

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 3, 2026 vol. 3

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 3, ISSUE 3

SEPTEMBER, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 3 SEPTEMBER, 2026

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Synthesis of a relay operation algorithm aimed at creating a neural network model of its operation

A.R. Azizov¹^a, I.V. Bondarenko¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The replacement of obsolete relay devices with microprocessor-based systems has become the primary method for improving railway automation and telemechanics systems in Uzbekistan. The implementation of solutions based on microprocessor technology makes it possible to reduce operating costs through service-based maintenance methods, as well as to increase reliability due to the automatic recording and collection of data on failures, malfunctions, and other factors. At the same time, such technical solutions have a number of disadvantages. The design process, procurement of equipment, and reconstruction of individual sections requiring their shutdown from the technological process demand significant resource investments. Moreover, the rapid progress in microelectronic technologies and the tightening of transportation safety requirements lead to the rapid obsolescence of the applied digital systems and necessitate substantial investments in their modernization. The development of components combining the advantages of both systems can address these issues and minimize the associated disadvantages. This article examines the relevance of implementing neural networks and microelectronic technologies in railway automation and telemechanics devices in the context of the development of train traffic safety systems on high-speed railway sections, using the example of replacing contact relays with contactless microprocessor modules.

Keywords:

automation and telemechanics, railway transport, block route relay centralization (BRRC), relay, mathematical model, discrete mathematics, recurrent neural networks, neural network training, activation functions, error gradient, LSTM layer, dropout layer

Синтез алгоритма работы реле, с целью создания нейросетевой модели его работы

Азизов А.Р.¹^a, Бондаренко И.В.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

Замена устаревших релейных устройств на микропроцессорные комплексы стала основным методом усовершенствования систем автоматики и телемеханики на железных дорогах Узбекистана. Применение решений, построенных на микропроцессорной базе, позволяет снизить расходы на эксплуатацию за счёт сервисного метода обслуживания, а также повысить надёжность благодаря автоматическому фиксированию и сбору данных об отказах и сбоях и другим факторам. Вместе с тем подобные технические средства имеют ряд недостатков. Проектирование, приобретение оборудования, реконструкция отдельных участков с необходимостью их выключения из технологического процесса требуют значительных вложений ресурсов. Более того, прогресс в развитии микроэлектронной базы и ужесточение требований к безопасности перевозочного процесса приводят к быстрому моральному износу применяемых цифровых систем и необходимости значительных вложений в их обновление. Создание компонентов, сочетающих преимущества обеих систем, может решить данные задачи и минимизировать эти недостатки. В статье рассматривается актуальность внедрения нейронных сетей и микроэлектронных технологий в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) на фоне развития систем безопасности движения поездов (БДП) на высокоскоростных участках, на примере замены контактных реле бесконтактными микропроцессорными модулями.

Ключевые слова:

автоматика и телемеханика, железнодорожный транспорт, блочная маршрутная релейная централизация (БМРЦ), реле, математическая модель, дискретная математика, рекуррентные нейронные сети, обучение нейронных сетей, функции активации, градиент ошибки, LSTM-слой, dropout-слой

^a <https://orcid.org/0000-0002-5652-9611>



1. Введение

Актуальность проведённого исследования

Вопрос снижения количества аварий, крушений и травм опасных ситуаций на железных дорогах требует особого внимания со стороны его работников на протяжении всего времени существования данного вида транспорта. С момента первых аварий стало ясно, что большая часть чрезвычайных ситуаций случается по вине человеческого фактора. В связи с этим, всё большую актуальность набирает вопрос разработки и усовершенствования систем автоматизации и управления железнодорожного транспорта.

История развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ)

Примитивные устройства сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) появились в конце XIX века. Большая часть этих систем представляли собой немецкие и английские наработки. До начала Первой мировой войны на 87% протяжённости железных дорог применялось регулирование движением поездов, посредством телеграфно-телефонных средств и электрожелезнодорожной системы. Однако, к 1920 году, повышение спроса на перевозки железнодорожным транспортом потребовало внедрения более эффективных средств.

В период с 1930 по нынешние дни устройства СЦБ прошли большую трансформацию, от однопутной релейной четырёхзначной автоблокировки (АБ), до микропроцессорных систем. Немаловажную роль в этом вопросе сыграли и наработки в сфере полупроводников и микроэлектроники.

Развитие и эксплуатация СЖАТ на территории Узбекистана

На сегодняшний день на железных дорогах Узбекистана применяются релейные и микропроцессорные системы. Релейные системы обладают высокой надёжностью и простотой монтажа, а также десятилетиями эксплуатации, наработок и улучшений. Микропроцессорные системы нивелируют недостатки релейных систем. В частности, замена релейных систем микропроцессорными позволяет снизить расходы на эксплуатацию, за счёт сервисного метода обслуживания, повысить надёжность, благодаря автоматическому фиксированию и сбору данных об отказах и сбоях системы и ряда других факторов. Однако, малый опыт эксплуатации данных микропроцессорных систем, дороговизна приобретения и установки оборудования, ограниченный срок эксплуатации в пределах 10-15 лет, необходимость выключения участка из технологического процесса, на этапе реконструкции и отсутствие возможности унификации программного кода, требуют проведения исследования с целью оптимизации данных недостатков.

2. Методика исследования

В качестве решения, проведённой научно-исследовательской работы, рассмотрены возможности применения микропроцессорных устройств, с интеграцией нейросетевых технологий, в существующих системах БМРЦ. Такое решение позволит использовать совокупность преимуществ как

зарекомендовавших свою надёжность устаревших релейных систем, так и более современных микропроцессорных технологий.

Краткие сведения об устройстве кодовых реле в блоках БМРЦ.

Блоки БМРЦ функционально классифицируются на 2 группы: наборную и исполнительную. В рамках исследования рассмотрены блоки наборной группы, выполняющие функции формирования и фиксации набранного маршрутов.

Ключевой функциональный элемент данных блоков – нейтральные реле второго класса надёжности типа КДР1 и КДР1М (рис. 1). Принцип действия основан на явлении электромагнитной индукции. При подаче напряжения на обмотку электрическим полем создаётся магнитный поток, притягивающий ярмо. Последнее с помощью тягового механизма передаёт усилия на контакты, переключая их.

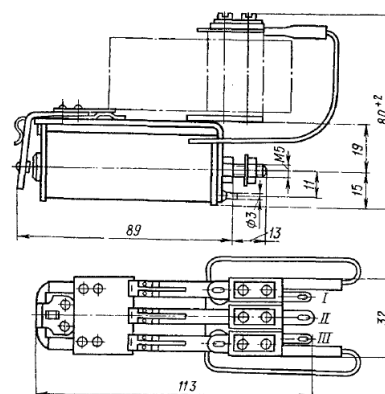


Рис.1. Принципиальная схема реле КДР1 и КДР1М

Математическая модель работы реле.

Постановка задачи: разработать математическую модель нейтрального реле, определяющую состояние его выходов (коммутацию контактов), на основе входных характеристик.

Математическая модель реле отражает его поведение, как дискретного устройства, инициализирующего его выходное состояние, в зависимости от входных параметров:

1. Активное сопротивление обмотки R_c
2. Индуктивность обмотки L_c
3. Номинальное напряжение обмотки U_n
4. Минимальное напряжение полного притяжения U_p
5. Напряжение отпущения якоря U_o
6. Время замедления на срабатывание t_c
7. Время замедления на отпущение t_o
8. Индуктивность обмотки реле L_c

Состояние реле f_c определяется его входным напряжением U , в момент времени t :

$$f_c(U(t), t) = \begin{cases} 1, \text{ при } a \\ 0, \text{ при } b \\ f(x, t) - 1, \text{ при } c \end{cases} \quad (1.1)$$

$$a = U(t) \geq U_p \text{ и } t \geq t_c \quad (1.2)$$

$$b = U(t) \leq U_o \text{ и } t \geq t_o \quad (1.3)$$

$$c = U_o < U(t) < U_p \text{ или } t_o < t < t_c \quad (1.4)$$

Наличие гистерезиса в условии коммутации модели является одним из основных факторов её надёжности.



исходя из вышеописанного, зависимость коммутационной части f_k от состояния соленоида f_c описано уравнением (2)

$$f_k(f_c) = \begin{cases} 1, & \text{при } f_c = 1 \\ 0, & \text{при } f_c = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Постоянная времени срабатывания (обесточивания) зависит от параметров индуктивности реле. Так, у реле КДР1М-120 в сердечник встроена медная гильза, вносящая замедление в его работу. Благодаря этому определяется величина скорости переходного процесса (3).

$$\tau = \frac{L_c}{R_c} \quad (3)$$

Скорость перехода определяет время, за которое обмотка окажет воздействие на контактную группу (4).

$$t_{\text{сраб.}} = -\tau * \ln \left(1 - \frac{I_{\text{сраб.}}}{I} \right) \quad (4)$$

где $I = \frac{U}{R_c}$ – установившийся ток

Формула зависимости напряжения в момент времени t от тока I и индуктивности L_c будет иметь следующий вид (5).

$$U(t) = L_c * \frac{\Delta I}{\Delta t} + R_c * I(t) \quad (5)$$

График замедления активации и обесточивания реле представлен на рис. 2.



Рис. 2. График индуктивной части реле

Модель нейронной сети.

Постановка задачи: разработать и обучить нейронную сеть прогнозирующую момент срабатывания реле в момент времени t , при заданной временной задержке t_3 , на основе имеющихся данных и параметров системы. Входными параметрами нейронной сети принять, получаемые с датчика данные о напряжении $U(t)$ и токе $I(t)$ в текущий момент времени t . Также, с целью определения качества сигнала учитывать входные данные в предыдущие моменты времени $t - n$.

Описание архитектуры. Оптимальный выбор для решения поставленной задачи – создание нейронной сети, опирающейся на входные параметры, и в то же время анализирующей свои предыдущие расчёты. С этой задачей отлично справляются рекуррентные нейронные сети, с Long Short-Term Memory (LSTM) ячейками. Такое решение снижает вероятность ошибки, делая сеть более надёжной, а её ответы более достоверными. Однако, всё ещё остаётся весомый минус сети – её склонность к переобучению. Для решения проблемы применяют Dropout-слой, нивелирующий данные недостатки. Структура сети подбиралась эмпирически, и выглядит следующим образом:

- Входные параметры – напряжение $U(t)$ и ток $I(t)$ в текущий момент времени t

- LSTM-слой (32 нейрона, метод активации – гиперболический тангенс) – анализирует входные параметры

- Dropout-слой (вероятность отсева – 0.2)

- LSTM-слой (16 нейронов, метод активации – гиперболический тангенс) – углубляет анализ входных данных

- Dropout-слой (вероятность отсева – 0.1)

- Скрытый слой (8 нейронов, метод активации – ReLU) – извлекает высокоуровневые признаки

- Выходной слой (1 нейрон, метод активации – sigmoid) – определяет вероятность включения реле

Расчёт нейронной сети. LSTM-ячейка содержит три вентиля и внутреннее состояние:

- Забывающий вентиль ($f(t)$) – решает, какую информацию забыть из состояния ячейки (6.1, 6.2);

- Входной вентиль ($i(t)$) – определяет, какую новую информацию сохранить (7.1, 7.2);

- Выходной вентиль ($o(t)$) – контролирует, что будет выведено из ячейки (8.1, 8.2);

- Состояние ячейки ($C(t)$) – «долгосрочная память» (9.1, 9.2, 9.3);

- Скрытое состояние ($h(t)$) – «краткосрочная память», выход ячейки (10.1, 10.2, 10.3, 10.4).

Функции активации вентиля определяются следующими выражениями:

$$z_f = [h_{t-1}, x_t] * W_f + b_f \quad (6.1)$$

$$f_t(z_f) = \frac{1}{1 + e^{-z_f}} \quad (6.2)$$

$$z_i = [h_{t-1}, x_t] * W_i + b_i \quad (7.1)$$

$$i_t(z_i) = \frac{1}{1 + e^{-z_i}} \quad (7.2)$$

$$z_o = [h_{t-1}, x_t] * W_o + b_o \quad (8.1)$$

$$o_t(z_o) = \frac{1}{1 + e^{-z_o}} \quad (8.2)$$

Функции активации вентиля определяются следующими выражениями:

$$z_{\bar{c}} = [h_{t-1}, x_t] * W_{\bar{c}} + b_{\bar{c}} \quad (9.1)$$

$$\bar{c}_t(z_{\bar{c}}) = \frac{e^{z_{\bar{c}}} - e^{-z_{\bar{c}}}}{e^{z_{\bar{c}}} + e^{-z_{\bar{c}}}} \quad (9.2)$$

$$C_t = f_t(z_f) \odot C_{t-1}(z_{\bar{c}}) + i_t(z_i) \odot \bar{c}_t(z_{\bar{c}}) \quad (9.3)$$

Функция нейрона скрытого состояния:

$$z_h = [h_{t-1}, x_t] * W_h + b_h \quad (10.1)$$

$$O_t(z_o) = \frac{e^{z_o} - e^{-z_o}}{e^{z_o} + e^{-z_o}} \quad (10.2)$$

$$\hat{c}_t = \frac{e^{C_t} - e^{-C_t}}{e^{C_t} + e^{-C_t}} \quad (10.3)$$

$$h_t = O_t(z_o) \odot \hat{c}_t \quad (10.4)$$

Drop-out выборочно «отключает» часть нейронов во время обучения, обнуляя их выходы. Такой метод называется «коллективным обучением», тренируя нейроны выдавать точный результат, не полагаясь на другие нейроны. Математически алгоритм данного слоя реализуется следующим образом:

Пусть у нас есть слой активаций из m -элементов (11):



$$a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix} \quad (11)$$

Создадим маску из m случайных величин Бернулли, где p – это вероятность обнуления активации (12):

$$m_i = \begin{cases} 1, & \text{при } 1 - p \\ 0, & \text{при } p \end{cases} \quad (12)$$

Тогда на выходе получим следующий слой активаций:

$$a' = a \odot m \quad (13)$$

На этапе предсказания получаем:

$$a_{final} = a * (1 - p) \quad (14)$$

Недостатком такой системы является то, что dropout слой работает лишь при обучении. Но на этапе предсказания все нейроны слоя активны, что может вызвать дисбаланс сигнала и значительно снизить точность всей нейронной сети. Решением является замена прямого dropout на inverted dropout. Работает это следующим образом.

Во время обучения слой активации, прошедший через маску (13) проходит также масштабирование (15), чтобы сохранить среднюю силу сигнала:

$$a' = \frac{a \odot m}{1 - p} \quad (15)$$

На этапе предсказания получим (16)

$$a_{final} = a \quad (16)$$

Для функции активации нейронов скрытого слоя справедливы следующие равенства:

$$z_A = w_A * a + b_A \quad (17)$$

$$f_A(z_A) = \max(0, z_A) \quad (18)$$

Функция активации выходного слоя нейронов определена выражениями (19, 20).

$$z_O = w_O * x + b_O \quad (19)$$

$$f_O(z_O) = \frac{1}{1 + e^{-z_O}} \quad (20)$$

Расчёт функции потерь и методы обучения. Для решения задач бинарной классификации применяется функция потерь, именуемая бинарной кросс-энтропией. Данная функция (21) позволяет определить степень ошибки, что важно, для расчёта точности нейронной сети.

$$C_i = y_i * \log(f_{oi}) + (1 - y_i) * \log(1 - f_{oi}) \quad (21.1)$$

$$L(\theta) = - \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N} \quad (21.2)$$

где

N – размер батча

y_i – истинное значение

f_{oi} – предсказание сети

θ – множество всех обучаемых параметров сети

Проблемы обучения рекуррентных нейронных сетей заключаются в их градиентном спуске. Градиенты уменьшаются при обратном распространении ошибки (явление исчезающего градиента), через длинные последовательности, что приводит к замедлению или полной остановке обучения, либо наоборот, становятся слишком большими, что приводит к нестабильному обучению сети. Данный вопрос решается выбором правильного оптимизатора. Результатами исследований оптимальным вариантом выбран оптимизатор Adam. Данный оптимизатор обладает характеристиками, позволяющими обеспечить быструю сходимость, и

высокую надёжность для RNN сетей. При этом градиент потерь будет иметь следующий вид (22).

$$g_t = \nabla_{\theta} L(\theta_{t-1}) = \begin{pmatrix} \frac{dL}{d\theta_1} \\ \frac{dL}{d\theta_2} \\ \vdots \\ \frac{dL}{d\theta_n} \end{pmatrix} \quad (22)$$

где θ – вектор всех обучаемых параметров сети (весов и смещений).

При этом оценка среднего градиента, будет иметь вид (23):

$$m_t = \beta_1 * m_{t-1} + (1 - \beta_1) * g_t \quad (23)$$

где β_1 – коэффициент затухания.

Оценка среднего градиента показывает импульс и направление движения ошибки, обеспечивая стабилизацию обучения за счёт сглаживания шума, ускорения сходимости и нивелирования столкновений с локальными минимумами.

Оценка дисперсии градиента будет иметь вид (24):

$$v_t = \beta_2 * v_{t-1} + (1 - \beta_2) * g_t^2 \quad (24)$$

где β_2 – коэффициент затухания.

Оценка дисперсии показывает разброс градиентов по каждому параметру. Чем ниже градиент, тем стабильнее система.

При инициализации оптимизатора векторы m_t и v_t имеют нулевые значения, что приводит к систематическому занижению оценок моментов на начальных шагах обучения. Это приводит к значительному увеличению шага, что полезно на старте, но снижает скорость обучения в дальнейшем. Во избежание данного недостатка введём коррекцию смещений (25, 26)

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \quad (25)$$

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \quad (26)$$

где $\hat{m}_t$, $\hat{v}_t$ – несмещённые оценки среднего градиента и дисперсии.

На основании полученных данных обновим параметры входных параметров (27):

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \alpha * \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t} + \varepsilon} \quad (28)$$

где $\varepsilon = 10^{-8}$ – значение, введённое для предотвращения деления на 0;

α – скорость обучения нейронной сети (29), вычисляемая, для каждого параметра θ_t индивидуально.

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \alpha * \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t} + \varepsilon} \quad (29)$$

3. Заключение

Исследования, приведённые в данной статье, показывают перспективные возможности применения нейронных сетей в системах железнодорожной автоматики и телемеханики. Описанная реализация LSTM нейронной сети – лишь малая часть потенциала в сфере безопасности движения поездов. Несмотря на существующие ограничения, переход к нейросетевым решениям может повысить гибкость и адаптивность



систем управления, открывая новые перспективы для развития железнодорожной инфраструктуры.

Использованная литература / References

- [1] Efanov, D. V., Pogodina, T. S., Aripov, N. M., Boltayev, S. T., Azizov, A. R., Ametova, E. K., & Shakirova, F. F. (2025). Combinational Circuits Testing Based on Hsiao Codes with Self-Dual Check Functions. *Computation*, 13(1), 15. <https://doi.org/10.3390/computation13010015>.
- [2] Aripov N., Sadikov A., Ubaydullayev S. Intelligent signal detectors with random moment of appearance in rail lines monitoring systems //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 264.
- [3] Muhiddinov, O., & Boltayev, S. (2023). Route management modeling of high-speed trains on the train dispatcher section. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 376). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337604033>
- [4] Azizov, A., Ametova, E., Nuriddinov, Q., Ubaydullayev, S. Development, research of a model and an algorithm for organizing data transfer in a monitoring device *E3S Web of Conferences*, 2023, 371, 03069
- [5] Сапожников В.В., Никитин А.Б. Микропроцессорная система электрической централизации МПЦ-МПК. Наука и транспорт. – СПб.: Издательский дом ООО «Т-ПРЕССА», 2009. – С18-21.
- [6] Chen K., Miles I. C. *ITS Handbook 2000: Recommendations from the World Road Association (PIARC)*. — Boston; London: ArtechHouse, 1999. - 434 p.
- [7] Лупал Николай Васильевич. Развитие устройств СЦБ в период промышленного капитализма (1861-1900). Автоматика на транспорте 2016 год, том 2 №4, Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 2016 год, стр. 624 – 634.
- [8] Казаков А.А., Бубнов В.Д., Казаков Е.А. Станционные устройства автоматики и телемеханики. Москва «ТРАНСПОРТ» – 1990. ISBN: 5-277-00951-5, УДК: 656.25:656.21(075.32), 431 стр.
- [9] Сороко В.И., Разумовский Б.А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник. Том 1, 2-е изд., переработанное и дополненное — В 2-х т. — М.: Транспорт, 1981. — 352 с.
- [10] Львов Федор Алексеевич, ТИПЫ И ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, Сборник публикаций научного журнала "Chronos" «Естественные

и технические науки в современном мире» Выпуск 2 (24): г. Москва: сборник со статьями (уровень стандарта, академический уровень). – М: Научный журнал "Chronos", 2019.– с. 25-31

[11] Макаров И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов ; [отв. ред. И.М. Макарова] ; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. - М.: Наука, 2006. - 333 с. - ISBN 5-02-033782-X (в пер.).

[12] Neural Networks and Deep Learning by Michael Nielsen / [Электронный ресурс]. – Режим доступа, URL: https://faultan.ru/articles/simple_about_complicated/simple_elm_delay/ (дата обращения: 15/04/2026).

[13] Deep Learning, Видеокурс по нейронным сетям. Youtube канал «3Blue1Brown translated by Sciberia» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=RJCiYBAaIEI&list=PLZjXXN70PH5itkSPe6LTS-yPy15soOovc> (дата обращения: 15/04/2026).

[14] Нейронные сети, путь к триумфу, Видеокурс по нейронным сетям. Youtube канал «Selfedu» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=PvXDWPVJUPg&list=PLA0M1Bcd0w8xUIMIPSoiW05lDyPNPt4tf> (дата обращения: 15/04/2026).

Информация об авторах/ Information about the authors

Азизов Асадулла Рахимович / Asadulla Azizov
Ташкентский государственный транспортный университет, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика»
E-mail:

azizov.asadulla@mail.ru

Тел: +998935395421

<https://orcid.org/0000-0002-5652-9611>

Бондаренко Иван Викторович / Ivan Bondarenko
Ташкентский государственный транспортный университет, PhD-докторант кафедры «Автоматика и телемеханика»
E-mail:

bondarenko.ivan98@gmail.com

Тел: +998935428713



V. Soy, Sh. Eshbekov, A. Jumageldiev, J. Turgaev <i>Modified arbolite concrete based on reduced treatment waste: Composition analysis, disadvantages and technological solution.....</i>	54
N. Sarvirova, D. Tajibaev, Z. Kamoliddinov <i>Economic assessment of the impact of thematic tourist routes on the development of the regional tourism services market.....</i>	60
D. Tajibaev <i>An organizational and economic methodology for developing regional thematic tourist routes.....</i>	66
Sh. Kudratov, O. Khamidov, B. Gayratov, F. Djuraev, A. Joraev <i>Assessing the technical condition of mainline diesel locomotive power plants using modern diagnostic and automated monitoring technologies.....</i>	77
O. Shokirov <i>Determining the safe movement speed of transport vehicles in mountain road conditions and justifying measures for its mandatory reduction (using the example of mountainous areas of the M-39 highway).....</i>	84
B. Komilov <i>Advantages of implementing a quality management system in healthcare institutions.....</i>	89
S. Boltaev, Ch. Aripova <i>Analysis and modernization of control equipment at railway stations of JSC "Uzbekistan Railways".....</i>	93
A. Azizov, I. Bondarenko <i>Synthesis of a relay operation algorithm aimed at creating a neural network model of its operation.....</i>	99
A. Azizov, I. Bondarenko <i>Synthesis of neural network development methods for a block route relay interlocking system, using the example of organizing train routes.....</i>	104