

Для визначення моментів прибуття вантажних поїздів на технічні станції розроблено модуль прибуття, як один із складових прогнозної моделі поїзної роботи напрямку. Модуль побудований на базі нейронної мережі, яка на основі статистичної інформації за попередні періоди та даних про поїзд, отриманих в режимі реального часу, визначає момент прибуття поїзда на станцію

Ключові слова: оперативне планування, прогноз, нейронна мережа, перцептрон, тривалість руху поїзда

Для определения моментов прибытия грузовых поездов на технические станции разработан модуль прибытия, как один из составляющих прогнозных модели поезда работы направления. Модуль построен на базе нейронной сети, которая на основе статистической информации за предыдущие периоды и данных о поезде, полученных в режиме реального времени, определяет момент прибытия поезда на станцию

Ключевые слова: оперативное планирование, прогноз, нейронная сеть, перцептрон, продолжительность движения поезда

УДК 656.212

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.42402

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ПРИБУТТЯ ПОЇЗДІВ НА ТЕХНІЧНІ СТАНЦІЇ

Р. В. Вернигора

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: RomaV1@yandex.ru

Л. О. Єльнікова

Аспірант*

E-mail: elida@i.ua

*Кафедра «Станції та вузли»

Дніпропетровський національний університет

залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна

вул. В. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

1. Вступ

Сучасні умови ведення бізнесу мають швидкоплинний характер, що потребує від підприємців постійного контролю за станом виробництва, напрямками збуту продукції та своєчасністю отримання сировини. Тому ритмічність, злагоженість, а також прогнозованість і інформативність функціонування існуючих логістичних ланцюгів постачання є наразі вкрай важливим для стабільного розвитку бізнесу. Для залізниць, що є одним з лідерів на ринку транспортних послуг України, забезпечення якісної та вчасної доставки вантажів є запорукою конкурентоспроможності та залучення нових клієнтів. Разом з тим, ефективність функціонування залізниць безпосередньо залежить від якості планування її роботи. В першу чергу, це стосується оперативного планування поїзної роботи на залізничних напрямках, яке має базуватись на достовірному прогнозі руху поїздів.

Отримання достовірних прогнозів та розробка на їх основі ефективних оперативних планів роботи, контроль за виконанням цих планів як на рівні лінійних підприємств, так і на рівні залізничних напрямків вимагає застосування потужного математичного апарату та сучасних програмних засобів.

2. Аналіз літературних даних та постановка задачі

Одним з напрямків підвищення ефективності експлуатаційної роботи на залізничних напрямках є удо-

сконалення системи оперативного керування тяговим рухомим складом. З цією метою пропонується створення автоматизованої адаптивної системи оперативного керування роботою локомотивів та локомотивних бригад [1]. Вказана модель включає прогнозну модель залізничного напрямку, яка призначена для визначення моментів готовності вантажних поїздів різних категорій до відправлення та моментів готовності локомотивів та бригад до відправлення з поїздами на технічних станціях, а також розрахунковий модуль, що призначений для розробки найбільш раціонального оперативного плану закріплення локомотивів та бригад до готових до відправлення поїздів

Однією з складових прогнозної моделі напрямку є модуль прибуття поїздів, призначений для визначення моментів прибуття поїздів різних категорій на технічні станції залізничного напрямку на основі інформації про поїзди (час та дата відправлення з сусідньої технічної станції, маса поїзда та тип локомотива тощо). Як зазначалось в [2], використання апарату штучних нейронних мереж є досить новим та перспективним напрямком у сфері оперативного планування роботи залізничного транспорту, в тому числі і при прогнозуванні руху поїздів між технічними станціями.

Апарат штучних нейронних мереж, як один із ефективних сучасних математичних методів аналізу, прогнозування та моделювання складних процесів, використовується в найрізноманітніших сферах виробництва та послуг [3, 4]. Нейромережі знайшли своє застосування як при прогнозуванні показників роботи транспорту, наприклад, обсягів перевезень вантажів

[5, 6], так і при моделюванні роботи залізничного транспорту. Так, автори наукових праць [7, 8] використовують нейронні мережі при прогнозі місцезнаходження рухомих одиниць, автор роботи [9] застосовує нейромережу для визначення раціональної колії приймання або пропуску поїздів в парках технічних станцій.

Наразі існує широкий вибір типів архітектури, правил навчання нейромереж для вирішення різних задач [10, 11]. В якості модуля прибуття поїздів необхідно побудувати таку нейронну мережу, яка б могла на основі інформації за попередні періоди (вибірка для навчання нейромережі) та відомостей про поїзд, отриманих в режимі реального часу, визначити найбільш ймовірний момент прибуття поїзда на технічну станцію.

3. Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є побудова нейронної мережі для розрахунку прогнозованої тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити параметри, які будуть використовуватись у якості вхідного вектора нейромережі та правила формалізації фактичних даних про поїзд до вигляду, прийнятної для функціонування мережі;
- визначити архітектуру нейронної мережі відповідно до задачі, яка покладається на нейромережу;
- перевірити адекватність функціонування модуля прогнозу прибуття поїздів на технічні станції.

4. Вибір типу нейронної мережі для прогнозування часу прибуття поїздів на технічні станції

Одним з основних елементів будь-якої нейронної мережі є вхідний вектор, тож першою задачею є формалізація фактичної інформації про поїзд, момент прибуття якого на технічну станцію необхідно спрогнозувати. Як показали дослідження, окрім постійних факторів (графік руху поїздів, план та профіль колій тощо), на тривалість знаходження вантажного поїзда у дорозі між технічними станціями впливає і ряд змінних параметрів. До таких параметрів, вплив яких є найбільш суттєвим, можна віднести час та дату (день тижня, місяць) відправлення поїзда з сусідньої технічної станції, а також масу поїзда та тип локомотива [12]. Оскільки вказані параметри мають різні одиниці виміру та значне розходження між мінімальним та максимальним значенням одного й того ж параметра (наприклад, маса поїзда), було прийнято рішення про кодування фактичної інформації про поїзд у бінарному вигляді.

При побудові вхідного вектору значення кожного фактору були згруповані по інтервалам певної величини. Так, для кодування часу відправлення поїзда доба була поділена на 8 періодів тривалістю по 3 години кожний ($\Delta t_{\text{відпр}} = 3 \text{ год}$), тобто при відправленні поїзда о 6 год 25 хв, що відповідає 3-му періоду доби, відповідний елемент вхідного вектора має значення «1», а решта – «0» (рис. 1). Аналогічно виконувалось коду-

вання маси поїзда: значення маси поїзда було поділено на інтервали з кроком $\Delta q = 500 \text{ т}$. Дню тижня та місяцю відправлення, а також типу локомотива поставлені у відповідність номери, які відповідали номерам елементів вхідного вектора (рис. 1).



Рис. 1. Приклад кодування вхідного вектора фактичних даних про поїзд

Таким чином, для кодування часу відправлення поїзда використовується 8 елементів вектора, дня тижня – 7, місяця року – 12, маси поїзда – 12, типу локомотива – 4, тобто розмірність вхідного вектора нейронної мережі становить 43 елементи.

Наступним кроком є вибір типу нейромережі, найбільш прийнятної для вирішення поставленої задачі прогнозування моментів прибуття поїздів. Під час виконання дослідження були виконані експерименти з цілим рядом нейромереж різних типів [13–16]. При цьому у якості навчальної вибірки використовувався масив даних з АСК ВП УЗ-Є про тривалість руху вантажних поїздів на залізничному напрямку Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки за 15 діб січня, квітня, червня та вересня 2014 року. Аналіз результатів виконаних експериментів показав, що мережі прямого поширення, в тому числі каскадна нейромережа, мережа Елмана (частково-рекурентна мережа), такі мережі зі зворотними зв'язками як мережа з нелінійною авторегресією та внутрішнім входом, а також мережа з рекурентним шаром дають дуже значну дисперсію отриманого прогнозу відносно фактичних даних. При цьому, різниця між розрахованою та фактичною тривалістю руху на дільниці сягає 1,5 год при середній тривалості руху вантажних поїздів 3,5 год, тобто похибка становить більше 40 %, що ніяк не може вважатись як задовільний результат. Тому було зроблено висновок про невідповідність вказаних типів нейромереж для вирішення поставленої задачі.

Разом з тим, у результаті експериментів з різними нейромережами було встановлено, що найменшу похибку отриманих результатів прогнозу забезпечує перцептрон – нейромережа, структура якої наведена на рис. 2 [17].

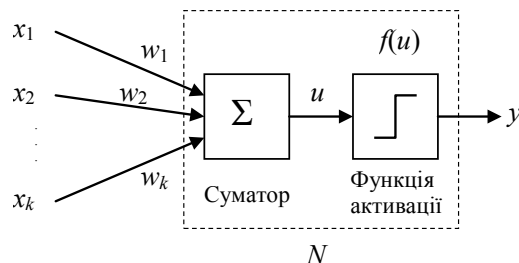


Рис. 2. Структура перцептрона

Тут x_1, x_2, \dots, x_k – вхідні сигнали мережі, кожний з яких характеризується своєю вагою w_1, w_2, \dots, w_k , де k – це розмірність вхідного вектора (в даному випадку

$k=43$). Кількість нейронів N у шарі відповідає кількості поїздів у навчальній вибірці. Суматор Σ виконує обробку вхідних сигналів за формулою [18]:

$$u = \sum_{i=1}^k w_i x_i \quad (1)$$

В якості функції активації перцептронів використовується порогова функція, аргументом якої є змінна u [19]. Активаційна функція має наступний вигляд:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{при } u \leq 0, \\ 0, & \text{при } u > 0. \end{cases} \quad (2)$$

Принцип роботи нейромережі базується на пошуку схожих параметрів відправлення поїздів у навчальній вибірці (базі статистичних даних прогнозової моделі) та формуванні відповідного значення тривалості руху поїзда при пред'явленні вхідного вектору параметрів з фактичними даними про відправлення поїзда.

На рис. 3 наведено алгоритм роботи перцептрона для визначення прогнозного часу прибуття вантажного поїзда на технічну станцію.

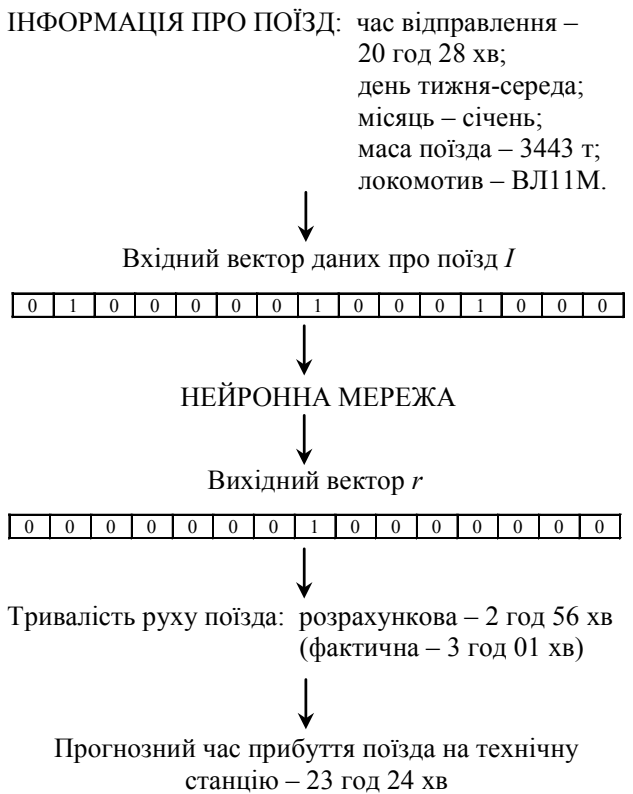


Рис. 3. Алгоритм роботи перцептрона

Як видно, інформація про поїзд кодується та подається на вхід нейронної мережі у бінарному вигляді; результатом роботи нейромережі також є бінарний вихідний вектор, значення якого інтерпретується у тривалість руху поїзда, а потім розраховується прогнозований час прибуття вантажного поїзда на технічну станцію. В даному прикладі розрахункова тривалість руху поїзда менше фактичної (за даними, отриманими з АСК ВП УЗ-Є) на 5 хв, тобто на 3,3 %.

5. Дослідження впливу величини зміни інтервалів при кодуванні маси поїздів та часу відправлення на точність прогнозу

Після вибору типу нейронної мережі для вирішення поставленої задачі та отримання точного прогнозу необхідно встановити найбільш прийнятну величину інтервалів при кодуванні маси поїздів та часу відправлення. Очевидно, що менша величина інтервалу, з одного боку, деталізує вхідну інформацію, що дозволяє отримувати більш точний прогноз, однак, з іншого боку, зменшення величини інтервалу призводить до суттєвого зростання розмірності вхідного вектора, векторів навчальної вибірки i , відповідно, до збільшення обсягів розрахунків та зменшення максимального розміру навчальної вибірки (числа нейронів). Тому була поставлена задача: перше – з'ясувати, чи має місце вплив величини інтервалу при кодуванні маси поїзда та часу відправлення поїзда на якість прогнозу, друге – встановити найбільш раціональні значення величини вказаних інтервалів при забезпеченні достатнього рівня точності прогнозу та прийняттого обсягу розрахунків.

Під час попередніх досліджень кодування маси поїзда при формуванні вхідного вектора виконувалось з інтервалом $\Delta q=500$ т, часу відправлення – з інтервалом $\Delta t_{\text{відпр}}=3$ год. Для встановлення раціональних значень вказаних інтервалів були проведені експерименти при різних значеннях Δq (500 т, 250 т, 100 т, 50 т) та $\Delta t_{\text{відпр}}$ (3 год, 2 год, 1 год, 0,5 год). Результати, отримані в ході проведення експериментів, наведені в табл. 1, в якій вказані: величина зміни інтервалів маси поїзда та часу відправлення з сусідньої технічної станції, розмірність вхідного вектора, максимальне число нейронів мережі при відповідному розмірі вхідного вектора, середнє відхилення та частка відхилень розрахункових значень тривалості ходу вантажних поїздів в порівнянні з фактичними даними з АСК ВП УЗ-Є.

Таблиця 1

Дослідження впливу величини зміни параметрів відправлення поїздів на точність прогнозу

Δq , т	$\Delta t_{\text{відпр}}$, год	Розмірність вхідного вектора	Число нейронів N	Середнє відхилення, хв	Частка відхилень, %
500	3	43	300	32	80,7
	2	47	300	11	34,3
	1	60	300	7	20,7
	0,5	84	250	3	6,3
250	3	58	200	8	24,5
	1	77	200	2	5,7
100	3	93	200	5	14,5
	2	97	200	3	6,7
	1	109	200	1	2,7
50	0,5	134	150	0	0
	3	154	150	3	7,3
50	0,5	194	150	0	0

Аналіз отриманих результатів показує, що точність прогнозу значною мірою залежить від величини інтер-

валів при кодуванні маси та часу відправлення поїзда для формування нейромережі, тобто від параметрів перцептрон. Так, наприклад, при вихідних значеннях $\Delta q=500$ т та $\Delta t_{\text{відпр}}=3$ год частка відхилень розрахункових значень від фактичних складала 80,7 %, а при $\Delta q=50$ т та $\Delta t_{\text{відпр}}=0,5$ год – 0 %, проте, при цьому майже в 4 рази збільшилась розмірність вхідного вектора – з 43 до 194 елементів, а максимальне число нейронів у навчальній вибірці зменшилось в два рази – з 300 до 150. Окрім того, результати проведених експериментів вказують на те, що при формуванні перцептрон на якість прогнозу більший вплив має величина інтервалу варіювання маси поїзда порівняно з величиною інтервалу варіювання часу відправлення.

У результаті виконаних досліджень, остаточно величина інтервалів маси поїзда була прийнята рівною $\Delta q=100$ т, часу відправлення поїзда – $\Delta t_{\text{відпр}}=1$ год; при цьому, розмірність вхідного вектора складає 109 елементів, число нейронів – 200, середнє відхилення розрахункових значень тривалості руху між технічними станціями дільниці від фактичних даних не перевищує 1 хв, частка відхилень прогнозних даних про тривалість руху поїзда від фактичних складає 2,7 %, що є прийнятним у технічних розрахунках.

6. Висновки

В даній статті запропоновано використання апарату нейронних мереж при прогнозуванні моментів

прибуття вантажних поїздів на технічні станції в оперативному режимі на основі відомої інформації про поїзди. Враховуючи різну розмірність та значний розбіг значень вхідних параметрів про рух поїздів, для їх представлення у вхідному векторі та у навчальній вибірці нейромережі пропонується використовувати бінарне кодування. У результаті виконаних досліджень було визначено, що найбільш доцільним для вирішення вказаної задачі прогнозування є використання нейронної мережі типу перцептрон. Експерименти з величиною зміни інтервалу маси та часу відправлення поїзда з сусідньої технічної станції при формуванні вхідного вектору та навчальної вибірки показали суттєвий вплив вказаних факторів на точність прогнозу тривалості ходу поїзда між технічними станціями дільниці. Аналіз результатів проведених експериментів дозволив встановити найбільш раціональну величину інтервалів при кодуванні маси поїздів ($\Delta q=100$ т) та часу відправлення ($\Delta t_{\text{відпр}}=1$ год) для вирішення поставленої задачі, що забезпечують, з однієї сторони, достатній рівень точності прогнозу, з іншої – прийнятний обсяг розрахунків.

Результати виконаних досліджень є основою для розробки модуля прибуття поїздів в прогнозній моделі поїзної роботи залізничного напрямку та, у підсумку, дозволять створити адаптивну систему оперативного керування локомотивним парком [1]. Створення та впровадження такої системи дозволить підвищити ефективність використання наявних тягових ресурсів та за рахунок цього покращити економічні показники роботи залізниць.

Література

1. Вернигора, Р. В. Перспективи створення адаптивної системи оперативного керування роботою локомотивів та локомотивних бригад [Текст] / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2012. – Вип. 4. – С. 25–29.
2. Вернигора, Р. В. Можливості використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні поїзної роботи залізничних напрямків [Текст] / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – Вип. 7. – С. 15–19.
3. Николаева, И. В. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования динамики экономических показателей [Электронный ресурс] / И. В. Николаева // Сфера услуг: инновации и качество. – 2012. – Вип. 8. – Режим доступа: http://journal.kfrgteu.ru/files/1/2012_8_22.pdf
4. Кремень, Т. Використання нейронної мережі Елмана для прогнозування надійності програмного забезпечення [Текст]: матер. V Міжн. конф. / Т. Кремень, В. Яковина, О. Синицька // Комп'ютерні науки та інженерія: CSE-2011. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С. 88–89. – Режим доступа: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/22553/1/26-Kremen-88-89.pdf>
5. Кудрицька, Н. В. Прогнозування розвитку транспортно-дорожнього комплексу України за допомогою нейронних мереж [Текст] / Н. В. Кудрицька // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем. – 2014. – Вип. 19. – С. 198–207. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/emmses_2014_19_13.pdf
6. Sun, Y. A PSO-GRNN model for railway freight volume prediction [Text] / Y. Sun, M. Lang, D. Wang, L. Liu // Journal of Industrial Engineering and Management. – 2014 – Vol. 7, Issue 2. – P. 413–433. doi: 10.3926/jiem.1007
7. Anitha, B. A heuristic moving vehicle location prediction technique via optimal paths selection with aid of genetic algorithm and feed forward back propagation neural network [Text] / B. Anitha, K. Duraiswamy // International Journal of Computer Science. – 2012. – Vol. 8, Issue 12. – P. 2008–2016. – Available at: <http://thescpub.com/PDF/jcssp.2012.2008.2016.pdf> doi: 10.3844/jcssp.2012.2008.2016
8. Anitha, B. An efficient optimization based vehicle movement prediction with aid of feed forward back propagation neural network [Text] / B. Anitha, K. Duraiswamy // International Journal of Computer Applications. – 2014. – Vol. 91, Issue 12. – P. 24–31. – Available at: <http://research.ijcaonline.org/volume91/number12/pxc3895196.pdf> doi: 10.5120/15933-5196
9. Лаврухин, А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы [Текст] / А. В. Лаврухин // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 43–53.

10. Филиппенко, О. И. Биологические, искусственные и нейроавтоматные сети – сравнительный анализ. Часть 2. Искусственные нейронные сети. [Текст] / О. И. Филиппенко, И. Г. Филиппенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – Т. 3, № 2(15). – С. 87–93.
11. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс [Текст] / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
12. Єльнікова, Л. О. Дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку [Текст] / Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – Вип. 8. – С. 35–39.
13. Руденко, О. Г. Штучні нейронні мережі [Текст]: навч. пос. / О. Г. Руденко, Є. В. Бодянский. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404 с.
14. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
15. Бодянский, Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения [Текст]: монография / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков: Телетех, 2004. – 369 с.
16. Bishop, C. M. Neural networks for pattern recognition [Электрон. ресурс] / C. M. Bishop. – Clarendon Press, Oxford, 1995. – 498 p. – available at: http://www.engineering.upm.ro/master-ie/sacpi/mat_did/info068/docum/neural%20networks%20for%20pattern%20recognition.pdf
17. Sussner, P. Perceptrons [Text] / P. Sussner. – Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, 1999. doi: 10.1002/047134608x.w5112
18. Новотарський, М. А. Штучні нейронні мережі: обчислення [Текст] / М. А. Новотарський, Б. Б. Нестеренко. – Праці Інституту математики НАН України. Т. 50. – Київ: Ін-т математики НАН України, 2004. – 408 с. – Режим доступу: <http://novotarskiy.narod.ru/mono2.htm>
19. Lotfi, E. A novel single neuron perceptron with universal approximation and XOR computation properties [Text] / E. Lotfi, M.-R. Akbarzadeh-T // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2014. – Vol. 2014. – P. 1–6. doi: 10.1155/2014/746376

Пропонується подальший розвиток теорії інформації в моделі сприйняття водієм дорожньої обстановки. В цій моделі процес направлено формування середовища руху шляхом регулювання швидкості руху розглядається як динамічний процес змінення відносної організації поля сприйняття водія. З цією метою використовується передатна функція водія, вирішення якої створюється на основі перетворення Лапласа

Ключові слова: теорія інформації, дорожня обстановка, передатна функція, сприйняття, водій, імпульсна функція

Предлагается дальнейшее развитие теории информации в модели восприятия водителем дорожной обстановки. В данной модели процесс направленного формирования среды движения путем регулирования скоростей движения рассматривается как динамический процесс изменения относительной организации поля восприятия водителя. С этой целью применяется передаточная функция водителя, решение которой осуществляется на основе преобразования Лапласа

Ключевые слова: теория информации, дорожная обстановка, передаточная функция, восприятие, водитель, импульсная функция

УДК 65.015.11: 621.3.011.711

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.42480

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В МОДЕЛЯХ ВОСПРИЯТИЯ ВОДИТЕЛЕМ ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ

Н. И. Кульбашная

Старший преподаватель

Кафедра электрического транспорта*

E-mail: kulbaka.nadya@yandex.ru

И. Э. Линник

Доктор технических наук, профессор

Кафедра городского строительства*

E-mail: linnik_irka@mail.ru

*Харьковский национальный университет
городского хозяйства им. А. Н. Бекетова
ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002

1. Введение

Функция дорожной среды состоит в обеспечении удобных и комфортных условий для работы водите-

ля, в осуществлении взаимного функционирования всех участников движения. При этом вопросы согласования требований водителей со средой движения необходимо решать путём «подгонки» параметров (ус-