СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

**Г.А. Якупова¹, И.В. Макарова¹, Л.А. Губачева², П.А. Буйвол¹,
К.А. Магдин¹, Г.А. Парсин¹**

¹Казанский федеральный университет (Набережночелнинский институт)

²Луганский национальный университет имени Владимира Даля

aGayakupova@kpfu.ru, {bkamlVM, dskyeyes}@mail.ru, cgubacheva_snu@bk.ru

{ekirillround, fnf801.parsin}@gmail.com

Аннотация. Транспортная система страны, обеспечивая перемещение грузов и человека, является важнейшей составляющей его экономики, но в то же время одним из главных источников негативного воздействия на окружающую среду. Главной задачей проектирования, создания и поддержания устойчивости транспортных систем урбанизированных территорий является решение вопросов их безопасности, надежности и экологичности. Параметры урбанизированной территории (размер, планировка и т.п.) оказывают существенное влияние на развитие любой деятельности, в том числе и транспортно-логистической. Анализируя влияние разных факторов на устойчивость транспортной системы и выявляя общие закономерности можно построить рациональное управление, повысить ее надежность и безопасность. Статья посвящена экологическим проблемам автотранспорта в малых городах, где невозможно применять дорогостоящие решения. Цель исследования – разработка инструментов организации движения в условиях быстрого роста парка транспортных средств. Для этого мы предложили систему управления движением, интеллектуальным ядром которой являются имитационные модели (ИМ) проблемных зон дорожной сети. На конкретных примерах показано, что в некоторых случаях нет необходимости применять дорогостоящие решения для снижения негативного воздействия транспортных средств на окружающую среду, и зачастую рациональное управление может привести к желаемому результату. Проведение компьютерного эксперимента на построенных ИМ показало, что существует значительный потенциал для улучшения параметров транспортных потоков в этих районах и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: транспортная система, светофорное регулирование, интеллектуальные транспортные системы, имитационные модели

Введение

Потребность в мобильности, обеспечиваемая развитием транспортной системы, приводит к росту автомобилизации населения, что наряду с преимуществами, которые обеспечивают современные транспортные средства, имеет и массу побочных отрицательных эффектов. Эти процессы отрицательно влияют на безопасность и устойчивость транспортной системы в целом и отдельных урбанизированных территорий в частности. Высокая интенсивность движения в любом городе, независимо от его размера, вызывает заторы и пробки, особенно в часы пик, что отрицательно влияет на состояние окружающей среды через шумовое воздействие и выбросы выхлопных газов. В настоящее время экологическая проблема приобретает все более масштабный характер, поскольку негативно сказывается на состоянии здоровья и качестве жизни жителей. Поэтому решение проблемы повышения безопасности и устойчивости транспортных систем является актуальной задачей.

В России объем выбросов от автотранспорта вырос с 12679 тыс.т в 2012 г. до 15108 тыс.т в 2018 г. [1]. В то же время, в некоторых регионах средний возраст в целом ниже, чем по стране, такие

тенденции обновления парка внушают оптимизм, поскольку новые автотранспортные средства (АТС) более экологичны [2]. Как отмечает ряд авторов, интенсивность загрязнения окружающей среды автотранспортом зависит от технического состояния АТС, качества топлива, развитости системы управления транспортной системой. Кроме того, АТС загрязняют окружающую среду за счет испарений и утечек топлива из топливной системы ввиду ее негерметичности. Все большее влияние на состояние здоровья населения урбанизированных территорий оказывает шум, который, по мнению Всемирной организации здравоохранения, является второй экологической проблемой по значимости после качества атмосферного воздуха. Так, автотранспортный поток в непосредственной близости от мест проживания человека, являющийся постоянным источником шума, представляет высокую опасность для его здоровья и снижает качество жизни [3].

Состояние проблемы: существующие методы и решения

Поскольку качество управления большими системами является одним из действенных направлений повышения их устойчивости и эффективности,

Европейская комиссия, еще в 2010 году, предложила Европейскую инициативу умных городов, включающую три основные городские сферы: здания, энергетические сети, транспорт [4]. В качестве направлений развития умного транспорта указаны:

Устойчивая мобильность: интеллектуальный общественный транспорт, интеллектуальное управление движением и предотвращение заторов.

Реализация программ тестирования и развертывания низкоуглеродных транспортных систем, включая интеллектуальные приложения продажи билетов, интеллектуального управления движением, информации и связи, распределения грузов, пешеходного и велосипедного движения.

Авторы статьи [5] утверждают, что существующие на сегодняшний день системы управления транспортом (TMS) не обладают достаточными средствами детального мониторинга для получения точной и своевременной информации о ситуациях на дорогах, которая необходима для управления дорожным движением.

Одним из наиболее действенных технических мероприятий по снижению вредных выбросов транспортных средств является применение альтернативных источников энергии. Самой перспективной стратегией по сокращению выбросов CO₂, по мнению авторов [6,7], является расширение парка электромобилей. Однако при этом следует учитывать проблемы, связанные с надежностью электромобилей и утилизацией батарей, а также, то, что, имея такое положительное качество, как малозатратность, электромобили создают угрозу безопасности пешеходов.

Снижению выбросов от транспортных средств способствует контроль стиля вождения, называемый эко-вождением [8,9]. Так, автор исследования [10] установил, что, формируя экономико-экологическое поведение водителей, можно значительно снизить потребление энергии за счет рационального выбора скорости и ускорения. Следовательно, обучение водителей рациональному управлению автомобилем и адекватному поведению в разных дорожных ситуациях сократит вредные выбросы с отработавшими газами транспортных средств.

Муниципальные управления, осознавая негативные последствия урбанизации, предпринимают меры по введению платы за проезд с целью ограничения въезда автотранспорта во внутреннюю часть города [11]. Авторами статьи [12] предложена система управления трафиком, определяющая динамику маршрутов в зависимости от параметров потока, основанная на машинном обучении и методе маршрутизации, которая позволяет прогнозировать перегрузку критических мест, а также использовать

полученные прогнозы для адаптивного управления маршрутами АТС, что позволяет избежать заторов.

Уникальная по своей значимости комплексная схема организации движения, позволяющая охватить широкий круг задач по развитию в долгосрочной перспективе транспортной системы города и обеспечению безопасности дорожного движения, была разработана и внедрена в городе Сочи. Моделирование транспортных потоков выполнялось в период подготовки к проведению зимних олимпийских игр 2014, когда была проанализирована существующая дорожная ситуация, выявлены основные параметры транспортной инфраструктуры, а затем, с учетом допустимых показателей пропускной способности, был разработан комплекс мер по реконструкции УДС города.

Проблемы, вызванные транспортными заторами, можно решать с использованием Интернета вещей (IoT). Так, авторами статьи [13] предложен подход, основанный на IoT, позволяющий обеспечить мониторинг параметров окружающей среды, включая качество воздуха, а также предусматривающий раннее оповещение при достижении параметрами критических значений.

Предлагаемая авторами исследования [14] система обеспечения устойчивой мобильности и снижения воздействия транспорта на окружающую среду, основана на применении небольших транспортных средств с низким уровнем выбросов по гибким маршрутам, адаптирующимся в режиме реального времени для удовлетворения запросов клиентов с учетом пробок на дорогах и доступности других транспортных услуг. Фундаментальной составляющей проекта является распределенная беспроводная сенсорная сеть (WSN), которая будет использоваться для сбора данных о трафике и окружающей среде в реальном времени для построения описательных и прогностических моделей планирования наилучших маршрутов с целью уменьшения заторов на дорогах и, следовательно, загрязнения городов.

Реализация описанных проектов, особенно инфраструктурных, требует инвестиций в их реализацию, что для небольших населенных пунктов может оказаться неэффективным. В то же время, управленческие методы, основанные на интеллектуальном поиске рационального использования существующей инфраструктуры, могут оказаться эффективными и малозатратными. Так, авторы статьи [15] предлагают использовать существующие инфраструктурные объекты (светофоры) для решения транспортных проблем. Адекватное управление движением на регулируемых перекрестках позволяет оптимизировать транспортный поток без особых дополнительных вложений.

Результаты и обсуждение

Как следует из обзора исследований, экологические проблемы, связанные с ростом автомобилизации, характерны не только для больших и средних, но и для малых городов. В значительной степени это объясняется менее развитой транспортной инфраструктурой, а также меньшими возможностями для внедрения интеллектуальных систем управления. Для качественных прогнозов и рационального управления необходима адекватная и своевременная информация, которую в настоящее время получают с различных устройств, а затем агрегируют, после чего выполняются прогнозы. В этом плане в больших и средних городах значительно больше возможностей, поскольку установлено достаточное количество камер в соответствии с программами «безопасный город». Для небольших городов есть сложности с получением оперативной информации, однако, учитывая то, что движение в них менее интенсивно, а параметры транспортных потоков отличаются большей стабильностью, в интеллектуальных управляющих системах можно использовать данные натурных наблюдений, по которым выявляются закономерности, характеризующие движение, а затем строить прогнозные модели, проигрывая на них ситуации «что – если». Кроме того, в небольших городах не так много критических участков, поэтому можно с успехом применять имитационные микромодели, эффективность которых была нами исследована в предыдущих работах [16, 17].

Для исследования были выбраны 2 города: Апатиты и Елабуга с населением, соответственно, 55 и 74 тыс. жителей. Города похожи по планировочным решениям, оба имеют старую и новую части, что влияет на схемы движения. Главное отличие заключается в том, что Елабуга расположена в Республике Татарстан, на равнинной местности в среднем климате, а Апатиты – в Мурманской области, недалеко от горного хребта в северной климатической зоне. Это, безусловно, влияет как на параметры транспортных потоков, так и на экологические последствия функционирования транспортно-логистической системы. Для выявления проблемных участков изучались схемы движения в городах, выбирались сложные участки, где наблюдаются заторы и пробки, а также являющиеся местами концентрации дорожно-транспортных происшествий. Затем на выбранных участках проводились натурные наблюдения (видеосъемка), вычислялись параметры транспортных потоков в часы пик, которые служили исходными данными при построении ИМ для ситуации «как есть». После этого проводится эксперимент на модели с целью ее верификации и валидации. Для построения модели и оптимизационных экс-

периментов использовался программный комплекс AnyLogic, имеющий встроенные библиотеку дорожного движения и оптимизатор OptionQuest.

Анализ статистических данных дорожно-транспортных происшествий по городу Елабуга позволил выбрать один из самых аварийных перекрестков – Т-образный перекресток на пересечении проспекта Нефтяников, Окружного и Танаевского шоссе, которые имеют разное количество полос для движения в каждом направлении. С Танаевского шоссе также имеется съезд к магазину. Данный перекресток является нерегулируемым. Поскольку перекресток имеет разное количество полос, а светофорное регулирование отсутствует, возникают заторы и конфликтные ситуации, участники движения создают препятствия друг другу, растут вероятность ДТП и время проезда перекрестка. Структура модели приведена на рис.1а.

Решением сложившейся ситуации может стать установка светофора на данном перекрестке, который может при адекватной настройке упорядочить движение, снизить аварийность за счет исключения неоднозначности толкования ситуаций водителями, и, в целом, повысить безопасность на данном участке как в плане организации движения, так и с точки зрения воздействия на окружающую среду. При оптимизации режима работы светофорного объекта анализируются транспортные задержки на пересечении и средняя длина затора на подъездах к пересечению.

Нами была определена логика работы светофора: двухфазный цикл, при котором первая фаза – зеленый свет для движения по Окружному шоссе по всем разрешенным направлениям, а вторая – зеленый свет для въезда на перекресток с проспекта Нефтяников и со стороны Танаевского шоссе. При определении оптимальных параметров исходили из того, что инфраструктурные изменения будут минимальными и будут заключаться в оптимизации работы устанавливаемого светофорного объекта. Поэтому целевая функция – это среднее время проезда участка дороги автомобиля, а влияющие параметры – время такта зеленого и красного сигнала светофора, за счет изменения которых и осуществляется оптимизация работы светофора. оптимальные значения, полученные в ходе имитационного эксперимента приведены на Рис. 1б. В процессе оптимизации было получено наилучшее значение функционала, при котором сократятся заторы на рассматриваемом участке УДС, снизится вероятность ДТП и негативные воздействия на окружающую среду (Рис.2), а среднее время пересечения данного перекрестка в каждом из направлений уменьшится.

Рис. 1. а) структура ИМ перекрестка г. Елабуга; б) Результаты оптимизационного эксперимента

Рис. 2. Вид ИМ участка УДС г. Елабуга: а) до изменений; б) после изменений

Рис. 3. а), б) структура модели перекрестка г.Апатиты; в) общий вид

В городе Апатиты для моделирования был выбран перекресток ул. Ленина – ул. Космонавтов (Рисунок 3), поскольку он расположен недалеко от центра, рядом находится здание администрации, торговые центры

и гостиница, вследствие чего в часы-пик наблюдается скопление автомобилей. Особенностью данного перекрестка является разделение транспортного и пешеходного потоков. По нашему мнению, именно это факт

и повлиял на создание пробки на улице Космонавтов. Ситуация усугубляется еще тем, что дорога на данном направлении является однополосной, а движение осуществляется в трех направлениях. Увеличить число полос движения невозможно в связи с отсутствием достаточного количества пространства из-за плотной застройки домов вдоль улицы Космонавтов.

Следствием детального изучения стало решение о реорганизации схемы движения с трехсекционной на двухсекционную. Эксперименты на модели показали, что при этом увеличится пропускная способность перекрестка, среднее время проезда сократится на 29.5 %, в общий объем выбросов загрязняющих веществ – на 38.1 % (см. рис. 4).

Рис. 4. Результаты экспериментов на модели: а) до изменений; б) после изменений

Заключение

Проблема негативного воздействия процесса автомобилизации чрезвычайно актуальна, особенно для небольших городов, для которых характерна менее развитая транспортная инфраструктура, а также меньшая доступность бюджетных средств для ее улучшения по сравнению с крупными городами. Для решения этой проблемы в небольших городах должны применяться, прежде всего, более доступные методы и решения, одним из которых является применение ИМ проблемных участков дорожной сети и проведение серии оптимизационных экспериментов. В статье рассматривается возможность совершенствования дорожной сети двух небольших городов – Елабуга и Апатиты. Предложены меры по улучшению параметров движения на сложных участках. Расчеты по построенным ИМ показали, что для города Апатиты среднее время проезда автомобилей снизится на 24,8 %, а объем

выбросов – на 21,1 %. Для города Елабуга снижение составит 15,1 % и 11,8 % соответственно, что можно объяснить более молодым автопарком в Республике Татарстан. Для получения более полных результатов, необходимо предложить исследование этих городов с учетом климатического фактора, чтобы оценить влияние географического положения урбанизированных территорий на возможные решения по совершенствованию управления автотранспортом. Поскольку эти города расположены в разных климатических зонах со значительной разницей в продолжительности и характеристиках зимнего периода, когда движение затруднено, предлагаемые модели помогут найти наилучшее решение проблем.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований: грант № 19-29-06008\19

Список литературы:

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2019, 844 с.
2. <https://www.autostat.ru/news/42064/> (дата обращения: 5.03.2020)
3. Health implication of road, railway and aircraft noise in the European Union [Электронный ресурс] // National Institute for Public Health and the Environment. – 2014. – Режим доступа: <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2014-0130.pdf>
4. European Initiative on Smart Cities, 2010–2020, <http://setis.ec.europa.eu/set-plan-implementation/technologyroadmaps/european-initiative-smart-cities>

5. *Djahel S. et al.* A Communications-oriented Perspective on Traffic Management Systems for Smart Cities: Challenges and Innovative Approaches. In IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 1, pp. 125–151, Firstquarter 2015
6. *Hofer C. et al.* Large scale simulation of CO2 emissions caused by urban car traffic: An agent-based network approach. Journal of Cleaner Production, vol. 183, pp. 1–10, 2018.
7. *Gabsalikhova L. et al.* Activities to convert the public transport fleet to electric buses. Transportation Research Procedia, vol. 36, pp. 669–675, 2018.
8. *Cindie A. et al.* Comparing effects of eco-driving training and simple advices on driving behavior. Procedia – Social and Behavioral Sciences. Vol. 54, pp. 211–220, 2012.
9. *Ho S.-H. et al.* What can eco-driving do for sustainable road transport? Perspectives from a city (Singapore) eco-driving programme. Sustainable Cities and Society Vol. 14, pp. 82–88, 2015.
10. *Mensing F. et al.* Eco-driving: An economic or ecologic driving style? Transportation Research. Part C, Vol. 38, pp. 110–121, 2014.
11. *Zhang S. et al.* Impact of congestion pricing schemes on costs and emissions of commercial fleets in urban areas. Networks. Special Issue Article. pp. 466–489, 2019.
12. *Lee S. et al.* Intelligent traffic control for autonomous vehicle systems based on machine learning. Expert Systems with Applications Vol. 144, 113074, 2020.
13. *Turcu C.E. et al.* An internet of things-based distributed intelligent system with self-optimization for controlling traffic-light intersections. International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, 2012, pp. 1–5.
14. *Ullo S. et al.* Application of wireless sensor networks to environmental monitoring for sustainable mobility 2018 IEEE International Conference on Environmental Engineering (EE), Milan, 2018, pp. 1–7.
15. *Villagra A. et al.* A better understanding on traffic light scheduling: New cellular GAs and new in-depth analysis of solutions. Journal of Computational Science Vol. 41, 101085, 2020.
16. *Makarova I. et al.* Improving road safety by affecting negative factors. Proceedings of the 5 th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. pp. 629–637, 2019.
17. Макарова И.В., Совершенствование транспортной системы города с использованием имитационного моделирования ее отдельных сегментов / И.В.Макарова, П.А.Буйвол, Г.А.Якупова // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. № 19 (1). – С. 29–33, 2020.

REDUCING THE ROAD TRANSPORT'S INFLUENCE ON THE ENVIRONMENT BY OPTIMIZING TRAFFIC MANAGEMENT

G.A. Yakupova¹, I.V. Makarova¹, L.A. Gubacheva², P.A. Buyvol¹, K.A. Magdin¹, G.A. Parsin¹

¹Kazan Federal University (Naberezhnye Chelny Institute)

²Lugansk Vladimir Dahl National University

aGayakupova@kpfu.ru, {bkamIVM, dskyeyes}@mail.ru, cgubacheva_snu@bk.ru

{ekirillround, finf801.parsin}@gmail.com

Abstract. The state's transport system, which ensures the movement of goods and people, is an essential component of its economy, but at the same time one of the main sources of negative environmental impact. The main task of designing, creating and maintaining the transport systems' sustainability in urban areas is to address their safety, reliability and environmental friendliness. The urbanized territory parameters (size, layout, etc.) have a significant impact on the any activity's development, including transport and logistics. By analysing the influence of various factors on the transport system's sustainability and identifying common patterns, it is possible to build rational management of the transport system and increase its reliability and security. The article is devoted to the motor transports' environmental problems in small cities, where it is impossible to apply large and expensive solutions. The study's goal is to develop tools for organizing traffic in the conditions of the vehicles fleet rapid growth. To this end, we have proposed an intelligent traffic control system, the intellectual core of which is simulation models of road network problem areas. Using specific examples, it is shown that in some cases there is no need to apply expensive solutions to reduce the negative vehicles impact on the environment's ecological state, and, often, rational management can lead to the desired result. Performing a computer experiment on the constructed simulation models showed that there is considerable potential for improving the traffic flows parameters in these areas and reducing the negative impact on the environment.

Keywords: Transport System, Traffic Light Regulation, Intelligent Transport Systems, Simulation Model.

References

1. State report "On the state and on the protection of the environment of the Russian Federation in 2018". Moscow, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, 2019, 844 p. (In Russian)
2. <https://www.autostat.ru/news/42064/>, last accessed 05 March 2020. (In Russian)
3. Health implication of road, railway and aircraft noise in the European Union [Electronic resource] // National Institute for Public Health and the Environment. – 2014. – Access mode: <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2014-0130.pdf> (In English)
4. European Initiative on Smart Cities, 2010–2020, <http://setis.ec.europa.eu/set-plan-implementation/technologyroadmaps/european-initiative-smart-cities> (In English)
5. Djahel S. *et al.* A Communications-oriented Perspective on Traffic Management Systems for Smart Cities: Challenges and Innovative Approaches. In IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 1, pp. 125–151, Firstquarter 2015. (In English)
6. Hofer C. *et al.* Large scale simulation of CO2 emissions caused by urban car traffic: An agent-based network approach. Journal of Cleaner Production, vol. 183, pp. 1–10, 2018. (In English)
7. Gabsalikhova L. *et al.* Activities to convert the public transport fleet to electric buses. Transportation Research Procedia, vol. 36, pp. 669–675, 2018. (In English)
8. Cindie A. *et al.* Comparing effects of eco-driving training and simple advices on driving behavior. Procedia – Social and Behavioral Sciences. Vol. 54, pp. 211–220, 2012. (In English)
9. Ho S.-H. *et al.* What can eco-driving do for sustainable road transport? Perspectives from a city (Singapore) eco-driving programme. Sustainable Cities and Society Vol. 14, pp. 82–88, 2015. (In English)
10. Mensing F. *et al.* Eco-driving: An economic or ecologic driving style? Transportation Research. Part C, Vol. 38, pp. 110–121, 2014. (In English)
11. Zhang S. *et al.* Impact of congestion pricing schemes on costs and emissions of commercial fleets in urban areas. Networks. Special Issue Article. pp. 466–489, 2019. (In English)
12. Lee S. *et al.* Intelligent traffic control for autonomous vehicle systems based on machine learning. Expert Systems with Applications Vol. 144, 113074, 2020. (In English)
13. Turcu C.E. *et al.* An internet of things-based distributed intelligent system with self-optimization for controlling traffic-light intersections. International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, 2012, pp. 1–5. (In English)
14. Ullo S. *et al.* Application of wireless sensor networks to environmental monitoring for sustainable mobility 2018 IEEE International Conference on Environmental Engineering (EE), Milan, 2018, pp. 1–7. (In English)
15. Villagra A. *et al.* A better understanding on traffic light scheduling: New cellular GAs and new in-depth analysis of solutions. Journal of Computational Science Vol. 41, 101085, 2020. (In English)

16. *Makarova I. et al.* Improving road safety by affecting negative factors. Proceedings of the 5 th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. pp. 629–637, 2019. (In English)
17. *Makarova I.V.* Improving the transport system of the city using simulation modeling of its individual segments / I.V. Makarova, P.A. Bujvol, G.A. Yakupova // Avtogazozaprovodnyj kompleks + Al'ternativnoe toplivo. № 19 (1). – pp. 29–33, 2020. (In Russian)