

## ОБЗОР АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОМОБИЛЕЙ

*Гурьянова Е.О.*

*Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, 423812, г. Набережные Челны, пр. Мира, д. 68/19 (1/18)*

*e-mail: terinayeka@gmail.com*

*поступила в редакцию 4 февраля 2016 года*

### Аннотация

Статья посвящена обзору классификаций и подходов, используемых при создании автомобилей с автоматизированными системами управления движением. Описаны основные типы автомобилей, характеризующихся высокой степенью автоматизации. Кратко изложен опыт отечественных и зарубежных разработчиков в области систем управления роботизированными автомобилями. Рассматривается роль Систем помощи водителю (Advanced Driver Assistance Systems – ADAS) в требованиях к безопасности и надёжности транспортного средства (далее по тексту: ТС).

**Ключевые слова:** *автоматизированная система управления движением, автомобиль с автономным управлением, ADAS-система, автоматизированная система вождения, SAE J3016, классы автоматизации управления ТС, роботизированный автомобиль, беспилотные наземные машины (unmanned ground vehicle UGV).*

**Введение.** В настоящее время по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на 2015 год количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) со смертельным случаем в РФ составляет 18,9 на 100 тыс. населения. В Европе этот показатель в два раза меньше. В данном случае можно сказать, что страны с развитым техническим потенциалом используют действенные методы борьбы по повышению безопасности на дорогах. Как правило, причинами ДТП становятся нарушения правил дорожного движения, недостаточная квалификация водителей. В свою очередь неэффективное управление транспортным средством приводит к перерасходу горюче-смазочных материалов, повышенному износу узлов и агрегатов, возникновению дорожных заторов, что повышает нагрузку на экосистему города из-за увеличенного объёма выхлопных газов.

Одним из наиболее эффективных способов решения проблем, вызванных влиянием «человеческого фактора», является широкое внедрение технологий автономного вождения и совершенствования систем помощи водителю (ADAS). В настоящий момент практически все крупные автопроизводители реализуют проекты, направленные на создание частично или полностью автономных транспортных средств, а к 2020 году западные аналитики уже прогнозируют внедрение автомобилей с автономным управлением в серийное производство.

Следует отметить, что инновации, о которых идёт речь, полезны не только для коммерческих автомобилей. Военное применение технологий автономного вождения позволит сохранить жизнь солдат: транспортировка оружия и снаряжения в опасной местности будет производиться без участия водителя. В сельском хозяйстве роботизированные автомобили могут широко использоваться для совершения рутинных и трудоёмких операций, таких как орошение полей и мониторинг полевых культур. Для горнодобывающей промышленности характерна работа в тяжёлых климатических условиях и глубоких карьерах, что вызывает ряд проблем с организационно-технической точки зрения. Дистанционное и автономное управление позволяет улучшить условия труда человека и добиться оптимального использования спецтехники [1]. Таким образом, можно сказать, что назначение и функции роботизированных автомобилей очень разнообразны. Автономные системы управления автомобиля входят в категорию систем автоматизированного движения

и отличаются высокой интеллектуализацией, они управляют динамикой автомобиля комплексно, а роль водителя перестаёт быть главенствующей.

По мере роста числа ТС со вспомогательными системами возникла необходимость классифицировать их в зависимости от степени автоматизации. Для этих целей применяется иерархический метод классификации. Класс соответствует уровню автоматизации, система управления движением автомобиля включает в себя те свойства, которые содержатся в системе на класс выше. Это относится ко всем классам, кроме того, который соответствует нулевому уровню.

Автономная система управления движением автомобиля предполагает, что все функции ТС в режиме реального времени будут адекватно работать без одновременного вмешательства в них со стороны человека. Цель представленной статьи – рассмотреть основные классификации автоматизации управления ТС, а также привести примеры развития ADAS-систем современных грузовых автомобилей.

**Стандарт по автоматизированным системам управления движением ТС SAE.** Сообщество автомобильных инженеров (Society of Automotive Engineers, SAE) подготовило стандарт SAE J3016 [2]. Так как классификация из этого стандарта стала наиболее распространённой, она приведена ниже в таблице 1 [3].

Таблица 1. – Классы автоматизации управления ТС согласно стандарту SAE J3016.

№	Название	Описание	
0	Без автоматизации	Весь процесс вождения контролирует водитель, задача управления динамикой автомобиля* лежит полностью на нём, даже если ТС оснащено системой предупреждения и воздействия.	Водитель проводит мониторинг окружающей среды самостоятельно
1	Включающий помощь водителю	Содействие водителю в управлении рулевой системой или тормозами и педалью подачи топлива, используя информацию о внешней среде. Система ожидает, когда водитель предпримет все оставшиеся действия, помимо тех, которые выдаёт система.	
2	Частично автоматизированный	Такой режим управления включает в себя сразу две ADAS-системы, которые способны воздействовать и на рулевое управление и на ускорение/торможение, совместно функционируя.	
3	Условно автоматизированный	Система автоматизации вождения берёт на себя полностью контроль за динамикой автомобиля, но только в том случае, если водитель соответствующим образом отреагирует на её сигнал вмешаться.	Система автоматизации вождения будет следить за внешней средой
4	Высоко автоматизированный	Система автоматизации вождения берёт на себя управление ТС, даже в том случае, если водитель не отреагировал на требование вмешаться в процесс управления, т.е. разрешение водителя не является необходимым. Решение принимает сама система управления динамикой автомобиля.	
5	Полностью автоматизированный	Система автоматизации вождения полностью берёт на себя те же функции, что и водитель, при этом она может работать в любых условиях внешней среды.	

Примером систем автоматизированного вождения нулевого уровня являются FCW (Forward Collision Warning – предупреждение о фронтальном столкновении), BSW (Blind Spot Warning – контроль за слепой зоной) и т.д. Первый уровень отражает степень комфорта управления, например: ACC (Adaptive Cruise Control – адаптивный круиз контроль), LKA

(Lane Keeping Assist – система поддержания полосы движения). Уровень автоматизации ТС зависит не только от наличия ADAS-систем, но и от того, происходит ли их совместная работа. Например, ACC в сочетании с LKA представляют собой второй уровень автоматизации. Третий уровень характеризуется возможностью маневрировать в таких условиях, как городское движение, образец системы с подобным принципом работы – Traffic Jam Assist. Водитель подключается к такому режиму, если впереди идущий транспорт движется медленно, всё управление ТС тщательно контролируется человеком, при этом скорость не должна достигать более 60 км/ч. Четвёртый уровень позволяет водителю не вмешиваться в процесс управления, обеспечивая контроль за продольной и боковой динамикой ТС. Подразумевается, что ТС движется автономно только в определённых режимах, когда можно включать эти режимы определяет сам водитель. Пример этого уровня – Highway Chauffeur, эта система позволяет ехать по магистрали с ослаблением внимания водителя, но исключая его полное невмешательство, кроме того, сложные манёвры, такие как обгон осуществляться не могут, максимальная скорость движения – 130 км/ч.

Пятый уровень олицетворяет концепцию беспилотного такси. Беспилотное такси выполняет весь ряд динамических задач, встающих перед среднестатистическим водителем: начиная от начальной точки маршрута до пункта назначения. Среди беспилотных такси можно выделить два типа: предназначенный для работы в условиях городского цикла и универсальный. К первому относится роботизированный автомобиль от Google, такие ТС могут развивать скорость до 40 км/ч, обеспечивая необходимые требования безопасности. Универсальный тип должен эксплуатироваться на всех видах дорог: как в городе, так и за пределами населённых пунктов, максимальная же скорость может достигать 130 км/ч.

**Классификация NHTSA.** Национальное агентство по безопасности дорожного движения США (NHTSA) представило классификацию из пяти уровней в 2012 году. Их основное различие от других классификаций в том, что они относят к одному классу ТС с ADAS-системой Traffic Jam Pilot и беспилотное такси. Отсутствует промежуточный класс для высокоавтоматизированных ТС, в которых решение о назначении маршрута является прерогативой человека.

Нулевой уровень – без автоматизации: водитель управляет динамикой автомобиля при всех режимах движения. Первый уровень – автоматизация отдельных систем управления. Одним из наиболее распространённых примеров первого уровня является антиблокировочная система ABS, которая устанавливается на большую часть автомобилей. Второй уровень – автоматизация двух или более функций, способных работать совместно. 3-й уровень – система включает режим автономного движения в определённых условиях; 4-й уровень – полная система автономного управления, вмешательство водителя не требуется.

**Классификация Freescale Semiconductor.** Американской компанией Freescale Semiconductor была произведена классификация ADAS-систем, эволюционирующих в технологии автономного управления. ADAS-системам соответствуют временные рамки реализации и уровни: 1-й уровень – содействие водителю (2010 г, распознавание дорожных знаков); 2-й уровень – высоко автоматизированные системы (2015 г, распознавание сигналов с радара и видеокамеры); 3-й уровень – система автономного движения («Автопилот») [4].

**Концепция ABI Research по технологии автономного вождения.** Аналитики ABI Research выделили несколько стадий развития автоматизированного вождения исходя из того, какой тип безопасности будет обеспечиваться [5].

- «Пассивное» вождение: традиционная телематика и сеть мобильной связи второго поколения.
- «Активное» вождение: обнаружение препятствий и избегание столкновений; ADAS-системы: радары, машинное зрение, сонары.

- Кооперативное (совместное) вождение: технология V2V (Vehicle-to-Vehicle) применяется для «общения» между автомобилями; V2I (Vehicle-to-Infrastructure) автомобиль-инфраструктура (стационарные объекты дорожной инфраструктуры). Обе технологии основаны на DSRC (Dedicated short-range communications) – беспроводной связи на небольших расстояниях.

- Автономное вождение: беспилотные автомобили; сеть мобильной связи, V2X (Vehicle-to-Everything), датчики ADAS-систем.

Классификация автомобилей с автономным управлением ABI Research описана тремя классами.

1. Помощник водителя. Водитель присутствует, и все действия совершает сам. ADAS-системы содействуют водителю в аспекте безопасности: предупреждение о фронтальном столкновении FCW (Forward Collision warning), отслеживание мёртвой зоны (BSA) Blind Spot Assist. Ко всему прочему, на этом уровне создаются условия для комфортного вождения благодаря ACC.

2. «Второй пилот». При определённых режимах движения автомобиля ACC и рулевое управление на высоких скоростях, в колонне, при городском движении, парковке.

3. Робот. На этом уровне водителя нет: от начальной до конечной точки автомобиль движется самостоятельно. Пример такого автомобиля будущего – беспилотные такси.

Кроме представленных выше классификаций существуют также категоризации, разработанные рабочими группами VDA и BASt, экспертные группы которых включают в себя специалистов из: BMW, Bosh, Daimler, Ford, Knorr Bremse, Continental и не др.

**Автомобили с автономным управлением.** С 2004 по 2010 гг. в США проходили состязания автомобилей-роботов DARPA Grand Challenge [6]. Среди грузовых автомобилей наиболее успешным проектом оказался беспилотный автомобиль Oshkosh Terramax Unmanned Ground Vehicle (беспилотная наземная машина UGV), в настоящее время он эксплуатируется в различных режимах для тактических целей армии США: движение в колонне, при дистанционном управлении; в среде, недоступной для GPS-навигации [7]. Кроме того, Terramax оснащён передовыми ADAS-системами. Заявленные производителями автомобиля характеристики и функции позволяют отнести Terramax к высшему 5-му уровню в классификации SAE. «Большая семёрка» производителей грузовых автомобилей активно вкладывает ресурсы в системы автономного управления автомобилями. Не только США организуют проекты по созданию автомобилей с автономным управлением: правительство Швеции активно поддерживает проект Volvo Car Group «Drive me». Проект предусматривает создание ТС класса «высокоавтоматизированное» (классификация Федерального исследовательского института дорожного движения Германии (BASt)) [8]. Scania также вовлечены в проекты по развитию автономного управления автомобилями, их основной интерес – движение ТС в колонне. Европейская комиссия в рамках 7-й Рамочной программы финансирует проект по безопасным автопоездам для окружающей среды Safe Road Trains for the Environment (SARTRE). С целью верификации технологии автономного движения в колонне, когда один из автомобилей является ведущим, а остальные следуют за ним по трассе, были проведены испытания, в которых исследовалась влияние геометрии впереди идущего автомобиля и других конфигураций колонны на расход топлива и безопасность вождения. Состав колонны включал в себя два грузовика и три легковых автомобиля [9]. MAN в октябре 2015 года презентовал в рамках проекта UR:VAN две системы – «Green Wave Assistant» и «Panorama View». Первая отвечает за расчёт наиболее выгодной стратегии передвижения ТС по имеющимся данным о других участниках движения и инфраструктуре дороги, позволяя экономить топливо. Причём автомобиль передвигается в автономном режиме. Вторая система – круговой обзор для автобусов [10]. Mercedes-Benz Actros продемонстрировали безопасность интеллектуальной системы «Highway Pilot», проведя пробег на автобанах между Декендорфом и аэропортом Штутгарта.

Система управления ТС включает в себя несколько систем безопасности, что позволяет не прибегать к получению информации от глобальной сети, вся необходимая информация есть на бортовом компьютере [11].

Последние достижения в области роботизированных автомобилей отечественных разработчиков демонстрировались в таких соревнованиях, как «Робокросс», «Евробот». Команда СКБ РГРТУ «Аврора» с автомобилем-роботом на базе «ГАЗель БИЗНЕС», троекратно становилась победителем в «Робокроссе». Команда ФГУП НАМИ в 2015 году предоставила роботизированную платформу на базе LADA Kalina в кузове седан. Эти инициативы позволяют говорить о развитии проектов по автономным автомобилям и среди отечественных учёных.

Нельзя не упомянуть об успешной реализации проекта по дистанционному управлению карьерных самосвалов на базе автомобилей БелАЗ, Разработки принадлежат ООО «ВИСТ Майнинг Технолоджи», которые выполняются в рамках концепции «Интеллектуальный самосвал».

**Проблемы функциональной безопасности.** Проблемы, встающие на пути проектирования систем управления роботизированными автомобилями, вызваны тем, что их отказы способны нанести большой ущерб. Вопросы безопасности автомобилей с автономным управлением стоят наиболее остро, так как самоцелью таких разработок является её же повышение. В настоящее время существует международный стандарт функциональной безопасности ТС – ISO 26262, который является основным документом, предназначенным для применения в электрических и/или электронных системах ТС [12,13]. Исследователи компаний Volvo Car Corporation, SP, Semcon, Qamcom, KTH и Comentor предлагают совершенствование требований в ISO 26262, обосновывая это появлением высокоавтоматизированных ТС в серийном производстве в ближайшие пять лет. Авторы указывают в своей работе на семантические пропасти в содержании ISO 26262, а также на общий характер требований, который мешает анализу рисков. Было предложено понятие «цели безопасности». Пример общего определения: «Функция автоматизированного вождения с поддержанием полосы движения позволяет водителю заниматься второстепенными делами, не заботясь о том, чтобы следить за перемещением автомобиля-лидера при скорости свыше 70 км/ч». Один из предложенных вариантов целей безопасности (относится к передвижению ТС в колонне): «Ведущий автомобиль должен поддерживать абсолютно безопасную дистанцию по отношению ко всем объектам. Под абсолютной безопасной дистанцией подразумевается расстояние, которое позволяет избежать столкновений». Таким образом, можно говорить о том, что требования к функциональной безопасности ТС будут дополняться и преобразовываться. Безусловно, в последнее время ужесточаются требования к безопасности, особенно в ЕС. С 1 ноября 2015 года все ТС, поставляемые в ЕС и имеющие массу свыше 8 тонн, должны быть оснащены АЕBS-системой (Advanced Emergency Braking System – система опережающего экстренного торможения). АЕBS в исполнении MAN получает предупреждающий сигнал от радара или камеры, затем подаёт несколько сигналов предупреждения водителю, при отсутствии его реакции, она самостоятельно инициирует экстренное торможение [14].

**Выводы.** Проведён сравнительный анализ существующих роботизированных автомобилей. Анализ текущего состояния исследований в этой области позволяет говорить о том, что автопроизводители взяли чёткий курс на разработку ТС с автономным управлением, в будущем это определит конкурентоспособность продукции на мировой арене. С этой целью ведутся работы по созданию стандартов и их расширению. Из описанных в статье классификаций наиболее адаптированной и исчерпывающей можно назвать классификацию SAE. Были проанализированы общие понятия, соответствующие тому или иному классу автоматизации управления ТС. Требования к безопасности функций роботизированного

автомобиля следует формировать из наработанных рекомендаций со стороны зарубежных исследователей, приближая их к потребностям продукции российского производства, а также учитывая особенности условий эксплуатации.

**Благодарность.** Выражаю особую благодарность к.т.н., доценту кафедры системного анализа и информатики Набережночелинского института КФУ, Демьянову Дмитрию Николаевичу за помощь в подготовке к публикации; своему научному руководителю – д.т.н., профессору МИРЭА Асанову Асхату Замиловичу, а также заместителю главного конструктора ПАО «КАМАЗ» по научной работе и инновациям, к.т.н., заведующему кафедрой системного анализа и информатики Карабцеву Владимиру Сергеевичу.

### Список литературы

- 1) Интернет-ресурс: Принципы построения системы дистанционного и автономного управления карьерным самосвалом. <http://vistgroup.ru/pressroom/7/101/> Дата обращения (28.11.2015).
- 2) SAE J3016. Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems. Warrendale: Society of Automotive Engineers; 2014.
- 3) Gordon T.J., Lidberg M. Automated driving and autonomous functions on road vehicles // Vehicle System Dynamics. №7 (53). P.958-994.
- 4) Интернет-ресурс: Freescale's Advanced Processor for Next Generation ADAS: S32V234. [http://cache.freescale.com/files/automotive/doc/white\\_paper/S32V230WP.pdf](http://cache.freescale.com/files/automotive/doc/white_paper/S32V230WP.pdf) Дата обращения (26.11.2015).
- 5) Интернет-ресурс: webinar:Autonomous Vehicle. <https://www.abiresearch.com/market-research/product/1017660-webinar-autonomous-vehicles/> Дата обращения (15.12.2015).
- 6) Гиббз У. Триумф роботов // В мире науки. 2006. №4. С.40-47.
- 7) Интернет-ресурс: When you'd rather not send anyone <http://oshkoshdefense.com/technology-1/unmanned-ground-vehicle/#history>. Дата обращения (28.11.2015).
- 8) Интернет ресурс: Volvo Cars and Autoliv join forces in Autonomous Driving. <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/167551/volvo-cars-and-autoliv-join-forces-in-autonomous-driving>. Дата обращения (15.12.2015).
- 9) Davila A., Del Pozo E., Aramburu E., Freixas A. Environmental benefits of vehicle platooning // Symposium on International Automotive Technology, SIAT 2013. Pune, Maharashtra; India, 2013.
- 10) Интернет-ресурс: MAN показал городской «почти беспилотник» // Автотрак. 2015. №5. С.62-63. <http://www.autotruck-press.ru/archive/number145> Дата обращения (21.12.2015).
- 11) Интернет-ресурс: Карасёв А.В. Highway Pilot вышел на дорогу // Автотрак. 2015. №4. С.40-45. <http://www.autotruck-press.ru/archive/number144> Дата обращения (21.12.2015).
- 12) Интернет-ресурс: Road vehicles – Functional safety – Part 1: Vocabulary. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:26262:-1:ed-1:v1:en>. Дата обращения (01.12.2015).
- 13) ГОСТ Р ИСО 26261 – 2014. Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. – Москва: Стандартинформ, 2015. 20 с.
- 14) Интернет-ресурс: Карасёв А.В. MAN объявил о готовности // Автотрак. 2015. №4. С.62-65. <http://www.autotruck-press.ru/archive/number144> Дата обращения (21.12.2015).