

Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 656.11

doi: 10.30987/2782-5957-2025-12-48-54

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДЕТЕКЦИИ ГРУЗОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Алексей Александрович Фадюшин^{1✉}, Анатолий Викторович Писцов²

^{1,2} ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

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

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

Аннотация

Описано применение компьютерного зрения и моделирования транспортных потоков с алгоритмом адаптивного типа управления светофорным объектом для предоставления приоритета движению грузовых транспортных средств. Цель исследования – повышение эффективности организации дорожного движения в городах нефтегазового комплекса, за счет разработки алгоритма светофорного регулирования, предоставляющего приоритет грузовым транспортным средствам. Для решения задач компьютерного зрения используется Python, фреймворк Ultralytics (YOLO), OpenCV и библиотеки для работы с данными (Pandas, NumPy); для микромоделирования транспортных потоков используется PTV Vissim с применением модуля VisVar или LISA+ для адаптивного типа светофорного регулирования. При внедрении приоритетного

проезда для грузовых транспортных средств на регулируемом перекрестке параметры дорожного движения для общего транспортного потока изменяются незначительно, а для грузовых транспортных средств – изменения значительны. При увеличении интенсивности движения грузовых транспортных средств приоритетный проезд положительно влияет на параметры дорожного движения всего транспортного потока. С применением нейросетевых технологий и интеграции данных в технические средства организации дорожного движения возможно повышение средней скорости движения транспортных потоков.

Ключевые слова: организация, движение, моделирование, потоки, объекты, компьютерное зрение.

Финансирование: исследование выполнено в рамках НИОКРТ «Нейросетевые технологии на транспорте в нефтегазовой отрасли (Рег. № 125040204753-1, 25.02.2025-31.12.2026)» при поддержке гранта Некоммерческой организации «Благотворительный фонд ЛУКОЙЛ» для молодых преподавателей.

Ссылка для цитирования:

Фадюшин А.А. Алгоритм адаптивного светофорного регулирования на основе детекции грузовых транспортных средств / А.А. Фадюшин, А.В. Писцов // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 12. – С. 48-54. doi: 10.30987/2782-5957-2025-12-48-54.

Original article

Open Access Article

ADAPTIVE TRAFFIC LIGHT CONTROL ALGORITHM BASED ON THE DETECTION OF CARGO TRANSPORT

Aleksey Aleksandrovich Fadyushin^{1✉}, Anatoly Viktorovich Pistsov²

^{1,2} Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

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

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

Abstract

The application of computer vision and traffic flow modeling with an adaptive traffic light control algorithm for prioritizing the movement of cargo transport is described. The study objective is to increase the efficiency of traffic management in the cities of the oil and gas complex by developing a traffic light control algorithm that gives priority to cargo vehicles. Python, Ultralytics framework (YOLO), OpenCV, and libraries for working with data (Pandas, NumPy) are used to solve computer vision problems. For micro-modeling of traffic flows, PTV Vissim is used together with VisVap or LISA+ module for adaptive traffic light

control. With the introduction of priority passage for cargo vehicles at a controlled intersection, the traffic parameters for the general traffic flow change slightly, while for cargo vehicles the changes are significant. With an increase in the traffic intensity of cargo vehicles, priority travel has a positive effect on the traffic parameters of the entire traffic flow. With the use of neural network technologies and the integration of data into technical means of traffic management, it is possible to increase the average speed of traffic flows.

Keywords: organization, movement, modeling, flows, objects, computer vision.

Funding: the paper is funded by the Research and Development Project Neural Network Technologies in Transport of Oil and Gas Industry (No. 125040204753-1 2025 Feb 25 – 2026 Dec 31) with the support of a grant from the Non-profit organization LUKOIL Charitable Foundation for young teachers.

Reference for citing:

Fadyushin AA, Pistsov AV. Adaptive traffic light control algorithm based on detection of cargo transport. *Transport Engineering*. 2025;12:48-54. doi: 10.30987/2782-5957-2025-12-48-54.

Введение

Развитие автотранспортного комплекса в сфере перевозок тяжеловесных и крупногабаритных грузов сдерживается комплексом проблем, ключевой из которых является развитие дорожно-транспортной инфраструктуры. Их решение требует внедрения мер, направленных на минимизацию влияния грузовых транспортных средств (ТС) на дорожное движение [1]. Сокращение временных затрат на передвижение является основной задачей эффективного управления автотранспортом и дорожно-транспортной инфраструктурой [2, 3]. В дорожном движении важную роль играют грузовые и крупногабаритные ТС, так как их динамические характеристики значительно отличаются от легковых ТС. Это отличие создает сложности для организации дорожного движения, особенно в регионах с развитой промышленностью.

В целях обеспечения своевременного прибытия грузов на объекты инфраструктуры большое количество грузовых перевозок осуществляются с участием автомобильного транспорта. В нефтегазодобывающих регионах грузовой автомобильный транспорт играет важную роль для обеспечения строительства и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса. Это приводит к повышению доли грузовых ТС в общем потоке. Высокая доля грузовых ТС

в потоке создает задержки и снижает эффективность работы светофорных объектов, так как большинство систем светофорного регулирования не учитывают состав транспортного потока (или учитывают неполностью), что приводит к неоптимальному распределению фазовых коэффициентов по направлениям.

Существуют системы, которые предоставляют приоритет определенным ТС – *transit signal priority (TSP)*. *TSP* применяется на светофорных объектах для предоставления приоритета движению транспорту общего пользования или службам экстренной помощи [4, 5]. Однако, в таких системах детекция транспорта в большинстве случаев происходит на основе *GPS*-трекеров в ТС, предоставляемому приоритет. Для грузовых ТС такая система дорога и сложна во внедрении, так как требуется интеграция данных о ТС в систему *TSP*. Подход, при котором камеры видеofиксации (с применением компьютерного зрения) самостоятельно детектирует и классифицирует транспорт является оптимальным инструментом для анализа характеристик транспортного потока [6]. Элементы интеллектуальных транспортных систем на основе методов машинного обучения и искусственных нейронных сетей с инструментами имитационного моделирования позволяют не только класси-

фицировать и прогнозировать изменения параметров транспортной системы, но и оценивать возможный эффект от мероприятий по совершенствованию отдельных элементов городского транспортного комплекса [7]. Например, видеоаналитика с применением компьютерного зрения позволяет определить характеристики транспортных потоков и рассчитать матрицу корреспонденций на сложных узлах дорожной сети [8].

Цель исследования – повышение эффективности организации дорожного движения в городах нефтегазового комплекса, за счет разработки алгоритма светофорного регулирования, предоставляющего приоритет грузовым ТС.

Задачи исследования:

– установить влияние характеристик транспортных потоков на эффективность организации дорожного движения при

Моделирование транспортных потоков

В рамках исследования был выбран перекресток ул. Ханты-Мансийская – ул. Омская – ул. Нововартовская (рис. 1). По ул. Ханты-Мансийская замечено движение



Рис. 1. Перекресток ул. Ханты-Мансийская – ул. Омская – ул. Нововартовская
Fig. 1. Crossroads st. Khanty-Mansiyskaya – st. Omskaya - st. Novovartovskaya

Цикл светофорного регулирования на перекрестке состоит из четырех фаз:

1. Движение ТС с ул. Ханты-Мансийская со стороны ул. Ленина.

2. Движение ТС с ул. Ханты-Мансийская со стороны ул. 60 лет Октября.

разных типах светофорного регулирования;

– установить характеристики транспортных потоков на видеопотоке с применением нейросетевых технологий и разработать алгоритм работы светофорного объекта с приоритетом движению грузовых ТС;

– разработать практические предложения, направленные на повышение эффективности организации дорожного движения в городах нефтегазодобывающих комплекса.

Стек технологий: для решения задач компьютерного зрения используется *Python*, фреймворк *Ultralytics (YOLO)*, *OpenCV* и библиотеки для работы с данными (*Pandas, NumPy*); для микромоделирования транспортных потоков используется *PTV Vissim* с применением модуля *VisVap* или *LISA+* для адаптивного типа светофорного регулирования.

грузовых ТС, для которых максимальное ожидание проезда перекрестка составило 1,5 минуты.



3. Движение ТС с ул. Омская и ул. Нововартовская.

4. Выделенная пешеходная фаза.

В модели транспортных потоков на регулируемом X-образном перекрестке внесены характеристики транспортных потоков с учетом данных о движении грузо-

вых ТС (рис. 2, 3). Динамические характеристики грузовых ТС были установлены исходя из данных приведенных в [9].

Алгоритм для адаптивного типа светофорного регулирования работает на основе пяти фаз (рис 4).



Рис. 2. Модель дорожного движения на перекрестке ул. Ханты-Мансийская – ул. Омская – ул. Нововартовская
 Fig. 2. Model of traffic on crossroads st. Khanty-Mansiyskaya – st. Omskaya – st. Novovartovskaya



Рис. 3. Фиксация грузового ТС с помощью YOLO
 Fig. 3. Truck detection using YOLO

За исключением четвертой фазы светофорного регулирования (пешеходной фазы) при детекции грузового ТС (команды «*det_T*» или «*NOT det_T*») алгоритм работы ведет к включению пятой фазы. Пятая фаза предназначена для движения приоритетных направлений, однако работает до момента детекции грузового ТС после проезда перекрестка.

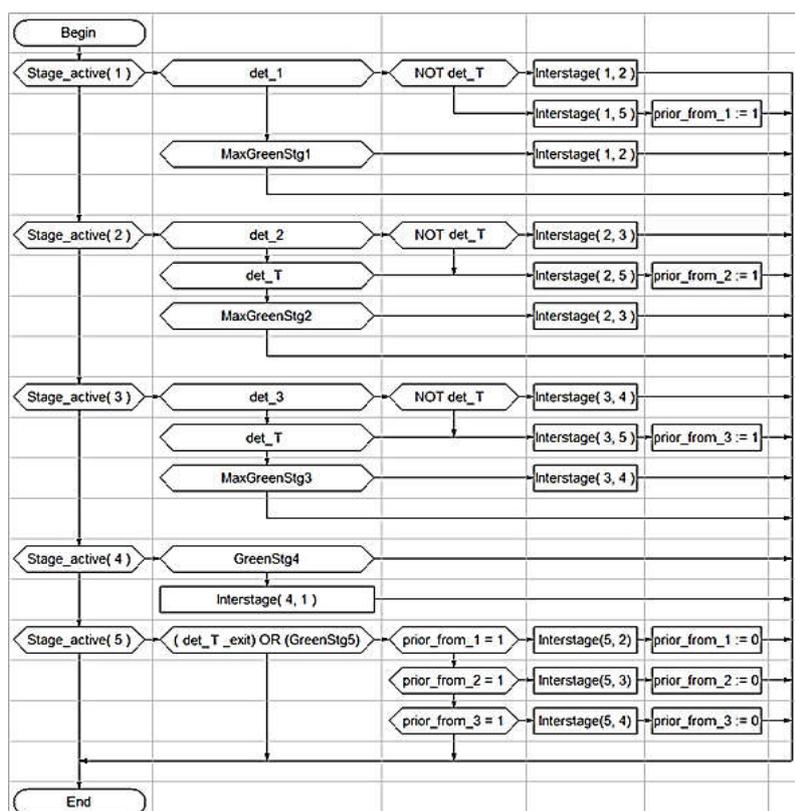


Рис. 4. Алгоритм работы светофорного объекта с приоритетом движению грузовых ТС
 Fig. 4. Algorithm for operating a traffic light with priority for truck traffic

Результаты

Результаты моделирования при разных типах светофорного регулирования и доле грузовых ТС 5 % представлены в таблице. На рис. 5, 6 представлено влияние характеристик транспортных потоков на

параметры дорожного движения. Для оценки эффективности организации дорожного движения используется параметр среднего времени задержки [10].

Simulation results

Параметры дорожного движения	Значения параметров		Изменение, %
	Фиксированный цикл	TSP	
Среднее время задержки общего потока, с	37,5	35,6	-5
Среднее количество остановок общего потока, ед.	0,97	0,92	-5
Средняя скорость движения общего потока, км/ч	35,9	36,7	2
Среднее время задержки стоя общего потока, с	26,3	24,9	-5
Среднее время задержки грузовых ТС, с	47,1	38,2	-19
Среднее количество остановок грузовых ТС, ед.	0,99	0,85	-14
Средняя скорость движения грузовых ТС, км/ч	34,8	38	9
Среднее время задержки стоя грузовых ТС, с	29,3	21,9	-25

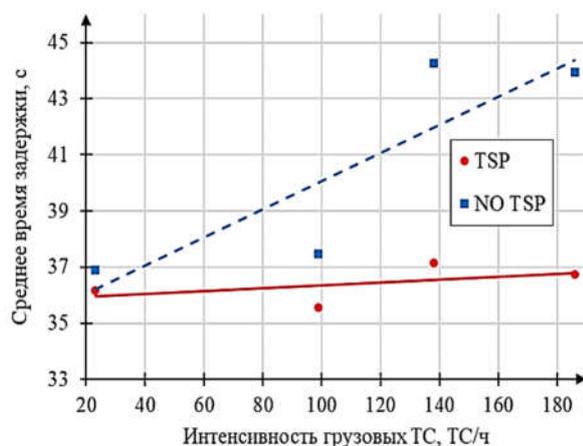


Рис. 5. Влияние интенсивности грузовых ТС на среднее время задержки

Fig. 5. The influence of truck traffic intensity on average delay time

При внедрении приоритетного проезда TSP для грузовых ТС на регулируемом перекрестке параметры дорожного движения изменяются незначительно. Например, время задержки для всех ТС уменьшается на 5 %, средняя скорость движения увеличивается на 2 %. Для грузовых ТС влияние TSP значительно: время задержки для грузовых ТС уменьшается на

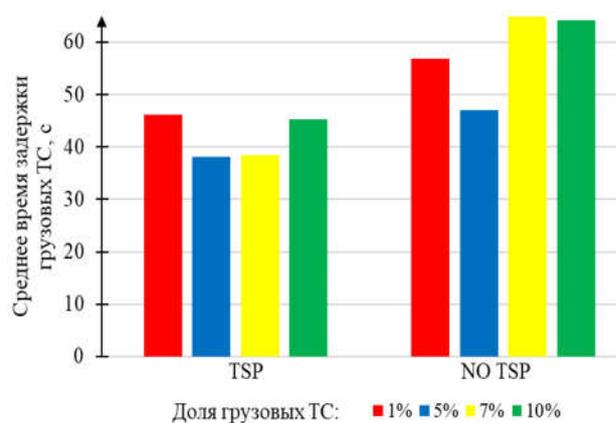


Рис. 6. Среднее время задержки грузовых ТС при внедрении TSP

Fig. 6. Average truck delay time with TSP implementation

19 %, средняя скорость движения увеличивается на 9 %.

При увеличении интенсивности движения грузовых ТС TSP положительно влияет на параметры дорожного движения всего транспортного потока, так как совершается меньшее количество остановок грузовых ТС у регулируемого перекрестка и не совершается длительного разгона после полной остановки.

Заключение

1. Установлено влияние доли грузовых ТС в общем транспортном потоке на среднее время задержки ТС при разных типах светофорного регулирования.

2. С использованием компьютерного зрения, в частности нейронной сети YOLO, написана функция распознавания грузовых ТС на регулируемом перекрестке.

Разработан алгоритм работы светофорного объекта с приоритетом движению грузовых ТС, на основе алгоритма TSP.

3. С применением нейросетевых технологий и интеграции данных в технические средства организации дорожного движения возможно повышение средней скорости движения транспортных потоков. Повышение

средней скорости движения грузовых ТС на регулируемых перекрестках на основе приоритета *TSP*, так же улучшает параметры дорожного движения для остальных транспортных потоков. Внедрение

приоритета *TSP* повышает эффективность организации дорожного движения и грузовых перевозок на автомобильном транспорте и актуально для городов нефтегазодобывающего комплекса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Титов, И.В. Грузовой автомобильный транспорт в России: состояние и перспективы развития / И. В. Титов, И. И. Батищев // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2011. №5(36). С. 44-48.
2. Шамлицкий Я.И., Охота А.С., Мироненко С.Н. Сравнение адаптивного и жесткого алгоритмов управления дорожным движением на базе имитационной модели в среде AnyLogic // Программные продукты и системы. 2018. Т. 31. № 2. С. 403–408. DOI: 10.15827/0236-235x.122.403-408
3. Modeling the Operation of Signal-Controlled Intersections with Different Lane Occupancy / Morozov V.; Shepelev V.; Kostyrchenko V. // Mathematics 2022, 10, 4829. DOI:10.3390/math10244829.
4. Захаров, Д. А. Анализ эффективности способов активного приоритета автобусам при проезде регулируемых перекрестков / Д. А. Захаров, А. В. Писцов // Транспорт Урала. 2023. № 4(79). С. 90-95. – DOI 10.20291/1815-9400-2023-4-90-95.
5. Choosing the optimal method to provide public transportation priority / Pistsov A., Zakharov D. // International Journal of Transport Development and Integration, 6 (3), pp. 298-312, 2022. DOI: 10.2495/TDI-V6-N3-298-312

6. Фади́на О. С., Шепелев В. Д., Альметова З. В., Горяев Н. К. Повышение пропускной способности регулируемых перекрестков на основе синергии компьютерного зрения и адаптивного регулирования скорости // Транспортное машиностроение. 2025. №. 1. С. 28-39. DOI: 10.30987/2782-5957-2025-1-28-39
7. Studying Spatial Unevenness of Transport Demand in Cities Using Machine Learning Methods / Chainikov D., Zakharov D., Kozin E., Pistsov A. // Appl. Sci. 2024, 14(8), 3220. DOI:10.3390/app14083220
8. Чебыкин И.А. Автоматизация мониторинга дорожного движения с помощью компьютерного зрения // Мир транспорта. 2020. Т. 18. № 6. С. 74–87. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-6-74-87
9. Якимов М.Р., Арепьева А.А. Транспортное планирование: Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: монография / М.Р. Якимов, А.А. Арепьева. Москва: Логос, 2016. 280 с.
10. Федеральный закон от 29.12.2017 № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // собрание законодательства РФ. - 01.01.2018. - № 1.- ст. 27

REFERENCES

1. Titov IV, Batishchev II. Freight automobile transport in Russia: state and prospects of development. Transport of the Russian Federation. 2011;5(36):44-48.
2. Shamlichky YaI, Okhota AS, Mironenko SN. Comparison of the adaptive and rigid algorithms of traffic control based on a simulation model in AnyLogic. Software and Systems. 2018;31(2):403-408. DOI: 10.15827/0236-235x.122.403-408
3. Morozov V, Shepelev V, Kostyrchenko V. Modeling the operation of signal-controlled intersections with different lane occupancy. Mathematics. 2022;10:4829. DOI:10.3390/math10244829.
4. Zakharov DA, Pistsov AV. Analysis of the effectiveness of active priority methods for buses when passing through controlled intersections. Transport of the Urals. 2023;4(79):90-95. DOI 10.20291/1815-9400-2023-4-90-95.
5. Pistsov AV, Zakharov DA. Choosing the optimal method to provide public transportation priority. International Journal of Transport Development and Integration. 2022;6(3):298-312. DOI: 10.2495/TDI-V6-N3-298-312

6. Fadina OS, Shepelev VD, Almetova ZV, Goryachev GN. Increasing the traffic capacity of signaled crossings based on computer vision synergy and adaptive speed control. Transport Engineering. 2025;1:28-39. DOI: 10.30987/2782-5957-2025-1-28-39
7. Chainikov D, Zakharov D, Kozin E, Pistsov A. Studying spatial unevenness of transport demand in cities using machine learning methods. Appl. Sci. 2024;14(8):3220. DOI:10.3390/app14083220
8. Chebykin IA. Automating road traffic monitoring using computer vision. World of Transport and Transportation Journal. 2020;18(6):74-87. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-6-74-87
9. Yakimov MR, Arepyeva AA. Transport planning: features of modeling traffic flows in large Russian cities: monograph. Moscow: Logos; 2016.
10. Russian Government, Federal Law No. 443-fz "On the Organization of Traffic in the Russian Federation and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation". 2018 Jan 01.

Информация об авторах:

Фадюшин Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Scopus-Author ID 57205187556, Research- ID-Web of Science ABI-5081-2020, Author-ID-РИНЦ 809997, тел. +7 919 922 43 25.

Fadyushin Aleksey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Motor Transport Operations, Tyumen Industrial University, Scopus-Author ID 57205187556, Research-ID-Web of Science ABI-5081-2020, Author-ID-RSCI 809997; phone: +7 919 922 43 25.

Писцов Анатолий Викторович – заведующий лабораторией кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Scopus-Author ID 57302467100, Research- ID-Web of Science 57302467100, Author-ID-РИНЦ 801684, тел. +7 919 944 61 63.

Pistsov Anatoly Viktorovich – Head of the Laboratory of the Department of Motor Transport Operation, Tyumen Industrial University, Scopus-Author ID 57302467100, Research-ID-Web of Science 57302467100, Author-ID-RSCI 801684; phone: +7 919 944 61 63.

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 01.10.2025; одобрена после рецензирования 15.10.2025; принята к публикации 27.11.2025. Рецензент – Агуреев И.Е., доктор технических наук, профессор Тульского государственного университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 01.10.2025; approved after review on 15.10.2025; accepted for publication on 27.11.2025. The reviewer is Agureev I.E., Doctor of Technical Sciences, Professor of Tula State University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.