

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 656.1

doi: 10.30987/2782-5957-2024-4-57-65

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ СВЕТОФОРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Алексей Александрович Фадюшин<sup>1✉</sup>, Анатолий Викторович Писцов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>1</sup> fadjushinaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7276-4315>

<sup>2</sup> pistsovav@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1624-7262>

### Аннотация

В статье описано применение искусственной нейронной сети для определения оптимальных параметров светофорного регулирования на основе интенсивности транспортного потока. На регулируемых перекрестках существует неравномерность интенсивности транспортного потока, из-за которой один режим работы светофоров на перекрестке может быть неэффективным. Цель исследования - разработка программного обеспечения по прогнозированию режимов работы светофорных объектов с учетом пространственной и временной неравномерности транспортного спроса. На основе имитационного моделирования транспортных потоков на одном регулируемом перекрестке были определены значения среднего времени задержки при разных режимах работы светофоров и интенсивностях транспортных потоков, в том числе поворачиваю-

щих. Искусственная нейронная сеть была обучена на данных из 16 тысяч имитаций и протестирована на четырех тысячах имитаций. Использование искусственной нейронной сети для расчета оптимального режима работы светофоров снижает время задержки на 20-50% для двух часов пик. Заранее обученная искусственная нейронная сеть за одну секунду может рассчитать оптимальный режим работы светофоров для конкретного регулируемого перекрестка. Разработанное программное обеспечение может быть применено для реализации интеллектуальной транспортной системы в автоматизированной системе управления дорожным движением.

**Ключевые слова:** дорожное движение, моделирование, потоки, регулирование, нейросетевые технологии, обучение.

Ссылка для цитирования:

Фадюшин А.А. Применение нейросетевых технологий в управлении светофорными объектами / А.А. Фадюшин, А.В. Писцов // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 4. – С.57-65. doi: 10.30987/2782-5957-2024-4-57-65.

Original article

Open Access Article

## APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR CONTROL OF TRAFFIC LIGHTS

Aleksey Aleksandrovich Fadyushin<sup>1✉</sup>, Anatoly Viktorovich Pistsov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>1</sup> fadjushinaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7276-4315>

<sup>2</sup> pistsovav@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1624-7262>

### Abstract

The paper describes the use of an artificial neural network to determine the optimal parameters of traffic light regulation based on the intensity of traffic flow. At regulated intersections, there is an imbalance in the intensity of traffic flow, due to which one operation mode of traffic lights at an intersection may be ineffective. The study objective is to develop software

for predicting the operating modes of traffic lights, taking into account the spatial and temporal unevenness of transport demand. Based on the simulation of traffic flows at one regulated intersection, the values of the average delay time were determined for different traffic light operating modes and traffic flow intensities, including turning ones. The artificial neural net-

work was trained on data from 16 thousand simulations and tested on four thousand simulations. Using an artificial neural network to calculate the optimal operating mode of traffic lights reduces the delay time by 20-50% for two rush hours. A pre-trained artificial neural network can calculate the optimal operating mode of

*Reference for citing:*

*Fadyushin AA, Pistov AV. Application of neural network technologies for control of traffic lights. Transport Engineering. 2024;4:57-65. doi: 10.30987/2782-5957-2024-4-57-65.*

## **Введение**

В настоящее время, в большинстве городов режим работы светофорных объектов определяется, в основном, только выбором фазового коэффициента с учетом интенсивности транспортного потока по направлениям движения на перекрестке. При этом, на параметры дорожного движения влияет большое количество факторов: погодные, дорожные условия, состав транспортного потока и другие [4, 5, 9].

Существует неравномерность движения как в течение суток, так и в течение одного часа. Для светофорных объектов с небольшим количеством режимов в течение суток высока вероятность несоответствия параметров работы светофоров фактическим условиям, что приводит к неэффективной работе светофоров и повышению времени задержки. Переход к прогнозным многорежимным (более 4) способам управления светофорными объектами сопровождается большой трудоемкостью работ оператора светофорного объекта [1, 2].

Снизить эту трудоемкость можно за счет внедрения автоматизированного контроля эффективности и расчета оптимальных сигнальных планов. Расчет оптимальных параметров цикла для локального перекрестка может производиться с автоматической передачей исходных данных в специальные программные комплексы, такие как *LISA+* и *PTV VISTRO*. Однако, для определения оптимальных параметров циклов на нескольких связанных друг с другом светофорных объектах данные программные комплексы использовать не-

## **Моделирование транспортных потоков**

Моделирование транспортных потоков проводилось в программном комплек-

traffic lights for a specific regulated intersection in one second. The developed software can be used to implement an intelligent transport system in an automated traffic control system.

**Keywords:** traffic, modeling, flows, regulation, neural network technologies, training.

возможно или их использование существенно увеличивает трудоемкость процесса.

Для оценки изменения эффективности работы светофорных объектов на группе перекрестков необходимо имитационное моделирование на микроуровне участка целиком [6].

Заранее обученная на результатах моделирования искусственная нейронная сеть позволяет не только прогнозировать изменение параметров дорожного движения при тех или иных параметрах цикла, но и определить оптимальный режим всех светофоров на изучаемом объекте.

Цель исследования – разработка программного обеспечения по прогнозированию режимов работы светофорных объектов с учетом пространственной и временной неравномерности транспортного спроса.

Задачи исследования:

1. Создание имитационной модели транспортных потоков на регулируемом перекрестке.

2. Разработка нейросетевой многофакторной модели влияния различных (транспортных, дорожных) условий на среднее время задержки.

3. Разработка программного обеспечения для оптимизации режимов работы светофорных объектов.

Объект исследования – транспортные потоки на регулируемых перекрестках. Предмет исследования – закономерности формирования времени задержки на регулируемых перекрестках.

се *PTV VISSIM* [7]. В качестве объекта моделирования использовался X-образный

регулируемый перекресток с тремя полосами движения в сечении стоп-линии для каждого направления. На перекрестке организовано трехфазное светофорное регу-

лирование, включая пешеходную фазу. Имитационная модель регулируемого перекрестка представлена на рис. 1.

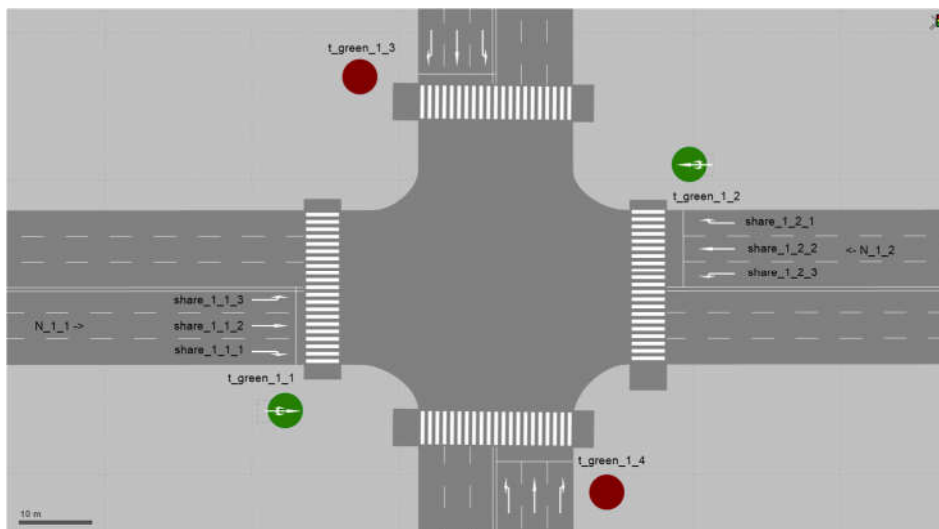


Рис. 1. Модель транспортных потоков на регулируемом перекрестке  
Fig. 1. Model of traffic flows at controlled intersection

На основе результатов имитационного моделирования в программном комплексе *PTV Vissim* были определены значения среднего времени задержки при разных значениях интенсивности транспортных потоков и длительности разрешающего сигнала светофора (рис. 2).

Рассмотрение независимых однофакторных моделей влияния факторов на среднее время задержки дает лишь ограниченное понимание процессов дорожного движения и формирования времени в пути на регулируемом перекрестке [3, 8]. Разра-

ботка многофакторной модели с использованием традиционного математического моделирования в условиях множества факторов не представляется возможным. С увеличением числа факторов в математическом моделировании наблюдается снижение точности. Графическое представление результатов эксперимента позволяет наглядно продемонстрировать невозможность учета всех факторов, влияющих на среднее время задержки, традиционными регрессионными моделями (рис. 3).

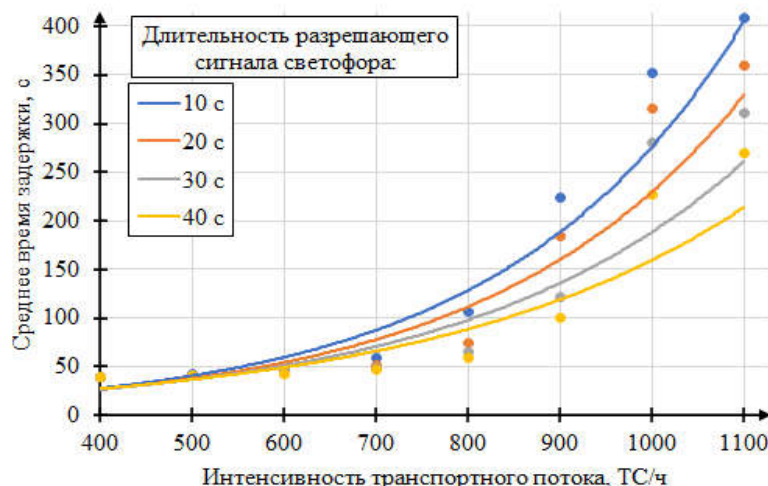


Рис. 2. Изменение среднего времени задержки при изменении интенсивности транспортного потока при разном значении длительности разрешающего сигнала светофора  
Fig. 2. Change in the average delay time when the intensity of traffic flow changes with different values of the duration of the permissive traffic light signal

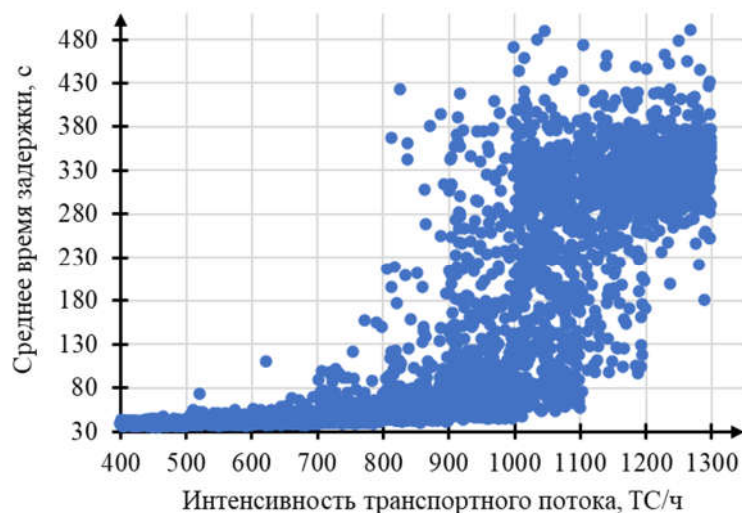


Рис. 3. Изменение среднего времени задержки от интенсивности транспортного потока

Fig. 3. Change in average delay time depending on traffic flow intensity

Использование современных технологий машинного обучения и искусственных нейронных сетей позволяет учитывать большое количество факторов при разработке моделей, требуя при этом большое количество данных. Разработанный авторами модуль сбора данных для программного комплекса *PTV Vissim* позволяет получить необходимое количество итераций имитационного моделирования со значи-

тельным диапазоном изменения исследуемых факторов. В связи с этим было принято решение воспользоваться нейросетевой многофакторной моделью для учета сложных взаимосвязей между различными параметрами. Этот подход направлен на снижение ошибки предсказанных моделью значений и повышение их применимости в реальных условиях [10].

### Обучение искусственной нейронной сети

На основе результатов имитационного моделирования в программном комплексе *PTV Vissim*, *COM*-сервера был сформирован большой объем данных (около 20000 имитаций) для разработки многофакторных зависимостей параметров дорожного движения от характеристик транспортных потоков и параметров светофорного регулирования. С использованием *COM*-технологии на имитационной модели транспортных потоков на X-образном регулируемом перекрестке изменялись и считывались:

- интенсивность движения по направлениям к перекрестку;
- доля транспортных средств, поворачивающих налево и направо и совершающих движение в прямом направлении через перекресток;
- количество фаз светофорного регулирования;

- последовательность фаз светофорного регулирования;
- длительность разрешающих сигналов светофоров;
- длительность цикла светофорного регулирования на объекте;
- среднее время задержки.

Искусственная нейронная сеть (ИНС) строится на основе языка программирования *Python*, библиотек *Keras* и *TensorFlow*. В качестве целевого значения используется среднее время задержки. Факторами являются значения характеристик транспортных потоков и параметров светофорного регулирования (табл. 1 и рис. 1). В данной таблице (факторы) не учитывается продолжительность последней сигнальной группы № 5 так как данная группа подразумевает пешеходную фазу и ее длительность является фиксированной.

## Факторы для обучения искусственной нейронной сети

Table 1

*Factors for training an artificial neural network*

Наименование фактора	Пояснение
<i>phase_1_1_num</i>	Номер фазы для сигнальной группы № 1 на перекрестке № 1
<i>phase_1_5_num</i>	Номер фазы для сигнальной группы № 5 на перекрестке № 1
<i>t_green_1_1</i>	Длительность разрешающего сигнала светофора для сигнальной группы №1 на перекрестке № 1
<i>N_1_1</i>	Интенсивность движения транспортного потока направления № 1 на перекрестке № 1
<i>N_1_2</i>	Интенсивность движения транспортного потока направления № 2 на перекрестке № 1
<i>share_1_1_1</i>	Доля ТС, движущихся в направлении № 1 (поворот направо) направления перекрестка № 1 (запад) на перекрестке № 1
<i>share_1_1_2</i>	Доля ТС, движущихся в направлении № 2 (движение в прямом направлении) направления перекрестка № 1 (запад) на перекрестке № 1
<i>share_1_4_3</i>	Доля ТС, движущихся в направлении № 3 (поворот налево) направления перекрестка № 4 (юг) на перекрестке № 1

Для решения различных типов задач используются ИНС разной архитектуры с разным количеством слоев и нейронов. Также, на точность модели оказывает влияние тип активатора нейрона (табл. 2). При работе с одним перекрестком наилучшую

точность обеспечивает ИНС с двумя скрытыми слоями. Функция активации «*relu*» показывает наилучший результат среди других. ИНС обучена на пяти эпохах (рис. 4), 19 321 значениях и тестовая выборка составила 20 % от общей выборки.

Таблица 2

## Точность искусственной нейронной сети

Table 2

*The accuracy of an artificial neural network*

№ п/п	Количество скрытых слоев, ед.	Общее количество нейронов, ед.	Функция активации	Коэффициент корреляции
1	1	65	<i>relu</i>	0,838
2	1	65	<i>tanh</i>	0,776
3	1	65	<i>linear</i>	0,446
4	2	152	<i>relu</i>	0,938
5	2	152	<i>tanh</i>	0,841
6	2	152	<i>elu</i>	0,915
7	2	152	<i>selu</i>	0,761
8	2	152	<i>softmax</i>	0,895
9	3	327	<i>relu</i>	0,931
10	3	327	<i>elu</i>	0,928
11	3	327	<i>softmax</i>	0,891
12	4	678	<i>relu</i>	0,909

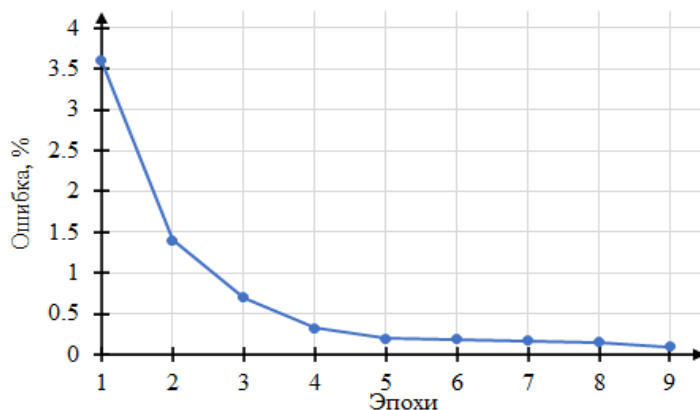


Рис. 4. Обучение искусственной нейронной сети на разных эпохах

Fig. 4. Training an artificial neural network at different epochs

## Результаты исследования

На одном регулируемом перекрестке для восьми 15-минутных интервалов времени (с 7:00 до 9:00) с помощью ИНС были определены оптимальные циклы светофорного регулирования. При работе ИНС вводились ограничения, не позволяющие увеличивать длительность цикла более 100 секунд и фиксированное значение пешеходной фазы 20 секунд. Для каждого ин-

тервала времени ИНС определяла оптимальный цикл светофорного регулирования с учетом ограничений (рис. 5).

Были получены результаты моделирования, для каждого 15-минутного интервала времени, при использовании прогнозного режима и управления движением посредством ИНС (рис. 6).

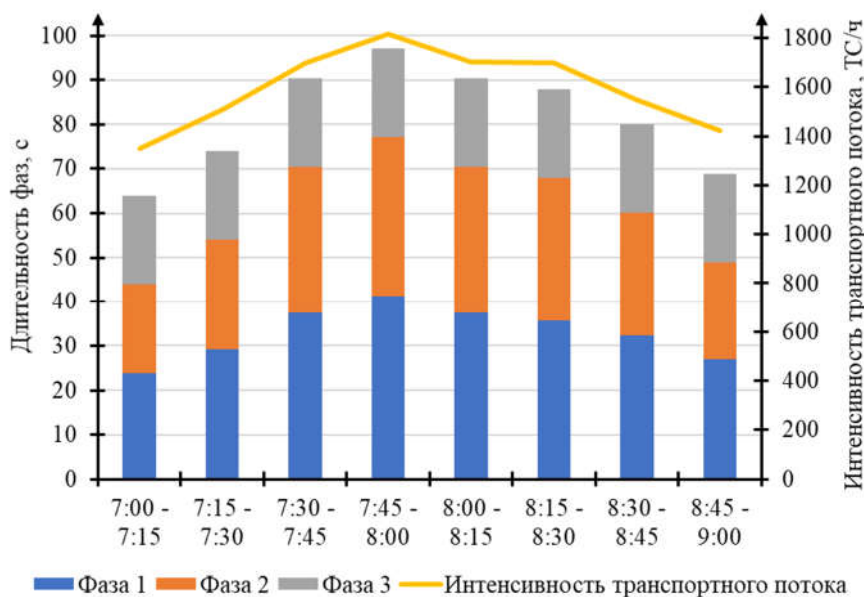


Рис. 5. Параметры светофорного регулирования и суммарная интенсивность транспортных потоков на регулируемом перекрестке в разные интервалы времени  
 Fig. 5. Parameters of traffic light regulation and the total intensity of traffic flows at a controlled intersection at different time intervals

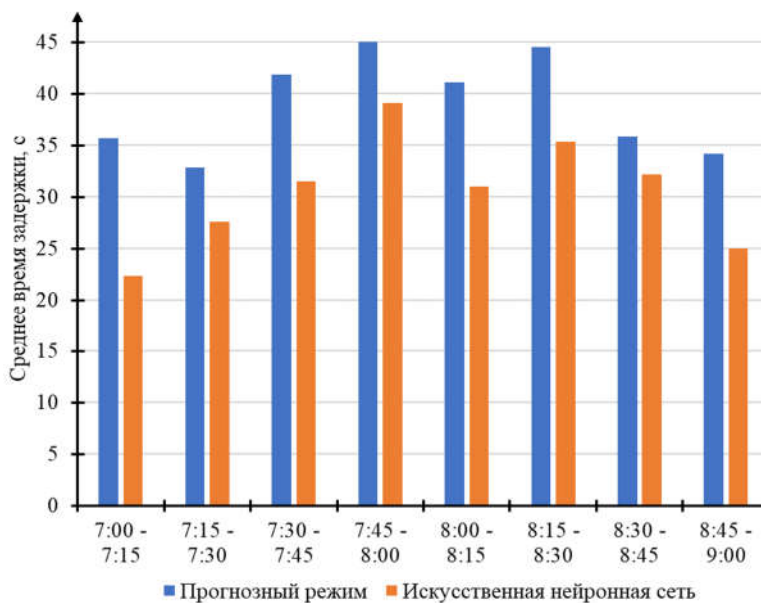


Рис. 6. Среднее время задержки при разных типах управления светофорным объектом  
 Fig. 6. Average delay time for different types of traffic light object control

Использование управления светофорным объектом посредством ИНС позволяет получить значительное снижение среднего времени задержки в случае максимальной интенсивности дорожного движения и незначительное снижение задержки в ряде случаев с низкой фактической интенсивностью движения. Управление с помощью ИНС демонстрирует снижение времени задержки на 20...50 % в сравнении с прогнозным режимом.

В разработанном программном обеспечении обученная ранее модель определяет значение среднего времени задержки для каждого режима работы светофоров. В отличие от *PTV Vissim* [7] вычисление на базе обученной ИНС производится практически мгновенно (рис. 7). При практической реализации данной технологии возможен прямой ввод данных с детекторов и прямой вывод параметров цикла в контроллер светофорного объекта.

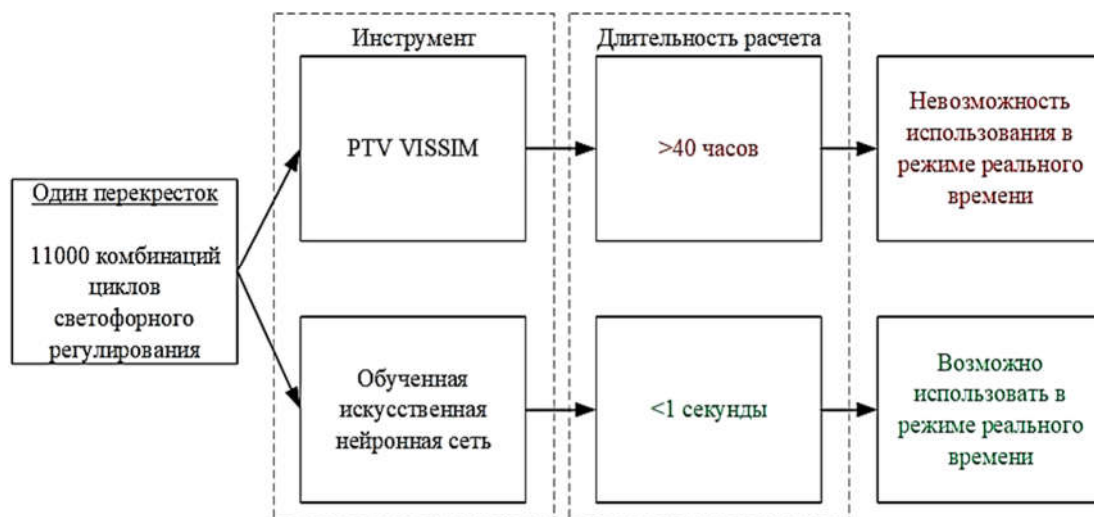


Рис. 7. Преимущество математического моделирования с использованием искусственной нейронной сети

Fig. 7. The advantage of mathematical modeling using an artificial neural network

## Заключение

Разработана нейросетевая модель для прогнозирования оптимального режима работы светофоров. Искусственная нейронная сеть обучена на большом массиве данных, где учтены следующие факторы: интенсивность транспортных потоков по направлениям к перекрестку, доля транспортных средств, поворачивающих налево и направо, количество фаз светофорного регулирования, последовательность фаз светофорного регулирования, длительность разрешающего сигнала светофора, длительность цикла светофорного регулирования на объекте. Дан-

ные для обучения искусственной нейронной сети были подготовлены на основе имитационного моделирования транспортных потоков в *PTV Vissim*.

При использовании имитационного моделирования для обучения искусственной нейронной сети возможно получить модель, позволяющую в режиме реального времени определять оптимальные параметры режима работы светофоров на одном или нескольких перекрестках, что позволяет интегрировать данную технологию в автоматизированную систему управления дорожным движением.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Захаров Д. А., Писцов А. В. Анализ эффективности способов приоритета автобусам при проезде перекрестков с применением адаптивного управления светофорами // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 4.

– С. 128–139, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-128>.

2. Карманов, Д. С. Моделирование транспортных потоков при создании выделенных полос для общественного пассажирского транспорта

на ул. Пермякова – ул. Широкая города Тюмени / Д. С. Карманов, А. А. Фадюшин – Текст : непосредственный // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень : ТюмГНГУ. 2014. – С. 232-237.

3. Клиновштейн, И. Г. Организация дорожного движения : учебник / И. Г. Клиновштейн, М. Б. Афанасьев. – Москва : Транспорт, 2001. – 247 с. – Текст : непосредственный.
4. Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федеральный закон от 29.12.2017 N 443-ФЗ // Собрание законодательства РФ : офиц. текст. – Москва : КонсультантПлюс, 2018. – 24 с. – Текст : непосредственный.
5. ОДМ 218.6.003-2011 Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. Издан на основании распоряжения Федерального до-

рожного агентства от 27.02.2013 N 236-р. – Москва : Изд-во Росавтодор, 2013. – 69 с. – Текст : непосредственный.

6. Основы транспортного моделирования: практическое пособие / А. Э. Горев, К. Беттгер, А. В. Прохоров, Р. Р. Гизатуллин. – Санкт-Петербург : «КОСТА», 2015. – 168 с. – Текст : непосредственный.
7. Руководство пользователя PTV Vissim 8.0. ООО «А+S» СанктПетербург. – 676 с.
8. Фишельсон М. С. Городские пути сообщения : учеб. пособие для вузов / М. С. Фишельсон. – Москва: Высшая школа, 1967. – 360 с. – Текст : непосредственный.
9. Beckmann M. J. Studies in the Economics of Transportation / M. J. Beckmann, C. B. McGuire, C. B. Winsten. – Yale University Press, New Haven, Conn. – 1956.
10. D. Srinivasan, M. C. Choy, and R. L. Chen, «Neural networks for real-time traffic signal control» IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 7, no. 3, pp. 261–272, 2006.

## REFERENCES

1. Zakharov DA, Pistsov AV. Effectiveness analysis of priority methods for buses when passing intersections using adaptive traffic light control [Internet]. Intellect. Innovations. Investments. 2022;4:128-139. Available from: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-128>.
2. Karmanov DS, Fadyushin AA. Modeling of traffic flows when making dedicated lanes for public passenger transport on Permyakova Street - Shirotnaya Street in Tyumen. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, 2014: Problems of Functioning of Transport Systems; Tyumen: Tyumen State University; 2014.
3. Klinkovstein IG, Afanasyev MB. Traffic management: textbook. Moscow: Transport; 2001.
4. Federal Law No. 443-ФЗ. On the organization of road traffic in the Russian Federation and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation. 2017 Dec 29. Moscow: ConsultantPlus; 2018.

5. ОДМ 218.6.003-2011 Methodological recommendations for the design of traffic lights on highways. Moscow: Rosavtodor Publishing House; 2013.
6. Gorev AE, Bettger K, Prokhorov AV, Gizatullin RR. Fundamentals of transport modeling: practical guide. St.Petersburg: COSTA; 2015.
7. PTV Vissim 8.0. LLC "A+S" user manual. St.Petersburg.
8. Fishelson MS. Urban communication routes: handbook for universities. Moscow: Visshaya Shkola; 1967.
9. Beckmann MJ, McGuire CB, Winsten CB. Studies in the economics of transportation. Yale University Press, New Haven, Conn; 1956.
10. Srinivasan D, Choy MC, Chen RL. Neural networks for real-time traffic signal control. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2006;7(3):261–272.

## Информация об авторах:

**Фадюшин Алексей Александрович** – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», ORCID ID: 0000-0001-7276-4315.

**Fadyushin Aleksey Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Motor Transport Operation, the Industrial University of Tyumen, ORCID ID: 0000-0001-7276-4315.

**Писцов Анатолий Викторович** – старший преподаватель кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», ORCID ID: 0000-0003-1624-7262.

**Pistsov Anatoly Viktorovich** – Senior Lecturer at the Department of Motor Transport Operation, the Industrial University of Tyumen, ORCID ID: 0000-0003-1624-7262.



**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.  
Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 28.02.2024; одобрена после рецензирования 22.03.2024; принята к публикации 26.03.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 28.02.2024; approved after review on 22.03.2024; accepted for publication on 26.03.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.**