

**Х.С. Аламир, Е.В. Заргарян, Ю.А. Заргарян**

**МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА  
НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ТРАФИКА  
НА ДОРОГАХ**

*В связи с индустриализацией современного общества, ростом транспортных систем нашей страны, увеличения определенных необходимых для развития потребностей граждан нашей страны количество транспортных средств разных видов и типов с каждым годом продолжает увеличиваться с большой скоростью, вызывая огромные пробки на транспортных дорогах, особенно в больших городах и мегаполисах. Таким образом, прогнозирование транспортных потоков является важным и необходимым компонентом оптимального управления трафиком в современных условиях развития транспортной сети. В качестве решения этой проблемы данная статья нацелена на анализ и описание применения методов искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей, что представляет современный подход к моделированию в сложных и нелинейных ситуациях, возникающих при прогнозировании модели транспортного потока. Показанный метод точности основан на разработке нейронной сети для прогнозирования дневного потока трафика. Затем ожидаемый транспортный поток сравнивается с реальным набором данных, записанным на участке дороги и предоставленным менеджером инфраструктуры. Фактически, нейронные сети способны извлекать уроки из прошлых возникших ситуаций и предсказывать будущие ситуации на транспортной сети. В этом исследовании были изучены различные структуры нейронной сети, и результаты моделирования показали, что лучшие прогнозы были получены с использованием многослойной архитектуры перцептрон, которая имеет хорошую систему обобщения со средней общей квадратичной ошибкой 0,00927 при текущем наборе транспортных средств. Первая часть статьи посвящена определению различных концепций, относящихся к текущей области исследований, включая обзор литературы по прогнозированию трафика и нейронным сетям. Вторая часть посвящена описанию проблемы перегрузки трафика с помощью задач прогнозирования и представлению предлагаемого метода решения с акцентом на искусственные нейронные сети, как средство прогнозирования спроса и его различных структур. Затем численные эксперименты проиллюстрированы анализом результатов прогноза после формирования и тестирования различных архитектур нейронных сетей.*

*Нейронные сети; моделирование транспортного потока; метод точности; многослойная архитектура; искусственный интеллект.*

**H.S Alamir, E.V. Zargaryan, Yu.A. Zargaryan**

**TRANSPORT FLOW FORECASTING MODEL BASED ON NEURAL  
NETWORKS FOR TRAFFIC PREDICTION ON ROADS**

*In connection with the industrialization of modern society, the growth of the transport systems of our country, an increase in certain necessary for the development of the needs of the citizens of our country, the number of vehicles of various types continues to increase every year very fast, causing huge traffic jams on transport roads, especially in large cities and megacities. Thus, forecasting traffic flows is an important and necessary component of optimal traffic control in modern conditions of transport network development. As a solution to this problem, this article aims to analyze and describe the application of artificial intelligence methods, in particular neural networks, which represent a modern approach to modeling in complex and nonlinear situations that arise when predicting a traffic flow model. The shown accuracy method is based on the development of a neural network to predict the daily traffic flow. The expected traffic flow is then compared with the actual dataset recorded on the road section and provided by the infrastructure manager. In fact, neural networks are able to learn from past situations and predict future situations on the transport network. In this study, various neural network structures were examined,*

*and the simulation results showed that the best predictions were obtained using the multilayer perceptron architecture, which has a good generalization system with a root mean square error of 0.00927 with the current set of vehicles. The first part of the article is devoted to defining various concepts related to the current research area, including a review of the literature on traffic prediction and neural networks. The second part is devoted to describing the problem of traffic congestion using forecasting problems and presenting the proposed solution method with an emphasis on artificial neural networks as a means of forecasting demand and its various structures. Then, numerical experiments are illustrated by analyzing the forecast results after the formation and testing of various neural network architectures.*

*Neural networks; traffic flow modeling; precision method; multilayer architecture; artificial intelligence.*

**Введение.** В связи с постоянным ростом количества транспортных средств на дорогах городов, мегаполисов страны, трасс и с ограниченными бюджетами и земельными участками для строительства новой дорожной инфраструктуры, постоянными ремонтами, основные транспортные артерии страны и междугородные трассы разрушаются и загружаются под воздействием транспортных пробок. Пробки на дорогах особенно заметны в часы пик и вызывают экономические, социальные и экологические проблемы. Это образует огромные затраты с точки зрения потерянного времени водителей и пассажиров, по сравнению с обычным временем в пути, увеличивается количество аварий, затраты на использование топлива, загазованность местности и т.п.

В литературе многие авторы предоставляют исчерпывающий набор методов прогнозирования трафика. Первые прогнозы трафика появились с конца 1970-х годов [1] и касались прогнозирования транспортных потоков на основе подходов временных рядов с использованием различных методов с использованием математических и статистических инструментов [2–4].

В настоящее время появление интеллектуальных транспортных систем (ИТС) является важным направлением исследований, поскольку они позволяют применять новые информационные технологии в сфере прогнозирования транспортных потоков: обнаружение дорожных событий, коммуникация участников движения, обработка информации, работа с пользователями используемых программных приложений. Поэтому способность точно прогнозировать характер транспортного потока - одно из важнейших требований к системам управления трафиком дорожного движения. Интеллектуальные транспортные системы могут использоваться для улучшения использования транспортной инфраструктуры и повышения безопасности дорожного движения.

Основной целью этой работы является изучение модели прогнозирования транспортного потока на основе нейронных сетей для предсказания трафика на дорогах, за счет анализа данных собранных наблюдений. Набор данных, используемый в нашем исследовании, состоит из обучения, тестирования и проверки ежедневных данных о трафике, предоставляемых менеджером инфраструктуры дорожного потока.

Первая часть статьи посвящена определению различных концепций, относящихся к текущей области исследований, включая обзор литературы по прогнозированию трафика и нейронным сетям. Вторая часть посвящена описанию проблемы перегрузки трафика с помощью задач прогнозирования и представлению предлагаемого метода решения с акцентом на искусственные нейронные сети, как средство прогнозирования спроса и его различных структур. Затем численные эксперименты проиллюстрированы анализом результатов прогноза после формирования и тестирования различных архитектур нейронных сетей [5, 6].

### Основная часть

**1. Проблемы возникновения пробок на дорогах.** Заторы на дорогах возникают из-за некоторых ограничений на конкретной транспортной сети. Согласно Нагатани [7], пробки подразделяется на два типа: частые, большой загруженности (6–10 баллов), которые имеют определенную периодичность, или случайные и внезапные события малой загруженности (1–5 баллов), которые непредсказуемы и вызваны внешним событием, например: погодные условия, автомобильные аварии, временные строительные работы, и т.п. После возникновения этих событий образуется узкое место, предотвращающее естественный поток транспортных средств и увеличивающее время в пути.

Активное предсказание и управление транспортным потоком способствует лучшему использованию дорожной инфраструктуры. В настоящее время ИТС включают сбор, обработку и анализ данных для обеспечения эффективного инструмента принятия решений.

Прогнозирование транспортного потока стало неотъемлемой частью ИТС, однако данные о трафике очень нелинейны и зависят от времени суток и других влияющих факторов. Было разработано несколько методов для изучения и прогнозирования покрытия транспортных потоков:

Параметрические методы основаны на статистическом анализе данных, таких как линейная и нелинейная регрессия и авторегрессионное интегрированное скользящее среднее [7–9]. Однако эти модели более сложны для визуализации и требуют дополнительных вычислений.

Непараметрические методы, позволяющие аппроксимировать любую нелинейную функцию. Последние разработки привлекают использование искусственной нейронной сети [1], которая обеспечивает гибкость параметров на этапах проектирования и реализации. Этот метод оказался хорошим для краткосрочного прогнозирования транспортного потока [1, 10–12].

**2. Искусственная нейронная сеть для прогнозирования трафика.** Основные понятия. В качестве метода искусственного интеллекта искусственные нейронные сети (ИНН) «вдохновлены» работой человеческого мозга. Фактически, человеческий мозг или биологическая нейронная сеть содержит примерно 1011 нейронов и тысячи миллиардов (от 1014 до 1015) соединений. Кроме того, существует несколько типов нейронов, каждый из которых обладает тремя функциональными свойствами: получение сигнала от других нейронов или внешней среды, манипулирование этими сигналами для получения информации, передача информации другим нейронам.

Как показано на рис. 1, в области искусственных нейронных сетей это отражается в нескольких элементах, также называемых нейронами, где дендриты, аксоны и синапсы называются, соответственно, весами входов и выходов.

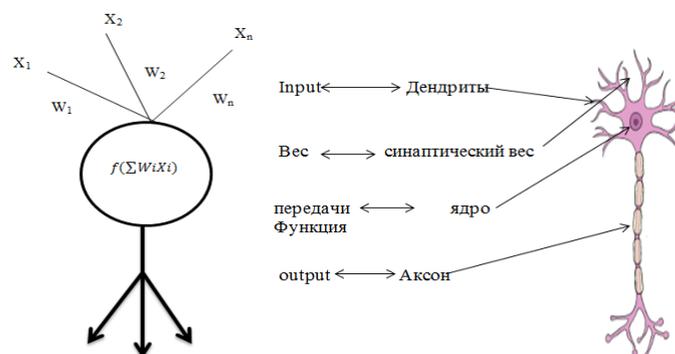


Рис. 1. Аналогия между искусственным и биологическим нейроном

Нейрон принадлежит к одному из трех типов слоев: входному слою, скрытому слою или выходному слою. Эти уровни связаны между собой связями, количественно определяемыми синаптическими весами.

Искусственный интеллект для нейронных сетей может использоваться, как решение различных задач, таких как моделирование и симуляция, оптимизация, классификация или прогнозирование [13–15]. Кроме того, производительность искусственной нейронной сети зависит от синаптических весов, которые адаптируются и изменяются на этапе обучения. Основная цель на этапе обучения – уменьшить общую ошибку сети и увеличить скорость обучения путем вычисления ошибки между фактическим и полученным выходом. Более того, другие критические параметры влияют на производительность нейронной сети, включая количество скрытых слоев, количество нейронов в скрытых слоях, использование нейронов смещения, наличие связей между выходным и входным слоями, скорость обучения и передаточная функция.

В этой статье предлагается использовать искусственную нейронную сеть в качестве решения проблем дорожного трафика путем прогнозирования суточного транспортного потока. Ожидаемый транспортный поток сравнивается с реальным набором данных, измеренным на определенном участке дороги.

**Предлагаемый метод решения** состоит из использования многоуровневой архитектуры нейронных сетей. При использовании метода проб и ошибок выполняются следующие шаги (непоследовательным образом), чтобы найти подходящую архитектуру нейронной сети с оптимальной производительностью прогнозирования:

1. Набор данных и выбор переменных.

Набор данных содержит информацию о транспортном потоке на конкретной автомагистрали, регистрируемую ежедневно за 2018, 2009, 2020 и 2021 годы и разбитую по классификации типов транспортных средств (легкие автомобили: класс 1, грузовики: класс 2, автомобили с тремя или более осями: класс 3). Образец сформированных данных представлен в табл. 1.

Этот первый шаг состоит из изучения проблемы и подбора входных переменных, а затем извлечения и сбора данных.

Предлагаемая нейронная сеть содержит входной слой из 18 значений. Выходные данные представляют ожидаемый поток трафика на день. Входные значения объяснены ниже:

а) разнообразная календарная информация (рабочий день/выходные, национальный праздник/религиозный праздник, школьный праздник, хронологический порядок дня (например, первый день религиозного праздника или последний день школьного праздника), забастовка сотрудников дорожной компании;

б) статистика усредненных потоков дневного трафика за предыдущие дни (трафик года – 365, 3 недели – 21, 2 недели – 14, неделя – 7, 6 дней, 5 дней, 4 дня, 3 дня, 2 дня и 1 день).

После этого формулируются наборы для обучения и тестирования, в которых сеть представлена как набор желаемых значений «вход / выход».

Таблица 1

**Классификация суточного трафика на основе почасовой суммы**

Регион	День	Час	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Общий трафик
Ростов н/Д, р-он Западный	06/04/2018	09:00	1367	128	71	1566
Ростов н/Д, р-он Западный	25/08/2019	17:00	1342	149	25	1516
Ростов н/Д, р-он Западный	30/12/2020	16:00	1981	185	132	2298
Ростов н/Д, р-он Западный	08/06/2021	01:00	389	116	97	602

2. Нормализация или предварительная обработка входных и выходных данных [16].

Нейронная сеть обучается только на предварительно обработанных данных, где входные значения находятся в интервале  $[-1, 1]$ , а выходные значения находятся в интервале  $[0, 1]$ .

### 3. Обучение и тестирование

Для обеспечения правильной работы нейронной сети необходимы правильные выходные данные (эталонные) для сравнения полученных результатов с полученными выходными данными, а затем для вычисления общей ошибки сети. Чтобы уменьшить ошибку нейронных сетей, определяемую как разницу между желаемым и полученным выходом, требуется этап обучения. На этом этапе выполняется корректировка сети, чтобы определить соответствующее значение соединений для того, чтобы результат сети был как можно ближе к фактическим эталонным выходным данным.

### 4. Выбор нужной нейронной сети

Как упоминалось ранее, на этапе обучения нейронной сети требуется пара желаемых значений «вход / выход», чтобы обеспечить лучший результат с минимальной ошибкой. В нашем случае мы используем сеть с тремя нейронами на входном уровне и одним нейроном на выходном уровне. Количество скрытых слоев и нейронов в каждом слое значение экспериментальное.

### Эксперименты и результаты

**1. Построение: этап обучения.** Основным результатом данной работы является реализация системы прогнозирования на основе нейронной сети для прогнозирования суточного потока трафика. Более того, необходимо передать в нейронную сеть реальные данные за предыдущие четыре года, как дневной поток трафика в городе. Ожидаемый поток трафика представляет собой выходные сети (рис. 2).

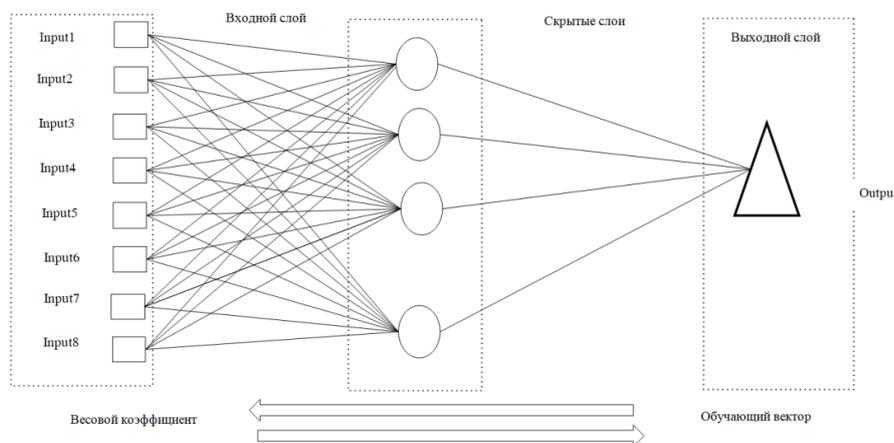


Рис. 2. Предлагаемый подход к поиску архитектуры нейронной сети

В этом исследовании различные модели искусственных нейронных сетей тестируются для прогнозирования потока трафика, включая радиальную базисную функцию (РБФ), перцептрон, многослойный перцептрон, адаптивный линейный нейрон и сверточная нейронная сеть (рис. 2). Однако наилучшие результаты прогнозирования получаются при использовании структуры многослойного перцептрона. Следовательно, результаты, представленные в данной статье, относятся только к архитектуре многослойного перцептрона (MLP – Multilayered perceptron).

Обучающий набор был составлен с использованием ежедневных данных о трафике за первые три года, включая 2018, 2019 и 2020. Набор тестов составлен из ежедневных данных о трафике за 2021 год. Поэтому выбранные шаблоны используются соответственно на этапах обучения и тестирования. Более того, чтобы найти подходящую структуру сети, которая даст наилучшие прогнозы трафика за несколько попыток, применяется изменение количества скрытых слоев и количества нейронов в этих скрытых слоях.

**2. Полученные прогнозы и анализ результатов.** Наилучшие прогнозы потока трафика во время экспериментов были получены с многослойным персептроном из трех скрытых слоев: первый скрытый слой состоит из пяти нейронов, второй – из восьми нейронов, а третий – из двух нейронов. Кроме того, передаточной функцией является сигмовидная и обратное распространение в качестве алгоритма обучения при наличии нейрона смещения.

Наилучший результат достигается при общей среднеквадратической ошибке 0,00927 в наборе транспортных средств и 0,01321 в наборе тестовых данных. Обзор результатов прогнозирования трафика представлен в следующей таблице (см. табл. 2).

Из результатов, полученных для серии тестов, можно сделать вывод, что искусственную нейронную сеть можно с легкостью использовать для прогнозирования трафика с приемлемой точностью.

Таблица 2

**Результаты прогнозирования трафика с наилучшей топологией MLP (скрытые слои 5-8-2)**

День	Актуальный трафик	Предсказанный трафик	Различие
08/01/2021	23147	22902	245
09/01/2021	25816	25448	368
17/01/2021	27739	28176	-437
28/02/2021	27471	28347	-876
24/05/2021	25080	24587	493

**Выводы.** В этой статье представлен обзор различных работ, связанных с моделированием и решением проблем заторов на дорогах и более точным прогнозированием транспортного потока, который является ключевым компонентом повседневной работы и планирования действий по управлению дорожным движением.

Основным выводом данной статьи является реализация инструмента прогнозирования трафика на основе искусственного интеллекта, в частности, использование модели нейронной сети. Ожидаемый транспортный поток сравнивается с реальным набором данных, зафиксированным на участке дороги и предоставленным ответственным за сбор данных. Результаты показывают, что наилучшей топологией для этого тематического исследования являются трехуровневые скрытые слои персептроном (5-8-2) общей среднеквадратической ошибке 0,00927 в наборе транспортных средств и 0,01321 в наборе тестовых данных.

В будущем направление исследований будет заключаться в сравнении эффективности прогнозирования искусственных нейронных сетей с другими традиционными или интеллектуальными моделями прогнозирования, такими как ARMA, ARIMA или ANFIS. Интересно применить предложенный подход с использованием рекуррентных нейронных сетей в глубоком обучении, основанном на использовании петель обратной связи для обработки серии данных, которые информируют конечный результат.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Lana I., Del Ser J., Velez M., et Vlahogianni E.I.* Road Traffic Forecasting: Recent Advances and New Challenges // IEEE Intell. Transp. Syst. Mag. – 2018. – Vol. 10, No. 2. – P. 93-109.
2. *Заргарян Е.В., Аконджанян Ж.Ж.* Исследование автоматизации коллаборативных роботов и способы их применения // Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020: Матер. X Международной научно-технической конференции. – 2020. – С. 218-223.
3. *Заргарян Ю.А.* Задача управляемости в адаптивной автоматной обучаемой системе управления // Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020: Матер. X Международной научно-технической конференции. – 2020.
4. *Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N. and Pushnina I.V.* Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH - 2020 // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 2085 (3). – P. 032057(1-7). – DOI: 10.1088/1742-6596/1679/3/032057.
5. *Katariyanakis Y. et Prastacos P.* Forecasting Traffic Flow Conditions in an Urban Network: Comparison of Multivariate and Univariate Approaches // Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. – Janv. 2003. – Vol. 1857, No. 1. – P. 74-84.
6. *Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Kapc I.V., Sakharova O.N., Kalyakina I.M and Dmitrieva I.A.* Method of estimating the Pareto-optimal solutions based on the usefulness // International Conference on Advances in Material Science and Technology - CAMSTech-2020: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 919 (2). – P. 022027 (1-8). – DOI: 10.1088/1757-899X/919/2/022027.
7. *Nagatani T.* The physics of traffic jams // Rep. Prog. Phys. – Sept. 2002. – Vol. 65, No. 9. – P. 1331-1386.
8. *Jiber M., Lamouik I., Ali Y., et Sabri M.A.* Traffic flow prediction using neural network // in 2018 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV), Fez, 2018. – P. 1-4.
9. *Zhang Y. et Liu Y.* Comparison of Parametric and Nonparametric Techniques for Non-peak Traffic Forecasting. – 2009. – Vol. 3, No. 3. – P. 7.
10. *Beloglazov D., Shapovalov I., Soloviev V., Zargaryan E.* The hybrid method of path planning in non-determined environments based on potential fields // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, No. 23. – С. 6762-6772.
11. *Zargarjan E.V., Zargarjan Ju.A., Finaev V.I.* Information support for the training of fuzzy production account balance in the conditions of incomplete data. Innovative technologies and didactics in teaching (ITDT-2016) // Collected papers. – 2016. – P. 128-138.
12. *Ahmed M.S. et. Cook A.R.* Analysis of Freeway Traffic Time-Series Data by Using Box-Jenkins Techniques. – P. 9.
13. *Финаев В.И., Заргарян Ю.А., Заргарян Е.В., Соловьев В.В.* Формализация групп подвижных объектов в условиях неопределённости для выбора управляющих решений // Информатизация и связь. – 2016. – № 3. – С. 56-62.
14. *Slimani I., Farissi I. El., et Achchab S.* Artificial Neural Networks for Demand Forecasting: Application Using Moroccan Supermarket Data. – 2015.
15. *Slimani I., Farissi I. El., et Achchab S.* Configuration and implementation of a daily artificial neural network-based forecasting system using real supermarket data // Int. J. Logist. Syst. Manag. – 2017. – Vol. 28, No. 2. – P. 144-163.
16. *Пушнина И.В.* Система управления подвижным объектом в условиях неопределенности // Наука и образование на рубеже тысячелетий: Сб. научно-исследовательских работ. – Кисловодск, 2018. – С. 65-74.
17. *Wang X., Wang C.* Time series data cleaning: A survey // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 1866-1881. – DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962152.
18. Data-driven smart cities: Big Data, analytics, and security. – 2018. – URL: <https://skelia.com/articles/data-driven-smart-cities-big-data-analytics-and-security/> (дата обращения: 14.09.2020).
19. *Kim J., Tae D., Seok J.* A survey of missing data imputation using generative adversarial networks // Proc. of the 2020 Int. Conf. on Artificial Intelligence in Information and Communication, ICAIIC 2020. – P. 454-456. – DOI: 10.1109/ICAIIIC48513.2020.9065044.

20. Dmitrieva I.A., Milesenko L.P., Begun O.V., Berezhnaya A.V. Information Modernization of The General Theory Of Environmental Safety Ensuring // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. III International Scientific Conference. Krasnoyarsk, 2021. – P. 12072.
21. Ivanova N.A., Begun O.V., Dmitrieva I.A., Milesenko L.P., Sklifus R.V. Impact Of Road Transport On The Environmental Situation In The Urban Environment // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. Krasnoyarsk, Russia, 2021. – P. 2600-2606.

#### REFERENCES

1. Lana I., Del Ser J., Velez M., et Vlahogianni E.I. Road Traffic Forecasting: Recent Advances and New Challenges, *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, 2018, Vol. 10, No. 2, pp. 93-109.
2. Zargaryan E.V., Akopdzhanyan Zh.Zh. Issledovanie avtomatizatsii kollaborativnykh robotov i sposoby ikh primeneniya [Research of automation of collaborative robots and methods of their application], *Tekhnologii razrabotki informatsionnykh sistem TRIS-2020: Mater. X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Technologies for the development of information systems TRIS-2020. Materials of the X International Scientific and Technical Conference], 2020, pp. 218-223.
3. Zargaryan Yu.A. Zadacha upravlyaemosti v adaptivnoy avtomatnoy obuchaemoy sisteme upravleniya [The problem of controllability in an adaptive automaton learning control system], *Tekhnologii razrabotki informatsionnykh sistem TRIS-2020: Mater.X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Technologies for the development of information systems TRIS-2020. Materials of the X International Scientific and Technical Conference], 2020.
4. Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N. and Pushnina I.V. Modeling design information systems with many criteria. *Information Technologies and Engineering – APITECH – 2020, Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 2085 (3), pp. 032057(1-7). DOI: 10.1088/1742-6596/1679/3/032057.
5. Kamarianakis Y. et Prastacos P. Forecasting Traffic Flow Conditions in an Urban Network: Comparison of Multivariate and Univariate Approaches, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, Janv. 2003, Vol. 1857, No. 1, pp. 74-84.
6. Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Kapc I.V., Sakharova O.N., Kalyakina I.M and Dmitrieva I.A. Method of estimating the Pareto-optimal solutions based on the usefulness, *International Conference on Advances in Material Science and Technology - CAMSTech-2020: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 919 (2), pp. 022027 (1-8). DOI: 10.1088/1757-899X/919/2/022027.
7. Nagatani T. The physics of traffic jams, *Rep. Prog. Phys.*, Sept. 2002, Vol. 65, No. 9, pp. 1331-1386.
8. Jiber M., Lamouik I., Ali Y., et Sabri M.A. Traffic flow prediction using neural network, in *2018 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV), Fez, 2018*, pp. 1-4.
9. Zhang Y. et Liu Y. Comparison of Parametric and Nonparametric Techniques for Non-peak Traffic Forecasting, 2009, Vol. 3, No. 3, pp. 7.
10. Beloglazov D., Shapovalov I., Soloviev V., Zargaryan E. The hybrid method of path planning in non-determined environments based on potential fields, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, Vol. 12, No. 23, pp. 6762-6772.
11. Zargarjan E.V., Zargarjan Ju.A., Finaev V.I. Information support for the training of fuzzy production account balance in the conditions of incomplete data. Innovative technologies and didactics in teaching (ITDT-2016), *Collected papers*, 2016, pp. 128-138.
12. Ahmed M.S. et. Cook A.R. Analysis of Freeway Traffic Time-Series Data by Using Box-Jenkins Techniques, pp. 9.
13. Finaev V.I., Zargaryan Yu.A., Zargaryan E.V., Solov'ev V.V. Formalizatsiya grupp podvizhnykh ob'ektov v usloviyakh neopredelennosti dlya vybora upravlyayushchikh resheniy [Formalization of groups of mobile objects in conditions of uncertainty for the choice of control decisions], *Informatizatsiya i svyaz'* [Informatization and communication], 2016, No. 3, pp. 56-62.
14. Slimani L., Farissi I.E.I., et Achchab S. Artificial Neural Networks for Demand Forecasting: Application Using Moroccan Supermarket Data, 2015.

15. Slimani I., Farissi I. El, et Achchab S. Configuration and implementation of a daily artificial neural network-based forecasting system using real supermarket data, *Int. J. Logist. Syst. Manag.*, 2017, Vol. 28, No. 2, pp. 144-163.
16. Pushnina I.V. Sistema upravleniya podvizhnym ob"ektom v usloviyakh neopredelennosti [The control system of a moving object in conditions of uncertainty], *Nauka i obrazovanie na rubezhe tysyacheletiy: Sb. nauchno-issledovatel'skikh rabot* [Science and education at the turn of the millennium: A collection of research papers]. Kislovodsk, 2018, pp. 65-74.
17. Wang X., Wang C. Time series data cleaning: A survey, *IEEE Access*, 2020, Vol. 8, pp. 1866-1881. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962152.
18. Data-driven smart cities: Big Data, analytics, and security, 2018. Available at: <https://skelia.com/articles/data-driven-smart-cities-big-data-analytics-and-security/> (accessed 14 september2020).
19. Kim J., Tae D., Seok J. A survey of missing data imputation using generative adversarial networks, *Proc. of the 2020 Int. Conf. on Artificial Intelligence in Information and Communication, ICAIIC 2020*, pp. 454-456. DOI: 10.1109/ICAIIIC48513.2020.9065044.
20. Dmitrieva I.A., Mileshko L.P., Begun O.V., Berezhnaya A.V. Information Modernization of The General Theory Of Environmental Safety Ensuring, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. III International Scientific Conference*. Krasnoyarsk, 2021, pp. 12072.
21. Ivanova N.A., Begun O.V., Dmitrieva I.A., Mileshko L.P., Sklifus R.V. Impact Of Road Transport on The Environmental Situation In The Urban Environment, *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS*. Krasnoyarsk, Russia, 2021, pp. 2600-2606.

Статью рекомендовала к опубликованию к.т.н., доцент Н.А. Иванова.

**Аламир Хайдер Сагбан Хуссейн** – Южный федеральный университет; e-mail: [alamir@sfedu.ru](mailto:alamir@sfedu.ru); г. Таганрог, Россия; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

**Заргарян Елена Валерьевна** – e-mail: [ezargaryan@sfedu.ru](mailto:ezargaryan@sfedu.ru); кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

**Заргарян Юрий Артурович** – e-mail: [yazargaryan@sfedu.ru](mailto:yazargaryan@sfedu.ru); кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

**Alamir Haider Sagban Hussein** – Southern Federal University, e-mail: [alamir@sfedu.ru](mailto:alamir@sfedu.ru); Taganrog, Russia; the department of automatic control systems; postgraduate student.

**Zargaryan Elena Valerevna** – e-mail: [ezargaryan@sfedu.ru](mailto:ezargaryan@sfedu.ru); the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Zargaryan Yuri Arturovich** – e-mail: [yazargaryan@sfedu.ru](mailto:yazargaryan@sfedu.ru); the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 658.512

DOI 10.18522/2311-3103-2021-6-132-140

**В.И. Данильченко, Е.В. Данильченко, В.М. Курейчик**

### **МЕТАЭВРИСТИКА НА ОСНОВЕ ПОВЕДЕНИЯ КОЛОНИИ БЕЛЫХ КРОТОВ**

*Алгоритмы оптимизации, вдохновленные миром природы, превратились в мощные инструменты для решения сложных задач. Однако у них все же есть некоторые недостатки, требующие исследования новых и более совершенных алгоритмов оптимизации. В связи с этим, при решении NP полных задач появляется необходимость в разработке новых методик решения данного класса задач. Одним из таких методик может стать метаэвристика на основе поведения колонии белых кротов. В этой статье предлагается новый метаэвристический алгоритм, называемый алгоритмом слепых белых кротов. Этот алгоритм был разработан на основе социального поведения слепых кротов в поисках пищи и защиты колонии от*