

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-104-113



УДК 656.09, 656.021, 625.096

UDC 656.09, 656.021, 625.096

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**РОЛЬ ТЕХНОЛОГИИ СВЯЗИ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ
В ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**THE ROLE OF INTELLIGENT VEHICLE
COMMUNICATION TECHNOLOGY
IN INCREASING ROAD SAFETY**

✉¹ **Феофилова Анастасия Александровна**,
к.т.н., доцент кафедры организации перевозок
и дорожного движения, Донской государ-
ственный технический университет, г. Ростов-
на-Дону, e-mail: feofilowa@mail.ru

✉¹ **Feofilova Anastasia Aleksandrovna**,
candidate of technical sciences, associate professor of
the department of organization of transportation and
road traffic, Don state technical university, Rostov-
on-Don, e-mail: feofilowa@mail.ru

Хуан Лэй,
к.т.н., магистрант кафедры организации пере-
возок и дорожного движения, Донской госу-
дарственный технический университет, г. Ро-
стов-на-Дону, e-mail: 13129801652@qq.com

Huang Lei,
candidate of technical sciences, master's student at the
department of transportation and traffic organization,
Don state technical university, Rostov-on-Don,
e-mail: 13129801652@qq.com

Зеликов Владимир Анатольевич,
д.т.н., доцент, заведующий кафедрой организа-
ции перевозок и безопасности движения, Во-
ронезский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж,
e-mail: zelikov-vrn@mail.ru

Zelikov Vladimir Anatolyevich,
doctor of technical sciences, associate professor,
head of the department of organization of trans-
portation and traffic safety, Voronezh state for-
estry university named after G.F. Morozov,
Voronezh, e-mail: zelikov-vrn@mail.ru

Аннотация. Характеристики подключенных к связи C-V2X транспортных средств в основном включают в себя реальное время передвижения, безопасность и стабильность. Однако присутствуют некоторые дефекты связи и нестабильные факторы, влияющие на связь между транспортными средствами в кооперативных ИТС: замирание связи, временная задержка, потеря пакетов, прерывание, вредоносные сетевые атаки и т.д. Изучение и моделирование факторов нестабильности связи между транспортными средствами в кооперативных ИТС может помочь повысить как безопасность движения подключенных транспортных средств, так и точность моделирования дорожного движения.

Annotation. The characteristics of connected vehicles mainly include real time, security and stability, but there are some defects and unstable factors affecting vehicle-to-vehicle communication (communication freeze, time delay, packet loss, interruption, malicious network attacks, etc.). Studying and modeling the instability factors of vehicle-to-vehicle communication can help to improve the safety of connected vehicles and the accuracy of traffic simulation.

Ключевые слова: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ, MATLAB, C-V2X, МОДЕЛЬ СЛЕДОВАНИЯ, ОСЛАБЛЕНИЕ СИГНАЛА. **Keywords:** ITS, MATLAB, C-V2X, FOLLOWING MODEL, SIGNAL ATTENUATION.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Современная организация дорожного движения требует особой степени осведомленности. Развитие технологий интеллектуальных транспортных систем (ИТС) приводит к тому, что внимание уделяется не транспортному потоку в его нынешнем виде, а отдельному водителю (транспортному средству). Необходимо отслеживать не только действия самого автомобиля, но и окружающую дорожную обстановку.

Подсистема Кооперативной ИТС, основанная на технологии V2X обеспечивает выполнение функций взаимодействия [1]:

- транспортное средство – транспортное средство (V2V);
- транспортное средство – инфраструктура кооперативной ИТС (V2I);
- транспортное средство – сеть электронных коммуникаций (V2N);
- транспортное средство – пешеход (V2P);
- транспортное средство – устройство (V2D);
- транспортное средство – электрическая сеть для подзарядки автомобиля (V2G).

Данный список не является исчерпывающим и может быть расширен с появлением новых технологических и технических решений, которые определяют функциональные возможности ИТС.

Выделяются группы потребностей пользователей ИТС во взаимосвязи с функциями взаимодействия транспортных средств в условиях подсистемы V2X, представленные в табл. 1.

Таблица 1 – Группы потребностей пользователей

№	Группа потребностей пользователей	Функции взаимодействия транспортного средства
1	Управление дорожным движением	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
2	Управление общественным транспортом	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
3	Управление дорожным движением в условиях катастроф и чрезвычайных ситуаций	V2V, V2I, V2N, V2D
4	Транспортное информирование	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
5	Планирование развития инфраструктуры и обслуживания	V2I, V2N, V2G
6	Нормативно-правовое регулирование	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
7	Финансовое регулирование	V2I, V2N, V2D, V2G
8	Интеллектуальные транспортные средства	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
9	Грузовые операции	V2V, V2I, V2N, V2D, V2G

Требования к подсистеме V2X разделяются с точки зрения потребностей пользователей к функциям прямого исполнения действий на основании анализа полученных данных и исполнение действий, основанных на прогнозировании ситуаций на основании анализа полученных и исторических данных.

Требования к подсистеме кооперативных ИТС, основанных на технологии V2X, с точки зрения подключенных автомобилей обуславливаются уровнем развития технологий и технических решений и заключаются в том, что подсистема должна:

- быть способна предупреждать водителя при обнаружении отсутствия бдительности;

- быть способна информировать другое транспортное средство, когда принимающее транспортное средство обнаруживает, что столкновение неизбежно;
- обеспечивать поддержку для автоматического управления боковым динамическим поведением транспортного средства и удержания транспортного средства в пределах его текущей полосы движения на проезжей части;
- обеспечивать водителю информационную поддержку или активную поддержку рулевого управления, чтобы помочь ему/ей оставаться в пределах текущей полосы движения проезжей части;
- обеспечивать поддержку для предупреждения водителя, если принимающее транспортное средство движется в направлении объема дорожного пространства, который будет занят или уже занят другим участником дорожного движения.

Для решения задачи повышения безопасного вождения в условиях развития кооперативных ИТС необходимо обеспечить предоставление ИТС следующих пакетов услуг, основанных на информационных процессах:

- системы безопасности автономных транспортных средств – пакет услуг, повышающий безопасность автомобиля с помощью бортовых датчиков, контролирующих окружающую дорожную обстановку. Поддерживаются все уровни автоматизации вождения – от базовых систем предупреждения, до полной автоматизации;
- ситуационной осведомленности – пакета услуг ИТС, позволяющего подключенным автомобилям обмениваться информацией об обстановке даже в тех местах, где отсутствует придорожная инфраструктура связи, а также в случае востребованности уведомления за пределами диапазона связи *Dedicated Short-Range Communications (DSRC)*;
- V2V базовой безопасности – пакета услуг ИТС, в которых происходит обмен базовыми сообщениями безопасности с окружающими подключенными автомобилями для поддержки и дополнения функций предупреждения о безопасности и автоматизации управления. Этот обмен поддерживает приложения безопасности подключенных автомобилей: распознавание и предупреждение о включенных аварийных сигналах ведомого транспортного средства, предупреждение о столкновении при движении вперед, предупреждение о слепых зонах/смене полосы движения, помощь при движении на перекрестке, помощь при повороте налево и другие.

В среде V2X подключенные автомобили оснащены современными коммуникационными устройствами, и передача информации между автомобилями в режиме реального времени может осуществляться посредством различных технологий связи, что помогает водителям или программе (в случае беспилотного автомобиля) принимать решения, и в определенной степени, повышает безопасность движения.

Использование данных от подключенных автомобилей позволяет ускорить обмен информацией между водителями и остальными участниками дорожного движения, что также способствует повышению безопасности на дорогах [2]. В качестве примера можно привести китайскую технологию C-V2X (*Cellular Vehicle-to-Everything*), которая в настоящее время является предметом активных исследований. Это система беспроводной связи для транспортных средств, основанная на эволюции сотовых технологий, включая 4G и 5G. На ее основе могут быть разработаны сервисы интеллектуальной транспортной системы, обеспечивающие комплексную связь и оперативное информационное взаимодействие между транспортными средствами, дорожной инфраструктурой, базовыми станциями и облачными платформами [3-7].

Ожидается, что эта технология позволит устранить до 80 % текущих дорожно-транспортных происшествий, благодаря более точному и своевременному обмену данными между всеми элементами транспортной системы [8-10].

Сущность технологии связи между транспортным средством и автомобилем дает множество преимуществ для управления подключенными транспортными средствами, но нельзя игнорировать тот факт, что некоторые неопределенности (например, потеря пакетов или временная задержка) и характеристики канала связи (например, ограничение пропускной способности)

существующей технологии связи *DSRC (Dedicated Short-Range Communications)* могут снизить точность управления подключенными к кооперативным ИТС транспортными средствами и повлиять на безопасность вождения. Поэтому необходимо изучить влияние задержки связи, потери пакетов и других факторов на поведение интеллектуальных транспортных средств [11-14].

2 Материалы и методы

Начальным этапом изучения является поиск и построение модели следования автомобиля за подключенным самоуправляемым автомобилем в кооперативных ИТС. Схема взаимодействия подключенных автомобилей для изучения модели следования представлена на рис. 1.

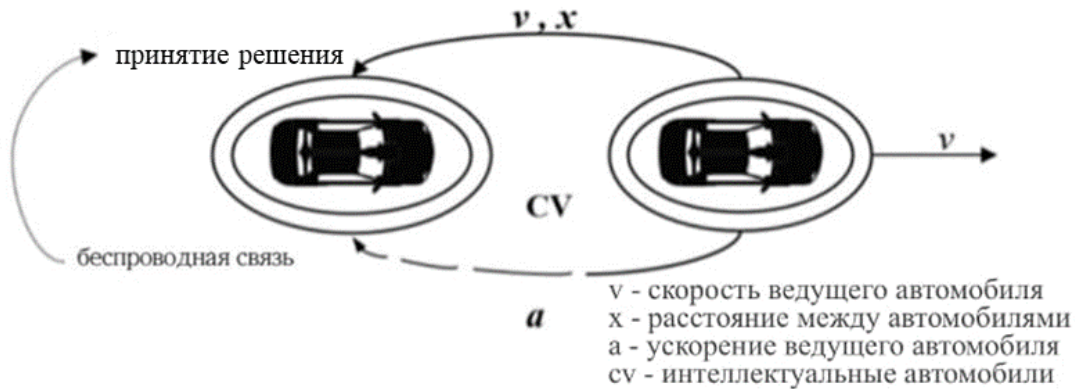


Рисунок 1 – Схема модели следования автомобиля с сетевым соединением

Чтобы изучить влияние потери и задержки пакетов данных на движение подключенного к кооперативным ИТС транспортного средства, была создана модель потери ускорения интеллектуальных транспортных средств *AIDM*, основанная на модели следования за лидером *Intelligent driver model (IDM)*, учитывающая влияние ухудшения производительности передачи данных в реальной дорожной среде, и большей степени, соответствующая характеристикам движения транспортного средства в среде *V2X*.

Первоначальная модель *IDM* [15, 16] представлена уравнением в виде:

$$a_s = a_m \left[1 - \left(\frac{v_s}{v_0} \right)^\delta - \left(\frac{s_0 + v_s T + v_s \Delta v (2\sqrt{a_m b})^{-1}}{\Delta x - l} \right)^2 \right] \quad (1)$$

где a_s – ускорение ведомых транспортных средств, m/c^2 ; a_m – максимальное ускорение автомобиля m/c^2 ; v_0 – ожидаемая скорость, m/c ; v_s – скорость ведомых транспортных средств m/c ; δ – индекс ускорения транспортного средства; s_0 – интервал времени между автомобилями от заднего бампера автомобиля лидера и переднего бампера ведомого автомобиля, c ; T – безопасный интервал времени между автомобилями, измеренный по передним бамперам, c ; Δv – разница в скорости между соседними следующими автомобилями, m/c ; Δx – пройденное расстояние, m ; b – ожидаемое замедление, m/c^2 ; l – длина автомобиля, m .

Учет эффекта потери пакетов данных и временной задержки представляется возможным вести через модель потери ускорения подключенного автомобиля.

Модель потери ускорения подключенного к кооперативным ИТС автомобиля имеет вид [1]:

$$a_{loss}(t) = 10 \cdot \gamma \cdot \lg \left(\frac{\Delta x_n(t)}{x_0} \right) + \xi \quad (2)$$

где $a_{loss}(t)$ – величина затухания сигнала ускорения от переднего транспортного средства к заднему транспортному средству на расстоянии, равном $\Delta x_n(t)$ между передним транспортным средством и задним транспортным средством в момент времени t ; x_0 – относительное расстояние до точки привязки, определяемое как минимальный следующий интервал, м; γ – экспоненциальный коэффициент потери ускорения, который в основном зависит от продолжительности движения, типа транспортного средства и пространственной дорожной обстановки; ξ – случайная ошибка (в калькуляции).

Подставляя $x_0 = 1$ м в уравнение и игнорируя случайную ошибку, получаем адаптированную модель *AIDM* (*Advanced Intelligent Driver Model*) в виде:

$$a_{loss}(t) = \gamma \cdot \lg(\Delta x_n(t)) + \xi \quad (3)$$

После усовершенствования модели следования *IDM* на основе модели *AIDM*, модель следования интеллектуального подключенного транспортного средства будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} a_n(t + T) = a_{IDM} + a_{n-1}(t) + a_{loss}(t) \\ v_n(t + T) = v_n(t) + a_n(t + T) \cdot T \end{cases} \quad (4)$$

где a_{IDM} – значения ускорения, рассчитанные с помощью модели *IDM*, м/с²; $a_{n-1}(t)$ – значение ускорения переднего автомобиля в момент времени t ; T – интервал обновления, с; $a_n(t + T)$ – обновленные значения ускорения движения для автомобилей, подключенных к сети связи в ИТС; $v_n(t + T)$ – обновленные значения скорости движения для автомобилей, подключенных к сети связи в кооперативных ИТС.

В результате фактической калибровки γ (экспоненциального коэффициента потери ускорения) было установлено [17], что для транспортного средства с технологией *C-V2X* его значение составляет 1,9, в то время как для других транспортных средств с технологией *DSRC* и т. д. скорость потери пакетов данных и задержка данных значительно выше.

3 Результаты исследований

Таким образом, в данной статье авторами рассматривается влияние технологии связи на безопасность движения посредством изменения значений экспоненциального коэффициента потери ускорения γ .

Для этого была использована программа *MATLAB* для расчета параметров модели *AIDM*. Основными изучаемыми параметрами организации и безопасности дорожного движения в условиях кооперативных ИТС с различными технологиями связи явились: скорость и ускорение ведомого автомобиля, вероятное время до столкновения (*time to collision, TTC*) [18] между подключенными по связи *C-V2X* или *DSRC* автомобилями.

Исходные данные для изучения модели *AIDM* приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Исходные данные для изучения модели *MAIDM*

Параметр	Значение
Максимальное ускорение	2 м/с ²
Ожидаемая скорость	30 м/с
Безопасная дистанция между автомобилями	2 секунды
Шаг времени	0,1 секунды
Общее время моделирования	10 секунд
Скорость переднего автомобиля	30 м/с
Начальное расстояние до переднего автомобиля	10 м

Определение изучаемых параметров организации и безопасности дорожного движения проводилось в условиях изменения экспоненциального коэффициента потери ускорения от начального, равного 1,9 в сторону увеличения его значений: 2,3, 2,7, 3,1, соответствующих продвинутым технологиям связи *C-V2X*, *5G*, а также в сторону уменьшения его значений: 1,5, 1,1 и 0,7, соответствующих текущим технологиям связи *DSRC*.

В ходе моделирования на каждом временном шаге регистрировались скорость, ускорение и значения *TTC* автомобиля. Полученные результаты представлены на рис.2-4:

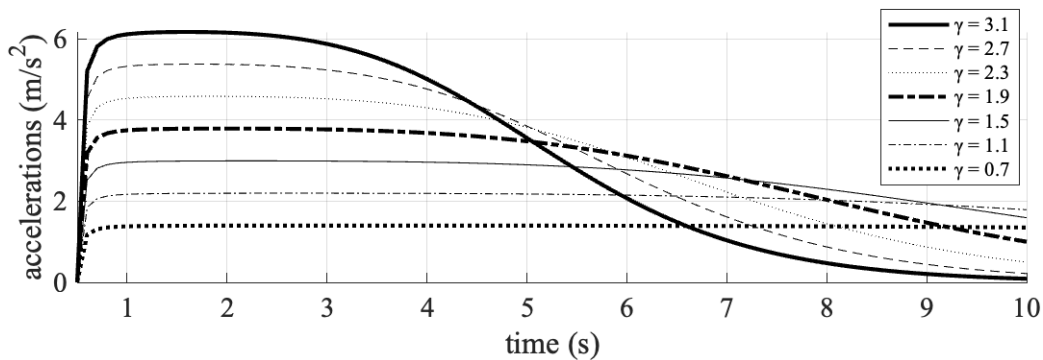


Рисунок 2 – Изменение ускорения ведомого автомобиля в различных технологиях связи

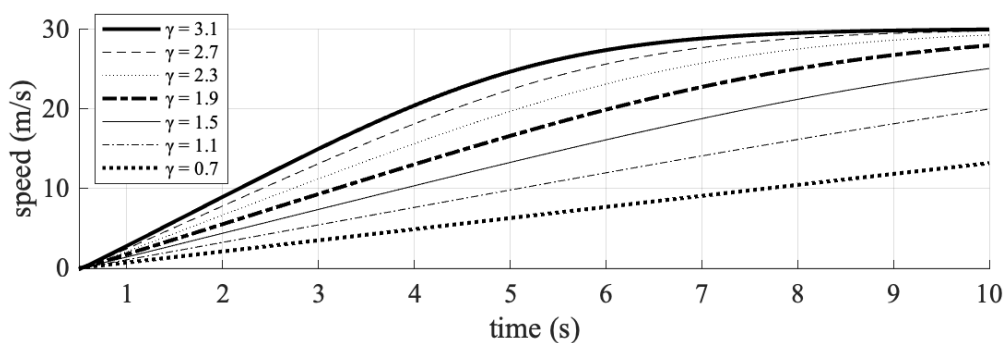


Рисунок 3 – Изменение скорости движения ведомого автомобиля в различных технологиях связи

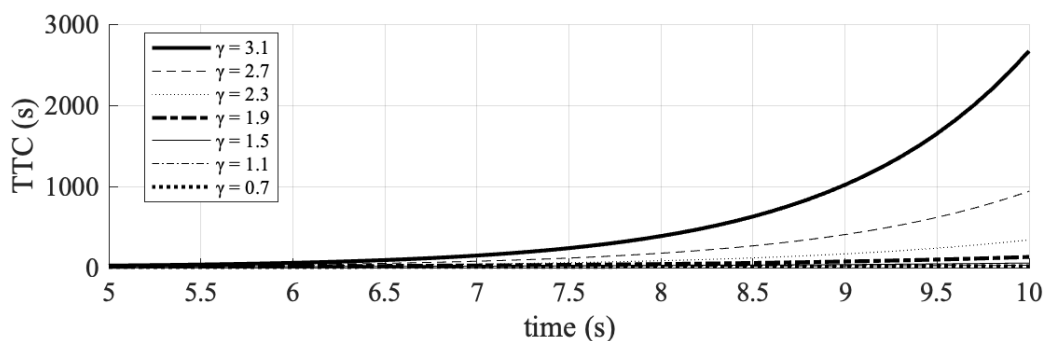


Рисунок 4 – Изменения значений *TTC* в различных технологиях связи

Результаты моделирования показывают, что различные значения экспоненциального коэффициента потери ускорения γ существенно влияют на безопасность движения автомобиля. В случае значения коэффициента, равного 3,1 значение *TTC* для подключенного автомобиля выше, что указывает на сохранение более безопасной дистанции следования.

Также для оценки безопасности движения подсчитывалось количество конфликтов – событий с *ТТС* менее 2 секунд, указанное в табл. 3.

Таблица 3 – Количество конфликтов при различных значениях

Коэффициент потери ускорения (γ)	Количество конфликтов
3.10	18
2.70	19
2.30	19
1.90	20
1.50	20
1.10	21
0.70	22

Оценить эффективность использования технологии связи *C-V2X* в условиях движения нескольких транспортных средств представляется возможным посредством моделирования дорожного движения в программе *SUMO*. Так как *SUMO* – это портативный пакет моделирования микроскопического и непрерывного мультимодального движения с открытым исходным кодом, то в алгоритмах программы необходимо прописать модели *AIDM* для беспилотных автомобилей, особенно в условиях их кооперативного движения. Для моделирования были выбраны места слияния основной магистрали и примыкающей автомобильной дороги магистрали Пекин-Шанхай в городе Цзинань общей протяженностью 12 километров, включающий 4 развязки. Изучаемый участок имеет расчетную скорость 60 км/ч, магистраль первого класса с четырьмя полосами для движения в одну сторону и примыкающую автомобильную дорогу с одной полосой движения (рис. 5).



Рисунок 5 – Рассматриваемый участок автомобильной дороги (снимок с экрана)

На сегодняшний день доля беспилотных автомобилей в составе транспортного потока на дорогах мира остается относительно низкой. В связи с чем рассматриваются сценарии моделирования дорожного движения, предусматривающие увеличение доли автономных транспортных средств в общем потоке: 0 %, 25 %, 30 %, 60 %, использующих связь в технологии C-V2X. Интенсивность движения транспортных средств на рампе в зоне контроля (250 метров) составляют 300 авт/ч.

Оценка изменения значений времени до столкновения, *TTC*, проводилось для транспортных средств, движущихся по рампе (рис. 6). Результаты моделирования по сценариям представлены в табл. 4.

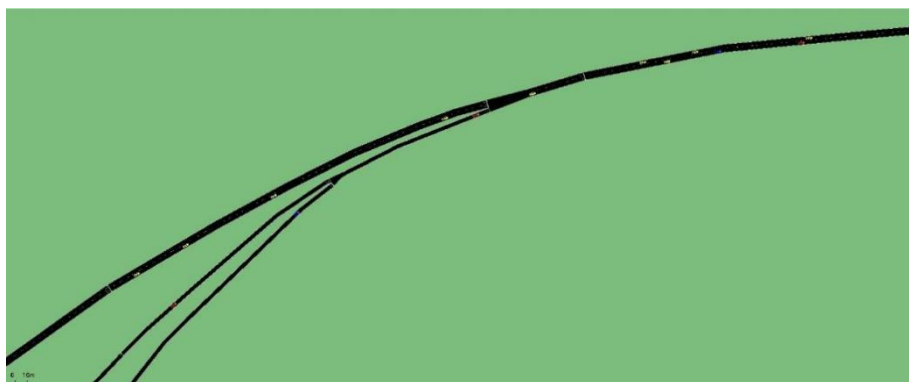


Рисунок 6 – Рассматриваемый участок автомобильной дороги в модели дорожного движения *SUMO* (снимок с экрана)

Таблица 4 – Результаты моделирования экспериментов по сценариям

Оцениваемый показатель	Доля беспилотных автомобилей в потоке, %			
	0	25	30	60
<i>TTC</i> , с	172	140	121	97
Среднее время проезда участка, с	27	21	20	19
Плотность движения, ед/ч	62	54	52	33

Анализ данных из табл. 4 показывает, что увеличение доли беспилотных транспортных средств в транспортном потоке значительно снижает число конфликтных ситуаций и уменьшает среднее время проезда участка.

4 Обсуждение и заключение

Результаты показывают, что потеря и задержка пакетов данных, вызванная различными технологиями связи в кооперативных ИТС, оказывает значительное влияние на безопасность движения подключенных автомобилей. Более высокое значение коэффициента потери ускорения γ , характерное для связи в технологии C-V2X, 5G, показывают эффективность поддержания безопасной дистанции между автомобилями, что снижает риск столкновения.

Тем не менее, на безопасность движения могут влиять и другие факторы, такие как поведение впереди идущего автомобиля, интенсивность дорожного движения и доля подключенных и беспилотных автомобилей в транспортном потоке [19, 20]. Поэтому в будущих исследованиях следует учитывать более сложные дорожные условия и поведение водителей, чтобы еще больше повысить точность и практичность моделирования дорожного движения для оценки влияния технологий связи подключенных транспортных средств как на безопасность, так и на эффективность дорожного движения.

Список литературы

- 1 ГОСТ Р 56829-2015. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 10 с.
- 2 Talebpour, A., Mahmassani, H., & Bustamante, F. (2016). Modeling Driver Behavior in a Connected Environment: Integrated Microscopic Simulation of Traffic and Mobile Wireless Telecommunication Systems. TRB.
- 3 Mitra, P., Choudhury, A., Aparow, V. R., Kulandaivelu, G., & Dauwels, J. (2018). Towards Modeling of Perception Errors in Autonomous Vehicles. IEEE Xplore.
- 4 Wang, S., & Li, Z. (2019). Exploring the mechanism of crashes with automated vehicles using statistical modeling approaches. PLOS One.
- 5 Sadid, H., Qurashi, M., & Antoniou, C. (2022). Simulation-based Optimization of Autonomous Driving Behaviors. IEEE Xplore.
- 6 Wang, J., Pant, Y., Zhao, L., Antkiewicz, M., & Czarnecki, K. (2024). Enhancing Safety in Mixed Traffic: Learning-Based Modeling and Efficient Control of Autonomous and Human-Driven Vehicles. IEEE Xplore.
- 7 Yan, X., Feng, S., Sun, H., & Liu, H. X. (2021). Distributionally Consistent Simulation of Naturalistic Driving Environment for Autonomous Vehicle Testing. arXiv.
- 8 B. Y. Yacheur, T. Ahmed and M. Mosbah, "Implementation and Assessment of IEEE 802.11BD for Improved Road Safety," 2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/CCNC49032.2021.9369649.
- 9 M. Karoui, V. Mannoni, B. Denis and S. Mayrargue, "Performance Analysis of V2X-based Systems for Improved Vulnerable Road Users Safety," 2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Macau, China, 2022, pp. 3368-3373, doi: 10.1109/ITSC55140.2022.9921841.
- 10 K. M. Makinaci, T. Acarman and C. Yaman, "Resource Selection for C-V2X and Simulation Study for Performance Evaluation," 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), Helsinki, Finland, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448905.
- 11 Miqdady, T., de Oña, R., Casas, J., & de Oña, J. (2023). Studying Traffic Safety During the Transition Period Between Manual Driving and Autonomous Driving: A Simulation-Based Approach. IEEE Xplore.
- 12 Abdeen, M. A. R., Yasar, A., Benaida, M., Sheltami, T., Zavantis, D., & El-Hansali, Y. (2022). Evaluating the Impacts of Autonomous Vehicles' Market Penetration on a Complex Urban Freeway during Autonomous Vehicles' Transition Period. Sustainability.
- 13 Wang, K., Qu, D.-Y., Meng, Y., Wang, T., & Yang, Z. (2024). Molecular Dynamics-Based Car-Following Safety Characteristics and Modeling for Connected Autonomous Vehicles. Sustainability.
- 14 Xu, W., Liu, Y., Yi, H., & Liu, G. (2023). Lane-changing decision model for autonomous vehicle under mixed traffic environment. SPIE.
- 15 Hayward, J.C. Near-miss determination through use of a scale of danger. Highw. Res. Rec. 1972, 384, 24–34pp.
- 16 Li Jiachen. Modeling and Simulation of Networked Vehicle Followership Considering Acceleration Fading under Unreliable Communication. 2023. Beijing Jiaotong University, MA thesis. doi:10.26944/d.cnki.gbfju.2023.002063.
- 17 Yang A-Ling. Simulation research on driving safety of driverless vehicles in urban environment [D]. Chongqing: Chongqing University, 2020
- 18 Liu, Chunguang, Vladimir Zyryanov, Ivan Topilin, Anastasia Feofilova, and Mengru Shao. 2024. "Investigating the Impacts of Autonomous Vehicles on the Efficiency of Road Network and Traffic Demand: A Case Study of Qingdao, China" Sensors 24, no. 16: 5110. <https://doi.org/10.3390/s24165110>
- 19 Феофилова, А. А. Телекоммуникационные стандарты в интеллектуальной дорожно-транспортной инфраструктуре / А. А. Феофилова, О. Ю. Булатова // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2022. – № 6. – С. 51-55. – DOI 10.36535/0236-1914-2022-06-8.
- 20 Хуан, Л. Технология C-V2X для повышения безопасности дорожного движения в Китае / Л. Хуан // Актуальные проблемы науки и техники. 2024 : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 19–21 марта 2024 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2024. – С. 686-688.

References

- 1 GOST R 56829-2015. Intellektual'nye transportnye sistemy. Terminy i opredeleniya
- 2 Talebpour, A., Mahmassani, H., & Bustamante, F. (2016). Modeling Driver Behavior in a Connected Environment: Integrated Microscopic Simulation of Traffic and Mobile Wireless Telecommunication Systems. TRB.

- 3 Mitra, P., Choudhury, A., Aparow, V. R., Kulandaivelu, G., & Dauwels, J. (2018). Towards Modeling of Perception Errors in Autonomous Vehicles. IEEE Xplore.
- 4 Wang, S., & Li, Z. (2019). Exploring the mechanism of crashes with automated vehicles using statistical modeling approaches. PLOS One.
- 5 Sadid, H., Qurashi, M., & Antoniou, C. (2022). Simulation-based Optimization of Autonomous Driving Behaviors. IEEE Xplore.
- 6 Wang, J., Pant, Y., Zhao, L., Antkiewicz, M., & Czarnecki, K. (2024). Enhancing Safety in Mixed Traffic: Learning-Based Modeling and Efficient Control of Autonomous and Human-Driven Vehicles. IEEE Xplore.
- 7 Yan, X., Feng, S., Sun, H., & Liu, H. X. (2021). Distributionally Consistent Simulation of Naturalistic Driving Environment for Autonomous Vehicle Testing. arXiv.
- 8 B. Y. Yacheur, T. Ahmed and M. Mosbah, "Implementation and Assessment of IEEE 802.11BD for Improved Road Safety," *2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/CCNC49032.2021.9369649.
- 9 M. Karoui, V. Mannoni, B. Denis and S. Mayrargue, "Performance Analysis of V2X-based Systems for Improved Vulnerable Road Users Safety," *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Macau, China, 2022, pp. 3368-3373, doi: 10.1109/ITSC55140.2022.9921841.
- 10 K. M. Makinaci, T. Acarman and C. Yaman, "Resource Selection for C-V2X and Simulation Study for Performance Evaluation," *2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring)*, Helsinki, Finland, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448905.
- 11 Miqdady, T., de Oña, R., Casas, J., & de Oña, J. (2023). Studying Traffic Safety During the Transition Period Between Manual Driving and Autonomous Driving: A Simulation-Based Approach. IEEE Xplore.
- 12 Abdeen, M. A. R., Yasar, A., Benaida, M., Sheltami, T., Zavantis, D., & El-Hansali, Y. (2022). Evaluating the Impacts of Autonomous Vehicles' Market Penetration on a Complex Urban Freeway during Autonomous Vehicles' Transition Period. Sustainability.
- 13 Wang, K., Qu, D.-Y., Meng, Y., Wang, T., & Yang, Z. (2024). Molecular Dynamics-Based Car-Following Safety Characteristics and Modeling for Connected Autonomous Vehicles. Sustainability.
- 14 Xu, W., Liu, Y., Yi, H., & Liu, G. (2023). Lane-changing decision model for autonomous vehicle under mixed traffic environment. SPIE.
- 15 Hayward, J.C. Near-miss determination through use of a scale of danger. *Highw. Res. Rec.* 1972, 384, 24–34pp.
- 16 Li Jiachen. Modeling and Simulation of Networked Vehicle Followership Considering Acceleration Fading under Unreliable Communication. 2023. Beijing Jiaotong University, MA thesis. doi:10.26944/d.cnki.gbfju.2023.002063.
- 17 Yang A-Ling. Simulation research on driving safety of driverless vehicles in urban environment [D]. Chongqing: Chongqing University, 2020
- 18 Liu, Chunguang, Vladimir Zyryanov, Ivan Topilin, Anastasia Feofilova, and Mengru Shao. 2024. "Investigating the Impacts of Autonomous Vehicles on the Efficiency of Road Network and Traffic Demand: A Case Study of Qingdao, China" *Sensors* 24, no. 16: 5110. <https://doi.org/10.3390/s24165110>
- 19 Feofilova, A. A. Telekommunikacionnye standarty v intellektual'noj dorozhno-transportnoj infrastrukture / A. A. Feofilova, O. YU. Bulatova // *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik.* – 2022. – № 6. – S. 51-55. – DOI 10.36535/0236-1914-2022-06-8.
- 20 Huan, L. Tekhnologiya S-V2X dlya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Kitae / L. Huan // *Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. 2024 : Materialy Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii, Rostov-na-Donu, 19–21 marta 2024 goda.* – Rostov-na-Donu: Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2024. – S. 686-688.