chipboard reception at arrival park for supporting train and shunting work.

Keywords: artificial neural network, railway station's dispatcher, forecast of train's arrival, decision support system.