

Транспортные услуги. Инженерия и инженерное дело

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-10>

УДК: 656.13:004

МРНТИ: 73.29.35

Проблемы заторов в мегаполисе и методы их решения на основе интеллектуальных систем управления транспортными потоками***¹Рабат О.Ж., ¹Абсаметов Д.М., ¹Джунушев Д.А.**¹Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г.Алматы, Казахстан*Автор-корреспондент email: rabat747@mail.ru

<p>Поступила: 17 января 2024 Рецензирование: 4 февраля 2024 Принята в печать: 02 марта 2024</p>	<p>Аннотация Статья посвящена одной из наиболее актуальных проблем современного городского хозяйства — заторам на дорогах мегаполисов. Дорожные заторы оказывают негативное влияние на транспортную эффективность, экологию и качество жизни горожан. Проанализированы основные традиционные подходы к решению этой проблемы, такие как строительство транспортных развязок, развитие общественного транспорта и административные меры (введение платы за въезд, ограничения по номерным знакам). Однако авторы отмечают ограниченность их эффективности в условиях стремительного роста числа транспортных средств и плотной городской застройки. Основное внимание в работе уделено применению интеллектуальных транспортных систем (ИТС), использующих современные методы моделирования и управления трафиком. Рассматриваются пять ключевых направлений: макроскопические и микроскопические модели движения, мультиагентные когнитивные системы, прогнозирование на основе нейронных сетей, а также регулирование светофоров с применением нечёткой логики. Представлены результаты исследований, свидетельствующие о возможности увеличения пропускной способности перекрёстков до 30 % и повышения адаптивности систем управления. В заключение подчёркивается, что ИТС являются эффективным инструментом управления дорожным движением, но не могут рассматриваться как универсальное решение. Для устойчивого результата требуется их интеграция в комплексную транспортную стратегию мегаполиса с учётом градостроительных и социальных факторов.</p> <p>Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, заторы, трафик, нейросети, нечёткая логика, модели движения, транспортная инфраструктура.</p>
Рабат О.Ж.	<p>Информация об авторах: Доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортная техника и организация перевозок», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1758-6621. E-mail: rabat747@mail.ru</p>
Абсаметов Д.М.	<p>Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Транспортная техника и организация перевозок», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7805-4058. E-mail: abs_damir@mail.ru</p>
Джунушев Д.А.	<p>магистрант ОП 7М07104 «Транспорт, транспортная техника и технологии», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-2026-9334. E-mail: dzoldoshbek@gmail.com</p>

Көлік қызметі. Инженерлік іс және инженерия

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-10>

ӘОЖ: 656.13:004

FTAMP: 73.29.35

Мегаполистегі кептеліс мәселелері және оларды көлік ағындарын басқарудың интеллектуалды жүйелеріне негізделген шешу әдістері

***¹Рабат О.Ж., ¹Абсаметов Д.М., ¹Джунушев Д.А.**

¹Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан

*Автор-корреспондент email: rabat747@mail.ru

Түйіндеме

Мақала қазіргі заманғы қалалық экономиканың ең өзекті мәселелерінің бірі — мегаполис жолдарындағы кептелістерге арналған. Жол кептелісі көлік тиімділігіне, экологияға және қала тұрғындарының өмір сапасына теріс етеді. Көлік айырбастарын салу, қоғамдық көлікті дамыту және әкімшілік шаралар (кіру ақысын енгізу, нөмірлік шектеулер) сияқты осы мәселені шешудің негізгі дәстүрлі тәсілдері талданады. Алайда, авторлар көлік құралдарының қарқынды өсуі мен тығыз қала құрылышы жағдайында олардың тиімділігінің шектеуі екендігін атап өтті. Жұмыста трафикті модельдеу мен басқарудың заманауи әдістерін қолданатын Интеллектуалды көлік жүйелерін (its) қолдануға баса назар аударылады. Бес негізгі бағыт қарастырылады: макроскопиялық және микроскопиялық қозғалыс үлгілері, көп агенттік когнитивті жүйелер, нейрондық желілерге негізделген болжасу және анық емес логиканы қолдана отырып бағдаршамдарды реттеу. Қызылстардың өткізу қабілетін 30% - ға дейін арттыру және басқару жүйелерінің бейімделуін арттыру мүмкіндігін көрсететін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Корытындылай келе, its жол қозғалысын басқарудың тиімді құралы болып табылады, бірақ оны бір өлшемді шешім ретінде қарастыруға болмайды. Тұрақты нәтиже үшін оларды қала құрылышы және әлеуметтік факторларды ескере отырып, мегаполистің кешенді Көлік стратегиясына интеграциялау талап етіледі.

Түйін сөздер: интеллектуалды көлік жүйелері, кептелістер, трафик, нейрондық желілер, бұлышығыр логика, қозғалыс модельдері, көлік инфрақұрылымы.

Мақала келді:
17 қантар 2024
Саралтамадан өтті
14 ақпан 2024
Қабылданды:
02 наурыз 2024

Рабат О.Ж.

Авторлар туралы ақпарат:

Техника ғылымдарының докторы, «Көлік технологиясы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасының профессоры. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1758-6621>. E-mail: rabat747@mail.ru

Абсаметов Д.М.

Техника ғылымдарының магистрі, «Көлік технологиясы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасының аға оқытушысы. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7805-4058>. E-mail: abs_damir@mail.ru

Джунушев Д.А.

7M07104 «Көлік, көлік техникасы және технологиясы» білім беру бағдарламасының магистранты, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2026-9334>. E-mail: dzoldoshbek@gmail.com

Congestion problems in the metropolis and methods of their solution based on intelligent traffic management systems

*¹Rabat O.Zh., ¹Absametov D.M., ¹Dzhunushev D.A.

¹Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan

*Corresponding author email: rabat747@mail.ru

Abstract

Received:
17 January 2024
Peer-reviewed:
14 February 2024
Accepted:
02 March 2024

The article is devoted to one of the most pressing problems of the modern urban economy — congestion on the roads of megacities. Traffic congestion has a negative impact on transport efficiency, the environment and the quality of life of citizens. The main traditional approaches to solving this problem are analyzed, such as the construction of transport interchanges, the development of public transport and administrative measures (introduction of entry fees, restrictions on license plates). However, the authors note the limitations of their effectiveness in conditions of rapid growth in the number of vehicles and dense urban development. The main focus of the work is on the application of intelligent transport systems (ITS) using modern methods of traffic modeling and management. Five key areas are considered: macroscopic and microscopic motion models, multi-agent cognitive systems, forecasting based on neural networks, as well as traffic light regulation using fuzzy logic. The research results are presented, indicating the possibility of increasing the capacity of intersections by up to 30% and increasing the adaptability of control systems. In conclusion, it is emphasized that ITS is an effective traffic management tool, but cannot be considered as a universal solution. For a sustainable result, their integration into the integrated transport strategy of the metropolis, taking into account urban planning and social factors, is required.

Keywords: intelligent transport systems, congestion, traffic, neural networks, fuzzy logic, traffic models, transport infrastructure.

Rabat O.J.	<p><i>Information about authors:</i> <i>Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Engineering and Organization of Transportation, Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1758-6621. E-mail: rabat747@mail.ru</i></p>
Absametov D.M.	<p><i>Master of technical sciences, senior lecturer of the Department of Transport Engineering and Organization of Transportation, Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7805-4058. E-mail: abs_damir@mail.ru</i></p>
Dzhunushev D.A.	<p><i>Master's student of the OP 7M07104 - "Transport, transport equipment and technologies", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-2026-9334. E-mail: dzoldoshbek@gmail.com</i></p>

Введение

Проблема заторов на дорогах мегаполисов с каждым годом становится всё более актуальной. Дорожные заторы оказывают существенное негативное влияние не только на скорость передвижения, но и на экологическую обстановку. В настоящее время существует несколько подходов к решению данной проблемы:

- строительство транспортных развязок и расширение дорожной сети;
- развитие общественного транспорта;
- введение ограничений или платы за въезд в определённые зоны;
- применение интеллектуальных систем управления транспортными потоками.

Строительство развязок и расширение дорог не поспевает за ростом количества транспортных средств в городе. Низкие темпы модернизации дорожной инфраструктуры в значительной степени обусловлены ограниченностью городского пространства. Кроме того, точечная застройка, широко применяемая в современных мегаполисах, способствует росту плотности населения, увеличивая нагрузку на существующие дороги. Расширение границ города, хотя и снижает плотность в целом, не решает проблему маятниковой миграции, поскольку большая часть рабочих мест сосредоточена в центральной части города. Потенциально эффективным решением могло бы стать строительство многоуровневых дорог, аналогичных многоэтажным зданиям, однако современные технологии не позволяют реализовать такие проекты с разумными финансовыми затратами.

Кроме того, строительство развязок в одном месте зачастую лишь «перемещает» пробку к следующему узкому участку. Развязки позволяют повысить скорость движения на отдельных сегментах, но пробки могут возникать даже на этих участках из-за дорожно-ремонтных работ, аварий или временного сокращения числа полос. Рост плотности трафика также ведёт к увеличению числа дорожно-транспортных происшествий. Таким образом, расширение дорог и строительство развязок не представляют собой полноценное решение проблемы заторов.

Теоретически полный отказ от использования личного транспорта в пользу общественного мог бы значительно улучшить ситуацию. Один автобус способен перевозить до 50 человек, занимая пространство, эквивалентное 2–3 легковым автомобилям. Однако реализация такого подхода сталкивается с рядом серьёзных трудностей:

а) Для удовлетворения потребностей населения в часы пик потребуется многократное увеличение подвижного состава общественного транспорта, что сделает его экономически неэффективным в остальное время.

б) Даже если все жители мегаполиса начнут пользоваться общественным транспортом, останется значительное число пригородных жителей, нуждающихся в поездках в центр города. Полное покрытие этих маршрутов общественным транспортом представляет собой сложную задачу.

Одним из альтернативных решений является сокращение количества автомобилей, например, путём введения платы за въезд в центр города. Так, в Лондоне с 2003 года действует система платного въезда, благодаря которой поток автомобилей сократился на 20 %, однако существенного влияния на ситуацию с пробками это не оказалось [1, 2]. В других мегаполисах, таких как Пекин или Париж, применяются ограничения движения по чётным и нечётным дням в зависимости от номера автомобиля. Эти меры способствуют улучшению дорожной обстановки, однако характеризуются низкой гибкостью и времененным эффектом.

Методы

Для решения проблемы заторов на дорогах в последние годы всё чаще применяются интеллектуальные транспортные системы (ИТС), основанные на современных моделях и технологиях управления трафиком. Ниже представлены ключевые подходы и методы, лежащие в основе ИТС:

1. Макроскопические модели движения

Макроскопические модели описывают транспортные потоки с помощью аналогий из газовой кинетики. Автомобили при этом рассматриваются как молекулы в потоке газа. Используются уравнения, связывающие плотность потока со скоростью движения, основанные на уравнении Больцмана. Эти модели позволяют учитывать феномены спонтанного появления заторов. Однако они имеют ограничения, связанные с невозможностью точного моделирования поведения отдельных водителей.

2. Микроскопические модели движения

В отличие от макроскопических, микроскопические модели позволяют моделировать поведение каждого транспортного средства индивидуально. В системе создаётся инфраструктура, по которой движутся виртуальные автомобили, взаимодействующие друг с другом по заданным правилам.

Один из популярных методов микромоделирования — использование клеточных автоматов, в которых дорога разбивается на дискретные ячейки, каждая из которых может быть занята или свободна. Простые локальные правила позволяют воспроизводить характерные волнообразные движения, типичные для плотного потока транспорта.

3. Мультиагентные когнитивные системы

Более продвинутый подход — использование систем с множеством когнитивных агентов. Каждый агент (автомобиль) обладает возможностью самостоятельно принимать решения на основе получаемой информации, взаимодействуя с другими агентами и элементами инфраструктуры. Эти системы учитывают разное поведение водителей, их цели и возможности, что позволяет реалистично имитировать трафик и адаптировать управление к изменяющимся условиям.

4. Прогнозирование на основе нейронных сетей

ИТС могут использовать искусственные нейронные сети для прогнозирования состояния трафика. Например, можно обучить нейросеть предсказывать длину очередей на перекрёстках на основе предыдущих наблюдений. Это позволяет адаптировать режим работы светофоров в реальном времени.

5. Нечёткая логика (fuzzy logic)

Ещё один метод — применение нечёткой логики для управления фазами светофоров. Контроллер на основе нечётких правил принимает решения о продолжительности включения зелёного сигнала. Используются лингвистические переменные (например, «много», «средне», «мало» автомобилей), что приближает логику управления к человеческому способу принятия решений. Исследования показали, что такие системы обеспечивают более плавное движение и сокращают время ожидания на перекрёстках.

Результаты

Применение различных методов интеллектуального управления транспортными потоками позволяет достичь определённых улучшений в организации дорожного движения. В результате анализа и моделирования были получены следующие ключевые выводы:

Повышение пропускной способности перекрёстков. Моделирование с использованием интеллектуальных систем управления показало, что внедрение адаптивных алгоритмов регулирования, включая нечеткую логику и нейросетевые прогнозы, может увеличить пропускную способность перекрёстков до 30 %. Это позволяет уменьшить длину очередей и снизить среднее время ожидания транспорта.

Повышение гибкости управления. Контроллеры с нечеткой логикой демонстрируют большую гибкость по сравнению с традиционными фиксированными и транспортно-зависимыми светофорными системами. Они могут адаптироваться к текущим условиям, пропуская ненужные фазы и сокращая продолжительность сигнала при отсутствии трафика в определенном направлении.

Более реалистичное моделирование поведения транспорта. Микроскопические модели на основе клеточных автоматов и мультиагентных систем способны воспроизводить характерные особенности движения в условиях высокой плотности: формирование заторов, волновообразные движения, изменения поведения при авариях или перекрытиях дорог.

Прогнозирование перегрузок. Нейросетевые модели позволяют не только реагировать на текущую дорожную обстановку, но и предсказывать развитие заторов, обеспечивая тем самым возможность проактивного регулирования.

Ограничения и зависимость от параметров. Несмотря на преимущества, интеллектуальные системы чувствительны к параметрам настройки. Например, эффективность контроллеров с нечеткой логикой зависит от корректно заданных лингвистических переменных, что требует тонкой калибровки и может привести к снижению эффективности при изменении объема трафика.

Ограниченная эффективность в реальных условиях. Практическое внедрение ИТС, например, в Москве (2015 год), показало, что, несмотря на технологические улучшения, полностью решить проблему пробок только с помощью интеллектуальных систем невозможно без комплексных изменений в городской транспортной политике.

Обсуждение

Проведённый анализ демонстрирует, что интеллектуальные транспортные системы способны существенно повысить эффективность управления дорожным движением, особенно в условиях перегрузки городской инфраструктуры. Однако полученные результаты необходимо рассматривать с учётом ряда факторов, ограничивающих их практическое применение.

Во-первых, внедрение ИТС требует значительных финансовых и технологических ресурсов. Это связано как с необходимостью модернизации дорожной инфраструктуры (установки датчиков, камер, контроллеров), так и с созданием устойчивой ИТ-инфраструктуры (серверов, алгоритмов, аналитических платформ).

Во-вторых, любая система управления, основанная на алгоритмах, остаётся уязвимой к резким изменениям дорожной обстановки: авариям, ремонтным работам, стихийным бедствиям и т. п. Наличие человеческого фактора и непредсказуемое поведение участников дорожного движения также создают дополнительные риски.

В-третьих, интеллектуальные методы требуют аккуратной настройки. Например, эффективность нечеткой логики зависит от правильного выбора лингвистических переменных и правил, в то время как нейронные сети нуждаются в большом объёме качественных данных для обучения.

Кроме того, даже высокоэффективные системы управления не способны компенсировать фундаментальные ограничения городской среды: плотную застройку, неравномерное распределение рабочих мест и жилья, а также преобладание маятниковой миграции. Поэтому интеллектуальные системы должны рассматриваться не как универсальное решение, а как элемент более широкой стратегии устойчивого развития городской мобильности.

Выводы

Проблема дорожных заторов в мегаполисах остаётся актуальной и требует комплексного подхода. Интеллектуальные транспортные системы представляют собой перспективное направление, способное существенно повысить эффективность управления трафиком и улучшить обстановку на дорогах.

Современные модели — от клеточных автоматов до нейросетевых предсказаний и систем с когнитивными агентами — дают возможность гибко реагировать на изменения дорожной ситуации. Особенно эффективным оказывается применение нечеткой логики для ре-

гулирования светофоров, позволяющее сократить время ожидания и сделать трафик более равномерным.

Однако без сочетания с системными мерами в сфере городского развития и транспортного планирования одних только интеллектуальных технологий недостаточно. Их внедрение должно быть частью широкой стратегии по созданию устойчивой, эффективной и экологичной транспортной системы.

Конфликт интересов. Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Рабат О.Ж., Абсаметов Д.М., Гордеев С.В., Джунушев Да. Проблемы заторов в мегаполисе и методы их решения на основе интеллектуальных систем управления транспортными потоками. Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyn Khabarshy. 2024;1(5):99-105. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-10>

Cite this article as: Rabat OZh, Absametov DM, Gordeev SV, Dzhunushev DA. Problemy zatorov v megapolise i metody ih resheniya na osnove intellektual'nyh sistem upravleniya transportnymi potokami [Congestion problems in the metropolis and methods of their solution based on intelligent traffic management systems]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogoinstituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyn Khabarshy. 2024;1(5):99-105. (In Rus.). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-10>

Литература

- [1] BBC News. Congestion charge survives school run (электронный ресурс). 2003. (Дата обращения: 13.05.2025). URL: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/2809073.stm
- [2] Transport for London. Public and stakeholder consultation on a Variation Order to modify the Congestion Charging scheme. London: Transport for London, 2014.
- [3] Wiering M., van Veenen J., van Wreeken J. Intelligent traffic light control. Utrecht: Utrecht University. 2004, 31 с.
- [4] Javed A., Pandey M.K., Ahmed H. Intelligent Traffic Light Control System for Isolated Intersection Using Fuzzy Logic. В сб.: Proceedings of the Conference on Advances in Communication and Control Systems. Atlantis Press. 2013, 273–277.
- [5] Jin J., Ma X. Hierarchical multi-agent control of traffic lights based on collective learning. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2018; 68:236–248. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.10.013>

References

- [1] BBC News. Congestion charge survives school run (Electron resource). 2003. (Accessed on May 13, 2025). URL: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/2809073.stm
- [2] Transport for London. Public and stakeholder consultation on a Variation Order to modify the Congestion Charging scheme. London: Transport for London. 2014, 31.
- [3] Wiering M, van Veenen J, van Wreeken J. Intelligent traffic light control. Utrecht: Utrecht University, 2004.
- [4] Javed A, Pandey MK, Ahmed H. Intelligent Traffic Light Control System for Isolated Intersection Using Fuzzy Logic. In: Proceedings of the Conference on Advances in Communication and Control Systems. Atlantis Press. 2013, 273–277.
- [5] Jin J, Ma X. Hierarchical multi-agent control of traffic lights based on collective learning. Engineering Applications of Artificial Intelligence 2018; 68:236–248. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.10.013>