

DOI: 10.15593/24111678/2018.02.07

УДК 502.35; 656.1

**И.В. Макарова, В.Г. Маврин**

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия

**СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

Ресурсоемкая модель экономики, характерная для многих отраслей современного этапа развития в Российской Федерации, приводит к увеличению расходов и снижению производительности труда. Другим следствием этой модели является негативное воздействие на окружающую среду. Ситуация осложняется тем, что развитие мировой экономики связано с процессами урбанизации, которые приводят к изменению климата. Одним из самых значительных факторов ухудшения состояния окружающей среды является интенсивная автомобилизация. В настоящее время автомобильный транспорт является крупнейшим источником эмиссии загрязняющих веществ. Пока не найдены принципиально новые решения в области автомобилестроения и эксплуатации автотранспорта, его негативное воздействие на окружающую среду неизбежно, поэтому исследования направлены на снижение негативных последствий этого воздействия. Поскольку источником негативного воздействия является автомобиль, многие исследователи рассматривают совершенствование конструкции автотранспортных средств как основной путь решения экологических проблем. Однако, на наш взгляд, потенциал снижения воздействия на окружающую среду в целом автотранспортных потоков, как источников загрязнения, раскрыт не полностью. В связи с этим разработка и применение научно обоснованных методов повышения эффективности организации дорожного движения на урбанизированных территориях путем грамотной реконструкции участков дорожной сети является актуальной проблемой и представляет значительный теоретический и практический интерес. Статья посвящена разработке имитационной модели участка улично-дорожной сети и разработке рекомендаций по результатам экспериментов на модели по изменению конфигурации участка с целью снижения негативного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, воздействие на окружающую среду, автотранспортные потоки, улично-дорожная сеть, имитационное моделирование.

**I.V. Makarova, V.G. Mavrin**Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga Region) Federal University,  
Naberezhnye Chelny, Russian Federation**REDUCING THE IMPACT OF VEHICLES ON THE ENVIRONMENT BY OPTIMIZING THE PARAMETERS OF TRAFFIC FLOWS**

One of the most significant factors of deterioration of the environment is intensive motorization. Since the car is a source of negative impact, many researchers consider the improvement of the design of vehicles as the main way to solve environmental problems. However, in our opinion, the potential to reduce the negative impact on the environment of traffic flows as a whole as sources of pollution is not fully achieved. In this regard, the development and application of scientifically based methods to improve the efficiency of road traffic management in urban lands by a competent reconstruction of road network sites is an urgent problem of considerable theoretical and practical interest. The paper is devoted to the development of a simulation model of road network site and the development of recommendations based on the results of experiments conducted on the model for changing the configuration of the site to reduce the negative impact of road transport on the environment.

**Keywords:** environmental safety, environmental impact, road traffic, road network, simulation modeling.

**Воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду**

Автотранспорт является крупнейшим источником загрязнения атмосферного воздуха. Несмотря на предпринимаемые Правительством России меры, направленные на снижение воз-

действия автотранспорта на атмосферный воздух, абсолютные и относительные значения объема выбросов от автотранспорта с каждым годом увеличиваются (рис. 1)<sup>1</sup> [1].



Рис. 1. Динамика и доля выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта РФ (2016 г.)

Улучшение в течение последних лет экологических характеристик автопарка России не привело к снижению эмиссии загрязняющих веществ, что обусловлено ростом на протяжении последних десятилетий уровня автомобилизации населения. Так, в 2017 г. число легковых автомобилей на 1000 жителей достигло 290. Причем, по прогнозам, рост автомобилизации продолжится, поскольку ее уровень пока не достиг европейского: его значение в России на 40 % ниже, чем в Западной Европе [2, 3]. Кроме того, несмотря на интенсивное обновление автомобильного парка, его средний возраст растет и составляет в целом по стране порядка 13 лет [4] (рис. 2).

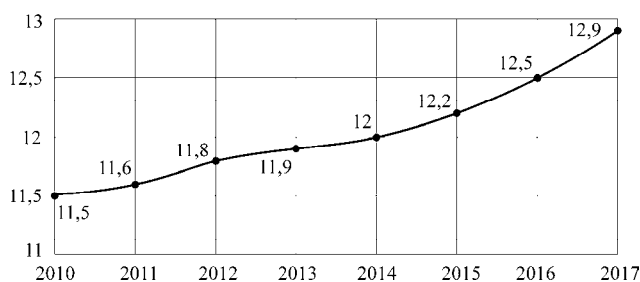


Рис. 2. Средний возраст легковых автомобилей (лет)

Такая тенденция характерна не только для России. Так, за последние 8 лет автопарк США «постарел» с 9,4 до 11,6 лет, автопарк Евросоюза – с 8,6 до 10,7 [5, 6]. Соответственно, растет и объем выбросов загрязняющих веществ автотранспортом. В ЕС относительные выбросы выросли с 15 % в 1990 г. до 24 % в 2016 [7], в США – с 29 % до 31 % [8] (рис. 3, 4).



Рис. 3. Источники и доли выбросов загрязняющих веществ в Европейском Союзе

<sup>1</sup> Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». М.: НИИ-Природа, 2017. 746 с.



Рис. 4. Источники и доли выбросов загрязняющих веществ в США

Между тем в государственной программе Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 гг. мерам по снижению воздействия на окружающую среду автотранспорта не уделено должного внимания: лишь отмечено, что к 2020 г. объем выбросов должен составлять 91,5 % от уровня 2007 г.<sup>2</sup> [9]. При этом не указано, за счет чего будет достигнут данный показатель.

Таким образом, если не принять соответствующих мер, автомобильный транспорт будет оказывать все возрастающую нагрузку на окружающую среду.

## 2. Причины высокого уровня негативного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду

Негативные последствия человеческой деятельности обусловлены быстрой урбанизацией. Так, в 1975 г. в мире только три городские агломерации имели население более 10 млн. В настоящее время таких агломераций 35, причем 28 из них находятся в развивающихся странах. Хотя города мира занимают только 3 % территории Земли, на них приходится около 80 % потребления энергии и 75 % выбросов парниковых газов. Повышение мобильности является одним из ключевых следствий процесса урбанизации. В 2005 г. насчитывалось суммарно порядка 7,5 млрд ежедневных поездок в городах мира. К 2050 г. ожидается в три-четыре раза больше. Перевозка грузов также может возрасти более чем втрое за тот же период. Это приводит к чрезмерной зависимости от личных автомобилей в городах, что является основным фактором загрязнения воздуха урбанизированных территорий.

Основным источником загрязнения окружающей среды автомобилем являются процессы сжигания топлива в двигателе. Примеси, содержащиеся в топливе, слишком высокая или низкая температура горения, неполное сгорание топлива неизбежно приводят к образованию токсичных компонентов [9]. Кроме того, процесс преобразования химической энергии углеводородного топлива в поршневых двигателях идет по компромиссному сценарию, когда для каждого из процессов «горение – расширение», соединенных в одном технологическом такте, создаются малоподходящие условия, что приводит к значительным потерям. Учитывая, что автомобиль с поршневым двигателем внутреннего сгорания на углеводородном топливе из невозобновляемого ископаемого сырья еще длительное время будет оставаться основным в структуре парка автотранспортных средств, необходимо разработать методы совершенствования экологической эффективности автомобильного транспорта, полагая, что структура парка не будет значительно изменяться.

<sup>2</sup> Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы: Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 326 // Собрание законодательства РФ. 2014. № 18. Ст. 2171. Ч. III.

Со времени распада СССР происходит деградация муниципального транспорта. Сокращение числа маршрутов городского электротранспорта, старение автобусного парка, а также нерациональное управление развитием системы общественного транспорта привело к снижению пассажирооборота с 2000 г. в 1,5 раза. Наиболее уязвимыми оказались экологически чистые трамваи и троллейбусы, объемы перевозок которыми за тот же период снизились более чем в 5 раз. В структуре парка содержится почти 70 % трамвайных вагонов, находящихся в эксплуатации более 20 лет, и более 50 % троллейбусов со сроком эксплуатации более 10 лет [10, 11]. В этом отношении Россия повторяет ошибки развитых стран полувековой давности.

На условия дорожного движения – один из важных факторов, определяющих объем выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта, – в первую очередь влияет состояние транспортной инфраструктуры. Распад СССР остановил ее развитие, а хроническое недофинансирование привело к стагнации [12]. Во многих крупных городах России улично-дорожная сеть характеризуется низкой ее плотностью, высокой степенью разрушенности дорожного покрытия, низкой пропускной способностью автомобильных дорог, высокой частотой перекрестков и светофоров, недостатком либо отсутствием дублирующих направлений, парковочных мест и велосипедных дорожек, наличием искусственных неровностей на автотранспортных магистралях и т.п. Рост цен на нефть с начала 2000-х гг. позволил увеличить инвестиции в инфраструктуру лишь на некоторое время. Однако негативные макроэкономические изменения и повышение геополитических рисков в 2015 г. привели к снижению объемов государственного финансирования в развитие автотранспортной инфраструктуры и к тому, что темпы строительства и реконструкции автомобильных дорог оказались ниже заложенных в отраслевую стратегию целевых показателей [13]. В целом состояние автотранспортной инфраструктуры не отвечает существующим потребностям и перспективам развития Российской Федерации.

### 3. Совершенствование транспортной инфраструктуры

Важное значение для развития транспорта и уровня его воздействия на окружающую среду имеет состояние транспортной инфраструктуры. Эффективно функционирующие инфраструктурные объекты позволяют снижать транспортные издержки, влияют на скорость пассажиро- и грузоперевозок, сокращают ограничения пропускной способности и повышают доступность транспортных услуг для населения. Однако в настоящее время уровень развития транспортной инфраструктуры является фактором, сдерживающим социально-экономическое развитие России, и приводит к повышенным нагрузкам автотранспортного комплекса на окружающую среду.

Для анализа состояния улично-дорожной сети с точки зрения экологической безопасности предпочтительно использовать имитационное моделирование для исследования поведения и оценки различных стратегий, обеспечивающих функционирование транспортной системы.

Нами была построена имитационная модель одного из проблемных участков г. Набережные Челны в среде имитационного моделирования AnyLogic на основе дискретно-событийного подхода (рис. 5).

Данный участок является местом концентрации ДТП. В пиковое время на нем наблюдаются заторы и возникают пробки. На имеющихся разворотах водители тратят большое время на маневры. Указанные проблемы возникают ввиду неоптимальной организации транспортных потоков. В 2015 г. ситуация усугубилась в связи с вводом трамвайной линии на участке.

В результате выполненного на модели эксперимента выяснилось, что геометрия рассматриваемого участка негативно влияет на характер движения и не соответствует параметрам транспортного потока. Поэтому с целью уменьшения числа конфликтных точек было предложено организовать кольцевое движение, как оптимальный вариант конфигурации пересечения проспектов Сююмбике и Дружбы Народов (рис. 6).

Кроме того, на пересечении проспектов Мира и Дружбы Народов предложено применить светофорное регулирование с адаптивным управлением в зависимости от плотности потока

(табл. 1). Результаты эксперимента на модели свидетельствуют о возможности значительного улучшения параметров движения на рассматриваемом участке улично-дорожной сети (табл. 2).

Организация кольцевого движения на рассматриваемом участке приведет к значительному снижению выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта.



Рис. 5. Схема исследуемого участка дорожной сети



Рис. 6. Имитационная модель: а – до оптимизации; б – после оптимизации

Таблица 1

Изменение фазы светофора на рассматриваемом участке в зависимости от плотности потока

Плотность потока на участке, %	Общее время фазы, с	Красный сигнал, с	Зеленый сигнал, с	Красный с желтым сигналом, с	Желтый сигнал, с
95	85	41	38	3	3
82	83	37	40	3	3
74	82	35	41	3	3
61	81	32	43	3	3

Таблица 2

Расчетные параметры рассматриваемого участка улично-дорожной сети

Параметр	До изменений	После изменений
Средняя скорость на участке, км/ч	35	42
Количество остановок за ед. времени, шт.	6	2
Плотность потока, % отн. максимально возможной	92	67
Среднее время преодоления участка, мин	4	1,4

На основании параметров транспортного потока, полученных в результате эксперимента на модели, с использованием ГОСТ Р 56162–2014, были рассчитаны объемы выбросов автомобилей на участке (табл. 3).

Таблица 3

Объемы выбросов загрязняющих веществ на участке

Конфигурация участка	Объем выбросов, т/год			
	CO	NO <sub>x</sub>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	SO <sub>2</sub>
До изменений	31,24	2,67	3,92	0,13
После изменений	25,42	2,45	3,22	0,11

Таким образом, изменение конфигурации участка дороги, согласно расчетам, приведет к снижению выбросов CO на 18,6 %, NO<sub>x</sub> – на 8,2%, углеводородов – на 17,9 %, SO<sub>2</sub> – на 15,4 %. Необходимо продолжить исследования и других проблемных участков, которые обладают своей спецификой и негативными факторами, отрицательно влияющими на параметры транспортных потоков. Так, перед нерегулируемыми пешеходными переходами некоторых проспектов города установлены искусственные неровности, что приводит к неизбежным лишним циклам торможения и разгона автотранспортного потока даже в случае отсутствия пешеходов, переходящих дорогу. Если вместо искусственных неровностей установить кнопочные светофорные объекты, то это может привести к существенным улучшениям показателей транспортных потоков. А оптимизация фаз светофорного регулирования с использованием имитационных моделей позволяет найти баланс между мобильностью, безопасностью и снизить выбросы в атмосферный воздух.

**Список литературы**

1. Григорьев Л., Голяшев А., Павлюшина В. Экология и экономика: сокращение загрязнения атмосферы страны: бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. – М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2017. – № 28. – 20 с.
2. Тимерханов А.В. России – 290 легковых автомобилей на 1000 жителей [Электронный ресурс] // Аналитическое агентство «АВТОСТАТ». – 2017. – URL: <https://www.autostat.ru/news/31279/> (дата обращения: 15.01.2018).
3. Топтун А., Тихонов А., Зайцева И. Автомобильный рынок России-2017: ежегод. справ. изд. – Тольятти: ООО «АВТОСТАТ», 2018. – 294 с.
4. Средний возраст легковых автомобилей в России – 13 лет [Электронный ресурс] / Тимерханов А. // Аналитическое агентство «АВТОСТАТ». – 2017. – URL: <https://www.autostat.ru/news/29340/> (дата обращения: 17.01.2018).
5. Culver M. Vehicles Getting Older: Average Age of Light Cars and Trucks in U.S. Rises Again in 2016 to 11.6 Years // IHS Markit. – 2016. – Vol. 12. – P. 3–5.
6. Jonnaert E. The automobile industry pocket guide. – Brussels: European Automobile Manufacturers Association, 2017. – 78 p.
7. Air quality in Europe — 2017: report. EEA Report No 13/2017. – Copenhagen: European Environment Agency, 2017. – 74 p. DOI: 10.2800/358908
8. Desai M. Emissions by Economic Sector Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks. – Washington: Environmental Protection Agency, 2016. – 633 p.
9. Сафиуллин Р.Н. Методология повышения эффективности функционирования авто-тракторной техники на основе оценки и реализации технологического уровня применяемого топлива: дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2015. – 529 с.
10. Активность населения в использовании транспортных услуг: бюллетень социально-экономического кризиса в России / под ред. Л. Григорьева. – М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2015. – 24 с.

11. Транспорт и связь в России. 2016: стат. сб. – М.: Росстат, 2016. – 112 с.
12. Тимофеев А. Развитие транспортной инфраструктуры России: игра на опережение? – М.: The Boston Consulting Group (Moscow) Limited, 2012. – 24 с.
13. Развитие транспортной инфраструктуры в России в 2015 г. – М.: Национальное рейтинговое агентство, 2015. – 28 с.

#### References

1. Grigor'ev L., Goliashov A., Pavliushina V. Ekologiya i ekonomika: sokrashchenie zagriazneniya atmosfery strany: biulleten' o tekushchikh tendentsiyakh rossiiskoi ekonomiki [Ecology and economy: reduction of country's air pollution: bulletin on current trends in the Russian economy]. Moscow, Analytical Center for the Government of the Russian Federation, 2017, no. 28, pp. 20.
2. Timerkhanov A. V Rossii – 290 legkovykh avtomobilei na 1000 zhitelei [In Russia – 290 cars per 1000 inhabitants]. *Analiticheskoe agentstvo «AVTOSTAT»*, 2017, available at: <https://www.autostat.ru/news/31279/> (accessed 15 January 2018).
3. Toptun A., Tihonov A., Zajceva I. Avtomobil'nyj rynek Rossii – 2017: ezhegodnoe spravocnoe izdanie [Automotive market of Russia-2017: annual reference edition]. Tolyatti, Autostat, 2018, 294 p.
4. Timerkhanov A. Srednii vozrast legkovykh avtomobilei v Rossii – 13 let [Average age of cars in Russia is 13 years]. *Analiticheskoe agentstvo «AVTOSTAT»*, 2017, available at: <https://www.autostat.ru/news/29340/> (accessed 17 January 2018).
5. Culver M. Vehicles getting older: average age of light cars and trucks in U.S. Rises again in 2016 to 11.6 years. *IHS Markit*, 2016, vol. 12, pp. 3-5.
6. Jonnaert E. The automobile industry pocket guide. Brussels, European Automobile Manufacturers Association, 2017, 78 p.
7. Air quality in Europe – 2017: report. EEA Report No 13/2017. Copenhagen, European Environment Agency, 2017, 74 p. DOI:10.2800/358908
8. Desai M. Emissions by economic sector inventory of U.S. Greenhouse gas emissions and sinks. Washington, Environmental Protection Agency, 2016, 633 p.
9. Safiullin R.N. Metodologiya povysheniya effektivnosti funkcionirovaniya avtotraktornoi tekhniki na osnove otsenki i realizatsii tekhnologicheskogo urovnia primeniamogo topliva [Methodology of increasing the efficiency of the operation of automotive engineering on the basis of assessment and implementation of the technological level of the fuel used]. Doctor's degree dissertation. Saint Petersburg, 2015, 529 p.
10. Aktivnost' naseleniya v ispol'zovanii transportnykh uslug: biulleten' sotsial'no-ekonomicheskogo krizisa v Rossii [Activity of the population in the use of transport services: bulletin of the socio-economic crisis in Russia]. Ed. L. Grigor'ev. Moscow, Analytical center for the government of the Russian Federation, 2015, 24 p.
11. Transport i svyaz' v Rossii: Stat. sb. [Transport and Communications in Russia: Statistical Digest]. Federal State Statistics Service, 2016, 112 p.
12. Timofeev A. Razvitie transportnoi infrastruktury Rossii: igra na operezhenie? [Development of the transport infrastructure of Russia: the game to the outrunning?]. Moscow, The Boston Consulting Group (Moscow) Limited, 2012, 24 p.
13. Razvitie transportnoi infrastruktury v Rossii v 2015 g. [Development of transport infrastructure in Russia in 2015]. Moscow, National rating agency, 2015, 28 p.

Получено 08.05.2018

#### Об авторах

**Макарова Ирина Викторовна** (Набережные Челны, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем» Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) федерального университета (423812, г. Набережные Челны, пр. Сююмбике, 10А, e-mail: kamivm@mail.ru).

**Маврин Вадим Геннадьевич** (Набережные Челны, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем» Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) федерального университета (423812, г. Набережные Челны, пр. Сююмбике, 10А, e-mail: vadim\_mmite@rambler.ru).

#### About the authors

**Irina V. Makarova** (Naberezhnye Chelny, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Service of Transport Systems, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan Federal University (10A, av. Syuyumbike, Naberezhnye Chelny, 423812, Russian Federation, e-mail: kamivm@mail.ru).

**Vadim G. Mavrin** (Naberezhnye Chelny, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Service of Transport Systems, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan Federal University (10A, av. Syuyumbike, Naberezhnye Chelny, 423812, Russian Federation, e-mail: vadim\_mmite@rambler.ru).