

Инновационные подходы к автоматизации управления сортировочной станцией



Андрей ОБУХОВ

Andrey D. OBUKHOV

Innovative Approach to Marshalling Yard Control Automation

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 183)

Предложена структурная схема автоматизированной системы управления работой сортировочной станции с элементами искусственного интеллекта. При этом отдельно рассмотрены интеллектуальные блоки «Нейросетевое прогнозирование» и «Формирование управляющих решений», их связь с переработкой вагонопотоков в условиях оперативно регулируемого технологического процесса.

Ключевые слова: железная дорога, автоматизированная система управления, перевозочный процесс, сортировочная станция, нейросетевые технологии, интеллектуальные транспортные системы.

Обухов Андрей Дмитриевич – младший научный сотрудник ОАО «НИИАС», ассистент кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Интеллектуальное управление на линейном уровне в первую очередь необходимо реализовывать на сортировочных станциях, которые являются важнейшей составной частью непрерывного процесса перевозок грузов железнодорожным транспортом. При увеличении её размеров требуется и увеличение производственных мощностей железнодорожных станций [10, 15]. Но даже в периоды спада размеров перевозок работа по повышению эффективности сортировочного процесса продолжается. Внедряются новые технологии и автоматизируются станционные операции.

Эффективность работы сортировочной станции в большей степени зависит от качества принимаемых оперативных управляющих решений. В условиях интенсивного и неравномерного движения грузовых поездов по участкам железнодорожной сети, функционирования множества операторов-собственников подвижного состава, а также при ограниченных станционных, маневровых, тяговых и временных ресурсах актуальна разработка инновационных методов и технологий организации оперативной работы на сортировочных станциях в автоматизированном режиме. Интеграция всех

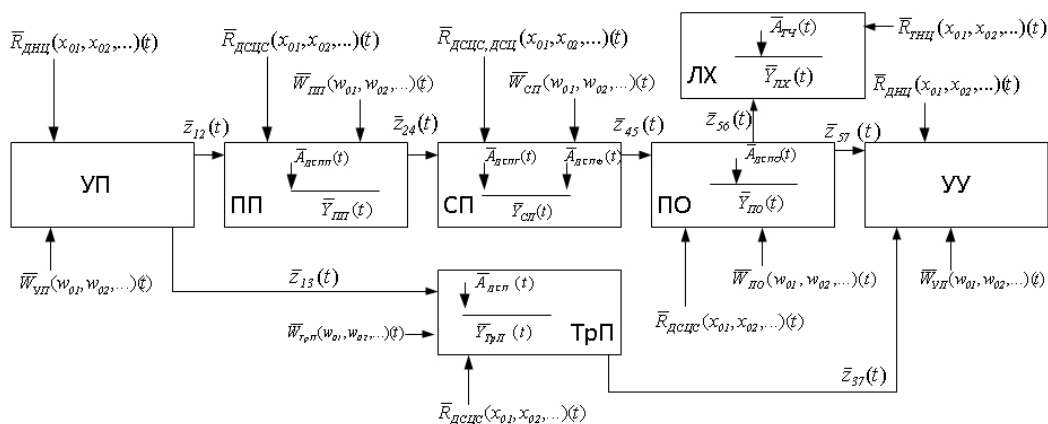


Рис. 1. Формализованная схема взаимодействия в системе управления оперативной работой на сортировочной станции.

базовых, информационных элементов станционного сортировочного комплекса должна быть исполнена в модели автоматизированной системы управления сортировочной станцией с элементами искусственного интеллекта (АСУИ СС).

На рис. 1 приведена формализованная схема взаимодействия в системе оперативного управления работой сортировочной станции. Внешними по отношению к отдельным объектам технологических линий обработки поезд- и вагонопотоков являются управляющие решения $\bar{R}_{ДСЦС, ДСЦ}$, $\bar{R}_{ТНЦ}$, $\bar{R}_{ДНЦ}$ (соответственно станционного, маневрового, поездного и локомотивного диспетчеров). Внутренними, которые относятся к паркам, маневровым районам и локомотивному депо станции, являются управляющие решения $\bar{A}_{ДСПП}$, $\bar{A}_{ДСПГ}$, $\bar{A}_{ДСПФ}$, $\bar{A}_{ДСП}$, $\bar{A}_{ТЧ}$. Все решения реализуются в виде плановых параметров работы различных подразделений станции $x_{01}, x_{02}, \dots$

Управляющие решения диспетчерского уровня $\bar{R}$ определяются функционалом $\bar{R}(x_{01}, x_{02}, \dots)(t) = F(x_{\phi_1} \vee x_{ТП1}, x_{\phi_2} \vee x_{ТП2}, \dots, a_{r1}, a_{r2}, \dots, w_{r1}, w_{r2}, \dots, Y_{st}^n(y_{r1}, y_{r2}, \dots)(t))$. (1)

В выражении (1) $x_{\phi} \vee x_{ТП}$ — это сравнение показателей технического для станции плана с их фактическими значениями к началу периода планирования в цикле управления; a_r — технико-технологические параметры объекта управления диспетчерского уровня. Возмущающие воздействия, которые оказываются в процессе планиро-

вания и управления эксплуатационной работой сортировочной станции и прилегающих участков, выражаются через параметр $\bar{W}_r(w_{r1}, w_{r2}, \dots)$.

Возмущающие воздействия внутри самой оперативной системы сортировочной станции возникают вследствие отказов технических средств и нарушений установленной технологии. К внешним возмущениям следует отнести влияние нарушений технологии в работе оперативно взаимодействующих с железнодорожным транспортом систем, выражающихся в неравномерности входящих поезд- и вагонопотоков.

Многомерное состояние оперативной системы управления Y_{st}^n определяется параметрами размещения подвижных объектов управления непосредственно на сортировочной станции.

На формализованной схеме взаимодействия (рис. 1) задания по перемещению поезд- и вагонопотоков для агрегатов управления в парках приема и транзитном (ПП, ТрП), сортировочном парке и парке отправления (СП, ПО), а также в локомотивном хозяйстве и на прилегающих участках отправления поездов (ЛХ, УУ) выражаются в виде параметров $\bar{z}_{12}$, $\bar{z}_{21}$ и т.д.

Режим наиболее устойчивого приема и отправления поездов для сортировочной станции определяется выполнением следующего выражения с учетом последовательно возрастающих значений параметров перерабатывающей способности технологических линий, а также безусловного выполнения задания $\bar{z}_{56}$:



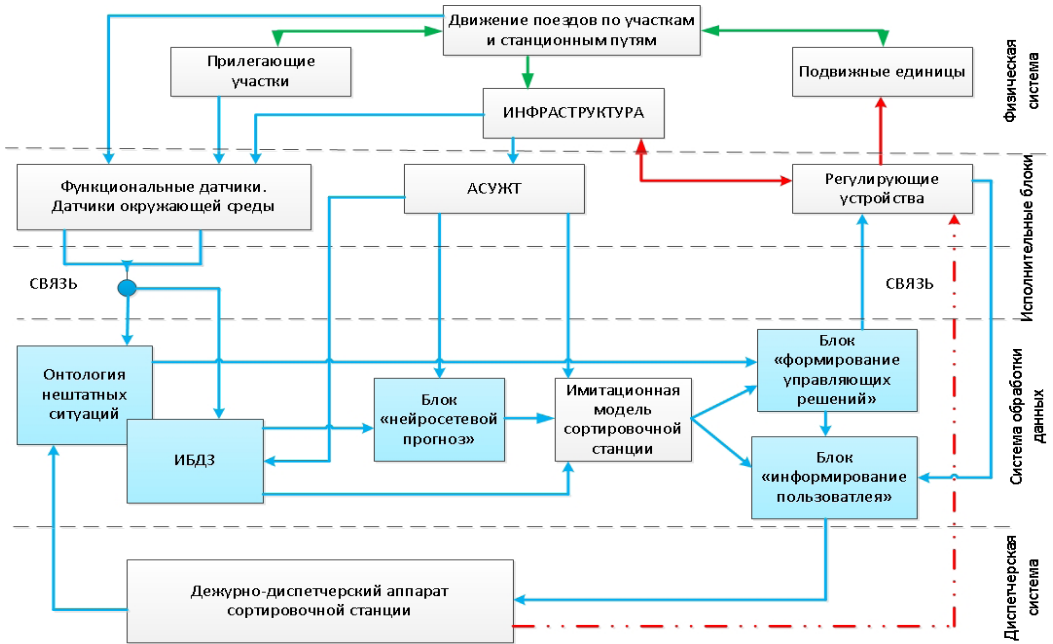


Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы управления работой сортировочной станции с элементами искусственного интеллекта.

$$\bar{z}_{12} + \bar{z}_{13} \approx \bar{z}_{37} + \bar{z}_{57}. \quad (2)$$

От уровня соблюдения указанного соотношения между заданиями в большей степени зависит эксплуатационная надежность сортировочной станции и выполнение ее основных качественных и количественных показателей.

Управляющие решения в цепи технологических линий системы переработки вагонопотока на этапе планирования t также вырабатываются соответствующим руководителем на основе функционала:

$$\bar{A}_{st}(x_{01}, x_{02}, \dots)(t) = F((x_{01}, x_{02}, \dots), a_{st1}, a_{st2}, \dots, w_{st1}, w_{st2}, \dots, Y_{st}(y_{r1}, y_{r2}, \dots))(t), \quad (3)$$

где $\bar{A}_{st}(x_{01}, x_{02}, \dots)(t)$ — управляющие решения по выполнению плановых параметров технологического процесса обработки вагонопотока, реализуемые в различных технологических линиях сортировочной станции;

$x_{01}, x_{02}, \dots$ — плановые задания, которые должны быть выполнены на уровне отдельных технологических линий станции;

$a_{st1}, a_{st2}, \dots$ — параметры, характеризующие техническое и технологическое состояние объектов сортировочной станции;

$w_{st1}, w_{st2}, \dots$ — возмущающие воздействия, оказываемые на процесс оперативного управления эксплуатационной работой сортировочной станции;

$Y_{st}(y_{r1}, y_{r2}, \dots)$ — многомерное состояние оперативной системы перевозочного процесса на сортировочной станции.

Выработка управляющих решений в условиях неполноты и неточности информации, а также имитация творческой деятельности человека посредством обработки и использования знаний дежурно-диспетчерского аппарата сортировочной станции невозможны без поэтапного внедрения элементов интеллектуальных технологий [8, 12, 13] в функционирующие на железнодорожном транспорте АСУ. Важной является задача перенести опыт человека-оператора в машинный интеллект. Этот переход предложено осуществлять в соответствии с разработанной структурной схемой автоматизированной системы управления работой сортировочной станции с элементами искусственного интеллекта, представленной на рис. 2.

Интеллектуальными модулями здесь являются блок «Нейросетевой прогноз» и блок «Формирование управляющих решений», который отвечает за правильность выполнения последовательности поездных и маневровых операций в границах маневровых районов сортировочной станции.

В настоящее время самым перспективным количественным методом прогнозирования является использование техноло-

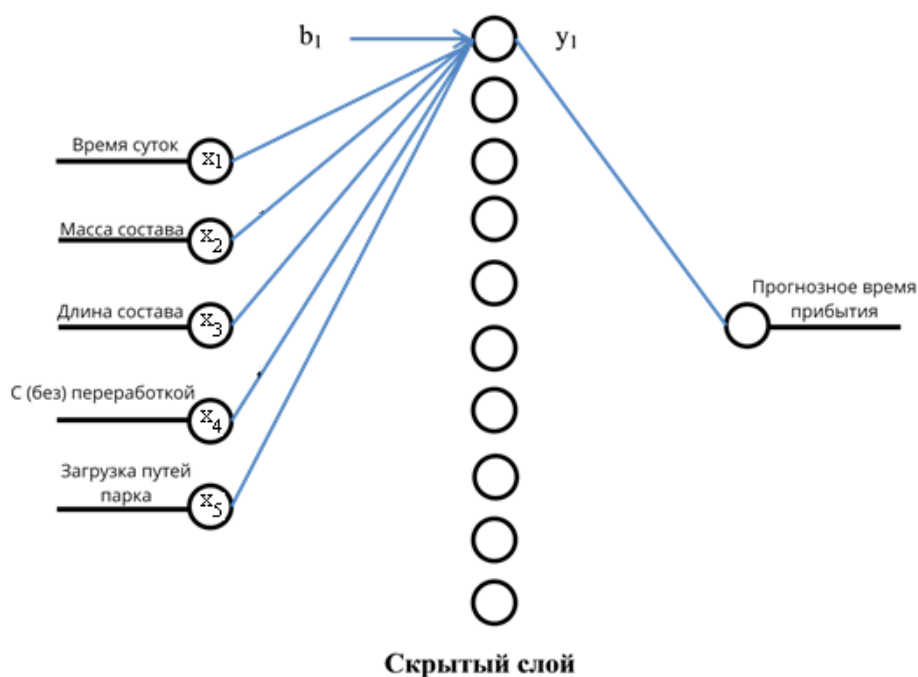


Рис. 3. Схема связи входного и скрытого слоев ИНС.

гии искусственных нейронных сетей (neuralnetwork) [9, 11]. В общем случае прогностическая нейронная сеть представляет собой машину, моделирующую способ обработки человеческим мозгом конкретной задачи. Использование даже самой простой нейросетевой архитектуры и базы данных (о фактически исполненных перевозках со значениями всех основных параметров) дает возможность получить работающую систему прогнозирования, причем учет системой влияющих факторов определяется включением или исключением соответствующего рецептора входного слоя ИНС [5, 6]. В процессе обучения сети предъявляются примеры из базы данных и она сама подстраивает механизмы логических выводов с их учетом, а поступающая новая информация используется для коррекции параметров межнейронных связей, которые представляют собой динамическую базу знаний [1, 2, 4].

Для аппроксимации функции нескольких переменных наиболее универсальным подходом является применение искусственной нейронной сети с прямой связью, статическими нейронами и сигмовидной функцией активации (рис. 3). Под ИНС со статическими нейронами далее понимаем-

ся сеть, в которой на выходе сигнал появляется в тот же момент, когда подаются сигналы на ее вход.

Выход работы нейросети — это прогноз прибытия поезда определенной категории и составности на сортировочную станцию при существующем поездном положении на станции и прилегающих участках.

Результаты моделирования прогнозирующей нейросети, представленные корреляционным анализом процесса обучения (рис. 4) на примере реальных железнодорожных участков Московской железной дороги, показали принципиальную возможность применения аппарата ИНС для решения задачи прогнозирования прибытия поездов на сортировочную станцию. При этом точность полученных в процессе моделирования данных следует считать достаточной для того, чтобы развивать методы нейросетевого прогноза при создании АСУИ СС. Направлением дальнейшего совершенствования данной прогностической модели является развитие факторологической базы данных.

Блок «Формирование управляющих воздействий» также в своей основе имеет нейросетевую модель, способную распознавать различные эксплуатационные ситу-



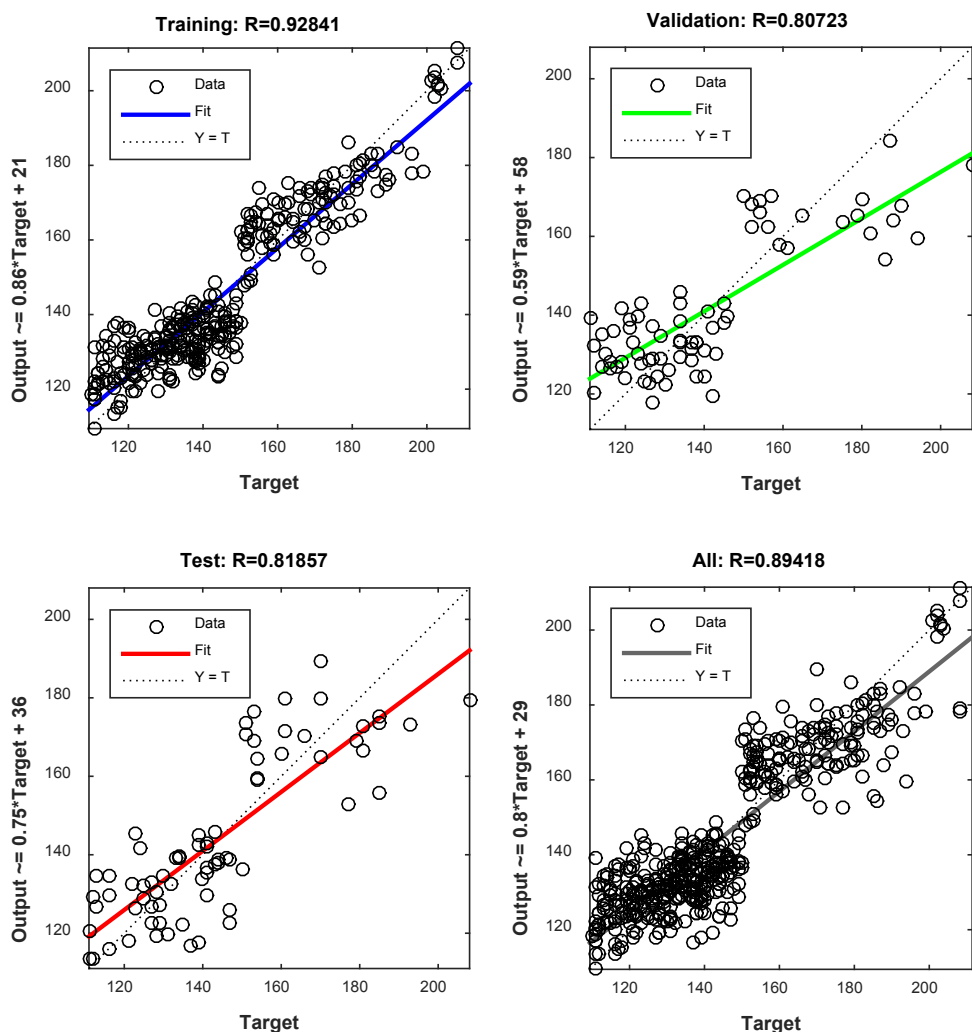


Рис. 4. Корреляционный анализ результатов моделирования прогноза времени прибытия поездов на сортировочную станцию.

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1^1 - \text{характеристика пути } \text{№}1 \text{ парка } \text{№} 1; \\ X_2^1 - \text{характеристика пути } \text{№}2 \text{ парка } \text{№} 1; \\ \dots; \\ X_{p-1}^{I(J)} - \text{характеристика пути } \text{№} n-1 \text{ парка } I(J); \\ X_n^{\text{train}} - \text{характеристика поезда} \end{array} \right\} \rightarrow \left\langle \begin{array}{l} Y_1 - \text{парк приема } \text{№} \\ Y_2 - \text{путь } \text{№} \end{array} \right\rangle \quad (5)$$

ации и находить соответствующие квази-оптимальные решения при заданных исходных данных.

Для решения задачи выбора маршрутов приема поезда на станцию разработана нейросетевая модель, распознающая обра-

зы эксплуатационных ситуаций, возникающих в процессе формирования управляющего решения для приготовления маршрута приема поезда на станцию. При проектировании рассматриваемой подсистемы использованы методы построения рекуррентных сетей [3] с применением соответствующих алгоритмов обучения и формированием корректного отображения пары «правильный входной сигнал $\rightarrow$ правильный выходной сигнал ($X \rightarrow Y$) по типу «вход, известный выход»:

$$X \rightarrow Y = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle \rightarrow \langle Y_1, Y_2 \rangle = \\ = (\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle, \langle Y_1, Y_2 \rangle). \quad (4)$$

В соответствии с выражением (4) получено однозначное значение (5) на выходном слое ИНС для системы «парк — путь — прибывающий поезд».

При этом в выражении (5)

$$X_p^{I(J)} = \{x_1; x_2; x_3; x_4\}$$

является вектором состояния пути P парка $I(J)$, который характеризуется следующими параметрами:

x_1 — состояние пути (0 — свободен, 1 — занят);

x_2 — наличие в поезде вагонов с негабаритным грузом (0 — нет, 1 — да);

x_3 — наличие в поезде вагонов с опасными грузами (0 — нет, 1 — да);

x_4 — длина пути в условных вагонах (0 — меньше условной длины, 1 — больше условной длины).

В свою очередь вектор состояния прибывающего поезда определяется параметрами:

X_1^{train} — наличие негабаритного груза в поезде (0 — нет, 1 — да);

X_2^{train} — наличие в поезде вагонов с опасными грузами (0 — нет, 1 — да);

X_3^{train} — фактор, учитывающий длину поезда в пределах условно установленной для данного парка (0 — менее, 1 — более);

X_4^{train} — фактор, учитывающий распределение вагонов в составе расформировываемого поезда (преобладает вагонопоток для четной подсистемы сортировочного парка — 1, нечетной — 0);

X_5^{train} — транзитный поезд с перера-

боткой (0 — нет, 1 — да);

X_6^{train} — поезд транзитный без перера-

ботки (0 — нет, 1 — да).

Корреляционный анализ результатов обучения ИНС свидетельствует о том, что рассеивание точек вокруг пунктира и степень отклонения от него линии регрессии характеризуют ошибку ИНС при выборе номера и пути парка для приема определенного грузового поезда на сортировочную станцию. Так, в обучающей выборке $R = 0,9993$; тестовой $R = 0,9294$ и контрольной $R = 0,8986$. При этом экспериментальным методом установлено, что при уменьшении числа нейронов рецепторного слоя за счет изменения системы кодирования входных данных точность и корректность обучения и работы ИНС не изменились.

Таким образом, с помощью данного расчетного примера доказана принципиальная возможность применения аппарата искусственных нейронных сетей для решения задачи по интеллектуальному выбору маршрута движения — парка и пути приема прибывающего на железнодорожную сортировочную станцию грузового поезда. В процессе моделирования были найдены весовые коэффициенты в межнейронных связях и постоянные смещения, которые могут быть использованы при создании соответствующего программного обеспечения и интеграции с АСУИ СС.

Выполненное исследование различных нейросетевых методов решения задачи автоматизированного выбора очередности маневровых и поездных передвижений в границах отдельных маневровых районов сортировочной станции [14] позволило сформулировать общие принципы и алгоритм построения модели подсистемы блока «Формирование управляющих решений» в части интеллектуального выбора маршрутов следования подвижных единиц по станционным путям:

1) Сортировочная станция делится на отдельные маневровые районы, для которых разрабатываются локальные нейросетевые модели по выбору очередности и порядка передвижений поездных и маневровых локомотивов, составов и пое-



здов. При необходимости для отдельных маневровых операций находятся дополнительные зависимости межрайонного влияния.

2) Для каждого маневрового района определяются кодируемые маршруты и перечень элементарных поездных и маневровых маршрутов, из которых они состоят.

3) Определяются моменты времени T_j , в которые требуется выбирать порядок и очередность выполнения маршрутов при различных состояниях маневрового района.

4) При обосновании очередности выполнения элементарных маршрутов, полурейсов и рейсов для моментов времени T_j , в расчетах используются прогнозные или расчетные значения скоростей движения при выполнении маршрутов (V).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика ситуационного нейросетевого управления работой сортировочной станции позволит повысить качество оперативного планирования и управления на выделенном производственном объекте, сократить непроизводительные простои на отдельных технологических линиях, повысить ритмичность поездной и маневровой работы, а также реализовать в более полной мере концепцию малолюдных технологий на железнодорожном транспорте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cheok A. D. (National University of Singapore, Department of Electrical Computer Engineering, Singapore) Shiomi S. Combined heuristic knowledge and limited measurement based fuzzy logic antiskid control for railway application // *EEE. Trans. Sysc. Man. Cybern. C. Appl. Rev. (USA)*, vol. 30, Nov 2000, pp. 557–568.
2. Fengxiang Qiao, Hai Yand (Dept of Civil Eng, Hong Kong Univ. of Sci and Technol, Kowloon, China), Lam W. H. K. intelligent simulation and prediction of traffic flow dispersion // *Transp. B. Methodol (UK)*, vol. 35B, no. 9, Nov 2001, pp. 842–863.
3. Hecht-Nielsen, R. The mathematics of thought // R. Hecht-Nielsen // Yen G. Y., Fogel D. B. (eds) *Computational intelligence: Principles and practice*. IEEE Computational Intelligence Society, Piscataway, New Jersey, 2006, pp. 1–16.
4. Ou Hai-tao, Zhang Wen-yuan, Yang Yu-pu, Xu Xiao-ming. Моделирование потока транспорта на автостраде с помощью нейронной сети RBF //

J. Shanghai Jiaotong Univ., vol. 34, no. 5, 2000, pp. 665–668. In Chinese.

5. Барский А. Б. Нейросетевые технологии на транспорте. Ч. 1 // *Мир транспорта*. – № 2. – 2011. – С. 4–11.

6. Барский А. Б. Нейросетевые технологии на транспорте. Ч. 2 // *Мир транспорта*. – № 3. – 2011. – С. 14–19.

7. Болле А., Сaitто А., Розенберг Е. Н. Новое применение ГНСС в составе перспективной интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом // *Интеллектуальные системы на транспорте: материалы I-й международной научно-практ. конференции «ИнтеллектТранс-2011»*. – СПб: ПГУПС, 2011. – С. 55–74.

8. Броницкий С. С. Автоматизация процессов мониторинга, идентификации и интеллектуальная поддержка принятия решений на сортировочных станциях / Дис... канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону, 2008. – 197 с.

9. Назаров А. В., Лоскутов А. И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с.

10. Новиков В. Г. Навигационно-информационные системы на железнодорожном транспорте // *Вестник ВНИИЖТ*. – 2012. – № 4. – С. 49–51.

11. Обухов А. Д. Нейросетевое управление сортировочными процессами // *Мир транспорта*. – 2016. – № 1. – С. 138–147.

12. Шапкин И. Н., Обухов А. Д. Мультиагентные технологии в управлении перевозочным процессом // *Труды РГУПС*. – 2015. – № 4. – С. 151–154.

13. Обухов А. Д. Проблемы оперативного управления работой на сортировочной станции // *Отраслевые аспекты технических наук*. – 2015. – № 3. – С. 13–17. http://www.branch-aspects-of-technical-sciences.ingnpublishing.com/archive/2015/release-3-45-may-june/obuhov_a_d_problemy_operativnogo_upravleniya_rabotoj_na_sortirovochnoj_stancii/. Доступ 15.07.2016.

14. Обухов А. Д. Разработка интеллектуальной системы управления работой сортировочной станции // *Инновации и исследования в транспортном комплексе: Материалы III-й международной научно-практ. конференции. Часть I*. – Курган, 2015. – С. 223–226.

15. Обухов А. Д. Совершенствование технологии работы сортировочных станций в современных условиях на основе факторного анализа // *Бюллетень транспортной информации*. – 2015. – № 1. – С. 28–33.

16. Соснов Д. А., Никандров В. А. Комплексная автоматизация станционных процессов с использованием спутниковой навигации // *Железнодорожный транспорт*. – 2011. – № 9. – С. 48–52.

17. Сотников Е. А. Интеллектуализация оперативного управления перевозочным процессом на уровне региональной дирекции // *Железнодорожный транспорт*. – 2014. – № 11. – С. 36–42.

18. Уманский В. И., Долганюк С. И. Общие принципы интеллектуализации станционных систем управления // *Вестник ВНИИЖТ*. – 2012. – № 9. – С. 8–12.

19. Урличич Ю. М. Актуальные вопросы развития ИТС // *Железнодорожный транспорт*. – 2011. – № 4. – С. 12–17.

20. Шабельников А. Н. Интеллектуализация транспортных процессов: проблемы и решения // *Транспорт: наука, техника, управление*. – 2012. – № 4. – С. 3–6. ●

Координаты автора: **Обухов А. Д.** – adobukhov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 15.07.2016, принята к публикации 25.08.2016.