



АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Оригинальная статья

УДК 656.222.6

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-158-167>

EDN: <https://elibrary.ru/njglh>



Нейросетевой подход к изучению функционирования системы курсирования кольцевых маршрутных поездов

А. Л. Казаков^{1, 2}, Р. Ю. Упырь¹, А. Д. Доможирова¹✉

¹Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС),
Иркутск, Российская Федерация

²Институт динамики систем и теории управления
им. В. М. Матросова СО РАН,
Иркутск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследуется участок курсирования кольцевых маршрутных поездов. Приведены подробное описание и характеристика участка, на их основе он отнесен к человеко-машинным и трудноформализуемым системам. Исследование устойчивости такого рода транспортных объектов не может быть осуществлено с использованием известных критериев и методов. Целью работы стала разработка нового подхода к оценке устойчивости функционирования системы курсирования кольцевых маршрутных поездов, который учитывает особенности и специфику объекта исследования.

Материалы и методы. В статье предлагается для оценки устойчивости курсирования кольцевых маршрутных поездов использовать нейросетевой подход. В качестве исходных данных используется временной ряд изменения грузопотока на участке обращения кольцевых маршрутных поездов, являющийся главным эксплуатационным показателем исследуемой системы. Для моделирования выбран метод искусственной нейронной сети как простой и эффективный инструмент изучения рассматриваемой системы со значениями грузопотока, имеющими случайный характер.

Результаты. Описан подход, основанный на использовании производительности нейронной сети. Данный показатель отражает соответствие результатов моделирования с фактическими данными и позволяет оценить качество модели.

Обсуждение и заключение. Представленный подход может использоваться для оценки устойчивости системы курсирования кольцевых маршрутных поездов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортная система, человеко-машинная система, трудноформализуемая система, нейронная сеть, моделирование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Казаков А. Л., Упырь Р. Ю., Доможирова А. Д. Нейросетевой подход к изучению функционирования системы курсирования кольцевых маршрутных поездов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 2. С. 158–167. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-158-167>.

✉ domojirova.a@gmail.com (А. Д. Доможирова)

© Казаков А. Л., Упырь А. Д., Доможирова А. Д., 2023



AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 656.222.6

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-158-167>

EDN: <https://elibrary.ru/njglh>



Neuronal network approach to study the operation of shuttle-service trains

Alexander L. Kazakov^{1, 2}, Roman Yu. Upyr¹, Alena D. Domojirova¹✉

¹Irkutsk State University of Railway Transport,
Irkutsk, Russian Federation

²Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of the Siberian Branch of the RAS,
Irkutsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The authors study the section of the shuttle-service trains. Based on a detailed description and characterisation of the site, it is categorised as a man-machine and difficult-to-formalise system. It is not possible to study stability of such transport facilities using known criteria and methods. This study aimed at developing a new approach for assessing sustainability of a shuttle-service train system, taking account of its specific features and characteristics.

Materials and methods. The paper proposes the use of a neural network approach to assess the sustainability of shuttle-service trains. The input data used is a time series of freight flow on a section of the shuttle-service trains, which is the main operational indicator of the system under study. The method of artificial neural networks is chosen for modelling because it is a simple and effective tool for studying the system in question, with the values of the freight flow having a random character.

Results. An approach based on the power of neural networks is described. This indicator enables to assess quality of the model by reflecting the consistency of model results with actual data.

Discussion and conclusion. The approach presented may be used to assess the sustainability of a shuttle-service train system.

KEYWORDS: transport system, man-machine system, difficult-to-formalise system, neural network, modeling

FOR CITATION: Kazakov A. L., Upyr A. D., Domojirova A. D. Neuronal network approach to study the operation of shuttle-service trains. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(2):158-167. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-158-167>.

✉ domojirova.a@gmail.com (A. D. Domojirova)

© Kazakov A. L., Upyr A. D., Domojirova A. D., 2023

Введение. Кольцевые маршрутные поезда — это поезда, проходящие не менее одной технической станции без обработки с постоянным составом от станции погрузки до станции выгрузки и обратно. Такая организация поездопотока целесообразна и экономически эффективна при стабильных объемах погрузки на станциях отправления груженого маршрута [1].

Курсирование кольцевых маршрутных поездов осуществляется на участке, в пределах которого обращаются постоянные составы, с одной или несколькими станциями погрузки и выгрузки, оснащенными погрузо-разгрузочными средствами и складами. Продолжительность оборота составов строго регламентируется посредством составления расписания. В рамках участка устанавливается весовая норма маршрутного поезда. Организацию движения осуществляет оперативно-диспетчерский персонал (поездной диспетчер, дежурные по станции), управление тягой поездов выполняют локомотивные бригады, работники грузовых комплексов координируют грузовые операции [2]. Данное описание подпадает под определение технологической системы [3].

Средствами технологического оснащения участка курсирования кольцевых маршрутных поездов являются главные пути, путевое развитие станций погрузки-выгрузки, грузовые устройства, устройства сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и связи [4]; предметами производства — порожние и груженные составы кольцевых маршрутных поездов, груз, загружаемый или выгружаемый из вагонов [5]; исполнителями — дежурные по станции, поездной диспетчер, составители поездов, работники пунктов технического осмотра, приемосдатчики груза и багажа, локомотивные бригады, работники грузовых объектов и др. [6].

Процесс курсирования кольцевых маршрутных поездов подвержен негативным воздействиям случайного характера (отказы технических средств, несвоевременная явка локомотивной бригады, технологические нарушения оперативно-диспетчерского персонала), которые могут в той или иной степени отклонить его параметры от нормативных значений (отправление поезда с опозданием, отправление неполновесного состава поезда), однако по прошествии некоторого времени исследуемый транспортный объект способен вернуться к нормальному функционированию с нормативными параметрами: поезд, отправившийся с опозданием, за счет нагона вернется к движению по расписанию; вышедшие из строя погрузочно-разгрузочные устройства после ремонта приводятся к работоспособному состоянию; невыполненное в сутках задание по размеру грузопотока реализуется на следующий день и т. д. При этом участие в производственном процессе не только средств

технологического оснащения и предметов производства, но и исполнителей не позволяет использовать для оценки устойчивости методы и подходы, применяемые к обычным техническим системам (например, системам автоматического регулирования). В работе [7] системы, в которых элементами являются исполнители, называются трудноформализуемыми. Это объясняется сложностью использования фундаментальных математических и физических законов в описании внешних и внутренних связей, а также моделирования процессов их функционирования из-за наличия человеческого фактора, который чрезвычайно усложняет моделирование. Таким образом, отнесем исследуемую систему к классу трудноформализуемых, требующих применения специальных методов исследования [8]. Целью работы является разработка нового подхода к оценке устойчивости функционирования на основе методов математического и компьютерного моделирования.

В качестве модельного инструментария выбрана искусственная нейронная сеть, которая позволяет получить данные за счет генерации значений посредством симуляции. Искусственная нейронная сеть является наиболее простым и доступным инструментом для исследования изменения величины грузопотока, который меняет величину случайным образом. Именно в простоте и удобстве заключается главное преимущество нейронных сетей по сравнению с моделями в виде случайных процессов [9].

Постановка задачи. Состав кольцевого маршрутного поезда может изменять свой вес при операциях погрузки или выгрузки. В другие промежутки времени его вес постоянен: при следовании от станции погрузки и обратно, при нахождении под техническими и коммерческими операциями. Технологией работы участка обращения кольцевых маршрутов предусмотрены расписание, которое должно соблюдаться при выполнении всех операций и следовании по участку, и вес поезда, установленный нормативными документами. Опишем математически работу системы, согласно приведенным выше условиям. Функцию, характеризующую работу системы, представим в виде

$$f(t) = \begin{cases} at; & 0 \leq t \leq t_1; \\ Q; & t_1 < t \leq t_2; \\ -kt + b; & t_2 < t \leq t_3; \\ 0; & t_3 < t \leq T; \end{cases} \quad a > 0; b > 0; k > 0, \quad (1)$$

где $0 \leq t \leq t_1$ — время на погрузку состава маршрутного поезда; $t_1 < t \leq t_2$ — время на техническую обработку состава после погрузки, прицепку поездного локомотива, торможение, время следования маршрутного поезда от станции погрузки до станции выгрузки;

$t_2 < t \leq t_3$ — время на выгрузку состава маршрутного поезда; $t_3 < t \leq T$ — время на техническую обработку состава после выгрузки, прицепку поездного локомотива, торможение, время следования маршрутного поезда от станции выгрузки до станции погрузки; Q — вес маршрутного поезда, установленный для участка курсирования; T — время, в течение которого производятся повторяющиеся операции четырех промежутков кусочно-линейной функции [10].

Константы a , k и b определяются по формулам

$$a = \frac{Q}{t_1}; \quad k = \frac{Q}{t_3 - t_2}; \quad b = \frac{Q - t_3}{t_3 - t_2}. \quad (2)$$

График функции $f(t)$ представлен на рис. 1.

Задачей, которую необходимо решить для достижения цели данного исследования, является разработка нейросетевого подхода, позволяющего оценить устойчивость функционирования рассматриваемой системы. Это важно для проведения своевременных мероприятий по минимизации эксплуатационных и экономических потерь при возникновении сбоев в курсировании кольцевых маршрутных поездов, что в целом позволит повысить эффективность организации перевозок на железнодорожном участке.

Материалы и методы. В работе [11] авторами была представлена структурная модель технологической системы грузовой станции, в которую вошли технологические модули (технологические линии) работы станции: погрузка-выгрузка вагонов, обработка составов по прибытии-отправлении, подача-уборка вагонов и др. Каждый из модулей содержит предмет производства, средства технологического оснащения и исполнителей. Применим подход, предложенный в [11]. Выделим следующие модули структурной модели системы курсирования кольцевых маршрутных поездов:

- первый модуль — погрузка состава маршрутного поезда;
- второй модуль — обработка груженого состава (техническое и коммерческое обслуживание), прицепка локомотива, перестановка на пути отправления и др.;
- третий модуль — следование маршрутного поезда с груженым составом;
- четвертый модуль — обработка поезда с груженым составом по прибытии, перестановка на выгрузочные пути;
- пятый модуль — выгрузка состава маршрутного поезда;
- шестой модуль — обработка порожнего состава (техническое и коммерческое обслуживание), прицепка локомотива, перестановка на пути отправления и др.;

• седьмой модуль — следование маршрутного поезда с порожним составом;

• восьмой модуль — обработка поезда с порожним составом по прибытии, перестановка на погрузочные пути.

Операции, осуществляемые в рамках описанных модулей, производятся в течение четырех промежутков времени кусочно-линейной функции (1): первый модуль — в первом интервале; второй, третий и четвертый — во втором; пятый — в третьем; шестой, седьмой и восьмой — в четвертом.

Вероятность устойчивого функционирования модулей технологической системы определяется зависимостью [11]:

$$P_i(t) = P_{i1}(t)P_{i2}(t)P_{i3}(t), \quad (3)$$

где $P_{i1}(t)$ — вероятность устойчивого функционирования средств технологического оснащения; $i = 1, 2, \dots, k$ — номер модуля; $P_{i2}(t)$ — вероятность устойчивого функционирования предмета производства; $P_{i3}(t)$ — вероятность устойчивого функционирования исполнителя.

Для того чтобы дать оценку устойчивости системы в целом, необходимо оценить устойчивость каждого модуля [12], которая, в свою очередь, определяется совокупностью устойчивостей функционирования его составляющих: предмета производства, средств технологического оснащения и исполнителей. В данном исследовании рассмотрим предмет производства третьего модуля — величину грузопотока на участке курсирования кольцевых маршрутных поездов — и проанализируем его устойчивость. Для оценки последней будем использовать показатели производительности нейросетей, характеризующие степень соответствия между данными, полученными в ходе моделирования, и фактическими и являющиеся в данном случае аналогом вероятности устойчивого функционирования. Исходным материалом для построения моделей будут

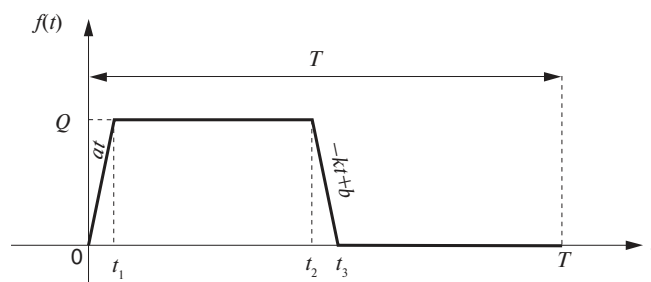


Рис. 1. Изменение веса состава Q в рамках системы курсирования кольцевых маршрутных поездов

Fig. 1. Variation of train weight Q with in a shuttle-service train system

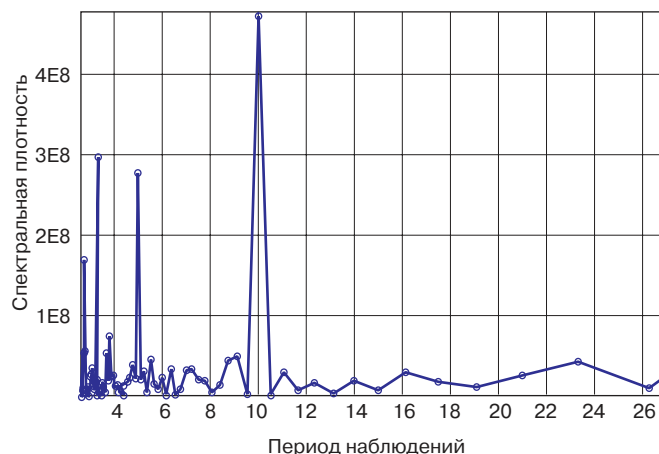


Рис. 2. Периодограмма колебаний грузопотока на участке А

Fig. 2. Periodogram of freight flow variations on section A

Таблица 1

Значения производительности построенных нейронных сетей

Table 1

Neural network performance values

№ п/п	Нейросеть	Производительность
1	MLP 10-2-1	0,48
2	MLP 10-8-1	0,72
3	MLP 10-11-1	0,69

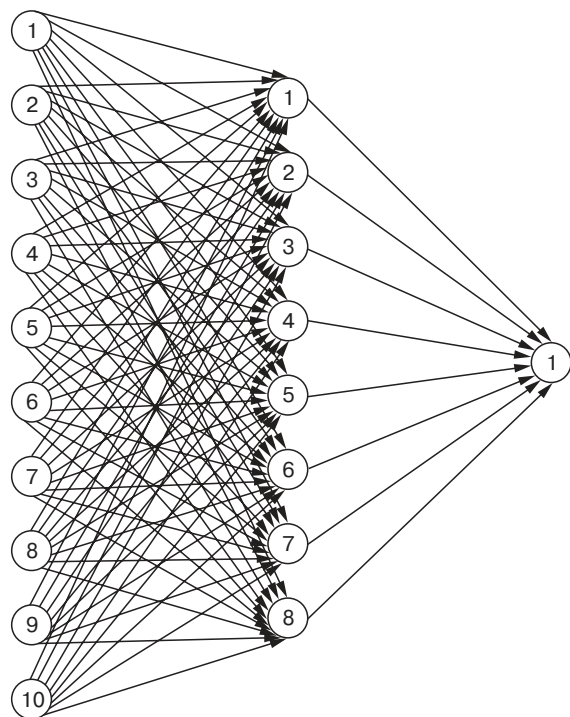


Рис. 3. Архитектура нейросети MLP 10-8-1

Fig. 3. Neural network architecture MLP 10-8-1

служить данные временного ряда о величине грузопотока участка курсирования кольцевых маршрутных поездов.

Построение модели. При построении нейросетевой модели сначала необходимо определить период наблюдений — количество нейронов входного слоя, далее следует ввести исходные данные временного ряда грузопотока, на заключительном этапе выполняется построение нейросетей с помощью программного пакета STATISTICA с последующим анализом результатов.

Для определения периода наблюдений — количества нейронов входного слоя — проведем спектральный одномерный анализ Фурье и построим периодограмму [13]. На периодограмме точка, в которой достигается наибольшее значение спектральной плотности, — это период наблюдений, в данном случае период равен 10 (рис. 2). Величины на осях являются безразмерными.

С помощью программного пакета STATISTICA был произведен спектральный анализ колебаний величин грузопотоков, построены нейронные сети и выполнен их сравнительный анализ (табл. 1). Построение нейронных сетей необходимо для получения значений производительности моделей и показателя, отражающего соответствие результатов моделирования фактическим данным.

Существуют следующие показатели, использующиеся для оценки адекватности нейросетевой модели: производительность обучения, ошибка обучения, контрольная ошибка, тестовая ошибка и др. Для оценки выбрана производительность обучения нейросети, поскольку она отражает степень совпадения фактических данных с полученными с учетом ошибок. Данный показатель характеризуется коэффициентом детерминации, определяемым по формуле

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_y^2}, \quad (4)$$

где σ^2 — дисперсия случайной величины y ; σ_y^2 — дисперсия ошибки модели.

Архитектура нейронной сети с наибольшей производительностью представлена на рис. 3.

На рис. 4 представлено графическое изображение фактических и полученных нейросетями значений грузопотока.

У каждой из нейросетей имеются свои достоинства. Так, график, построенный на основе значений нейросети MLP 10-2-1, характеризуется наименьшей амплитудой колебаний грузопотока. Нейросетевые данные MLP 10-11-1 содержат пиковые значения, которые наиболее близки фактическим экстремумам. Тем не менее для прогнозирования будем использовать MLP 10-8-1, так как эта нейросеть обладает самой высокой производительностью (табл. 1).

Вычислительный эксперимент. Объектом исследования является однопутный железнодорожный участок А—Б, в границах которого курсируют 5 пар кольцевых маршрутных поездов: 5 порожних и 5 груженых. Станция А является станцией выгрузки, станция Б — погрузки. Поезда обращаются от станции А до станции Б и обратно в соответствии с расписанием, в которое заложено время следования от станции А до станции Б и обратно, обработка составов (отцепка локомотива от привезенного порожнего или груженого состава, переезд и прицепка к составу, торможение).

Каждый из пяти груженых поездов состоит из 40–45 вагонов, вес поезда 2400–2700 т. В сутки нормативный суммарный вес пяти поездов составляет 12 000–13 500 т. На исследуемом участке не всегда удается достичь установленного суммарного веса поездов по следующим причинам:

- срыв погрузки на станции Б (ввиду неисправности погрузочных средств, отсутствия груза);
- прибытие маршрута на станцию А или Б с опозданием (опоздание не позволяет отправиться груженому маршруту по расписанию, из-за чего оперативно-диспетчерский персонал принимает решение об отправлении локомотива резервом — без вагонов);
- отказы технических средств (неисправности локомотива, вагонов, устройств СЦБ и др.).

Колебания грузопотока на рассматриваемом участке имеют значительный размах (рис. 5).

На станции Б добавим 40 резервных вагонов, из которых состоит один маршрутный поезд, что

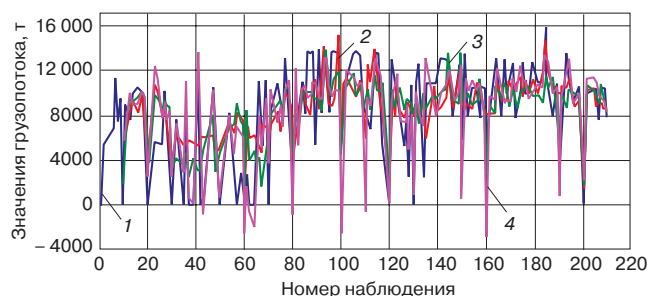


Рис. 4. Графики фактических и полученных нейросетью значений грузопотока:

1 — фактические значения; 2 — MLP 10-2-1;
3 — MLP 10-8-1; 4 — MLP 10-11-1

Fig. 4. Graphs of actual and neural network derived freight flow values:

1 — actual values; 2 — MLP 10-2-1;
3 — MLP 10-8-1; 4 — MLP 10-11-1

позволяет в случае неготовности груженого состава отправить поезд по расписанию, используя резерв. Увеличение парка вагонов возможно, к примеру, за счет аренды грузоотправителем дополнительного подвижного состава.

Данные о кольцевых маршрутных поездах участка Восточного полигона сведены в таблицу соотношения маршрутов с груженными и порожними составами, по которой можно определить номер наблюдения (суток), в котором число груженых поездов меньше порожних. Фрагмент представлен в табл. 2.

Таблица 2

Соотношение груженых и порожних маршрутных поездов

Table 2

Ratio of loaded to empty shuttle-service trains

Номер суток	Номер груженого маршрутного поезда	Количество вагонов в поезде	Номер порожнего маршрутного поезда	Количество вагонов в поезде
1	3041	43	3046	44
	3045	45	3042	43
2	3049	40	3046	44
	3047	44	3048	43
	3041	44	3044	45
	3045	41	3010	41
3	3045	40	3044	34
	3043	34	3042	40
	3041	40	3046	44
	—	—	3048	40
4	3049	42	3042	40
	3047	42	3010	44
	3045	44	3046	42
	—	—	3044	42
5	3043	42	3010	44
	3041	42	3042	45
	3049	42	—	—



Рис. 5. Колебания величины грузопотока на участке курсирования кольцевых маршрутных поездов

Fig. 5. Variation in freight flow on a section of shuttle-service trains



Рис. 6. Колебания величины грузопотока на участке курсирования кольцевых маршрутных поездов после введения резерва вагонов

Fig. 6. Variation of the freight flow on the shuttle-service trains section after the introduction of the car reserve

В наблюдениях 3 и 4 имеет место прибытие локомотивов на станцию Б с порожними вагонами (четные номера поездов) и отправление локомотивов со станции Б без вагонов (в таблице отмечено «—»). Для обоих случаев (3 и 4) причиной этого явилась неисправность погрузочно-разгрузочных средств на станции Б, из-за которой к моменту прибытия порожнего маршрута грузовой состав не был готов. Именно для таких «срывов» отправления грузового маршрутного поезда целесообразно использовать резерв грузовых вагонов.

Из исследуемых 211 наблюдений, частично представленных в табл. 2, выберем 41, которые удовлетворяют приведенным выше условиям отправления резервного локомотива. К значениям грузопотока здесь добавлено 2400 т, что соответствует массе 40 грузовых резервных вагонов. График с измененными значениями грузопотока представлен на рис. 6.

Согласно [14], показатель устойчивости уровней временного ряда, а именно индекс устойчивости уровней динамического ряда, определяется по формуле

$$i_y = \frac{\bar{y}_{\text{благ}}}{\bar{y}_{\text{неблаг}}}, \quad (5)$$

где $\bar{y}_{\text{благ}}$ — средний уровень за благоприятные периоды (среднее значение, определяемое за периоды, когда величина грузопотока выше значений, описываемых уравнениями тренда); $\bar{y}_{\text{неблаг}}$ — средний уровень за неблагоприятные периоды (среднее значение, определяемое за периоды, когда величина грузопотока ниже значений, описываемых уравнениями тренда).

На основании сказанного примем, что стабильность отправления грузовых маршрутных поездов возможно повысить за счет введения резервных вагонов на станции погрузки.

Для подтверждения состоятельности подхода проверим, повысится ли производительность нейросети после корректировки исходных данных для ее построения. Для моделирования используем значения грузопотока, представленные на рис. 6. После построения новых нейросетей в программном пакете STATISTICA определим их производительность (см. табл. 3).

Можно увидеть, что самые высокие значения производительности нейросетей, построенных на фактических данных и на данных с применением резерва вагонов, отличаются до 10 %, что говорит об адекватности предложенного подхода.

Таблица 3

Значения производительности построенных нейронных сетей после введения резерва вагонов

Table 3

Performance of the constructed neural networks after the introduction of the car reserve

Номер варианта	Структура нейросети	Производительность по фактическим данным	Структура нейросети	Производительность после введения резерва вагонов
1	MLP 10-2-1	0,48	MLP 10-6-1	0,77
2	MLP 10-8-1	0,72	MLP 10-5-1	0,76
3	MLP 10-11-1	0,69	MLP 10-8-1	0,82

Заключение. Система курсирования кольцевых маршрутных поездов — трудноформализуемая система, требующая особых подходов при исследовании ее функционирования. Тем не менее оценка устойчивости для рассматриваемой системы осуществима. Для этого в качестве параметра, по которому возможно оценить устойчивость, выбран ключевой показатель работы исследуемого объекта — величина грузопотока.

В качестве инструмента моделирования выбраны искусственные нейронные сети, производительность которых определяет прогнозируемость изменений грузопотока и используется для оценки устойчивости работы изучаемой системы. Для подтверждения состоятельности подхода был проведен вычислительный эксперимент, при котором сглаживание колебаний достигнуто путем введения резерва вагонов на станции отправления груженых маршрутных поездов. Построенные на основе скорректированных данных, нейронные сети показали более высокие значения производительности (рост до 10 % по сравнению с исходными).

Как и всякий модельно-алгоритмический подход, предложенная здесь нейросетевая модель имеет свои ограничения. Так, она не учитывает величину нормативного веса составов кольцевых маршрутов, а опирается на фактические данные, которые часто имеют значения меньше нормы. Кроме того, значения грузопотока выше нормативного считаются как некие «выбросы» во временном ряду, за счет чего понижается значение производительности нейросети, хотя на производстве такие значения являются «благоприятными». В этой связи напрашивается разработка дополнительного критерия, который учитывал бы отклонения уровней колебаний величины грузопотока от нормативного значения. Это планируется сделать в ходе дальнейшей работы. Однако здесь неизбежно возникает фундаментальная проблема всех нейросетевых моделей — необходимость привлечения больших объемов данных для обучения и недостаточная гибкость подхода. Решить ее предполагается за счет более широкого применения математических методов.

При высокой производительности нейронных сетей (от 80 % и выше) допускается возможность использования полученных данных для прогноза, описания характера изменений значений временных рядов и определения порядковых номеров наблюдений с наибольшими пиковыми значениями в будущем. Прогнозные данные могут быть полезны для выявления предстоящих промежутков времени, в течение которых ожидаются пониженные значения грузопотока. Избежать этого возможно с помощью проведения профилактических мероприятий: усиленного

контроля за работой по управлению тяговыми ресурсами (обеспечение своевременной явки локомотивных бригад и выдачи локомотивов из депо под составы маршрутов), заблаговременно выполненной маневровой работы по перестановке локомотива, применения дополнительных мер по борьбе со смерзаемостью насыпных грузов в зимние месяцы, мероприятий по повышению надежности погрузо-выгрузочных устройств и др.

Информация об устойчивости транспортных систем важна для предотвращения выхода из равновесного состояния или минимизации эксплуатационных и экономических потерь за счет оперативной корректировки параметров.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Александров А. Э., Ковалев И. А. Построение автоматизированного процесса управления обращением кольцевых маршрутов // Транспорт Урала. 2007. № 1. С. 41–47 [Aleksandrov A. E., Kovalev I. A. Design of automated control process for circular routes. *Transport of the Urals*. 2007;(1):41-47. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/kdmkjz>.
2. Malovetskaya E. V., Bolshakov R. S., Dimov A. V., Byshlyago A. A. Planning of qualitative indexes of railroad operational work in polygon technologies. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 760: *International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans-2019)*, 12–15 November 2019, Moscow, Russian Federation. [S. l.]: IOP Publ.; 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/760/1/012041>.
3. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения: дата введения 1986-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 15 с. [GOST 27.004-85. *Reliability in technology. Technological systems. Terms and definitions*. Introduction date 1986-07-01. Moscow: Standards Publishing House; 1986. 15 p. (In Russ.)].
4. Доможирова А. Д., Упырь Р. Ю. О влиянии задержек маршрутных поездов на восстановление графика движения поездов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 4 (72). С. 161–168 [Domozhirova A. D., Upyr R. Yu. On the influence of delays in route trains on the recovery of train graphics. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*. 2021;(4):161-168. (In Russ.)]. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2021.4\(72\).161-168](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2021.4(72).161-168).
5. Александров А. Э., Тимухина Е. Н., Ковалев И. А. Оптимизационная модель перевозочного процесса с использованием кольцевых маршрутов // Транспорт Урала. 2017. № 4. С. 36–39 [Aleksandrov A. E., Timuhina E. N., Kovalev I. A. Optimization model of the transportation process with the use of unit trains. *Transport of*

the Urals. 2017;(4):36–39. (In Russ.)). <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2017-4-36-39>.

6. Апатцев В. И., Шаров В. А. К реализации комплексной программы поэтапного перехода на организацию движения грузовых поездов по расписанию на российских железных дорогах // Наука и техника транспорта. 2011. № 3. С. 69–72 [Apattsev V. I., Sharov V. A. To realization of the Comprehensive program of phased transition to the organization of freight trains operation according to schedule on Russian railways. *Science and Technology in Transport*. 2011;(3):69–72. (In Russ.)). EDN: <https://www.elibrary.ru/oeyyhl>.

7. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры. М.: Физматлит, 2002. 320 с. [Samarskiy A. A., Mikhaylov A. P. *Mathematical modeling: ideas, methods, examples*. Moscow: Fizmatlit; 2002. 320 p. (In Russ.)). EDN: <https://www.elibrary.ru/mvanqr>.

8. Токарев В. Л. Интегрированные системы поддержки принятия решений сложных трудноформализуемых задач (по прогнозированию, управлению и диагностике): автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.09. Тула, 2000. 48 с. [Tokarev V. L. *Integrated decision support systems for complex hard-to-formalizable tasks (for forecasting, control and diagnostics)*. Dr. Sci. (Eng.) thesis synopsis: 05.13.09. Tula; 2000. 48 p. (In Russ.)).

9. Bychkov I. V., Kazakov A. L., Lempert A. A., Bukharov D. S., Stolbov A. B. An intelligent management system for the development of a regional transport logistics infrastructure. *Automation and Remote Control*. 2016;77(2):332–343. <https://doi.org/10.1134/S0005117916020090>.

10. Доможирова А. Д., Упырь Р. Ю. Моделирование устойчивого состояния системы курсирования кольцевых маршрутных поездов // Железная дорога: путь в будущее: сб. материалов I Междунар. науч. конф. аспирантов и молодых ученых, Москва, 28–29 апреля 2022 г. М.: Науч.-исслед. ин-т ж.-д. транспорта, 2022. С. 305–308 [Domozhirova A. D., Upyr R. Yu. Modeling of the stable conditions of the circular main tracker shuttle system. In: *Railways: A Path to the Future: Proceedings of the I International Scientific Conference of Postgraduate and Young Scientists, 28–29 April 2022, Moscow*. Moscow: Railway Research Institute; 2022. p. 305–308. (In Russ.)). EDN: <https://www.elibrary.ru/iftmju>.

11. Апатцев В. И., Подорожкина А. В. Оценка технологической устойчивости функционирования грузовых станций // Наука и техника транспорта. 2007. № 1. С. 8–13 [Apattsev V. I., Podorozhkina A. V. On the estimation of technological stability of the freight terminal operation. *Science and Technology in Transport*. 2007;(1):8–13. (In Russ.)). EDN: <https://www.elibrary.ru/hznail>.

12. Подорожкина А. В. Методика комплексной оценки технологической устойчивости грузовой станции // Наука и техника транспорта. 2010. № 4. С. 13–18 [Podorozhkina A. V. Integrated estimation procedure of technological stability of freight station. *Science and Technology in Transport*. 2010;(4):13–18. (In Russ.)). EDN: <https://www.elibrary.ru/mwlbzx>.

13. Рыбин П. К., Горин Р. В. Метод оптимизации структуры нейронной сети для задачи планирования подвода поездов к предпортовых станциям // Вестник транспорта Поволжья. 2017. № 5. С. 55–63 [Rybin P. K., Gorin R. V. Method of optimizing of the neural network structure for planning train arrival at pre-port stations. *Vestnik transporta Povolzhya*. 2017;(5):55–63. (In Russ.)). EDN: <https://www.elibrary.ru/yqzjy>.

14. Афанасьев В. Н., Юзбашев М. М. Анализ временных рядов и прогнозирование: учеб. для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению и специальности «Статистика». М.: Финансы и статистика, 2001. 228 с. [Afanas'ev V. N., Yuzbashev M. M. *Time series analysis and forecasting*. Moscow: Finansy i statistika; 2001. 228 p. (In Russ.)). EDN: <https://www.elibrary.ru/gdhzgx>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Леонидович КАЗАКОВ,

д-р физ.-мат. наук, профессор, кафедра управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15); главный научный сотрудник, Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН (664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 134), Author ID: 14911, <https://orcid.org/0000-0002-3047-1650>

Роман Юрьевич УПЫРЬ,

канд. техн. наук, заведующий кафедрой, кафедра управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15), Author ID: 518343, <https://orcid.org/0000-0001-5584-5105>

Алёна Дмитриевна ДОМОЖИРОВА,

аспирант, кафедра управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15), Author ID: 1039855, <https://orcid.org/0000-0002-3477-7788>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander L. KAZAKOV,

Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Department of Operations Management, Irkutsk State University of Railway Transport (664074, Irkutsk, 15, Chernyshevskogo St.); Chief Researcher, Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of the Siberian Branch of the RAS (664033, Irkutsk, 134, Lermontov St.), Author ID: 14911, <https://orcid.org/0000-0002-3047-1650>

Roman Yu. UPYR,

Cand. Sci. (Eng.), Head of Department, Department of Operations Management, Irkutsk State University of Railway Transport (664074, Irkutsk, 15, Chernyshevskogo St.), Author ID: 518343, <https://orcid.org/0000-0001-5584-5105>

Alena D. DOMOJIROVA,

Postgraduate, Department of Operations Management, Irkutsk State University of Railway Transport (664074, Irkutsk, 15, Chernyshevskogo St.), Author ID: 1039855, <https://orcid.org/0000-0002-3477-7788>

ВКЛАД АВТОРОВ

Александр Леонидович КАЗАКОВ. Определение и формирование направления исследования, формулировка цели, составление алгоритма исследования, подготовка и редактирование текста (40%).

Роман Юрьевич УПЫРЬ. Предложение и осуществление эксперимента, подтверждающего состоятельность предлагаемого подхода (20%).

Алёна Дмитриевна ДОМОЖИРОВА. Характеристика и описание функционирования системы курсирования кольцевых маршрутных поездов, разработка нейросетевой модели колебаний грузопотока, сравнительный анализ полученных результатов, выводы (40%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Alexander L. KAZAKOV. Definition and shaping of the areas of research, formulation of the objective, design of the research algorithm, preparation and editing of the paper (40%).

Roman Yu. UPYR. Proposal and implementation of an experiment to confirm the validity of the proposed approach (20%).

Alena D. DOMOJIROVA. Characterisation and description of the operation of a shuttle-service train system, development of a neural network model of freight flow variations, comparative analysis of the results, conclusions (40%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 02.02.2023, рецензия от первого рецензента получена 27.02.2023, рецензия от второго рецензента получена 27.03.2023, рецензия от третьего рецензента получена 29.03.2023, принята к публикации 14.04.2023.

The article was submitted 02.02.2023, first review received 27.02.2023, second review received 27.03.2023, third review received 29.03.2023, accepted for publication 14.04.2023.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

.....

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В АО «ВНИИЖТ»

Центр дополнительного образования (ЦДО) (лиц. № 2329 от 11.08.2016 г.) проводит повышение квалификации и профессиональную переподготовку слушателей по следующим направлениям:

- Анализ, моделирование бизнес-архитектуры и бизнес-процессов, использование процессного подхода в управлении организацией (для руководителей и специалистов)
- Проектирование, изготовление и приемка сварных конструкций железнодорожного подвижного состава, управление качеством в сварке рельсов, проведение аудита сварочного производства
- Построение энергосберегающих графиков движения поездов с использованием автоматизированной системы АПК ЭЛЬБРУС
- Изучение технологии транспортных процессов
- Транспортная логистика
- Изучение принципов построения и функционирования автоматизированной системы контроля за работой специального подвижного состава
- Изучение устройств, диагностики и средств контроля состояния железнодорожного пути
- Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и устройств электроснабжения

Программы обучения могут быть разработаны по инициативе заказчика с учетом профессиональной деятельности АО «ВНИИЖТ».

Обучение проводится как в очной форме, так и с применением дистанционных образовательных технологий.

По итогам освоения образовательных программ слушателям выдается документ о квалификации государственного образца.

Куратор ЦДО — Пархаев Алексей Александрович, кандидат социологических наук, заместитель генерального директора по управлению персоналом и социальным вопросам.

По вопросам обучения обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская улица, д. 10
Центр дополнительного образования. Тел.: +7 (499) 260-41-08

