

ISBN 978-83-945717-6-4

Conference proceedings
Transport Problems 2018

X INTERNATIONAL
SCIENTIFIC
CONFERENCE

27.06-29.06 2018
Katowice
Wista

VII INTERNATIONAL
SYMPOSIUM OF YOUNG
RESEARCHERS

25.06-26.06 2018
Katowice



Silesian
University
of Technology

UNDER THE HONORARY PATRONAGE OF MAYOR OF
KATOWICE CITY

AND RECTOR OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Transport
Silesian University of Technology

Silesian University of Technology
Faculty of Transport



Transport Problems 2018

Proceedings

X International Scientific Conference

VII International Symposium of Young Researchers

**UNDER THE HONORARY PATRONAGE OF MAYOR OF KATOWICE CITY
AND RECTOR OF SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**



**Silesian University
of Technology**

ISBN 978-83-945717-6-4

Transport Problems
International Scientific Journal



**Silesian University of Technology
Publication
Faculty of Transport**

Edition and reviews

Prof. Aleksander Sładkowski

Technical edition

Dr. Maria Cieśla

Prof. Piotr Czech

Dr. Tomasz Haniszewski

Msc Michał Juzek

Msc Paweł Marzec

Dr. habil. Grzegorz Peruń

Prof. Grzegorz Wojnar



Silesian University of Technology
Faculty of Transport
40-019 Katowice, Krasińskiego st. 8, room 111
tel. +48 32 603 41 46
mail: tp@polsl.pl

**X INTERNATIONAL CONFERENCE
TRANSPORT PROBLEMS 2018**

TABLE OF CONTENTS

No.	Authors, Title	Pages	
		Begin	End
1.	Zhomart ABDIRASSILOV, Aleksander ŚLADKOWSKI <i>Application of artificial neural networks for short-term prediction of container train stream in China-Europe direction via Kazakhstan</i>	1	12
2.	Anvar ADILHODZAEV, Said SHAUMAROV <i>The issue of thermal renovation of infrastructure of railway transport is evaluated</i>	13	18
3.	Arūnas ANDZIULIS, Tomas EGLYNAS, Mindaugas JUSIS, Sergej JAKOVLEV, Jolanta JANUTENIENE, Audrius SENULIS, Rimantas DIDZIOKAS, Eleonora GUSEINOVIENTE, Marijonas BOGDEVICIUS <i>Continuous cargo loading operations using self-control handling equipment at the container terminal</i>	19	30
4.	Asen ASENOV, Velizara PENCHEVA, Toncho BALBUZANOV, Stanimir PENEV <i>System for registration of the cars technical condition in Bulgaria</i>	31	41
5.	Svetlana BAČKALIĆ, Dragan JOVANOVIĆ, Todor BAČKALIĆ, Boško MATOVIĆ, Miloš PLJAKIĆ <i>The application of reliability reallocation model in traffic safety analysis on the rural road</i>	42	52
6.	Todor BAČKALIĆ, Marinko MASLARIĆ, Emilia SKUPIEŃ <i>Analysis of navigation accessibility and fairway availability – a case study the middle Danube river</i>	53	62
7.	Olga BARYSHNIKOVA <i>Creation of promising transportation devices using mechanisms based on flexible tubular elements</i>	63	68
8.	Krzysztof BIZON <i>Numerical simulation of compression test of rail pad including nonlinear material properties</i>	69	75
9.	Marijonas BOGDEVICIUS, Andrius RUŽINSKAS, Vaidas VADLŪGA, Paulius BOGDEVIČIUS, Rimantas KAČIANAUSKAS, Algirdas MAKNICKAS <i>Investigation of tire force transmission on interaction with slush</i>	76	85
10.	Andrey BORODIN, Vitaly PANIN <i>The distribution of marshalling work of industrial and mainline rail transport</i>	86	93
11.	Elena BORODINA, Sergey VAKULENKO, Evgenia PROKOFIEVA <i>Interaction of stations at the port railway junctions</i>	94	103
12.	Gintautas BUREIKA, Gediminas VAIČIŪNAS <i>Investigation of outward safety airbag of passenger rail vehicle</i>	104	112

Ключевые слова: контейнерный поезд, прогнозирование контейнерных потоков, международный транспортный коридор, искусственные нейронные сети

Zhomart ABDIRASSILOV*

Kazakh Academy of Transport and Communication named after M. Tynyshpayev
Shevchenko, 97, 050012, Almaty, Kazakhstan

Aleksander ŚLADKOWSKI

Silesian University of Technology, Faculty of Transport
Kraśnińskiego 8, 40-019 Katowice, Poland

*Corresponding author. E-mail: zhomart23@mail.ru

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR SHORT-TERM PREDICTION OF CONTAINER TRAIN STREAM IN CHINA-EUROPE DIRECTION VIA KAZAKHSTAN

Summary. International container transport plays an important role in the commodity turnover between China and Europe, and accordingly the efficiency of these transportations increases with the organization of special container lines (land and sea). Due to geographical location, the territory of Kazakhstan in recent years has become one of the main international landlines for the passage of container cargo. The solution of such problems as reduction of delivery terms, simplification of customs operations, establishment of attractive and competitive tariffs, ensuring a high degree of cargo safety, development of transport infrastructure, assessment of the transit potential of the republic's railway network, forecasting future freight flows in the future. This article shows the use of neural networks for forecasting the flow of container trains in the direction China - Europe. For this purpose, a three-layer perceptron with a training algorithm based on the back propagation of the error signal was used [11]. A concrete example shows how the artificial neural network (ANN) is trained and how the adjustable parameters are selected.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТОКА КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ В НАПРАВЛЕНИИ КИТАЙ-ЕВРОПА ЧЕРЕЗ КАЗАХСТАН

Аннотация. Международные контейнерные перевозки играют важную роль при товарообороте между Китаем и Европой, и соответственно эффективность этих перевозок повышается при организации специальных контейнерных линий (сухопутных и морских). В силу географического расположения территория Казахстана в последние годы стала одним из основных международных сухопутных линий по пропуску контейнерных грузов. На первый план выдвигается решение таких проблем как сокращение сроков доставки, упрощение таможенных операций, установление привлекательных и конкурентоспособных тарифов, обеспечение высокой степени сохранности грузов, развитие транспортной инфраструктуры, оценка транзитного потенциала железнодорожной сети республики, прогноз объемов грузопотоков в будущем. В данной статье показано применение нейронных сетей для прогнозирования потока контейнерных поездов по направлению Китай – Европа. Для этой цели использован трехслойный

персептрон с алгоритмом обучения, основанном на обратном распространении сигнала ошибки [11]. На конкретном примере показано, как производится обучение искусственной нейронной сети (ИНС) и как выбираются настраиваемые параметры.

1. INTRODUCTION

Казахстан – самая крупная в мире страна, не имеющая выхода к морю. Но её географическое расположение на пути растущего сухопутного торгового потока между Европой и Азией дает целый ряд транспортно-логистических преимуществ. Развивая транзитный потенциал современной инфраструктурой, Казахстан не боится отсутствия выходов к морю. Политика страны заключается в том, чтобы не опоздать и стремится получить выгоду от развития Китая. Это самая крупная страна в мире, имеющая огромные ресурсы. Казахстан придерживается современной философии большой выгоды, а не концепции большой игры. Поэтому работает над возрождением Великого Шелкового пути [15].

С учетом этих перспектив стремительного роста грузопотоков из Китая в Европу с использованием транзитного коридора, проходящего через территорию Казахстана, особую важность приобретают задачи оценки потенциальных возможностей железнодорожной сети республики, прогнозирования объемов перевозок груза с целью совершенствования транспортной инфраструктуры.

В работе показано применение ИНС для краткосрочных прогнозов грузопотоков по транзитному коридору Китай – Европа. Практическая значимость данного исследования заключается в иллюстрации методики настройки параметров нейронной сети, а также в использовании реальных статистических данных о потоке контейнерных поездов по данному направлению грузовых перевозок. Написана программа на языке MATLAB, получены прогнозные значения потока грузов, которые хорошо согласуются с их фактическими значениями.

2. КОНТЕЙНЕРНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

В настоящее время страны Юго-Восточной Азии превратились в главную мировую фабрику для производства широкого ассортимента товаров разных отраслей промышленности. Это обусловлено разными экономическими причинами, главной из которых является дешевая рабочая сила. Согласно данным информации статьи [1] большая часть мировых судов работает на обслуживании контейнерных маршрутов между портами Европы и Азии (с большим отрывом лидируют Сингапур, Шанхай, Гонконг и Шеньжень).

Фактически контейнерные грузоперевозки являются наиболее эффективным способом транспортировки товаров в евразийском транзите. Контейнер обеспечивает сохранность груза, стандартные размеры, сниженные затраты на тару для товара, ускоренные темпы погрузочно-разгрузочных работ, унифицированную транспортную документацию и экспедиторские операции [2]. Анализ грузопотока по оси ЕС — ЕАЭС — Китай указывает на перевозку грузов по суше в 20- и 40-футовых контейнерах как на наиболее перспективную [3].

Перевозки через Казахстан заметно подешевели за последние два года в долларах — помогло ослабление тенге: соответственно повысилась конкурентоспособность. В настоящее время грузоперевозки на сухопутных маршрутах по оси Китай — Европа экономически менее эффективны чем морские, но на коротком плече — до Москвы, Урала, Казахстана просматриваются возможности их удешевления.

По оценкам специалистов, контейнерная перевозка товаров с высокой стоимостью на килограмм веса может быть перспективной, если в контейнер поместить товары стоимостью \$50–60 тыс. [3].

Для раскрытия потенциала сухопутных маршрутов нужны системные усилия на развитие контейнерного трафика и для устранения узких мест в инфраструктуре Казахстана.

Главная цель для всех заинтересованных сторон — решение внутренних проблем транспортно-логистической инфраструктуры, контейнеризация экономик и оптимизация регулирования отрасли, таможенного администрирования и т. д. Это приведет к интенсивному росту межрегиональных грузоперевозок, повысит связанность регионов, улучшит логистическую позицию регионов, не имеющих выхода к морю, а также всей Центральной Азии [3, 4].

Для того чтобы реализовать потенциал роста контейнерного транзита в 1,7 млн. ДФЭ необходимы следующие инициативы:

- Усиление функций маркетинга и продаж в Китае для установки прямых отношений с грузоотправителями, разъяснение преимуществ ж/д транспорта в небольшой разнице в цене с морской транспортировкой и в более коротких сроках доставки;
- Обеспечение снижения стоимости транспортировки для грузоотправителя совместно со всеми странами-участниками транзитного коридора до конкурентного с морскими перевозками уровня;
- Повышение коэффициента обратной загрузки до среднего для каждого направления уровня через активизацию усилий по продажам грузоотправителям в Европе;
- Оптимизация стоимости транспортировки через дальнейшее внедрение программы снижения затрат с повышенными целями по экономии и оптимизации [5] распределения потока с учетом использования электрифицированных путей и участков с наименьшей загрузкой для снижения требований к расширению пропускной способности;
- Усиление позиций в консолидации и деконсолидации грузов для повышения контроля над потоками;
- Сохранение конкурентоспособных сроков доставки в 7-10 дней при значительном повышении объема транзита до целевых уровней;
- Обеспечение качественного мониторинга исполнения запланированных мер по развитию транзитных перевозок совместно с причастными структурными подразделениями и дочерними организациями [6].

Грузоотправители начинают более активно пользоваться сухопутными транспортными маршрутами, реагируя на изменение ценовой конъюнктуры.

Развитие программы «Экономического пояса Шелкового пути» (ЭПШП) будет способствовать прогрессу в казахстанской экономике, развитию ее «контейнеризованности». В настоящее время в системе Акционерное общество «Казакстан темир жолы – Грузовые перевозки» (АО «КТЖ – ГП») контейнерные перевозки занимают всего 2% грузооборота и 6% стоимостных объемов. Нереализованный потенциал контейнеризации во многом связан с инфраструктурными ограничениями. Транспортно-логистическая инфраструктура имеет небольшой запас транзитной мощности. С ростом грузопотоков ее эффективность будет снижаться, а это отразится на предпочтениях грузоотправителей.

Для решения этой проблемы на территории Казахстана необходимо создавать современные контейнерные терминалы. Наряду с этим заниматься строительством и реконструкцией железнодорожных путей (и в меньшей степени — автомобильных дорог), что даст возможность увеличить совокупные транзитные мощности Казахстана в 3 - 5 раз в зависимости от направлений. По экспертным оценкам, строительство 3–4 базовых инфраструктурных объектов (современных контейнерных хабов), даст Казахстану возможность увеличить пропускную способность в транзите более чем в 2 раза и удешевить внутреннюю логистику на 40% [3].

3. УСКОРЕННЫЙ КОНТЕЙНЕРНЫЙ ПОЕЗД

В сфере мировых грузовых перевозок контейнерные перевозки составляют более 55% всего объема грузоперевозок, причем, по мнению экспертов, в ближайшем будущем эта цифра

увеличится до 70%. Статистика подтверждает, что самой прогрессивной технологической формой организации контейнерных перевозок являются контейнерные поезда [7].

Ускоренные контейнерные поезда следуют к месту назначения без переформирования, с минимумом остановок в пути. Перевозка груза ускоренными контейнерными поездами позволяет снизить сроки доставки грузов, исключить сортировку и разрыв поездов на сортировочных станциях, тем самым обеспечивая скорость и сохранность доставки товара покупателю [8].

Организация курсирования ускоренных маршрутных контейнерных поездов по территории Республики Казахстан - новый для Казахстана вид контейнерных перевозок, эффективный и перспективный. Его преимущества по сравнению с перевозками другим транспортом очевидны. Это прежде всего более привлекательные и конкурентоспособные тарифы, значительное сокращение сроков перевозки, осуществление оперативной доставки до места назначения, упрощенные процедуры пересечения границ, таможенного оформления, высокая степень обеспечения сохранности перевозок грузов. Вывод очевиден: организация и развитие контейнерных перевозок в республике — одна из самых актуальных проблем, касающаяся совершенствования транспортного комплекса на ближайшую перспективу [7, 8].

Для Казахстана развитие контейнерных перевозок и их соответствие международным стандартам может вызвать рост инвестиций в железнодорожную отрасль, более эффективное распределение финансовых и материальных ресурсов транспортной отрасли, ускоренное формирование и техническое обустройство транспортных коммуникаций, в том числе входящих в международные коридоры. Контейнерные перевозки могут привлечь большие транзитные грузопотоки на территорию страны и активизировать конкуренцию между вагонными и контейнерными перевозками, что позволит максимально использовать транзитно-транспортный потенциал и повысить конкурентоспособность транспортной отрасли [7].

В этом отношении, как полагают эксперты из источника [9], будущее – за развитием технологий движения по расписанию. Это даст возможность составить реальную конкуренцию автомобильному транспорту, особенно на длинных маршрутах.

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОТОКОВ

Прогнозирование контейнерных потоков является важнейшим инструментом выработки эффективных управленческих решений в части выбора оптимальной стратегии развития; определения необходимого технического оснащения; планирования потребности в материальных, трудовых и финансовых ресурсах; проведения мер по привлечению клиентов и т.д. Таким образом, проблема развития системы прогнозирования спроса на грузовые перевозки в современных условиях стала особенно актуальной. В этой области необходима разработка современной методики прогнозирования спроса на грузовые перевозки с использованием новейших математических методов и моделей и их адаптацией к особенностям рынка транспортных услуг. Кроме того, необходимость использования разработок в практике прогнозирования в реальных условиях накладывает определенные требования к подбору математического аппарата: он должен совмещать в себе достоинства других методов и одновременно отличаться простотой и наглядностью в применении, максимально базироваться на имеющейся в распоряжении железнодорожного транспорта информации.

Выполненное краткосрочное прогнозирование является неотъемлемой частью реализуемого в настоящее время, Стратегии «Казахстан-2050» по развитию транзитного потенциала и увеличению транзитных перевозок через Казахстан к 2020 году в 2 раза, а к 2050 году в 10 раз [10]. В рамках проекта целью является увеличение транзитного грузооборота за счет привлечения контейнерных грузов между Китаем, Европой, Ближним Востоком и Россией как сегмента с наиболее высоким потенциалом роста. Для объективной оценки изменения динамики контейнерных потоков, а также перспектив развития сети необходимо выполнить прогнозирование ряда критерияльных показателей транзитного потенциала, а именно, объемов

контейнерных поездов проходимых по железнодорожной сети Республики Казахстан, учитывая нестабильную динамику объемов перевозок был установлен еженедельный период прогнозирования 2017-2018 гг. (таб. 1).

Таблица 1

Еженедельное количество контейнерных поездов по направлению Китай-Европа через Казахстан (за период с 08.01.2017 г. по 29.04.2018 г.)

№ недели	количество поездов	№ недели	количество поездов	№ недели	количество поездов	№ недели	количество поездов
1	21	18	18	35	31	52	27
2	20	19	22	36	31	53	21
3	19	20	21	37	35	54	21
4	18	21	20	38	32	55	23
5	3	22	22	39	32	56	21
6	6	23	23	40	29	57	26
7	14	24	24	41	28	58	31
8	17	25	25	42	29	59	28
9	23	26	22	43	29	60	1
10	26	27	28	44	35	61	11
11	30	28	24	45	37	62	31
12	27	29	28	46	36	63	28
13	27	30	26	47	34	64	29
14	23	31	24	48	38	65	31
15	27	32	25	49	29	66	30
16	25	33	28	50	28	67	28
17	24	34	26	51	28	68	31

5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ИНС

В настоящее время ИНС широко используются на практике для решения различных классов задач: прогнозирования и аппроксимации, распознавания образов и классификации, принятия решений и управления и т.д. При моделировании процессов прогнозирования временных рядов часто используют многослойные персептроны, состоящие из одного слоя входных нейронов (сенсорных элементов), из одного или нескольких скрытых слоев вычислительных нейронов (ассоциативных элементов) и одного слоя выходных нейронов (реагирующих элементов).

В дальнейшем мы будем рассматривать трехслойный персептрон, в котором скрытые нейроны образуют только один слой. Входные сигналы подаются на сенсорные узлы и эти сигналы распространяются в прямом направлении от слоя к слою, т.е. последовательно проходят через входной, скрытый и выходной слои сети. Мы будем рассматривать полносвязный персептрон, в котором каждый нейрон входного слоя связан с каждым нейроном скрытого слоя и каждый нейрон скрытого слоя связан с каждым нейроном выходного слоя. Нейроны входного слоя не осуществляют преобразование данных, в этом слое происходит просто разветвление входного сигнала и передача к нейронам следующего слоя.

На выходе сети получаем реакцию системы на образ (на входной вектор сигналов, подаваемых на сенсорные узлы сети). Выходные сигналы нейронной сети сравниваются с желаемым откликом системы и формируется сигнал ошибки. Полученный сигнал

распространяется в обратном направлении: проходит через выходной, скрытый и входной слои и используется для обучения сети с целью обеспечения максимальной близости (в статистическом смысле) реакции нейронной сети и желаемого отклика системы. Такой алгоритм обучения с обратным распространением ошибки (error back-propagation algorithm [12]) широко используется в нейронных сетях. Процесс обучения может многократно повторяться с использованием различных образов (входных векторов сигналов) и соответствующих фактических откликов системы. Наличие скрытых нейронов облегчает процесс обучения, позволяет выявлять важные свойства и закономерности во входных сигналах, которые необходимы для формирования выходного вектора сигнала, обладающего желаемыми качествами.

В среде Matlab [12,13] была написана программа, предназначенная для прогноза значений еженедельного потока контейнерных поездов по направлению Китай – Европа. Программа вводит исходные данные с Excel-файла, в котором данные представлены в виде двух столбцов. Каждая строка таблицы состоит из даты, соответствующей воскресенью каждой недели, и суммарного количества поездов за неделю. Используемый в программе Excel-файл содержит данные о количестве контейнерных поездов за 68 недель: за период с 8 января 2017 г. по 29 апреля 2018 г. (рис. 1). Отметим, что существенное уменьшение потока грузов в феврале месяце 2017 г. и 2018 г. связано с празднованием в КНР Нового года по восточному календарю.

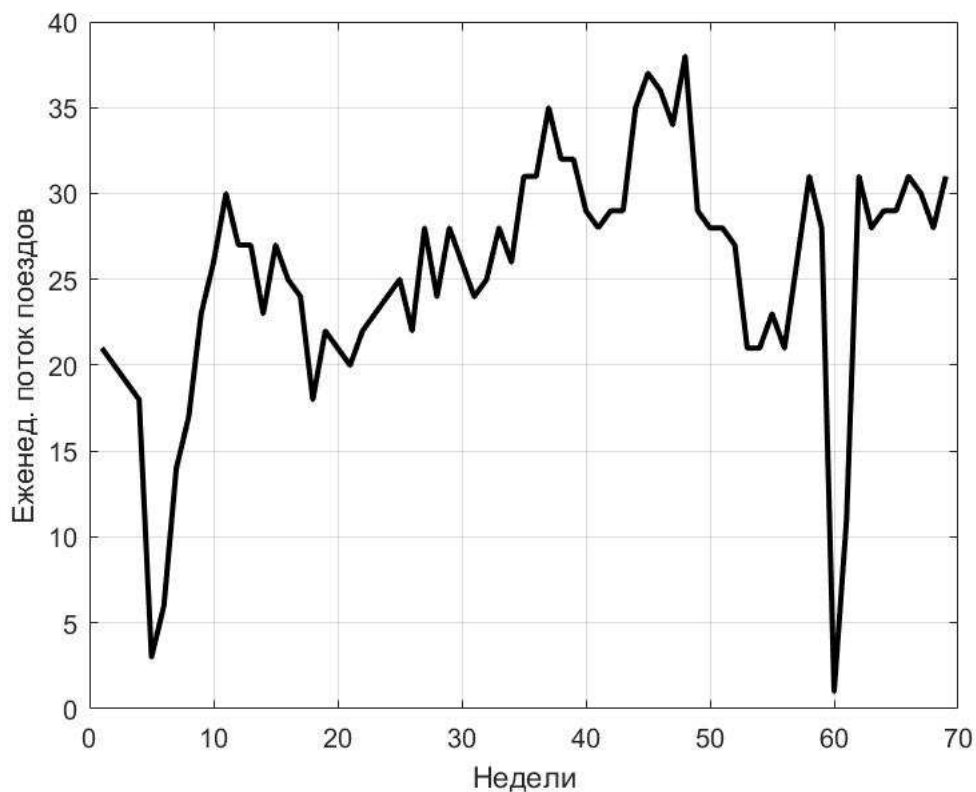


Рис. 1. График еженедельного количества контейнерных поездов по направлению Китай – Европа с 08.01.2017 по 29.04.2018 (68 недель)

В качестве интервала обучения сети был задан период с 8 января 2017 г. по 1 апреля 2018 г. (т.е. для обучения используются $T = 64$ значения потока грузов). Начало интервала прогнозирования было задано с 8 апреля 2018 г. (программа выдает прогнозные значения потока грузов на 4 недели, начиная с этой даты, т.е. за 8, 15, 22 и 29 апреля 2018 г.). Отметим, что начало интервала прогнозирования лежит вне интервала обучения, т.е. в процессе обучения программа не обладает информацией о значениях потока в интервале прогнозирования. В

программе обучение нейронной сети производится по алгоритму обратного распространения сигнала ошибки [11].

Для описания структуры используемой нейронной сети мы должны указать: n_1 – количество нейронов во входном слое, n_2 – количество нейронов в скрытом слое, n_3 – количество нейронов во выходном слое. В рассматриваемом примере были взяты следующие значения: $n_1 = 8$, $n_2 = 8$, $n_3 = 4$, т.е. прогнозируем 4 значения потока грузов, используя предшествующие 8 значений (при этом формируем еще 8 вспомогательных (скрытых) значений).

Процесс обучения состоит из двух вложенных друг в друга циклов. Во внешнем цикле производится E эпох обучения, каждая эпоха состоит из L внутренних циклов. Каждый внутренний цикл обучения заключается в следующем. Начиная от начала интервала обучения выбирается шаблон, состоящий из последовательных $n_1 + n_3$ данных. На основании n_1 значений потока делается прогноз на последующие n_3 недель. Затем вычисляются отклонения прогнозных значений от фактических и с учетом этой ошибки производится корректировка весовых матриц и векторов смещения, используемых в алгоритме обратного распространения. Затем шаблон из $n_1 + n_3$ данных смещается на одну неделю вперед и начинается следующий внутренний цикл обучения, и т.д. до достижения конца периода обучения. В следующей эпохе обучение опять начинается от начала периода обучения. В рассматриваемом примере мы повторяем $E = 10000$ эпох обучения.

Для того, чтобы показать, как идет процесс обучения нейронной сети, по окончании каждой эпохи производится пробное прогнозирование и вычисляется средняя относительная ошибка прогнозирования ε (в процентах) по формуле:

$$\varepsilon = 100 \cdot \left(\frac{1}{n_3} \sum_{i=1}^{n_3} \frac{|P_i - F_i|}{F_i} \right) \quad (1)$$

где P_i – прогнозные значения, F_i – фактические значения потока грузов.

Написанная на MatLab программа выдает график ошибки ε в зависимости от номера эпохи. По полученному графику можно производить настройку параметров обучения сети.

Реализованный в программе алгоритм обучения нейронной сети характеризуется двумя выбираемыми параметрами: скоростью обучения η и коэффициентом момента α , которые могут принимать значения в интервале от 0 до 1. Ниже на примере использования нейронной сети для прогнозирования значений потока грузов показано, как производится настройка сети.

Наилучшие значения параметров η и α выбираются на основе многокритериальной задачи принятия решений. В качестве критериев оценки приемлемости параметров может служить следующая совокупность показателей:

1) Свойство монотонности процесса обучения (желательно, чтобы ошибка прогноза монотонно убывала по мере увеличения номера эпохи обучения).

2) Устойчивость процесса обучения (ошибка прогноза должна стремиться к некоторому предельному значению, т.е. при достаточно больших значениях номера эпохи мы должны получать почти одни и те же значения ошибки); при этом график процесса обучения будет представлен почти горизонтальной линией для больших значений номера эпохи.

3) Минимизация количества эпох обучения, необходимого для достижения предельного значения ошибки прогнозирования с некоторой заданной точностью.

4) Минимизация предельного значения ошибки прогнозирования.

Монотонность и устойчивость процесса обучения дают возможность сократить количество эпох, необходимых для обучения нейронной сети. Обучение можно прервать досрочно как только ошибка прогноза станет достаточно близкой к предельному значению, т.е. когда график процесса обучения выходит на почти горизонтальный участок.

Были проведены численные эксперименты на компьютере для исследования зависимости точности прогнозирования от параметров нейронной сети: от скорости обучения η и коэффициента момента α . Для этого для различных пар значений (η, α) , где η меняется от 0.1 до 1.0 с шагом 0.1 и α меняется от 0.0 до 1.0 с шагом 0.1, с помощью построенной нейронной сети были проведены прогнозирования и определены соответствующие значения средней относительной ошибки прогнозирования. Результаты численных расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

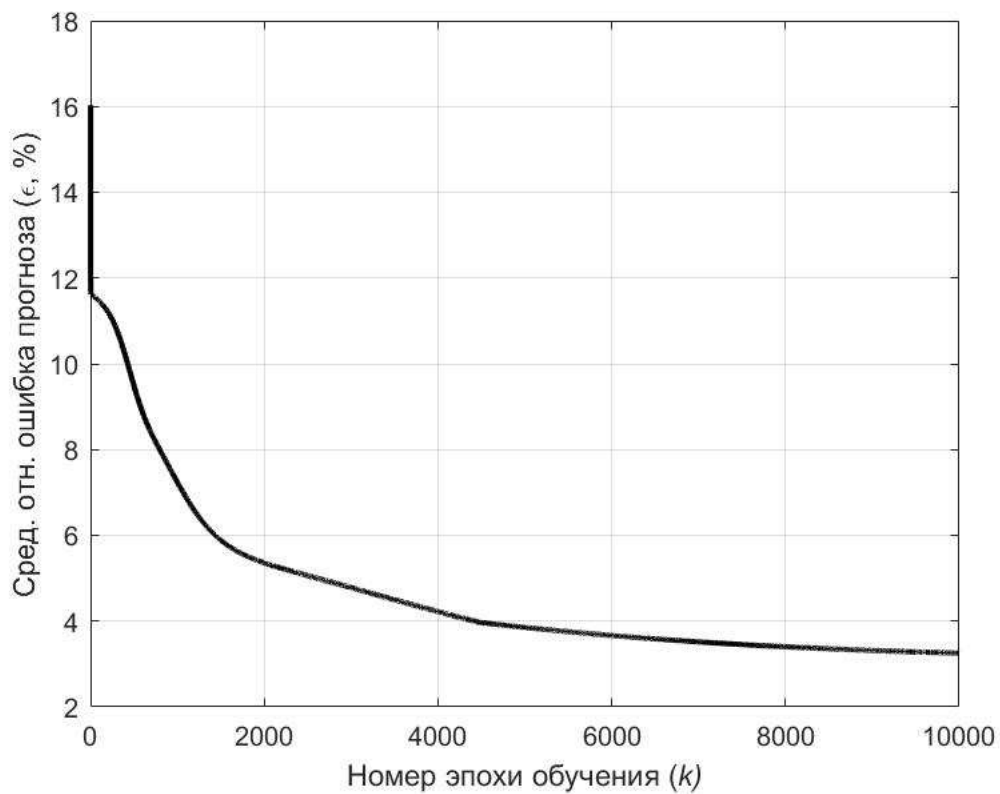
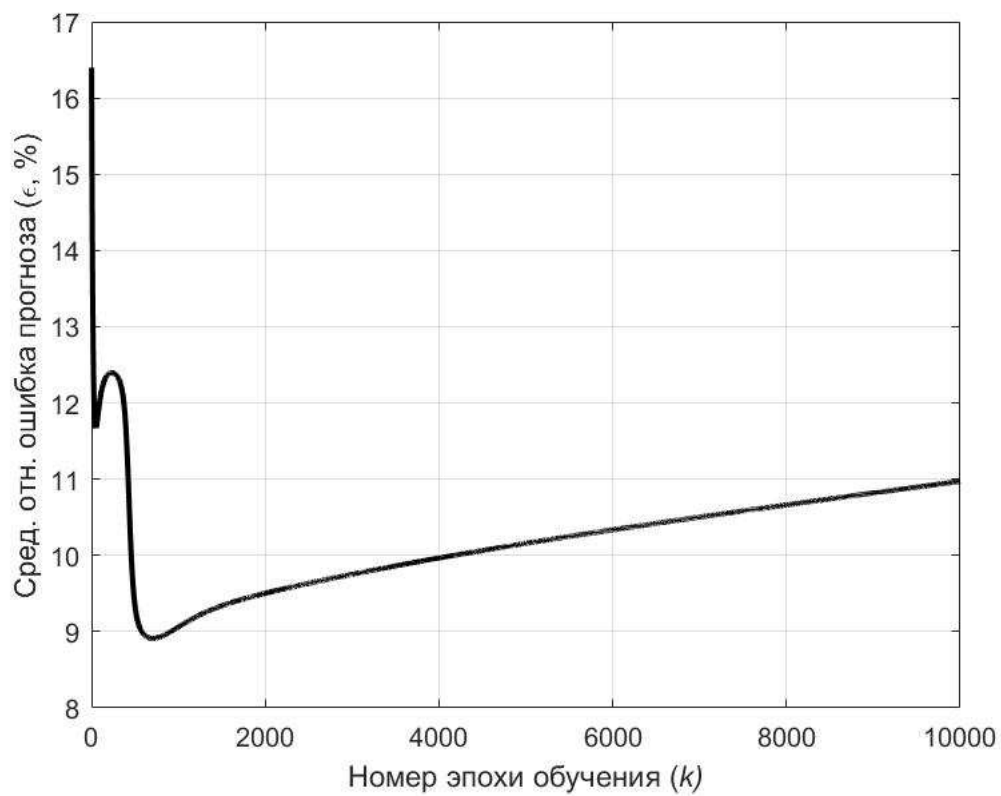
Средняя относительная ошибка прогнозирования ε (в %) при различных значениях скорости обучения η и коэффициента момента α

		α										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
η	0.1	3.50	3.42	3.37	3.32	3.29	3.27	3.26	3.25	3.26	3.27	3.28
	0.2	3.26	3.29	3.33	3.37	3.43	3.48	3.54	3.64	3.81	3.99	4.15
	0.3	3.43	3.51	3.59	3.75	3.97	4.17	4.34	4.46	8.99	9.18	9.36
	0.4	3.64	3.79	4.03	4.22	4.36	9.18	9.44	9.70	9.96	10.24	10.54
	0.5	3.84	4.04	4.20	9.33	9.66	10.01	10.38	10.78	11.18	11.60	12.04
	0.6	4.03	4.17	9.63	10.07	10.54	11.04	11.55	12.09	12.66	13.28	13.95
	0.7	4.23	9.82	10.38	10.97	11.59	12.23	12.93	13.68	14.47	15.25	15.95
	0.8	4.45	10.55	11.26	11.99	12.78	13.63	14.52	15.37	16.08	16.60	16.83
	0.9	10.55	11.38	12.23	13.15	14.13	15.08	15.87	16.41	7.27	7.60	7.94
	1.0	11.31	12.27	13.30	14.37	15.33	16.02	7.19	7.56	7.95	8.32	8.67

Как видно из вышеприведенной таблицы, наименьшее значение $\varepsilon_* = 3.25\%$ получается при скорости обучения $\eta = 0.1$ и коэффициента момента $\alpha = 0.7$. На рисунке 2 приводится график процесса обучения, соответствующий этим значениям параметров сети. Процесс обучения удовлетворяет условиям монотонности и устойчивости. С увеличением номера эпохи обучения k происходит постепенное уменьшение средней относительной ошибки прогнозирования $\varepsilon(k)$, которая при достаточно больших значениях k стремится к предельному значению ε_* . На рисунке 3 для сравнения приводится график процесса обучения в случае $\eta = 0.7$ и коэффициента момента $\alpha = 0.3$. Как видно из рисунка, при этих значениях параметров процесс обучения сети не обладает свойством монотонности и устойчивости.

В процессе работы программы в командном окне MatLab отображается следующая информация: интервалы исходных данных и обучения, начальная дата прогнозирования, архитектура используемой нейронной сети (количество нейронов во входном, скрытом и выходном слоях: n_1 , n_2 и n_3), значения параметров обучения (скорость обучения η и коэффициент момента α), количество эпох обучения (E) и время, затрачиваемое на обучение, а также результаты прогнозирования (прогнозные и фактические значения потока грузов: P_i и F_i , ($i = \overline{1, n_3}$)), средняя относительная ошибка прогнозирования (ε , в %) (рис. 4).

Поскольку поток грузов, измеряемый количеством контейнерных поездов, может принимать только целые значения, в программе производится округление прогнозируемого потока до целых чисел. Как видно из результатов работы программы (рис. 4), полученные прогнозные значения потока грузов на 4 недели вперед хорошо согласуются с их фактическими значениями (средняя относительная ошибка составляет $\varepsilon = 2.45\%$). В случае, когда интервал прогнозирования выходит за пределы интервала исходных данных, программа выдает прогнозные значения потока грузов, но не печатает их фактические значения и не вычисляет среднюю относительную ошибку ε , т.к. в этом случае нет возможности сравнения прогнозных и фактических значений.

Рис. 2. График процесса обучения при $\eta = 0.1$ и $\alpha = 0.7$ Рис. 3. График процесса обучения при $\eta = 0.7$ и $\alpha = 0.3$

```

Начало работы программы Forecast_China_Europe

Начальная дата интервала исходных данных:      '08.01.2017'
Конечная дата интервала исходных данных:      '29.04.2018'

Заданная начальная дата интервала обучения: 08.01.2017
Заданная конечная дата интервала обучения: 01.04.2018

Заданная начальная дата интервала прогнозирования: 08.04.2018

Количество нейронов во входном слое (input) = 8
Количество нейронов в скрытом слое (hidden) = 8
Количество нейронов во выходном слое (output) = 4
Параметр скорости обучения (eta) = 0.1
Коэффициент момента (alpha) = 0.7
Количество эпох обучения (E) = 10000

Начало обучения
Конец обучения
На обучение затрачено 64.058 сек.

-----
                РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗА
Дата           Прогноз        Факт
08-Apr-2018    31              31
15-Apr-2018    29              30
22-Apr-2018    28              28
29-Apr-2018    29              31
-----

Средняя относительная ошибка прогнозирования = 3.25%
После округления прогноза до целого           = 2.45%

Завершение работы программы

```

Рис. 4. Отображение результатов расчета в командном окне MatLab

Кроме подбора параметров обучения, еще одним важным вопросом является определение количества эпох обучения. Задание слишком большого количества эпох E потребует не только больших затрат компьютерного времени на процесс обучения нейронной сети, но может привести и к накоплению ошибок вычислений. При значениях эпохи обучения $k > 10\,000$ не происходит существенного улучшения прогноза, а при достаточно больших значениях k MAPE $\varepsilon(k)$ начинает расти. Поэтому в рассматриваемом примере выбор количества эпох обучения $E = 10\,000$ можно считать вполне приемлемым.

Таким образом, для рассматриваемой задачи прогноза потока контейнерных грузов была выбрана следующая структура сети: количество нейронов во входном, скрытом и выходном

слоях были взяты равными $n_1 = 8$, $n_2 = 8$ и $n_3 = 4$ соответственно; количество эпох обучения $E = 10\,000$; скорость обучения $\eta = 0.1$ и константа момента $\alpha = 0.7$. Построенная нейронная сеть обеспечивает достаточно точный прогноз значений потока грузов с MAPE $\varepsilon = 3.25\%$.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проанализировано современное состояние вопроса перевозок грузов по маршрутам Восток – Запад. Отмечено уникальное географическое положение Казахстана, которое позволяет быть «мостом» между странами производителями различного вида товаров, прежде всего, Китаем, и странами потребителями данной продукции. Такое положение позволяет извлекать существенную экономическую выгоду, однако для того чтобы таковая была постоянно, необходимо развитие транспортной инфраструктуры, что в свою очередь требует разумного инвестиционного подхода. В настоящее время одним из наиболее существенных тормозов на пути развития контейнерных перевозок является ценовой фактор. Несмотря на значительно более короткие сроки доставки контейнеров при помощи железнодорожного сообщения, основной транспортный поток следует морем. Таким образом, инвестиции должны способствовать улучшению транспортной инфраструктуры, снижению цены доставки товаров, обеспечению регулярности доставки грузов, что в целом должно переориентировать транспортные потоки на более короткие маршруты, которые проходят по территории Казахстана. Такой подход будет способствовать не только извлечению финансовой прибыли, но и развитию регионов, привязанных к обслуживанию железнодорожного сообщения.

В работе для решения задачи прогнозирования потока контейнерных поездов использована искусственная нейронная сеть, состоящая из трех слоев (трехслойный персептрон). Следует отметить, что точность прогноза зависит от удачного выбора архитектуры сети (количества скрытых слоев, количества нейронов в каждом из слоев), а также от метода обучения сети. Здесь нами был использован алгоритм обратного распространения сигнала ошибки, который позволяет многократно использовать исходные данные о временном ряде в цикле, каждый раз меняя матрицы весов и векторы смещений, используемые для вычисления прогнозных значений.

Для временного ряда, содержащего данные о еженедельном потоке контейнерных поездов по направлению Китай – Европа была рассмотрена задача прогнозирования с использованием нейронной сети с алгоритмом обучения, основанном на обратном распространении сигнала ошибки. Результаты численных расчетов показывают эффективность данного метода для задач краткосрочного прогноза.

Литература

1. Сладковски, А. *Контейнерные перевозки Запад – Восток, Восток – Запад*. In: Миндур, М. (ed.) *Транспорт в товарообмене между Европой и Азией*. Варшава – Радом: IteE – PIB. 2011. P. 254-283. [In Russian: Sladkowski, A. *Container shipments West - East, East - West*. In: Mindur, M. (ed.) *Transport in the exchange of goods between Europe and Asia*. Warsaw - Radom: IteE – PIB]
2. Паршина, Р.И. *Развитие транзитных и международных контейнерных перевозок*. Экспедирование и логистика. 2004. No. 2. P. 14-18. [In Russian: Parshina, R.I. *Development of transit and international container transportation. Forwarding and logistics*]
3. *Шелковый путь: успех в решении логистических проблем*. Available at: <https://kapital.kz/expert/58535/shelkovyj-put-uspeh-v-reshenii-logisticheskikh-problem.html> [In Russian: *Silk Road: success in solving logistics problems*]

4. Der-Hornig, L. & Jian Gang, J. & Jiang Hang, C. Schedule Template Design and Storage Allocation for Cyclically Visiting Feeders in Container Transshipment Hubs. *Transportation Research Record*. 2012. No. 2273. P. 87-95
5. КТЖ добился лучших показателей по скорости контейнерных поездов на маршруте Китай - Европа – Китай. Available at: http://www.inform.kz/ru/ktzh-dobilsya-luchshih-pokazateley-po-skorosti-konteyneryh-poezdov-na-marshrute-kitay-evropa-kitay_a2811543 [In Russian: KTZ achieved the best rates for the speed of container trains on the route China-Europe-China]
6. Стратегия развития акционерного общества Национальная компания «Қазақстан темір жолы» до 2025 года. Утверждена решением Совета директоров АО НК «КТЖ» от 26 ноября 2015 года, № 11. Available at: https://ktzh-gp.kz/upload/strategiya_razvitiya_ktzh.pdf [In Russian: The development strategy of the joint-stock company National company "Kazakhstan temir zholy" until 2025. Approved by the decision of the Board of Directors of JSC NC "KTZh" on November 26, 2015]
7. Эффективную методику организации контейнерных поездов Казахстана предложили ученые КазАТУ им. М. Тынышпаева. Available at: <http://www.ncste.kz/ru/news/effektivnyuyu-metodikuorganizacii-konteyneryh-poezdov-kazahstana-predlozhili-uchenye> [In Russian: The scientists of KazATU named after M. Tynyshpaev proposed effective method of organization of container trains in Kazakhstan]
8. Ускоренные контейнерные поезда. Available at: <http://swiftrus.ru/uslugi/uskorenyye/> [In Russian: Accelerated container trains]
9. Развитие транзитного потенциала. Available at: <https://railways.kz/ru/node/969> [In Russian: Development of transit potential]
10. Послание президента Республики Казахстан Нурсултана Назарбаева народу страны «Стратегия «Казахстан-2050» Новый политический курс состоявшегося государства». Available at: <http://www.akorda.kz> [In Russian: The message of the President of the Republic of Kazakhstan Nursultan Nazarbayev to the people of the country "Strategy "Kazakhstan-2050" New political course of the held state"]
11. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс. Москва: Вильямс. 2006. 1104 p. [In Russian: Khaikin, S. *Neural Networks: Full Course*. Moscow: Williams]
12. Дьяконов, В.П. MATLAB. Полный самоучитель. Москва: ДМК Пресс. 2012. 768 p. [In Russian: Dyakonov, V.P. *MATLAB. Full self-instruction manual*. Moscow: DMK Press]
13. Медведев, В.С. & Потемкин, В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. 496 p. [In Russian: Medvedev, V.S. & Potemkin, V.G. *Neural networks. MATLAB 6*. - Moscow: DIALOG-MIFI]
14. Mennon, A. & Mehrotra, K. & Mohan, C.K. & Ranka S. Characterization of class of sigmoid functions with application to neural networks. *Neural Networks*. 1996. Vol. 9. P. 819-835.
15. Главная тема: Соединяя восток и запад. Available at: <http://transexpress.kz/ru/magazines.php?id=494> [In Russian: The main theme: Connecting east and west]