

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.942:656.1

Научная статья

Модель транспортного потока, основанная на взаимодействии частиц с потенциалом действия

О. П. Бобровская^{1,2}, Т. В. Гавриленко^{1,2}, В. А. Галкин^{1,2}


¹ Сургутский филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, 628426, Тюменская обл., ХМАО — Югра, г. Сургут, ул. Энергетиков, д. 4.

² ВУ ВО «Сургутский государственный университет», 628412, Тюменская обл., ХМАО — Югра, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1

E-mail: o-bobrovskaya@mail.ru


Современное бурное развитие беспилотных автомобилей ставит вопрос оценки последствия их внедрения на транспортный поток, что делает актуальной задачу создания смешанной модели. Объектом исследования статьи является транспортный поток. Цель - создать адекватную модель на основе идеи потенциала действия, при которой автомобили представляются частицами, притягивающими или отталкивающими друг друга на определенном расстоянии. Рассмотрены существующие программные продукты, реализующие различные микроскопические модели транспортного потока. Описана предлагаемая математическая модель, включающая два вида автомобилей: автоматы, строго подчиняющиеся правилам, и автомобили с реальными водителями, допускающими превышение скорости и ее случайные изменения. Разработана программа, реализующая созданную модель и позволяющая изменять ее параметры. Проведено сравнение макроскопических характеристик моделируемого потока с доступными значениями аналогов и работ других исследователей. Рассмотрено поведение моделируемых автомобилей при движении по замкнутой однополосной и двухполосной окружностям и однополосной восьмерке с пересечением проезжих частей. Даны результаты запусков модели для смешанного потока.

Ключевые слова: модель динамики транспортного потока, микроскопическая модель, имитационная модель, потенциал действия.

 DOI: 10.26117/2079-6641-2022-40-3-72-87

Поступила в редакцию: 01.10.2022

В окончательном варианте: 15.11.2022

Для цитирования. Бобровская О. П., Гавриленко Т. В., Галкин В. А. Модель транспортного потока, основанная на взаимодействии частиц с потенциалом действия // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2022. Т. 40. № 3. С. 72-87.  DOI: 10.26117/2079-6641-2022-40-3-72-87

Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Бобровская О. П., Гавриленко Т. В., Галкин В. А., 2022

Финансирование. Публикация выполнена в рамках гос. задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (Выполнение фундаментальных научных исследований ГП 47) по теме № 0580-2021-0007 «Развитие методов математического моделирования распределенных систем и соответствующих методов вычисления».

Введение

Бурное развитие технологий автономного вождения требует оценки безопасности и влияния внедрения беспилотных автомобилей на транспортный поток. Актуально создание модели, включающей как реальных водителей, так и беспилотный транспорт для исследования переходного состояния от его внедрения.

Моделирование транспортного потока используется для решения многих задач: проверки геометрии проезжей части (микроскопические модели), оценке эффективности проектных решений, прогнозировании и управлении транспортным потоком (макроскопические модели), получении информации об интенсивности движения на различных участках, времени реализации перемещений различными видами транспорта (мезоскопические модели) [1], [2].

Так как модели транспортного потока разрабатываются на протяжении более 70 лет, многие теоретические подходы были реализованы в виде приложений, как коммерческих, так и свободно распространяемых. Такими приложениями пользуются департаменты транспорта различных городов и исследователи, работающие в связанных областях, например, при изучении влияния внедрения автономных автомобилей на транспортный поток города или для расчета выбросов городского транспорта. В табл. 1 приведены сведения о существующих на рынке программных продуктах.

Таблица 1

Программные продукты моделирования автомобильного трафика [Traffic flow simulation software]

Название	Тип приложения	Тип модели	Конкретные модели
Aimsun	Коммерческое	Микроскоп.	CASS, м. Гиппса [3]
Transmodeler	Коммерческое	Микроскоп., мезоскоп., макроскоп.	GM [4]
Paramics	Коммерческое	Микроскоп.	модиф. м. Fritzsche [5]
PTV Vissim	Коммерческое	Микроскоп.	м. Видеманна [2]
Integration	Коммерческое	Микроскоп.	-[6]
Eclipse	Открытый исходный код	Микроскоп.	модиф. м. Краусса, CASS, IDM [7], [8]
SUMO	Открытый исходный код	Микроскоп.	IDM, ACC [9]
traffic-simulation	Открытый исходный код	Микроскоп.	

Во всех приведенных системах используется та или иная микроскопическая модель транспортного потока, которая после создания сети дорог требует калибровки на собранных реальных данных (необходимо добиться соответствия макроскопических параметров), чтобы модель была адекватна реальному миру и её можно было использовать в дальнейшем.

Исследователь, решивший использовать любое ПО из описанных выше для своих экспериментов, должен сперва разобраться в принципах работы используемой модели и ее модификациях, чтобы иметь возможность правильно интерпретировать полученные результаты. Сами модели отличаются друг от друга как параметрами, адекватно отражать которые они настроены, так и количеством потребляемых в процессе моделирования ресурсов.

В данной работе рассматривается еще один (новый) подход к микроскопическому моделированию, представляется его программная реализация и некоторые эксперименты с моделью.

Описание предлагаемого подхода

Автомобили представляются частицами, оказывающими друг на друга влияние, обусловленное потенциалом действия: находящийся впереди автомобиль, если расстояние до него меньше некоторого значения, отталкивает от себя рассматриваемый автомобиль, если расстояние больше — притягивает (2); позади идущий автомобиль, находящийся на близком расстоянии, отталкивает с меньшей силой (1). Упомянутое расстояние, названное «стандартной дистанцией», было задано фиксированными значениями для определенных интервалов скорости автомобиля (до 20 км/ч — 2 м; до 60 км/ч — 10 м; до 90 км/ч — 25 м; до 130 км/ч — 50 м; выше — 100 м).

$$F_{i-} = \begin{cases} \frac{k_{\text{отт.}}}{l_{i-}} / 100, & \text{если } l_{i-} < d_{\text{станд.}}; \\ 0, & \text{если } l_{i-} \geq d_{\text{станд.}}. \end{cases} \quad (1)$$

$$F_{i+} = \begin{cases} \frac{k_{\text{отт.}}}{l_{i+}}, & \text{если } l_{i+} < d_{\text{станд.}}; \\ k_{\text{прит.}} * l_{i+}, & \text{если } l_{i+} \geq d_{\text{станд.}}. \end{cases} \quad (2)$$

где F_{i-} — сила, с которой позади идущий автомобиль действует на i -й автомобиль;

$k_{\text{отт.}}$ — коэффициент отталкивания;

l_{i-} — расстояние до позади идущего автомобиля для i -ого автомобиля;

F_{i+} — с которой впереди идущий автомобиль действует на i -й автомобиль;

l_{i+} — расстояние до впереди идущего автомобиля для i -ого автомобиля;

$k_{\text{прит.}}$ — коэффициент притяжения.

На рис.1 представлены направления действия описанных сил.

Автомобили для простоты были представлены как окружности диаметра 4 м, движущиеся по круговому треку. Дорога и механизмы управления автомобилями идеальные. Скорость автомобиля изменяется по второму закону Ньютона в зависимости от действующих на автомобиль сил (если он не столкнулся с впереди идущим автомобилем, в результате чего скорость мгновенно сбрасывается до 0).

В модели предполагается существование водителей двух типов: идеальных автоматов, которые строго подчиняются воздействию сил отталкивания и притяжения и ограничению скорости (3), и реальных водителей, у которых значение мак-

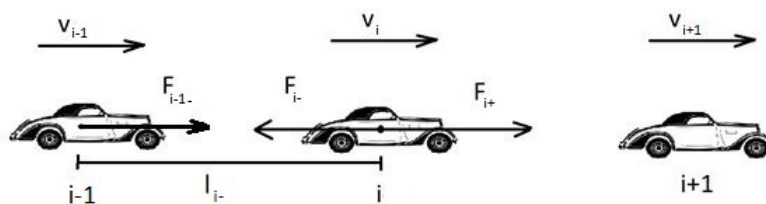


Рис. 1. Направление сил и проч.
 [Figure 1. Force vectors.]

симальной скорости повышено в два раза и каждый такт прибавляется случайное значение (в интервале от -4 до 11) к ускорению (4).

$$v_{i,\tau+1} = \min(v_{i,\tau} + (a_{i-} + a_{i+})\Delta t, v_{\max}) \tag{3}$$

$$v_{i,\tau+1} = \min(v_{i,\tau} + (a_{i-} + a_{i+} + \text{rand}(-4; 11))\Delta t, 2v_{\max}) \tag{4}$$

где $v_{i,\tau+1}$ — скорость i -ого автомобиля в момент времени $\tau + 1$;

$$\min(a, b) = \begin{cases} a, & \text{если } a < b; \\ b, & \text{если } a \geq b; \end{cases}$$

$v_{i,\tau}$ — скорость i -ого автомобиля в момент времени τ ;

a_{i-} — ускорение, вызываемое позади идущим автомобилем;

a_{i+} — ускорение, вызываемое впереди идущим автомобилем;

$\text{rand}(-4; 11)$ — случайное равномерно распределенное действительное число в интервале от -4 до 11;

v_{\max} — ограничение скорости.

Предлагаемую модель можно считать гибридом модели следования за лидером и клеточного автомата. Но в отличие от модели следования за лидером [2], в нашей модели скорость автомобиля не приводится в соответствие со скоростью лидера, а изменяется в зависимости от расстояния до него. И, несмотря на то что, как и в клеточном автомате [10], значения скорости и положения автомобилей обновляются каждый такт времени, пространство модели, в котором движутся автомобили, является непрерывным.

При наличии второй полосы, если $a_{i+} < 0$, проверяется, свободна ли она на достаточном протяжении для перестроения (свободное пространство на другой полосе позади, составляющее $2v_{\max} * \Delta t$, и свободное пространство впереди на $v_{i,\tau+1} * \Delta t$) и скорость впереди идущего по этой полосе транспортного средства, которая не должна быть меньше скорости перестраивающегося автомобиля. После чего с вероятностью 30% происходит перестроение и включается запрет для этого автомобиля на перестроение в ближайшие 3 с.

В случае движения по однополосной восьмерке при подъезде к перекрестку проверяется, движется ли кто-нибудь по перекрестку и приближается ли кто к перекрестку справа. Если автомобиль уже находится на перекрестке и ни с кем не

сталкивается, то ему можно перекресток покинуть, не пропуская приближающиеся справа автомобили.

Программная реализация, интерфейс

В программной реализации, в среде Microsoft Visual Studio 2019 на языке программирования C#, предусмотрены возможности изменения количества автомобилей на треке и радиус трека (чем больше радиус, тем мельче мы видим автомобили), ограничения скорости, коэффициентов сил притяжения и отталкивания, количества реальных водителей среди числа всех водителей (рис.2).

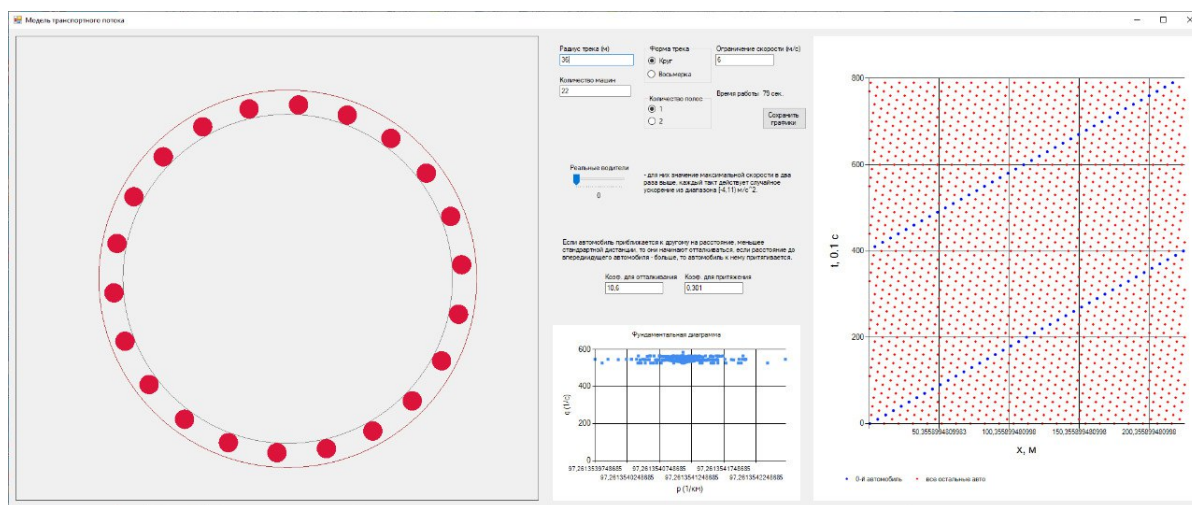


Рис. 2. Движение по замкнутой окружности с одной полосой
[Figure 2. Single-line circle.]

Слева в окне приложения визуализируется движение автомобилей по треку. Справа на графике изображена зависимость координаты (на окружности) от времени. На графике посередине внизу представлена фундаментальная диаграмма, показывающая зависимость интенсивности (количество проезжающих машин за единицу времени) потока от плотности.

Адекватность модели

Для проверки адекватности модели был повторен эксперимент, описанный в статье [11]. Путем подбора коэффициентов отталкивания и притяжения было достигнуто визуальное сходство графика зависимости положения автомобиля (его координаты) на однополосной окружности от времени (рис. 3, а и б).

Также были проведены сравнения с результатами, получаемыми при использовании свободно распространяемого ПО из рассмотренных во введении. На рис. 4 представлены график зависимости координаты автомобиля на треке от времени и скриншот окна приложения, полученные с помощью SUMO.

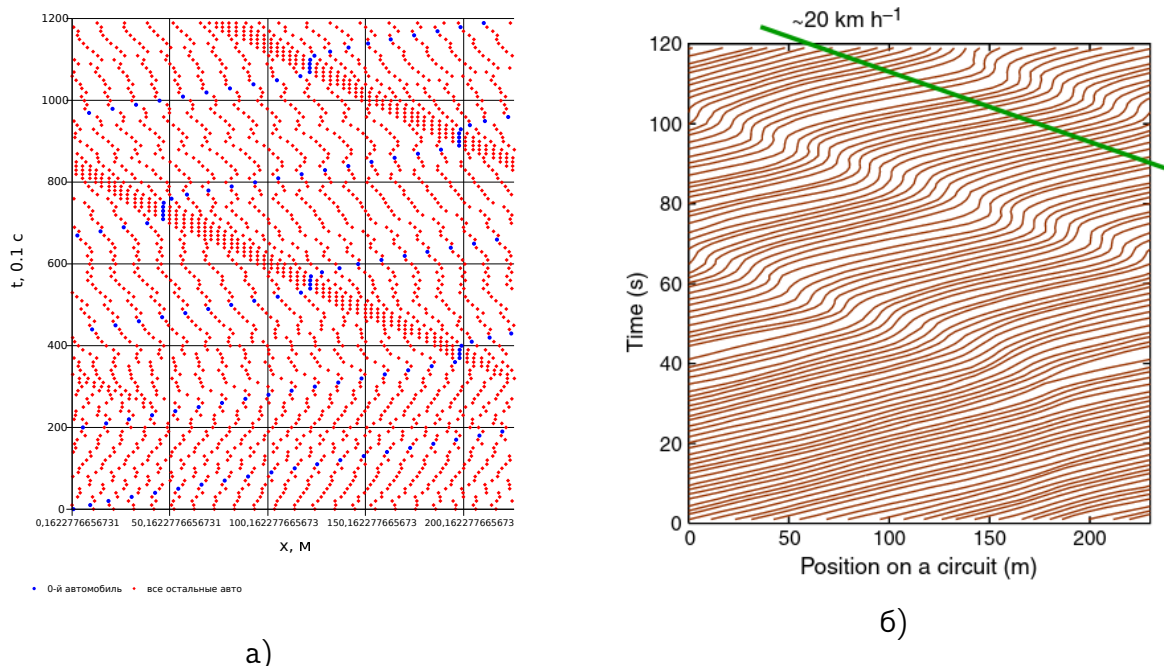


Рис. 3. Движение автомобилей по круговому треку в течении 2 мин: а) наш результат, б) из статьи [11].

[Figure 3. Vehicles on the circular road 2 min: a) our result, b) from article [11].]

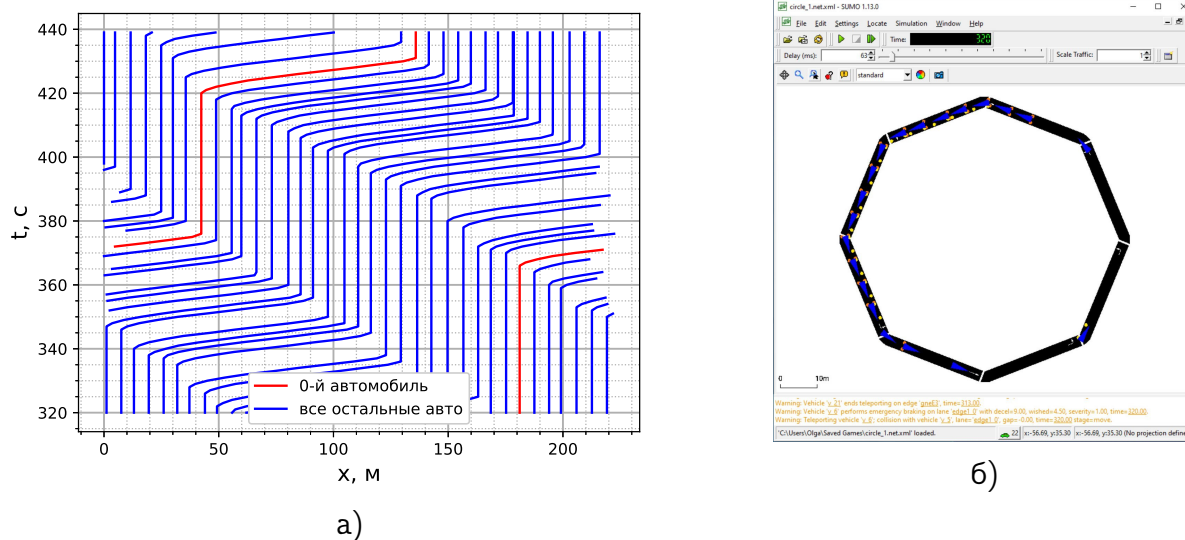


Рис. 4. SUMO: а) перемещение автомобилей за 2 мин, б) круговой трек.
[Figure 4. SUMO: a) the traces of individual vehicles, б) vehicles on the circle road.]

В модели следования за лидером использовался алгоритм PWagner2009 - модель П. Вагнера. На рис. 4 (а) представлен график изменения положения автомобилей за промежуток времени в две минуты. Как видно и по рис. 4 (б), автомобили стоят в большой пробке. Это немного отличается от ожидаемого поведения, поскольку были заданы условия, максимально приближенные к проведенному ранее

эксперименту (22 автомобиля, трек радиуса 36 м, ограничение скорости 60 км/ч). Согласно [11], автомобили должны образовывать скопление из, примерно, 5-ти машин, а не 17-ти. Время простоя в пробке оказалось близко ко времени свободного движения.

Так же была проведена попытка повторения эксперимента в traffic-simulation [9], интерфейс которого представлен на рис. 5).

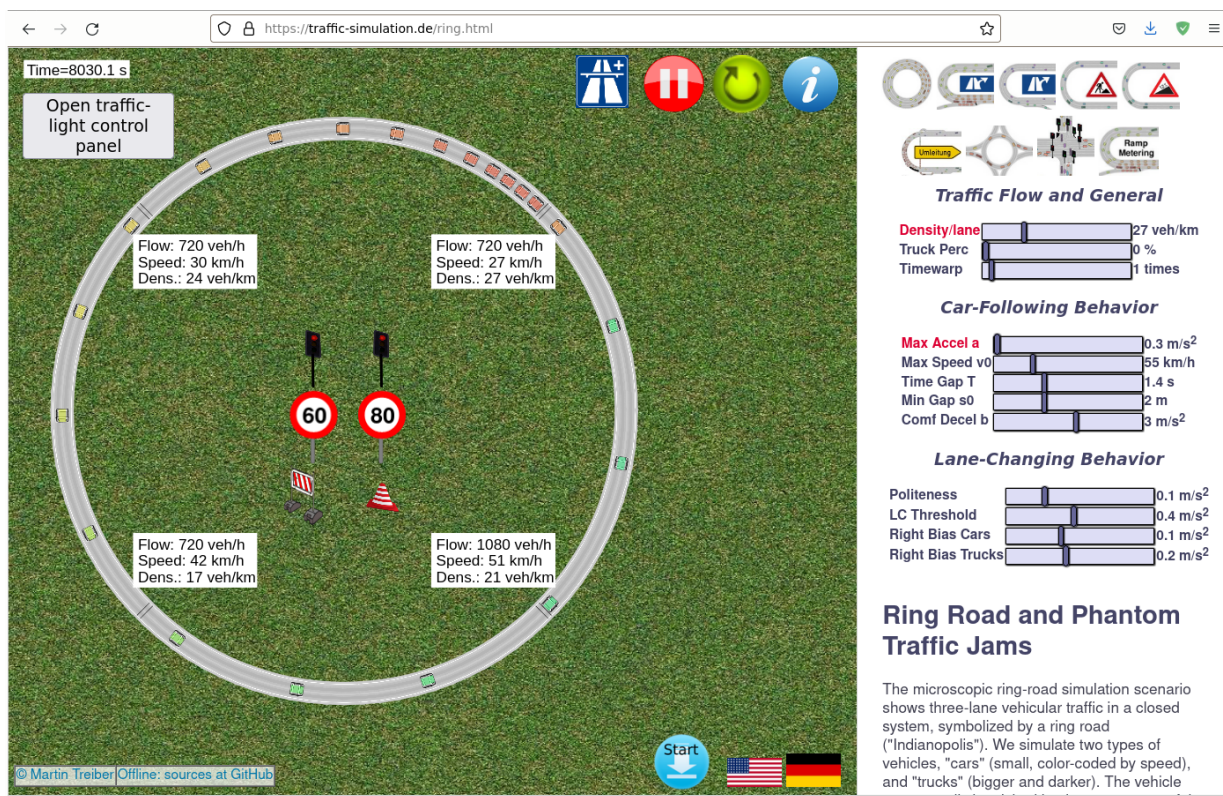


Рис. 5. Интерфейс онлайн-приложения traffic-simulation
[Figure 5. traffic-simulation by Martin Treiber.]

Так как радиус окружности не задается явно (как и количество автомобилей), была задана плотность автомобилей. Рассчитанная плотность в 97 автомобилей на км, привела к образованию множества заторов. Поэтому была подобрана плотность, вызывающая требуемое поведение, она оказалась равной 27 автомобилям на км.

Предлагается множество базовых форм развязок и возможностей для интерактивного конфигурирования их с помощью знаков и светофоров, а также изменение поведения водителей через значения макропараметров. К сожалению, в данном ПО не производится сбора данных или вывода графиков для сравнения.

Эксперименты с моделью

Равномерное движение идеальных автомобилей-автопилотов представлено на рис.2. После начала моделирования автомобили достигают максимальной скорости и продолжают равномерное движение. Как видно на фундаментальной диаграмме,

интенсивность движения сохраняется между 500-ми и 600-ми авт./сек., а плотность равна 97,26 авт./км.

В реальном мире, дороги часто пересекаются, поэтому в модель была добавлена дорога с пересечением. На рис. 6 представлены автомобили-автоматы на трекке с пересечением (восьмерке), где проезд осуществляется по правилу помехи справа.

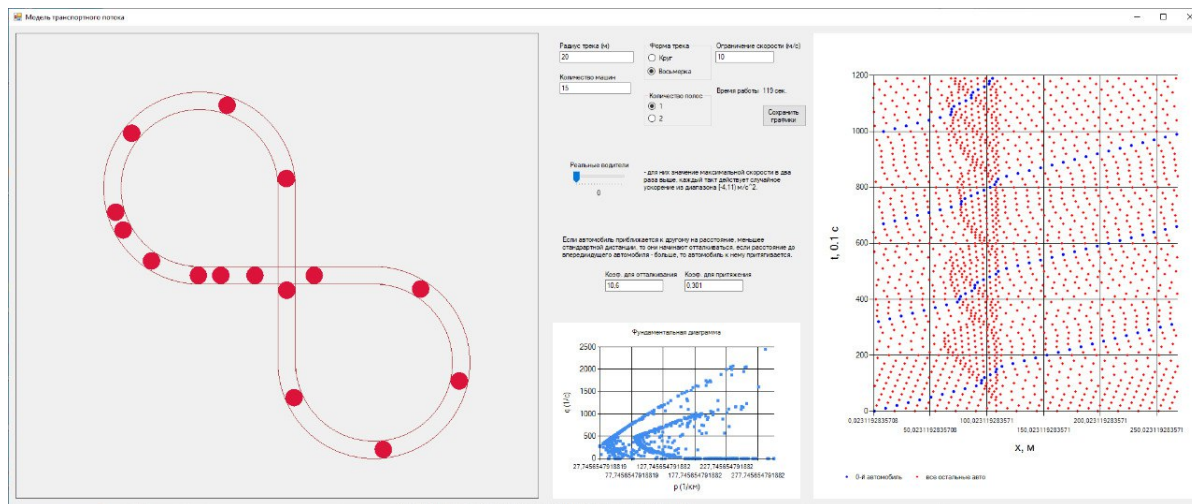


Рис. 6. Движение автомобилей-автоматов по восьмерке [Figure 6. Single-lane figure-of-eight with crossing roads.]

Наблюдается пробка перед пересечением, на том участке дороги, где автомобили пропускают приближающиеся справа транспортные средства. Размер пробки и ее положение в пространстве слегка варьируются: сначала количество автомобилей в пробке увеличивается, а затем уменьшается, что повторяется с периодичностью около 30 сек. На фундаментальной диаграмме заметны две прямых, верхняя из которых отражает движение автомобилей по правой окружности с большей интенсивностью при меньшей плотности, а вторая показывается движение автомобилей по левой окружности с меньшей интенсивностью, где при большей плотности интенсивность теряет линейную зависимость, а затем и вовсе падает до нуля.

При увеличении количества автомобилей, они скапливаются в пробке в левой окружности, занимая ее всю, а после проезда перекрестка разгоняются на свободной правой окружности.

На следующем рис. 7 представлена модель движения автомобилей на круговой дороге с двумя полосами для движения. В начальный момент времени все автомобили располагаются на первой полосе, считая от внешнего края круга. После образования небольшой пробки в первую минуту моделирования, как видно на графике (рис. 7, а) справа, автомобили-автоматы распределились поровну на две полосы, достигли максимальной скорости и едут равномерно (рис. 7, в).

Если по той же дороге будут двигаться не автомобили-автоматы, а реальные водители, то в процессе движения будет образовываться множество мелких скоплений (рис. 7, б). Причиной этого является то, что реальные водители больше разгоняются, из-за чего им больше приходится останавливаться в пробках.

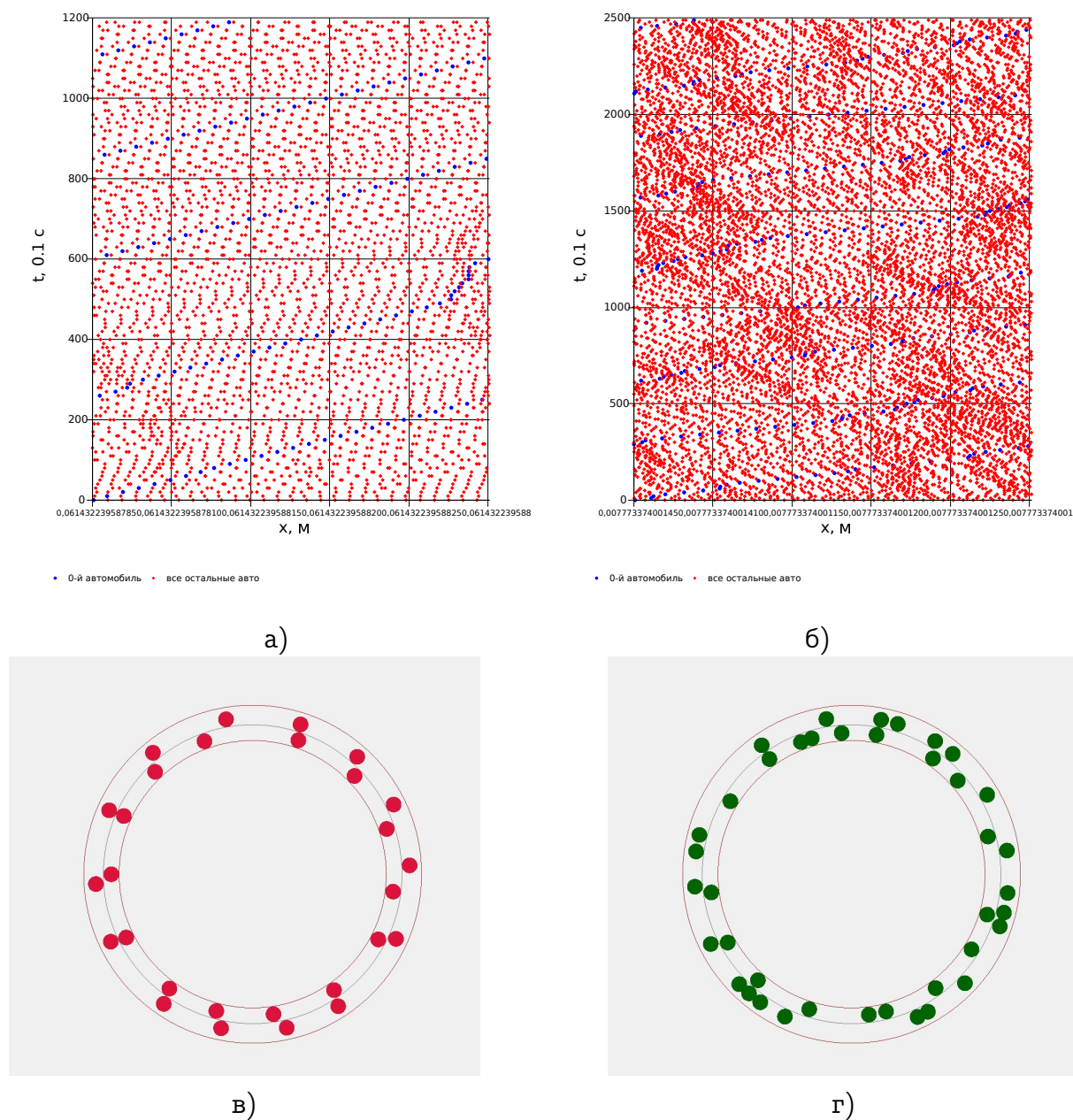


Рис. 7. Движение автомобилей по замкнутой окружности с двумя полосами: а) изменение положения автомобилей-автоматов, б) изменение положения реальных автомобилей, в) визуализация автомобилей-автоматов, г) визуализация реальных автомобилей.

[Figure 7. Two-line circle: a) the traces of individual automated vehicles, б) the traces of individual real vehicles, в) visualization of automated vehicles, г) visualization of real vehicles.]

На рис. 7, (г) заметны такие скопления, в виде расположенных рядом на одной полосе нескольких автомобилей.

Смешанный поток

Так как в реальной жизни невозможно мгновенно заменить всех реальных водителей автопилотами, следует рассмотреть ситуацию, когда на дороге находятся и те, и другие, их взаимодействие и как оно влияет на транспортный поток в целом.

Запускались эксперименты (рис. 8), в которых на дороге одновременно присутствовали как реальные водители (со случайными изменениями ускорения и превышениями ограничения скорости), так и автоматы (строго следующие правилам).

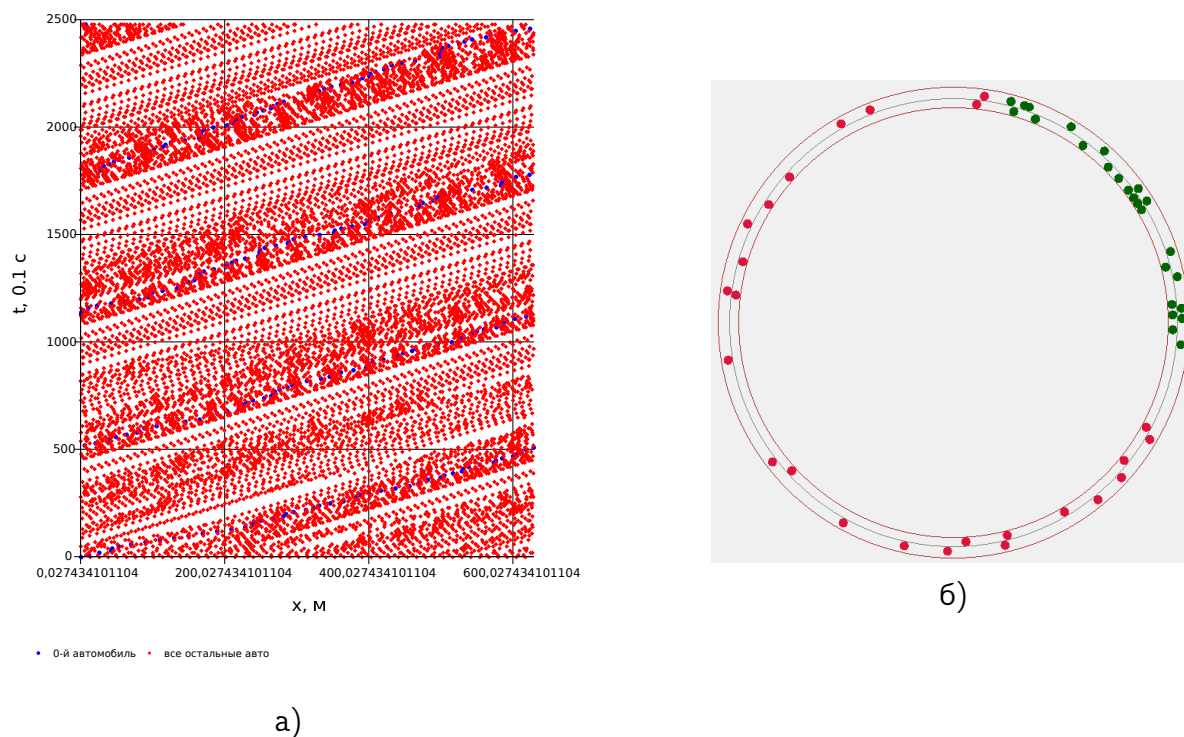


Рис. 8. Смешанный поток: а) положение автомобилей, б) визуализация.
 [Figure 8. Mixed traffic: a) the traces of individual vehicles, b) visualization.]

Реальные водители, по большей части, обгоняют медленно идущие автоматы. Часто встречается ситуация, когда два автомата идут бок о бок по двум полосам, создавая после себя затор из реальных автомобилей, которые не могут их обогнать (рис. 8, б).

В работе [12] изучалось влияние автономных (не подключенных, в отличие от большинства современных работ) транспортных средств на загруженность транспортной сети города. Автор проводит моделирование в рассмотренном ранее SUMO, с моделью следования за лидером Краусса. Анализ результатов проводится с помощью фундаментальной диаграммы. Автором делаются выводы о том, что внедрение беспилотных автомобилей в транспортный поток приводит к квазилинейному увеличению пропускной способности дорог (рис. 9).

В нашей модели сеть городских дорог еще не предусмотрена, поэтому рассмотрим те же проценты внедрения автопилотов на замкнутой дороге.

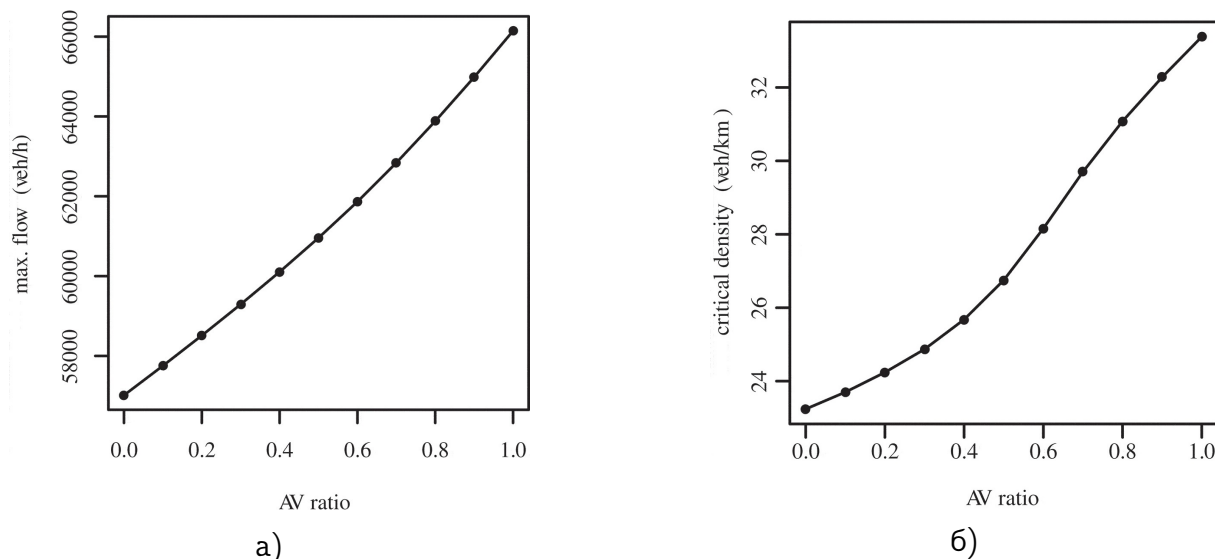


Рис. 9. Решеточная сеть дорог [12]. Зависимость от степени внедрения автопилотов: а) изменения максимального потока трафика, б) изменения критической плотности трафика (плотность при максимальном потоке трафика). [Figure 9. Grid network data [12]: a) change of the maximum traffic flow according to the AVs penetration ratio, b) change of the critical traffic density (the density at the maximum traffic flow) according to the AVs penetration ratio.]

Ниже представлены результаты моделирования на однополосной и на двухполосной дороге смешанного трафика. Фундаментальные диаграммы для однополосной дороги с 22-мя автомобилями представлены на рис. 10.

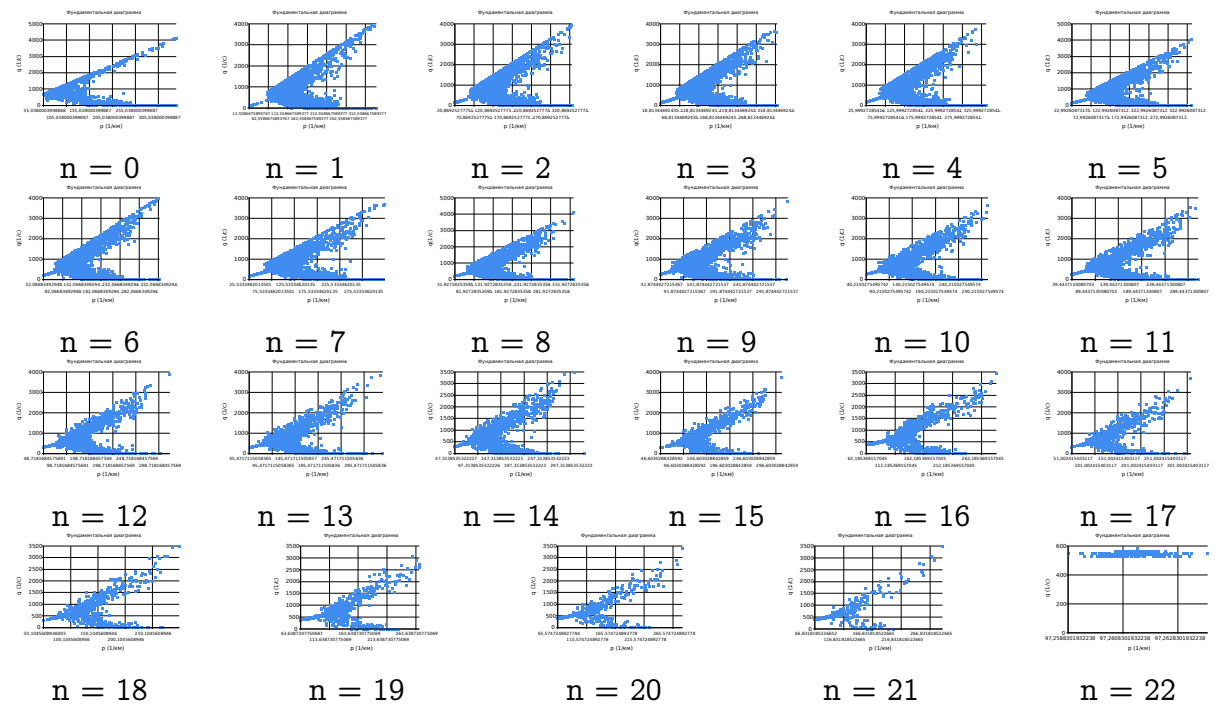


Рис. 10. Смешанный поток. n - количество автономных автомобилей в потоке. [Figure 10. Mixed flow. n is a number of automated vehicle.]

На рис. 11 представлены графики, построенные из наибольших значений фундаментальной диаграммы запусков экспериментов как на однополосном, так и на двухполосном круге.

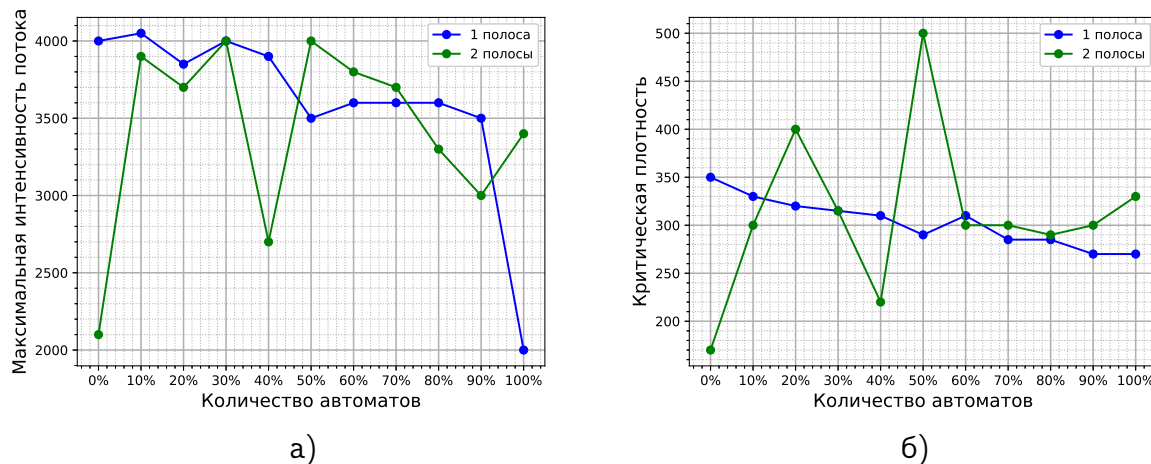


Рис. 11. Смешанный поток, зависимость от степени внедрения автопилотов: а) изменения максимального потока трафика, б) изменения критической плотности трафика (плотность при максимальном потоке трафика).

[Figure 11. Mixed traffic: a) change of the maximum traffic flow according to the AVs penetration ratio, b) change of the critical traffic density (the density at the maximum traffic flow) according to the AVs penetration ratio.]

Радиус окружности, количество автомобилей и их характеристики не менялись. Наши автопилоты имеют меньшую максимальную скорость, чем реальные водители, поэтому пропускная способность от их внедрения не растет как в работе [12], а наоборот, снижается, что заметно по графику для однополосного движения. В случае двухполосного движения, когда автомобили могут перестраиваться и обгонять друг друга, значения максимальной интенсивности ведут себя нелинейно.

Заключение

Разработана микроскопическая модель транспортного потока, основанная на потенциале действия между автомобилями-частицами. Модель имеет небольшое количество правил, по которым она действует, но при этом показывает хорошие результаты. Реализованы модели движения автомобилей на однополосной круговой дороге, двухполосной круговой дороге и замкнутой восьмерке с пересечением проезжих частей. Представлены модели автомобилей-автоматов и реальных водителей.

Проведенные эксперименты со смешанным потоком реальных водителей и автопилотов показали необходимость дальнейшего изучения влияния внедрения автопилотов как на пропускную способность дорог, так и на безопасность дорожного движения. Особого внимания требует выбор закладываемого в автопилоты поведения: копирующего проведение реальных водителей, с его недостатками в виде

опасного вождения, или ограниченного разумными правилами, и соответственно, меняющего поведение всех участников транспортного потока.

Были получены коэффициенты модели, с помощью которых можно продолжать развивать модель, добавляя другие элементы дороги (большее количество полос, светофоры и др.). Планируется добавить дополнительные классы автомобилей (грузовики, маршрутные транспортные средства и др.) и возможность изменения конфигурации дороги (съезды, въезды, незамкнутость и др.) для проведения экспериментов с заторами, зависящими от конфигурации съездов. Для обработки большего количества автомобилей в дальнейшем планируется перейти на Unity3D.


Конкурирующие интересы. Конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Все авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.


Список литературы

1. Hoogendoorn S., Bovy P. H. L. State-of-the-art of vehicular traffic flow modeling, *J. Syst. Cont. Eng.*, 2001. vol. 215, no. 4, pp. 283–303, DOI: 10.1243/0959651011541120.
2. Власов А. А. *Теория транспортных потоков : моногр.* Пенза: ПГУАС, 2014. 124 с. ISBN 978-5-9282-1173-8.
3. Mohmmadsina S. *Microscopic Simulation Analysis of Connected and Autonomous Cars and Trucks at a Freeway Merge Area*, Electronic Theses and Dissertations, 2021, <https://scholar.uwindsor.ca/etd/8613>.
4. Zatmeh-Kanj S., Toledo T. Car Following and Microscopic Traffic Simulation Under Distracted Driving, *Transp. Res. Rec.*, 2021. vol. 2675, no. 8, pp. 643–656, DOI: 10.1177/03611981211000357.
5. Olstam J. J., Tapani A. Comparison of Car-following models, *VTI meddelande 960A*, 2004 <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:673977/FULLTEXT01.pdf>. 36+2Appendices pp.
6. Van Aerde M., Hellinga B., Baker M., Rakha H. INTEGRATION: An Overview of Traffic Simulation Features, *Published as a conference paper at Transportation Research Board Annual Meeting Washington, D. C.*, 1996, <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.116.4552>.
7. *SUMO. Definition of Vehicles, Vehicle Types, and Routes [Electronic resource]*. (date of the application: 06.07.22), URL: SUMO. Definition of Vehicles, Vehicle Types, and Routes.
8. Lopez P. A., Behrisch M., Bieker-Walz L., Erdmann J., Flötteröd Y.-P., Hilbrich R., Lücken L., Rummel J., Wagner P., Wießner E. Microscopic Traffic Simulation using SUMO, *2018 IEEE ITSC*, 2018, pp. 2575–2582, DOI: 10.1109/ITSC.2018.8569938.
9. Treiber M. *traffic-simulation.de [Electronic resource]*. (date of the application: 06.07.22), URL: <https://traffic-simulation.de/ring.html>.
10. Швецов В. И. Математическое моделирование транспортных потоков, *Автомат. и телемех.*, 2003. № 11, С. 3–46.
11. Sugiyama Y., Fukui M., Kikuchi M., Hasebe K., Nakayama A., Nishinari K., Tadaki S., Yukawa S. Traffic jams without bottlenecks—experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam, *New J. Phys.*, 2008. vol. 10, no. 3, pp. 033001, DOI: 10.1088/1367-2630/10/3/033001.
12. Lu Q., Tettamanti T., Hörcher D., Varga I. The impact of autonomous vehicles on urban traffic network capacity: an experimental analysis by microscopic traffic simulation, *Transportation Letters*, 2020. vol. 12, no. 8, pp. 540–549, DOI: 10.1080/19427867.2019.1662561.




Бобровская Ольга Павловна – аспирант ФГУ «ФНЦ НИИСИ РАН»; инженер отдела биофизики, Сургутский филиал ФГУ «ФНЦ НИИСИ РАН», ВУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут, Россия,  ORCID 0000-0001-7045-9085.



Гавериленко Тарас Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора, Сургутский филиал ФГУ «ФНЦ НИИСИ РАН», ВУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут, Россия,  ORCID 0000-0002-3243-2751.



Галкин Валерий Алексеевич – доктор физико-математических наук, профессор, директор, Сургутский филиал ФГУ «ФНЦ НИИСИ РАН», ВУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут, Россия,  ORCID 0000-0002-9721-4026.

Transport flow model based on interaction of particles with action potential

O. P. Bobrovskaya^{1,2}, T. V. Gavrilenko^{1,2}, V. A. Galkin^{1,2}


¹ Surgut Branch of SRISA 628426, Surgut, Energetikov st., 4, Russia

² Surgut State University, 628412, Surgut, Lenina st., 1, Russia

E-mail: o-bobrovskaya@mail.ru


The current booming development of driverless cars raises the question of assessing the impact of their penetration on the traffic flow, which makes the task of creating a mixed model relevant. The object of the research is the traffic flow. The goal is to create an adequate model based on the idea of action potential, in which cars are represented as particles attracting or repelling each other at a certain distance. Existing software products implementing various microscopic models of traffic flow are considered. There is described proposed mathematical model including two kinds of cars: driverless cars strictly obeying the rules and cars with real drivers who allow speeding and random changes of velocity. A program has been developed that implements the created model and allows changing its parameters. The macroscopic characteristics of the simulated flow have been compared with the available values of analogues and works of other researchers. The behavior of simulated cars when driving on a single-lane circular road, a two-lane circular road, and a single-lane figure-of-eight with crossing roads is considered. The results of model runs for mixed flow are presented.

Key words: traffic flow modelling, car-following models, micro-simulation software, action potential.

 DOI: 10.26117/2079-6641-2022-40-3-72-87

Original article submitted: 01.10.2022

Revision submitted: 15.11.2022

For citation. Bobrovskaya O. P., Gavrilenko T. V., Galkin V. A. Transport flow model based on interaction of particles with action potential. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2022, 40: 3, 72-87.  DOI: 10.26117/2079-6641-2022-40-3-72-87

Competing interests. The authors declare that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)


© Bobrovskaya O. P., Gavrilenko T. V., Galkin V. A., 2022

Funding. The publication was made within the framework of the state task of the Federal State Institution FNTs NIISI RAS (Performance of fundamental scientific research GP 47) on topic No. 0580-2021-0007 «Development of methods for mathematical modeling of distributed systems and corresponding calculation methods».


References

- [1] Hoogendoorn S., Bovy P. H. L. State-of-the-art of vehicular traffic flow modeling, *J. Syst. Cont. Eng.*, 2001, 215: 4, 283–303, DOI: 10.1243/0959651011541120
- [2] Vlasov A. A. *Teoriya transportnyh potokov [Vehicular flow theory]*. Penza, PGUAS, 2014, 124 (In Russian).
- [3] Mohmmadsina S. Microscopic Simulation Analysis of Connected and Autonomous Cars and Trucks at a Freeway Merge Area, *Electronic Theses and Dissertations*, 2021, <https://scholar.uwindsor.ca/etd/8613>.
- [4] Zatmeh-Kanj S., Toledo T. Car Following and Microscopic Traffic Simulation Under Distracted Driving, *Transp. Res. Rec.*, 2021, 2675:8, 643–656. DOI: 10.1177/03611981211000357.
- [5] Olstam J. J., Tapani A. Comparison of Car-following models, *VTI meddelande 960A*, 2004, pp. 36, 36+2 Appendices pp., <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:673977/FULLTEXT01.pdf>
- [6] Van Aerde M. et al. INTEGRATION: An Overview of Traffic Simulation Features, Published as a conference paper at Transportation Research Board Annual Meeting Washington, D.C., 1996, <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.116.4552>.
- [7] SUMO. Definition of Vehicles, Vehicle Types, and Routes [Electronic resource]. URL: SUMO. Definition of Vehicles, Vehicle Types, and Routes (date of the application: 06.07.22).
- [8] Lopez P.A. et al. Microscopic Traffic Simulation using SUMO, 2018 IEEE ITSC, 2018, IEEE, 2575–2582, DOI: 10.1109/ITSC.2018.8569938.
- [9] Treiber M. *traffic-simulation.de* [Electronic resource]. URL: <https://traffic-simulation.de/ring.html> (date of the application: 06.07.22).
- [10] Shvetsov V. I. Mathematical Modeling of Traffic Flows, *Autom. Remote Control*, 2003, vol. 64, no. 11, pp. 1651–1689, DOI: 10.1023/A:1027348026919
- [11] Sugiyama Y. et al. Traffic jams without bottlenecks—experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam, *New J. Phys.*, 2008, vol. 10, no. 3, pp. 033001, DOI: 10.1088/1367-2630/10/3/033001.
- [12] Lu Q., et al. The impact of autonomous vehicles on urban traffic network capacity: an experimental analysis by microscopic traffic simulation, *Transportation Letters*, 2020, 12:8, 540–549, DOI: 10.1080/19427867.2019.1662561




Bobrovskaya Olga Pavlovna – Postgraduate Student of the SRISA; Surgut State University; Engineer of the Department of Biophysics and Neurocybernetics, Branch of SRISA, Surgut, Russia,  ORCID 0000-0001-7045-9085.



Gavrilenko Taras Vladimirovich – PhD (Tech.), docent, Surgut State University; Deputy Director, Branch of SRISA, Surgut, Russia,  ORCID 0000-0002-3243-2751.



Galkin Valery Alekseevich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Surgut State University; Director, Branch of SRISA, Surgut, Russia,  ORCID 0000-0002-9721-4026.