

УДК 656.052.1:004.9

Белов А.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: belov_trans@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

Проблемы организации и управления дорожным движением при появлении беспилотных автомобилей

Аннотация

Мировые тенденции показывают, что появление беспилотных автомобилей на дорогах общего пользования произойдет уже в краткосрочной перспективе. Статья описывает исследование возможных эффектов от появления беспилотных автомобилей и их влияния на подходы к организации и управлению дорожным движением. Дан краткий обзор тенденций и перспектив в области автоматизации управления автомобилем. В статье проанализированы основные традиционные аспекты организации и управления дорожным движением и их актуальность в условиях различных этапов перехода на беспилотные автомобили. Приведены результаты исследований возможного повышения производительности УДС при использовании беспилотных автомобилей. Даны предложения по совершенствованию методов организации и управления дорожным движением. Кратко рассмотрены возможные социальные и градостроительные эффекты от появления городского беспилотного транспорта. Также сформулированы направления дальнейших исследований в данной области.

Ключевые слова: управление дорожным движением, беспилотные автомобили, АСУДД, ИТС, кооперативные системы, искусственный интеллект.

Транспортные системы городов стоят на пороге революционных изменений. На сегодняшний день понятие беспилотных автомобилей полностью перешло из категории научной фантастики в категорию инноваций и опытных разработок. Если еще 3-5 лет назад такие автомобили рассматривались как вероятная, но отдаленная перспектива, то сегодня срок появления на рынке полностью автоматических автомобилей оценивается от 3 до 7 лет. Большинство крупных автопроизводителей ведут активные разработки в этой области и уже представляют полнофункциональные опытные образцы. Кроме того, в целом в обществе наблюдается повышенный интерес к данной тематике, разработкой беспилотных автомобилей занялись такие IT гиганты как Google и Apple, а также многие научно-исследовательские коллективы, что говорит о перспективности и востребованности таких технологий. В США с 2011 г. проводятся специализированные конференции, посвященные исключительно тематике беспилотных автомобилей [1]. Анализ публикаций показывает, что основное внимание уделяется технологиям работы самих транспортных средств, их систем управления, мониторинга окружающей ситуации, различным аспектам навигации, алгоритмам работы и т.д. При этом вопросы управления дорожным движением в целом затрагиваются в меньшей степени. Представляется очевидным, что появление беспилотных транспортных средств в потоке автомобилей вызовет необходимость существенных корректировок в методах организации и управления дорожным движением. И эта необходимость будет расти по мере увеличения доли таких средств в общем потоке. Целью данного исследования является разработка методических основ повышения эффективности использования улично-дорожных сетей городов в условиях появления беспилотных автомобилей за счет адаптации традиционных и разработки инновационных методов организации и управления дорожным движением.

В зарубежной литературе процесс автоматизации управления автомобилем разделяется на четыре либо пять этапов [2,3]:

0 этап. Ручное управление. Водитель полностью отвечает за вектор и скорость движения транспортного средства и самостоятельно отслеживает все параметры дорожной ситуации.

1 этап. Помощь при вождении. Системы, облегчающие вождение (ABS, ESP, ACC и др.). Водитель также полностью отвечает за вектор и скорость движения, но некоторые функции управления автоматизированы, также системы отслеживают ряд параметров движения (угловая скорость колес, тяга, угол поворота и др.).

2 этап. Частичная автоматизация. Автомобиль способен контролировать и тягу и вектор движения автомобиля, но водитель должен постоянно отслеживать ситуацию и быть готовым перенять управление, т.к. система может принять неверные решения или самопроизвольно отключиться. К данному этапу относятся так называемые автомобильные поезда, когда автомобили в автоматическом режиме следуют за ведущим.

3 этап. Условная полная автоматизация (в классификации SAE [2] делится еще на 2 этапа: условная и высокая автоматизация). Автомобиль способен самостоятельно передвигаться без участия и контроля со стороны водителя при определенных условиях, например, на специальных дорогах или на ограниченной территории. Водитель берет управление на себя при необходимости, когда пропадают соответствующие условия.

4 этап. Полная автоматизация. На данном этапе автомобиль способен полностью автономно совершать поездки от начального до конечного пункта, т.е. водитель полностью переходит в категорию пассажира и не имеет возможности управлять движением (либо имеет в исключительных случаях).

Уже сегодня в серийных автомобилях присутствуют функции автоматической парковки, удержания в полосе, адаптивного круиз-контроля, т.е. процесс автоматизации находится на 2 уровне и вот-вот перейдет на 3-й. С точки зрения технологий для внедрения 3 и 4 уровней нет существенных препятствий, остаются лишь правовые и институциональные. Таким образом, можно сказать, что процесс автоматизации управления автомобилем уже необратим и ожидаемой моделью транспортной системы будущего является полностью автоматическая система, обеспечивающая перемещение людей в специальных транспортных средствах различной вместимости без необходимости создания выделенной инфраструктуры.

Основными существующими методическими направлениями организации дорожного движения (ОДД) являются [4]: разделение потоков в пространстве, разделение потоков во времени, оптимизация скоростного режима, формирование однородных потоков, организация движения пешеходов, решение проблем временных стоянок и внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД), или в современных условиях – интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

По своей сути указанные направления деятельности по ОДД решают задачу по минимизации влияния человеческого фактора и упорядочивания процесса совершения поездок на автомобильном транспорте. Автоматизация управления автомобилем призвана снизить или полностью исключить влияние человеческого фактора на многие аспекты в процессе дорожного движения. Следовательно, при повышении уровня автоматизации управления требуют пересмотра методы организации движения, которые становятся избыточными и неэффективными. Результаты анализа традиционных направлений и методов ОДД на предмет их состоятельности в условиях полной автоматизации управления автомобилем приведены в табл. 1.

Таким образом, все традиционные направления деятельности и методы ОДД в той или иной степени потеряют актуальность в условиях полной автоматизации управления автомобилями.

В рамках ранее проведенного исследования более подробно проанализированы вопросы разделения потоков в пространстве и разделения потоков во времени с точки зрения возможности их оптимизации в условиях появления беспилотных автомобилей.

Разделение потоков в пространстве состоит в канализировании потоков и распределении по маршрутам. Канализирование в традиционной системе нацелено на упорядочение траекторий движения автомобилей, минимизацию необходимости принятия решений водителями и облегчение их ориентирования. Автоматизация управления автомобилем уже на 2 этапе позволяет корректировать траекторию движения и отслеживать возможные конфликты с другими ТС. Однако, данный метод ОДД будет актуален пока в составе потока остаются автомобили управляемые человеком. Распределение потоков по маршрутам в традиционной системе управления регулируется косвенно, за счет мероприятий по ОДД и рекомендаций водителям. Данный аспект может оказывать существенное влияние на общую эффективность работы УДС, поскольку существуют два типа распределения потоков равновесное (UE) и оптимальное (SO). Исследования многих авторов показывают, что различия между UE и SO могут достигать 30-40 % по суммарной задержке и такое явление часто наблюдается на реальных УДС [6]. Достичь оптимального распределения потоков средствами косвенного

управления крайне затруднительно. Необходимо директивное предписание маршрутов следования, что становится возможным при автоматизации управления автомобилем.

Таблица 1

Результаты анализа традиционных направлений и методов ОДД

№ пп	Направление и методы ОДД	Задачи метода ОДД	Влияние полной автоматизации управления автомобилем
1	2	3	4
1	Разделение потоков в пространстве (канализирование, маршрутизация, одностороннее движение, развязки в разных уровнях)	Снижение числа возможных конфликтных точек, где водителям необходимо принимать решение о траектории движения, а также числа альтернатив при выборе маршрута.	Отсутствие необходимости в физическом разделении потоков. Оптимальное распределение по маршрутам. Повышение пропускной способности перекрестков снижает необходимость в строительстве развязок.
2	Разделение потоков во времени (приоритет, светофорное регулирование)	Снижение числа возможных конфликтных точек, где водителям необходимо принимать решение об очередности движения. Повышение эффективности использования пропускной способности УДС.	Проезд конфликтных точек не зависит от водителя и осуществляется с минимальными интервалами, см. например [5]. Отсутствие необходимости в традиционном светофорном регулировании. Автомобили используют существующую инфраструктуру максимально эффективно.
3	Оптимизация скоростного режима (ограничение максимальной скорости, «успокоение» движения, повышение средней скорости)	Снижение вероятности возникновения и тяжести последствий ДТП. Повышение эффективности использования пропускной способности УДС.	За счет снижения времени реакции системы и исключения ошибок управления, вероятность ДТП резко снижается. Снижение зависимости динамического габарита от скорости повысит пропускную способность. Максимальная скорость будет определяться системой управления с учетом таких факторов как комфорт пассажиров, шумовое воздействие, наличие пешеходов.
4	Формирование однородных потоков (выделение улиц грузового движения, специализация полос, выделение транзитного движения)	Снижение числа «внутренних» конфликтов в потоке, повышение равномерности движения.	При автоматическом управлении внутренние конфликты исключаются. Габариты ТС не влияют на условия движения.
5	Организация движения пешеходов (пешеходные пути, переходы, зоны)	Минимизация числа конфликтных точек и пешеходных потоков	Особое значение физического разделения транспортных и пешеходных потоков вследствие повышения скоростей движения транспорта. Более надежное обнаружение пешеходов.
6	Решение проблем временных стоянок (околотротуарные стоянки, внеуличные стоянки, информирование)	Минимизация влияния припаркованных автомобилей на условия движения.	Беспилотный автомобиль может самостоятельно припарковаться в специально отведенных местах, где отсутствует его влияние на условия движения.
7	АСУДД и ИТС	Оптимизация управления основными перечисленными аспектами (светофорное регулирование, скоростной режим, маршрутизация, навигация и т.д.)	Интеграция систем управления автомобилем и систем управления движением меняет существующую методологию управления, объектом управления уже становится не транспортный поток в совокупности, а отдельные ТС.

Разделение потоков во времени преследует две основные цели: исключение конфликтов, т.е. одновременного нахождения автомобилей в точке пересечения траекторий их движения, и снижение вероятности образования затора, т.е. превышения критической плотности потока на каком-либо из участков УДС. Современные технологии кооперативных ИТС (V2I, V2V) уже позволяют значительно снизить вероятность столкновения автомобилей за счет предупреждения водителей, автоматизация управления еще больше снизит эту вероятность. Разделение потоков во времени для предотвращения образования заторов может дать значительный эффект в снижении суммарной задержки, если удастся полностью исключить образование затора. Причина заключается в том, что образование затора снижает пропускную способность, как отдельного участка дороги, так и УДС в целом, что подтверждает ряд зарубежных и отечественных исследований, например [7,8]. Традиционными методами (рекомендации времени выезда, скорости движения и т.д.) невозможно исключить образование затора и снижения эффективности работы УДС. С автоматизацией управления автомобилем это становится возможным, путем автоматического регулирования времени выезда на УДС и скорости движения с учетом возможных перегрузок участков сети.

Рассматривая меры по регулированию скорости отдельных автомобилей, времени выезда на УДС и направление потоков по оптимальным маршрутам как направленное действие с целью снижения задержек за счет поддержания транспортных потоков в определенном состоянии, можно сказать, что имеет место новый метод ОДД – *управление формированием транспортных потоков*. При реализации этого метода в виде полномасштабной системы управления охватывающей УДС города и шире, становится возможным вместо реальных заторов формировать виртуальные очереди, время ожидания в которых будет существенно меньше за счет поддержания работы сети в оптимальном режиме. Подробное описание работы такой системы и оценка возможности ее внедрения изложены в диссертационном исследовании автора [9].

Анализ перспектив появления беспилотных автомобилей показал, что от полного перехода на беспилотные автомобили можно ожидать значительного повышения производительности транспортной сети, причем не только вследствие уменьшения расстояния между автомобилями, но и от оптимального их распределения во времени и пространстве. При первом появлении полностью автоматических автомобилей, способных передвигаться по дорогам общего пользования не произойдет значительных изменений в эффективности процесса дорожного движения. Максимальный эффект может быть достигнут только при полном замещении всего парка автомобилей, а по сегодняшним оценкам произойдет это не раньше, чем через 30-40 лет [10]. Тем не менее, ощутить значительную часть этого эффекта можно гораздо раньше полного перехода на беспилотные автомобили. Уже в современных условиях можно создать систему управления формированием транспортных потоков, которая регулирует доступ к УДС и оптимально распределяет потоки по маршрутам, не допуская образования заторов. Такая система позволит осуществить более плавный и быстрый переход к полностью автоматической транспортной системе и стимулировать использование беспилотных автомобилей.

Кроме повышения производительности УДС и повышения безопасности, появление беспилотного транспорта может вызвать в разных сферах ряд последствий, как положительных, так и отрицательных. Ожидается увеличение общего уровня мобильности населения за счет того, что совершать индивидуальные поездки смогут люди, не имеющие водительского удостоверения или имеющие ограничения по состоянию здоровья. Также возрастет общая подвижность населения за счет повышения уровня безопасности и комфортности поездок. Все это приведет к росту интенсивностей потоков, что говорит о необходимости предварительной проработки системы управления движением. Другим неочевидным эффектом может стать интенсивное разрастание пригородных территорий, вследствие существенного снижения обобщенной стоимости поездок из-за того, что время, проведенное в дороге, можно использовать для выполнения различной деятельности. Вместе с тем, центральная часть города может стать более привлекательной и удобной для проживания за счет выноса большинства парковочных мест на периферию или в специальные паркинги. Одной из существенных проблем остается вопрос безопасности системы с точки зрения возможности несанкционированного доступа и хакерских атак.

Несомненно, беспилотный транспорт принесет значительную пользу для жителей городов. Проведенные исследования показывают, что только за счет оптимального распределения потоков по маршрутам и во времени можно повысить пропускную способность УДС на 50-70 %, а при полной автоматизации управления движением до 300 %. Учитывая современные тенденции в сфере информационных технологий, представляется, что появление и развитие беспилотного транспорта произойдет даже более быстрыми темпами, чем это прогнозируется в настоящее время. В этой связи представляется необходимым продолжить исследования возможных эффектов от появления беспилотных автомобилей, детально проработать алгоритмы работы системы управления движением на каждом из этапов автоматизации и при различной степени распространения, разработать методы моделирования таких систем, проанализировать влияние на другие виды транспорта, разработать концепцию и стратегию развития транспортных систем городов с учетом беспилотного транспорта.

Список библиографических ссылок

1. SAE 2011 Autonomous Vehicle Symposium. August 9-10, 2011. Carnegie Mellon University. Pittsburgh, USA. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.sae.org/events/training/symposia/avs/>.
2. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. SAE Information Report J3016. 2014.
3. Policy on automated vehicles, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), USA, 2014.
4. Клиновштейн Г. И. Организация дорожного движения : учеб. для вузов / Г. И. Клиновштейн, М. Б. Афанасьев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1997. – 231 с.
5. Fajardo D. T. et al, “Automated Intersection Control: Performance of Future Innovation Versus Current Traffic Signal Control “, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2259, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2011, pp. 223–232.
6. Rapoport A., Kugler T., Dugar S., Gisches E. J. Choice of routes in congested traffic networks: Experimental tests of the Braess Paradox // Games and Economic Behavior, 2009, V. 65, pp. 538-571.
7. Geroliminis N., Daganzo C.F., Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: some experimental findings. Transportation Research Part B 42 (9), 2008, pp. 759–770.
8. Зырянов В.В. Особенности применения основной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне. / Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 7. № 21 (124). – С. 71-74.
9. Белов А.В. Повышение эффективности использования улично-дорожных сетей на основе управления формированием транспортных потоков: диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.01 / Белов Александр Владимирович; [Место защиты: Моск. гос. автомобил.-дорож. ун-т (техн. ун-т)].- Москва, 2014. – 134 с.
10. Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute, 2015.

Belov A.V. – candidate of technical sciences, assistant professor
E-mail: belov_trans@mail.ru
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia

Analysis of the prospects for the use of autonomous vehicles and their impact on the traffic engineering and management approaches

Abstract

At present time the appearance of highly automated vehicles on public roads is an issue of five to seven years. The paper is intended to investigate urban network traffic flows formation and the perspectives of traffic engineering and management methods evolution in presence of automated and autonomous vehicles. The short review of tendencies in vehicle control automation is presented. Based on the deep analysis of principles of traffic flows formation, the paper describes opportunities of improving traffic network efficiency by flows distribution in time and space, that becomes available with automated and autonomous vehicles appearance. Scientific-practical recommendations are made about developing a traffic flow formation management system. Briefly described possible social and land using outcomes from autonomous vehicles expansion. Further directions of investigation in this field are formulated.

Keywords: traffic management, autonomous vehicles, cooperative ITS, optimal traffic assignment, network capacity, departure time choice.

Reference list

1. SAE 2011 Autonomous Vehicle Symposium. August 9-10, 2011. Carnegie Mellon University. Pittsburgh, USA. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.sae.org/events/training/symposia/avs/>.
2. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. SAE Information Report J3016. 2014.
3. Policy on automated vehicles, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), USA, 2014.
4. Klinkovstein G.I., Afanasiev M.B. Organizatsia dorozhnogo dvizhenia [Road traffic engineering], 4-th issue, Moscow, Transport Publ., 1997, 231 p. (In Russian).
5. Fajardo D. T. et al, “Automated Intersection Control: Performance of Future Innovation Versus Current Traffic Signal Control “, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2259, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2011, pp. 223–232.
6. Rapoport A., Kugler T., Dugar S., Gisches E. J. Choice of routes in congested traffic networks: Experimental tests of the Braess Paradox // Games and Economic Behavior, 2009, V. 65, pp. 538-571
7. Geroliminis N., Daganzo C.F. Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: some experimental findings. Transportation Research Part B 42 (9), 2008, pp. 759–770.
8. Zyryanov V.V. Osobennosti primeneniya osnovnoj diagrammy transportnogo potoka na setevom urovne [Features of implementation of fundamental traffic flow diagram on the network level], Proceedings of Volgograd State Technical University, 2013, vol. 7. no. 21 (124), pp. 71-74. (In Russian).
9. Belov A.V. Povyshenie ehffektivnosti ispol'zovaniya ulichno-dorozhnyh setej na osnove upravleniya formirovaniem transportnyh potokov [More efficient use of road networks on the basis of the traffic flows formation management], PhD dissertation theses. MADI, Moscow, 2014, 134 p. (In Russian).
10. Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute, 2015.