

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.21/.22:004.89

А. В. ЛАВРУХИН^{1*}

^{1*}Каф. «Управление грузовой и коммерческой работой», Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. +38 (057) 730 10 85, эл. почта creattel@mail.ru, ORCID 0000–0003–1302–4960

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОЕЗДНОЙ РАБОТЫ

Цель. Данная научная работа направлена на формирование интеллектуальной технологии определения рационального пути приема грузовых поездов на основе технико-технологических параметров. Это, в свою очередь, позволит дежурному по станции получать оперативные, обоснованные решения касательно выполнения поездной работы в границах железнодорожной станции. **Методика.** В качестве основных элементов исследования выступают технико-технологические параметры железнодорожной станции при выполнении поездной работы. В основу сформированной модели выполнения поездной работы положены методы нейронных сетей, которые позволяют сформировать самообучающуюся автоматизированную систему. **Результаты.** Представленная модель выполнения поездной работы железнодорожной станции реализована на основе искусственных нейронных сетей при использовании алгоритма обучения «с учителем» в среде Matlab. Среда Matlab также использована для непосредственной реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления поездной работой, предназначенной для интегрирования в автоматизированное рабочее место дежурного по станции. Разработанную систему также целесообразно интегрировать на автоматизированное рабочее место поездного диспетчера. Данное предложение целесообразно при условии наличия диспетчерской централизации на определенном участке железнодорожного пути. **Научная новизна.** В результате исследования сформирована модель технологии работы железнодорожной станции при выполнении поездной работы с элементами искусственного интеллекта. Модель позволяет предоставлять обоснованные решения дежурному по станции касательно выбора рационального и безопасного варианта приема и безостановочного пропуска поездов с возможностью самообучения и приспособления к изменяющимся условиям. Это условие достигается за счет принципов функционирования нейронной сети. **Практическая значимость.** Сформированная автором модель интеллектуальной системы управления процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий в оперативном режиме предоставляет возможность дежурному по станции или поездному диспетчеру определить соответствующий парк (приема, отправления, транзитный) и целесообразный путь приема или пропуска при условии обеспечения безопасности движения. Кардинальным отличием данной технологии от существующих является возможность приспособления модели к изменяющимся условиям эксплуатации. Это означает, что в случае появления ранее не возникающей ситуации, модель рассчитает наиболее рациональный вариант выполнения поездной работы.

Ключевые слова: железнодорожная станция; поездная работа; искусственная нейронная сеть; дежурный по станции; интеллектуальная система

Введение

Железнодорожная станция является одним из основных элементов транспортной системы.

Именно на железнодорожной станции зарождаются и погашаются вагоно- и поездопотоки. Основным и единственным работником, кото-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

рий руководит движением поездов является дежурный по станции. В значительной степени от данного оперативного работника зависит качество и безопасность выполнения эксплуатационной работы. В связи с этим в последнее время появляются публикации в научно-практических изданиях, в которых анализируются существующие и предлагаются перспективные технологии, позволяющие оперативному работнику получать наиболее рациональные варианты выполнения эксплуатационной работы. Так в работе [6] рассматривается вопрос построения имитационной модели работы железнодорожной станции. В данном случае предполагается, что большую часть данных в систему вводит человек-оператор. Соответственно если человек-оператор обладает малым опытом работы (менее одного календарного года), то в процессе выполнения своих обязанностей, связанных с поездной работой, велика вероятность нарушения технологического процесса [9].

В работе [4] формализовано математическую модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций, что бесспорно является значительным достижением в области совершенствования технологии эксплуатационной работы. Однако следует отметить, что в данном случае рассматривается имитация работы станции, которая позволяет критически оценить работу той или иной станции без учета влияния человеческого фактора.

В работах [2, 3] осуществлен значительный скачок в направлении автоматизации перевозочного процесса, в том числе и за счет систем поддержки принятия решений.

Логичным продолжением работ в направлении совершенствования перевозочного процесса на железнодорожных станциях является создание интеллектуальных систем управления движением поездов. Данное положение свидетельствует об актуальности выбранной задачи исследования.

Цель

Целью данной научной статьи является формирование интеллектуальной технологии определения рационального пути приема или безостановочного пропуска грузового поезда на основе технико-технологических параметров, которая позволит дежурному по станции полу-

чать оперативные обоснованные решения касательно выполнения поездной работы в границах железнодорожной станции.

Методика

Согласно цели поставленного научного задания целесообразно использовать такой математический аппарат, который позволит реализовать технологию управления поездопотоками в пределах железнодорожной станции и иметь возможность приспосабливаться к меняющимся условиям работы. То есть в данном случае идет речь о создании системы, которая будет способна самообучаться на основе действий человека (дежурного по станции). При этом предполагается, что разрабатываемая система будет обладать возможностью самостоятельного накопления базы знаний на основе действий опытных оперативных работников. В последующем, разработанная автоматизированная технология управления поездопотоками будет использовать накопленную базу для быстрого и адекватного реагирования на эксплуатационные действия, связанные с поездной работой на станции. Таким образом, речь идет о создании так называемой экспертной системы.

В предшествующих работах были совершены попытки реализации автоматизированных технологий управления перевозочным процессом. Так в работе [5] рассматривается процесс формирования объектно-ориентированной модели функционирования железнодорожных станций. В результате чего достигнута возможность ускорить работы по разработке моделей работы станций и повысить эффективность проектировщиков и технологов. Однако в данном случае отсутствует элемент, который отвечает за оперативность принятия решения в реальном масштабе времени.

Основываясь на поставленную цель научного исследования и рассмотренные литературные источники целесообразно перейти к выбору метода, при помощи которого можно будет создать аналитическую систему, предназначенную для управления поездными передвижениями по станции с дальнейшей интеграции ее на автоматизированное рабочее место дежурного по станции (АРМ ДСП).

Одним из современных математических методов, который в определенной степени соответствует всем ранее определенным требовани-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ям, является метод искусственных нейронных сетей. Следует отметить, что по своей архитектуре все искусственные нейронные сети разделяются на нейронные сети с программной и аппаратной реализацией [11, 13]. При построении искусственной нейронной сети (ИНС) значительное внимание уделяется выбору функции активации. В данной работе при построении ИНС будет использована нелинейная функция с насыщением – сигмоид [1].

В основу решения поставленной задачи построения модели интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий будет положена искусственная нейронная сеть с двумя скрытыми слоями и сигмоидальной функцией активации. Теоретическим базисом выбранного подхода может служить теорема Хехт-Нильсена [12], которая свидетельствует о возможности отображения любой многомерной функции нескольких переменных в виде двухслойной нейронной сети с заведомо известной функцией активации.

Такой подход к построению нейронной сети позволяет учесть предысторию наблюдаемых процессов и накопить информацию для формирования правильной стратегии по управлению процессом принятия поезда на станцию. Этот вид сетей, как правило, применяется в системах управления подвижными объектами, поскольку их главной особенностью является запоминание последовательностей [7]. Согласно этому, в данной научной работе будут использованы принципы построения рекуррентных сетей на основе применения соответствующих алгоритмов обучения. Исходя из поставленной задачи, разработки модели по управлению процессом определения рациональной пути приема поездов различных категорий на основе нейронной сети, необходимо построить отображение $X \rightarrow Y$ такое, чтобы на каждый возможный входной сигнал сети X формировался правильный выходной сигнал Y . Отображения задаются конечным набором пар по типу – $(\langle \text{вход} \rangle, \langle \text{известный выход} \rangle)$.

Результаты

В качестве примера указанной пары по решению поставленной задачи возможно приве-

сти однозначную пару, т.е. пару, которая при заданном входном векторе может иметь только одно определенное значение выхода, или значения выхода могут быть строго ограничены:

$$X \rightarrow Y = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle \rightarrow \langle Y_1, Y_2 \rangle = \\ = (\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle, \langle Y_1, Y_2 \rangle), \quad (1)$$

согласно приведенного выражения можно получить типичное однозначное значение на выходе сети:

$$\left\langle \begin{array}{l} x_1 - \text{характеристика пути } \text{№} 1; \\ x_2 - \text{характеристика пути } \text{№} 2; \\ \dots; \\ x_{n-1} - \text{характеристика пути } \text{№} n-1; \\ x_n - \text{характеристика поезда} \end{array} \right\rangle \rightarrow \\ \rightarrow \left\langle \begin{array}{l} Y_1 - \text{парк приема} \\ Y_2 - \text{путь } \text{№} 5 \end{array} \right\rangle. \quad (2)$$

Сформирована пара типа $(\langle \text{вход} \rangle, \langle \text{известный выход} \rangle)$ соответствует графическому отражению ситуации, приведенной на рис. 1.

В данном случае целесообразно отметить, что среди преимуществ применения нейронных сетей для моделирования эксплуатационных процессов является то, что число пар типа $(\langle \text{вход} \rangle, \langle \text{известный выход} \rangle)$ (так называемых примеров обучения) существенно меньше общего количества возможных комбинаций значений входных и выходных сигналов при приеме на железнодорожную станцию поездов различных категорий.

При непосредственном формировании нейронной сети и построения взаимозависимости входных и выходных сигналов по выполнению поездной работы на станции, то есть построения отображения $X \rightarrow Y$ необходимо соблюдение следующих требований:

– обеспечение формирования правильных выходных сигналов в соответствии со всеми примерами обучающей выборки, которая может формироваться в результате работы опытного оперативного работника (дежурного по станции, маневрового диспетчера);

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

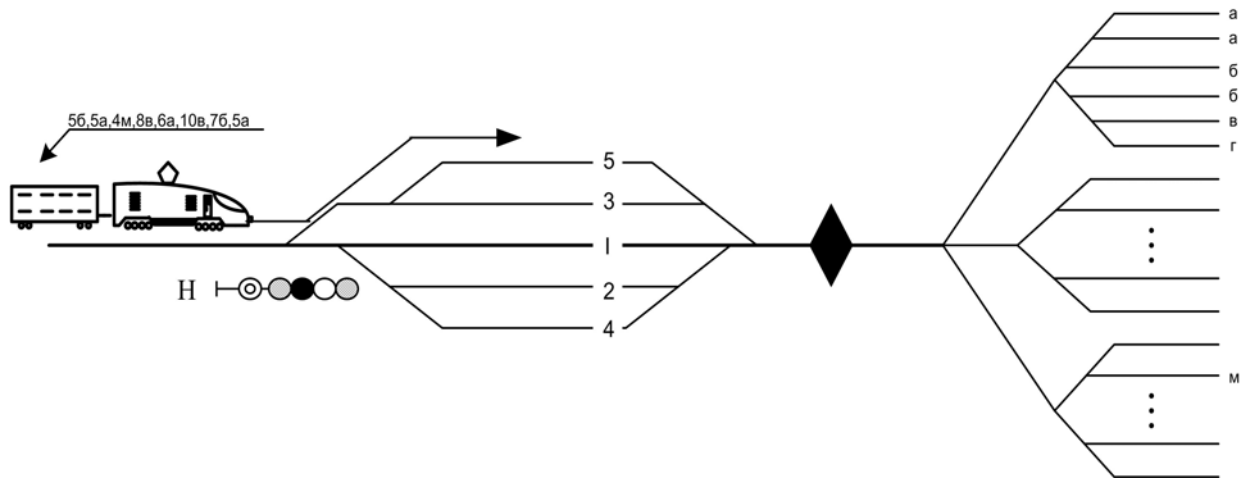


Рис. 1. Вариант выбора пути приема в зависимости от состава транзитного поезда с переработкой и специализации пути сортировочного парка: где $a, b, в, г, м$ – обозначают специализацию путей

Fig. 1. Choice variant of approach track depending on the set of transit trains with processing and specialization of the car yard track: where a, b, c – represent the specialization of tracks

– обеспечение формирования верных выходных сигналов в соответствии со всеми возможными входными сигналами, которые не вошли в обучающую выборку. Данное условие должно обеспечить адекватное функционирование спроектированной нейронной сети при подаче на вход поездных ситуаций и ситуаций, происходящих на станции при выполнении эксплуатационной работы. Это требование в значительной степени затрудняет формирование обучающей выборки. Для оценки числа нейронов в скрытых слоях однородной нейронной сети можно воспользоваться формулой для оценки необходимого количества синаптических весов L_w [7]:

$$\frac{mN}{1 + \log_2 N} \leq L_w \leq m \left(\frac{N}{n} + 1 \right) (n + m + 1) + m, \quad (3)$$

где n – размерность входного сигнала; m – размерность выходного сигнала; N – число элементов обучающей выборки (определяется в допустимых пределах при тестировании разработанной нейронной сети).

После определения необходимого количества весов, необходимо рассчитать число нейронов в скрытых слоях [9]:

$$L = \frac{L_w}{n + m}. \quad (4)$$

Кроме формул (3) и (4) количество весов и скрытых слоев можно рассчитать следующим

образом [7]:

$$2(L + n + m) \leq N \leq 10(L + n + m), \quad (5)$$

$$\frac{N}{10} - n - m \leq L \leq \frac{N}{2} - n - m. \quad (6)$$

Процесс функционирования искусственных нейронных сетей зависит от величины синаптических связей. Согласно этому адекватное функционирование нейронной сети, которая предназначена для решения поставленной задачи, будет основываться на нахождении оптимальных значений всех переменных весовых коэффициентов.

Указанная процедура называется обучением искусственной нейронной сети. Качество и адекватность функционирования сети по решению задачи управления принятием поездов на железнодорожную станцию будет зависеть от качества выполнения процесса обучения, основную роль в котором будут играть опытные оперативные работники.

В данной научной статье будет использован метод двоичного кодирования, который позволит в дальнейшем (при обучении нейронной сети) уменьшить нагрузку на технические устройства вычисления при учете значительного числа параметров, характеризующих состояние путей и поезда, поступающего на станцию приема или непрерывного пропуска.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Таким образом, целесообразно определить вектор, который будет характеризовать состояние пути в виде табл. 1 и 2.

В качестве примера выбран элемент входного вектора $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, который характеризует состояние произвольного пути, в результате чего получено $x_{n-1} = (1110)$. При декодировании определено, что на пути с номером $n-1$ находится негабаритный поезд с опасным грузом.

Таблица 1

Кодовые обозначения признаков пути

Table 1

Code signs of route

№ признака	Лингвистическая характеристика признака	Кодовое обознач. признака	Лингвистическое значение кода
1	Состояние пути	1	Занятый
		0	Свободный
2	Наличие в поезде вагонов с негабаритным грузом	1	Присутствует
		0	Отсутствует
3	Наличие в поезде вагонов с опасными грузами	1	Присутствуют
		0	Отсутствуют
4	Наличие пассажирского поезда, с которым выполняются пассажирские операции (посадка, высадка)	1	Присутствует
		0	Отсутствует

Также в качестве примера элемента входного вектора $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, характеризующего поезд поступающий на станцию, получено $x_n = (1000100)$.

При декодировании определено, что на станцию прибывает в расформирование негабаритный поезд нормативной длины. После определения способа кодирования входного вектора необходимо выбрать соответствующий алгоритм обучения нейронной сети.

Алгоритм обучения искусственной нейронной сети представляет собой набор формул,

которые позволяют по вектору ошибки вычислить необходимые поправки для весов сети.

Таблица 2

Кодовые обозначения признаков прибывающего поезда

Table 2

Code signs of arriving trains

№ признака	Лингвистическая характеристика признака	Кодовое обознач. признака	Лингвистическое значение кода
1	Наличие негабаритности в прибывающем поезде	1	Присутствует
		0	Отсутствует
2	Наличие в прибывающем поезде вагонов с опасными грузами	1	Присутствуют
		0	Отсутствуют
3	Поезд повышенной длины	1	Да
		0	Нет
4	Пассажирский поезд	1	Присутствует
		0	Отсутствует
5	Поезд с переработкой	1	Да
		0	Нет
6	Поезд без переработки	1	Да
		0	Нет
7	Вагоны для одного сортировочного пучка	1	Да
		0	Нет

Для качественного обучения сети необходимо предъявлять одну и ту же поездную ситуацию, а также ее возможные вариации. Особенностью обучения искусственных нейронных сетей является тот факт, что после многократного предъявления примеров веса сети стабилизируются, причем она в дальнейшем предоставляет правильные ответы практически на все вопросы из базы данных. В таком случае считается, что сеть выучила все примеры или сеть обучена, или сеть натренирована. Считается, что для полноценной тренировки необходимо задать несколько десятков, а лучше сотни примеров [10].

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

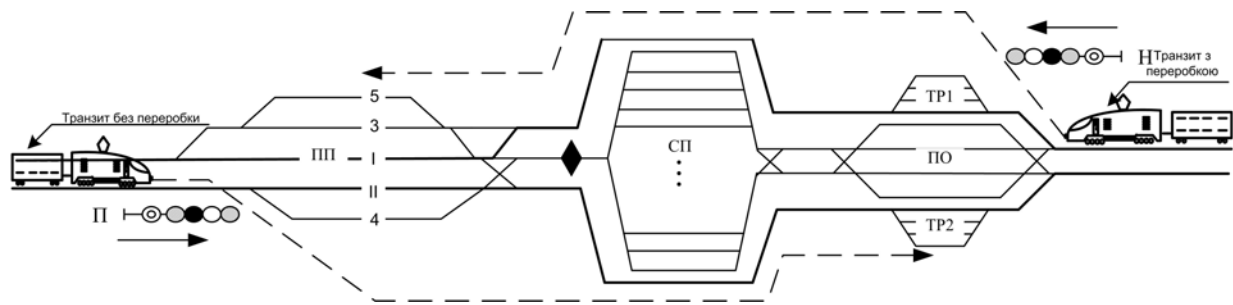


Рис. 2. Вариант выбора пути приема в зависимости от категории поездов:
 ПП – парк прибытия; СП – сортировочный парк; ПО – парк отправления; TP1, TP2 – транзитные парки

Fig. 2. Choice variant of approach track depending on the categories of trains:
 RY – receiving yard; CY – car yard; PD – the Park of departure; TP1, TP2 – transit parks

В соответствии с определенными условиями возникает задача формирования нейронной сети в аналитическом и графическом виде для линейного железнодорожного объекта – железнодорожная станция.

В качестве объекта для моделирования избрана железнодорожная станция Харьковской дирекции по железнодорожным перевозкам (Основа – парк прибытия), которая в определенной степени соответствует путевому развитию, приведенному на рис. 2.

Текущее состояние нейрона в общем виде может определяться для поставленной задачи, как

$$S = \sum_{i=1}^{10} x_i \cdot w_i + b, \quad (7)$$

где x – номер пути на станции, характеристика поезда; w – веса параметра x ; b – коэффициент смещения.

После того, как было формально определено состояние нейрона в общем виде, необходимо оценить число нейронов в скрытых слоях одно-родной нейронной сети по выражению (3)

$$\frac{21000}{1+9,97} \leq L_w \leq 2 \left(\frac{1000}{10} + 1 \right) (10 + 2 + 1) + 2, \\ 182 \leq L_w \leq 2628.$$

После определения необходимого количества весов, необходимо рассчитать число нейронов в скрытых слоях по формуле (4)

$$L = \frac{850}{10 + 2} = 71.$$

Таким образом, в общем виде возможно воспроизвести графическую интерпретацию искусственной нейронной сети (рис. 3).

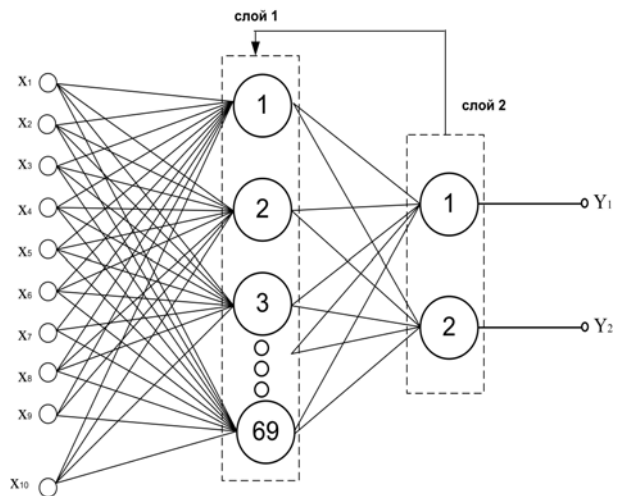


Рис. 3. Двухслойная рекуррентная нейронная сеть для определения пути приема на железнодорожную станцию

Fig. 3. Two-layer recurrent neural network for determining the approach track of the railway station

Исходя из поставленной задачи разработки модели по управлению процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий, необходимо построить такое отображение $X \rightarrow Y$, чтобы на каждый возможный входной сигнал X формировался правильный выходной сигнал Y

$$X \rightarrow Y = \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10} \rangle \rightarrow \\ \rightarrow \langle Y_1, Y_2 \rangle = \\ = (\langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_{10} \rangle, \langle Y_1, Y_2 \rangle). \quad (8)$$

Входной вектор X можно определить следующим образом

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$\begin{array}{l}
 x_1 - \text{характеристика пути 1} \\
 x_2 - \text{характеристика пути 2} \\
 x_3 - \text{характеристика пути 3} \\
 x_4 - \text{характеристика пути 4} \\
 x_5 - \text{характеристика пути 5} \\
 x_6 - \text{характеристика пути 6} \\
 x_7 - \text{характеристика пути 7} \\
 x_8 - \text{характеристика пути 8} \\
 x_9 - \text{характеристика пути 9} \\
 x_{10} - \text{характеристика поезда}
 \end{array}
 \rightarrow
 \begin{array}{l}
 Y_1 - \text{парк} \\
 Y_2 - \text{путь}
 \end{array}
 \quad (9)$$

В качестве примера, будет представлено часть обучающей выборки для ситуации, при которой поезд с нормативной массой и длиной, в составе которого содержатся негабаритные и опасные грузы, прибывает в расформирование и должен быть принят на второй свободный путь парка приема станции (табл. 3).

Для достижения наибольшего эффекта, разработанную модель целесообразно интегрировать в существующие автоматизированные рабочие места дежурных по станциям. С этой целью разработан программный модуль в среде MatLab, который позволяет осуществить процесс обучения нейронной сети по методу – обучение с учителем, в качестве которого должен выступать опытный дежурный по станции под непосредственным наблюдением ревизора по безопасности движения, назначенным для данного участка [8]. В соответствии с этим на рис. 4 отображена рабочая область созданной нейронной сети. После того как сформированную нейронную сеть было обучено на определенных примерах выборки, фрагмент которой приведен в табл. 3, был сформирован тестовый рабочий интерфейс, который на основе введенных параметров путей соответствующих парков и характеристики прибывающего поезда на станцию, предоставляет рекомендации дежурному по станции о рациональном пути приема на основе учета факторов безопасности.

Таблица 3

Фрагмент обучающей выборки

Table 3

A fragment of the training sample

Входной вектор и исходное значение сети	Расшифровка пары {вход} → {выход} для ситуации приема поезда на 2 путь
0000 0000 0000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0000101	→ {1, 2}
1000 0000 0000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0000101	→ {1, 2}
...	...
1000 0000 1000 1010 1110 1010 0000 1100 1010 0000101	→ {1, 2}

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Примечание: ВМ – взрывоопасные материалы, Б2, Б3 – боковая негабаритность, соответственно второй и третьей степени.

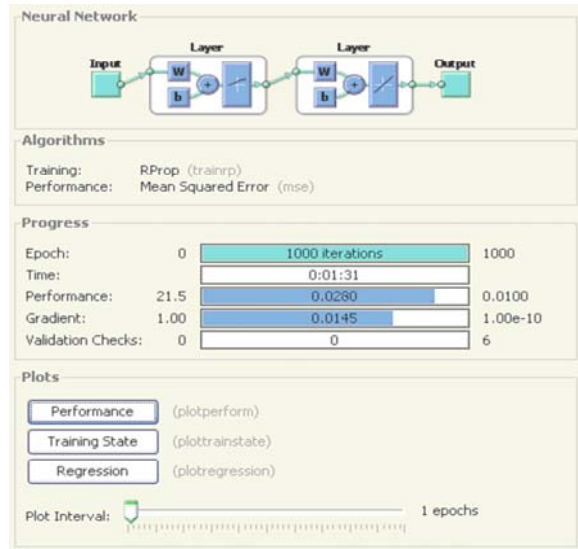


Рис. 4. Рабочая область сформированной нейронной сети по определению рационального пути приема поезда

Fig. 4. The workspace of formed neural network with the definition of a rational approach track of the train



Рис. 5. Тестовый интерфейс дежурного по станции для определения пути приема поезда

Fig. 5. The test interface of the station duty officer to determine the approach track of the train

На рис. 5 отображен ранее обозначенный интерфейс, на котором смоделирована ситуация приема в расформирование грузового поезда, значительное количество вагонов в котором будет расформировано в верхние пучки сортировочного парка. В соответствии с этим сфор-

мированная модель на основе нейронной сети предложила вариант принятия поезда на 2 свободный путь парка приема.

Научная новизна и практическая значимость

В данной научной работе сформирована модель работы железнодорожной станции при выполнении поездной работы с элементами искусственного интеллекта. Данная модель позволяет предоставлять обоснованные решения дежурному по станции касательно оптимального и безопасного варианта принятия и пропуска поездов с возможностью самообучения и приспособления к меняющимся условиям эксплуатации.

Разработан программный модуль интеллектуальной системы управления процессом определения пути приема поездов различных категорий, который в оперативном режиме позволяет дежурному по станции определить соответствующий парк (приема, транзитный, отправления) и целесообразный путь приема или пропуска при условии обеспечения безопасности движения.

Выводы

1. В данной научной статье сформирована модель интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий, которая в оперативном режиме позволяет дежурному по станции определить соответствующий парк (прием, транзитный, отправление...) и рациональный путь приема или пропуска при условии обеспечения безопасности движения.

2. Для достижения наибольшего эксплуатационного эффекта предложено разработанную модель интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом определения рационального пути приема поездов различных категорий интегрировать с существующими автоматизированными рабочими местами дежурных по станциям.

3. Для реализации задачи интеграции разработанной модели к АРМ ДСП был разработан программный модуль в среде Matlab, который позволяет осуществить процесс обучения нейронной сети по методу – обучение с учителем, в качестве которого должен выступать опытный дежурный по станции под непосредственным

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

наблюдением ревизора по безопасности движения, предназначенным для данного участка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбань, А. Н. Обучение нейронных сетей / А. Н. Горбань – Москва : ПараГраф, 1990. – 160 с.
2. Жуковицький, І. В. Напрямки побудови електронного документообігу на підприємствах УЗ / І. В. Жуковицький, М. М. Пойманов // Сучасні інформ. техн. на трансп., в пром. та освіті : тез. міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 11–12.
3. Жуковицький, І. В. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ / І. В. Жуковицький, В. В. Скалозуб, А. Б. Устенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 17. – С. 28–34.
4. Козаченко, Д. Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № (3) 45. – С. 22–28.
5. Козаченко, Д. Н. Объектно-ориентированная модель функционирования железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № (4) 46. – С. 47–55.
6. Коробйова, Р. Г. Адекватність математичних моделей для визначення техніко-експлуатаційних показників роботи станцій / Р. Г. Коробйова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 28. – С. 29–33.
7. Короткий, С. Нейронные сети: основные положения [Электронный ресурс] / С. Короткий. – Режим доступа: http://www.shestopaloff.ca/kyriako/Russian/Artificial_Intelligence/Some_publications/Korotky_Neuron_network_Lectures.pdf. – Загл. с экрана. – Проверено 19. 10. 2014.
8. Лаврухін, О. В. Удосконалення технології розподілу вагонів на основі автоматизації процесів змінно-добового планування / О. В. Лаврухін // Вісн. економ. трансп. і пром-сті. – Харків, 2009. – Вип. 23. – С. 62–65.
9. Лаврухін, О. В. Формування критерію безпеки для оцінки транспортної події – прийняття поїзда на зайняту колію / О. В. Лаврухін // Інформ.-керуючі сист. на залізн. трансп. – 2011. – № 2. – С. 102–108.
10. Минский, М. Перцептроны / М. Минский, С. Пейперт. – Москва : Мир, 2007. – 261с.
11. Akhmet, M. Neural networks with discontinuous / M. Akhmet, E. Yilmaz. – New-York : Springer, 2014. – 176 p. doi: 10.1007/978-1-4614-8566-7.
12. Hecht-Nielsen, R. The mathematics of thought / R. Hecht-Nielsen // Yen GY, Fogel DB (eds) Computational intelligence: Principles and practice. IEEE Computational Intelligence Society, Piscataway, New Jersey. – 2006. – P. 1–16.
13. Smith, L. An Introduction to Neural Networks [Электронный ресурс] / L. Smith // Unpublished draft. University of Stirling. – 2001. – Режим доступа. – <http://www.cs.stir.ac.uk/~lss/NNIntro/InvSlides.html>. – Загл. с экрана. – Проверено : 19. 10. 2014.

О. В. ЛАВРУХІН^{1*}

^{1*}Каф. «Управління вантажною і комерційною роботою», Українська державна академія залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 85, ел. пошта creattel@mail.ru, ORCID 0000–0003–1302–4960

ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ПОЇЗНОЇ РОБОТИ

Мета. Дана наукова робота спрямована на формування інтелектуальної технології визначення раціональної колії прийому вантажних поїздів на основі техніко-технологічних параметрів, яка дозволить черговому по станції отримувати оперативні, обґрунтовані рішення щодо виконання поїзної роботи в межах залізничної станції. **Методика.** В якості основних елементів дослідження виступають техніко-технологічні параметри залізничної станції при виконанні поїзної роботи. В основу сформованої моделі виконання поїзної роботи покладено методи нейронних мереж, які дозволяють сформувати автоматизовану систему, котра може «самостійно навчатися». **Результати.** Представлена модель щодо виконання поїзної роботи на залізничній станції реалізована на основі штучних нейронних мереж при використанні алгоритму навчання «з вчителем» в середовищі Matlab.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Середовище Matlab також використане для безпосередньої реалізації інтелектуальної автоматизованої системи управління поїзною роботою призначеною для інтегрування в автоматизоване робоче місце чергового по станції. Розроблену систему також доцільно інтегрувати на автоматизоване робоче місце поїзного диспетчера. Дана пропозиція доцільна за умови наявності диспетчерської централізації на певній ділянці залізничної колії.

Наукова новизна. В результаті дослідження сформована модель технології роботи залізничної станції при виконанні поїзної роботи з елементами штучного інтелекту. Модель дозволяє надавати обґрунтовані рішення черговому по станції щодо вибору раціонального та безпечного варіанта прийому й беззупинного пропуску поїздів і з можливістю самонавчання та пристосування до мінливих умов. Ця умова досягається за рахунок принципів функціонування нейронної мережі. **Практична значимість.** Сформована автором модель інтелектуальної системи управління процесом визначення раціональної колії прийому поїздів різних категорій в оперативному режимі надає можливість черговому по станції визначити відповідний парк (прийому, відправлення, транзитний) і раціональну колію прийому або пропуску за умови забезпечення безпеки руху. Кардинальною відмінністю даної технології від існуючих є можливість пристосування моделі до мінливих умов експлуатації. Це означає, що у разі появи ситуації, що раніше не виникала, модель розрахує найбільш раціональний варіант виконання поїзної роботи.

Ключові слова: залізнична станція; поїзна робота; штучна нейронна мережа; черговий по станції; інтелектуальна система

O.V. LAVRUKHIN^{1*}

^{1*}Dep. «Management of Cargo and Commercial Work», Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 85, e-mail creattel @ mail.ru, ORCID 0000–0003–1302–4960

INTELLECTUAL MODEL FORMATION OF RAILWAY STATION WORK DURING THE TRAIN OPERATION EXECUTION

Purpose. The aim of this research work is to develop an intelligent technology for determination of the optimal route of freight trains administration on the basis of the technical and technological parameters. This will allow receiving the operational informed decisions by the station duty officer regarding to the train operation execution within the railway station. **Methodology.** The main elements of the research are the technical and technological parameters of the train station during the train operation. The methods of neural networks in order to form the self-teaching automated system were put in the basis of the generated model of train operation execution. **Findings.** The presented model of train operation execution at the railway station is realized on the basis of artificial neural networks using learning algorithm with a «teacher» in Matlab environment. The Matlab is also used for the immediate implementation of the intelligent automated control system of the train operation designed for the integration into the automated workplace of the duty station officer. The developed system is also useful to integrate on workplace of the traffic controller. This proposal is viable in case of the availability of centralized traffic control on the separate section of railway track. **Originality.** The model of train station operation during the train operation execution with elements of artificial intelligence was formed. It allows providing informed decisions to the station duty officer concerning a choice of rational and a safe option of reception and non-stop run of the trains with the ability of self-learning and adaptation to changing conditions. This condition is achieved by the principles of the neural network functioning. **Practical value.** The model of the intelligent system management of the process control for determining the optimal route reception for different categories of trains was formed. In the operational mode it offers the possibility to the station duty officer or the traffic controller to determine the appropriate park (receiving, sending, transit one) and efficient reception way or handling one on condition of train safety control. The cardinal difference of this technology from the existing ones is the possibility to adapt the model to changing conditions. It means that in case of a situation that had not been encountered previously the model will calculate the most efficient way of train operation execution.

Keywords: railway station; train operation; artificial neural network; the station duty officer; intellectual system

REFERENCES

1. Gorban A.N. *Obucheniye neyronnykh setey* [Training of neural networks]. Moscow, ParaGraf Publ., 1990. 160 p.
2. Zhukovyskyi I.V., Poimanov M.M. *Napriamky pobudovy elektronnoho dokumentoobihu na pidpriemstvakh UZ* [Directions of build electronic document management at the enterprises of the UZ]. *Tezy Mizhnarodnoi*

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni informatsiini tekhnologii na transporti, v promyslovosti ta osviti» [Proc. of the Int. Sci. and Practical Conf. «Modern information technologies in transport, industry and education»]. Dnipropetrovsk, 2007, pp. 11-12.*
3. Zhukovytskyi I.V., Skalozub V.V., Ustynko A.B. Pryntsypy pobudovy systemy pidtrymky pryiniattia rishen i upravlinnia vantazhnymy perevezenniamy na osnovi analitychnykh serveriv ASK VP UZ [The support system principles of decision-making and management of freight transport on the basis of analytical servers ASC VP UZ]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2002, issue 17, pp. 28-34.
 4. Kozachenko D.N. Matematicheskaya model dlya otsenki tekhniko-tekhnologicheskikh pokazateley raboty zheleznodorozhnykh stantsiy [Mathematical model for estimation of technical and technological indicators of railway stations operation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. (3) 45., pp. 22-28.
 5. Kozachenko D.N. Obektno-orientirovannaya model funktsionirovaniya zheleznodorozhnykh stantsiy [The object-oriented model of the railway stations operation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. (4) 46, pp. 47-55.
 6. Korobiova R.H. Adekvatnist matematychnykh modelei dlia vyznachennia tekhniko-ekspluatatsiinykh pokaznykiv roboty stantsii [The adequacy of mathematical models for determination of technical and operational indicators of stations]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 28, pp. 29-33.
 7. Korotkiy S. Neyronnyye seti: osnovnyye polozheniya [Neural networks: fundamentals]. Available at: http://www.shestopaloff.ca/kyriako/Russian/Artificial_Intelligence/Some_publications/Korotky_Neuron_network_Lectures.pdf (Accessed 19 October 2014).
 8. Lavrukhin O.V. Udoshkonalennia tekhnologii rozpodilu vahoniv na osnovi avtomatyzatsii protsesiv zminnodobovoho planuvannia [The technology improving of cars distribution on the basis of automation of shift and daily planning processes]. *Visnyk ekonomiky transportu ta promyslovosti* [Bulletin of Transport Economics and Industry], 2009, issue 23, pp. 62-65.
 9. Lavrukhin O.V. Formuvannia kryteriiu bezpeky dlia otsinky transportnoi podii – pryiniattia poizda na zainiatu koliiu [The formation of the security criterion for the evaluation of traffic accidents reception of a train on busy road]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznomu transporti – Information Management Systems on the Railway Transport*, 2011, issue 2, pp. 102-108.
 10. Minskiy M., Peypert S. *Perseptrony* [Perceptrons]. Moscow, Mir Publ., 2007. 261 p.
 11. Akhmet M., Yilmaz E. Neural networks with discontinuous. New-York, Springer, 2014. 176 p. doi: 10.1007/978-1-4614-8566-7.
 12. Hecht-Nielsen R. The mathematics of thought. Yen GY, Fogel DB (eds) Computational intelligence: Principles and practice. IEEE Computational Intelligence Society, Piscataway, New Jersey. 2006, pp. 1-16.
 13. Smith L. An Introduction to Neural Networks. Unpublished draft. University of Stirling. 2001. Available at: <http://www.cs.stir.ac.uk/~lss/NNIntro/InvSlides.html> (Accessed: 19. October 2014).

Статья рекомендована к публикации д.т.н, проф. А. Н. Огарем (Украина); д.т.н., проф. Е. С. Алёшинским (Украина)

Поступила в редколлегию 03.10.2014

Принята к печати 27.11.2014