

Понятийный аппарат для описания систем автоматизированного вождения автотранспортных средств



В. В. Комаров,
к. т. н., доцент,
первый заместитель
генерального директора
по научной работе
ОАО «Научно-исследо-
вательский институт
автомобильного тран-
спорта» (ОАО «НИИ АТ»)



С. А. Гараган,
д. т. н., главный научный
сотрудник
ОАО «НИИ АТ»

В статье предложен русскоязычный понятийный аппарат для описания высокоуровневых моделей функционирования систем автоматизированного вождения транспортных средств (ТС). Предложены подходы к оценке эффективности систем автоматизированного вождения ТС и определены основные направления их развития. Определены особенности использования ТС различных уровней автоматизации.

Для роста экономики любого государства необходимо обеспечить устойчивый рост мобильности населения. Автоматизированное вождение транспортных средств (ТС) является одним из приоритетных решений этой задачи, так как его внедрение способствует улучшению показателей безопасности дорожного движения, сокращению выбросов загрязняющих веществ от ТС, рациональному использованию ресурсов и развитию телекоммуникационных и информационных технологий [1–3, 8, 9, 12].

В долгосрочной перспективе автоматизация ТС может способствовать появлению новых бизнес-моделей, таких как общая мобильность, что приведет к значительному сокращению количества ТС на дорогах [4–7].

При разработке требований к системам автоматизированного вождения

ТС и методов оценки их соответствия предъявляемым требованиям необходимо создание высокоуровневых моделей функционирования таких систем. Описание этих моделей требует гармонизированного русскоязычного понятийного аппарата, пока не разработанного.

При анализе проблемы использованы публикации российских и зарубежных ученых. Рассмотрено современное понимание концепций создания и развития систем автоматизированного вождения ТС, их применения для повышения качества жизни и роста экономики. Выявлены основные проблемы перехода к автоматизированному вождению. Рассмотрены особенности уровней автоматизации ТС, подходы к оценке эффективности систем автоматизированного вождения ТС и проектов их развития.

В 2016 г. опубликована новая редакция [10] стандарта SAE (Society of Automobile Engineers) J3016 «Системы автоматизированного вождения АТС. Классификация, термины и определения», содержащая существенные изменения.

Стандарт SAE J3016 может быть аналогом для разработки русскоязычного понятийного аппарата и методов формирования моделей функционирования систем автоматизированного вождения ТС. В статье представлены результаты работы авторов по адаптации используемых в зарубежных странах, в частности в США, терминов и определений, необходимых для создания и развития гармонизированных систем автоматизированного вождения ТС в Российской Федерации.





Рис. 1. Схематическое представление задачи вождения, показывающее часть динамической задачи вождения

Базовые понятия в предметной области знаний по автоматизированным транспортным средствам

Для российской практики рекомендуется принять следующие версии базовых понятий в области проектирования и эксплуатации автоматизированных ТС.

Динамическая задача вождения (ДЗВ; dynamic driving task, DDT) — все операционные и тактические функции в реальном времени, требуемые для функционирования ТС в дорожном движении, исключая стратегические функции: планирование поездки и выбор мест назначения, поворотных и остановочных пунктов, — и включая без ограничения:

- 1) управление боковым движением ТС с помощью рулевого механизма (операционная функция);
- 2) управление продольным движением ТС с помощью ускорения и замедления (операционная);
- 3) мониторинг окружающей среды вождения: обнаружение, распознавание, классификация и подготовка к реагированию на объекты и события (операционная и тактическая функции);
- 4) реагирование на объекты и события (операционная и тактическая);
- 5) планирование маневра (тактическая);
- 6) улучшение видимости с помощью освещения, передачи сигналов, указаний направления движения и т. д. (тактическая).

Схематическое представление задачи вождения показано на рис. 1.

Обнаружение и реагирование на объекты и события (ОРОС; object

and event detection and response, OEDR) — подзадачи ДЗВ, включающие мониторинг окружающей среды вождения (обнаружение, распознавание, классификацию объектов и событий и подготовку к необходимому реагированию), и реагирование на соответствующие объекты и события.

Продолжительное управление ТС (sustained operation of a vehicle) — выполнение части или всей ДЗВ между внешними событиями и в течение внешних событий, включая реагирование на них и продолжение исполнения части или всей ДЗВ в отсутствие событий. Под внешними событиями понимаются сигналы в окружающей среде вождения (например другие ТС, дорожная разметка, дорожные знаки), которые требуют реагирования водителя или системы автоматизированного вождения.

Продолжительное исполнение ДЗВ или ее части системой автоматизации вождения изменяет роль пользователя. В отличие от этого автоматизированное непродолжительное вмешательство, согласно определению, нельзя отнести к автоматизации вождения. Следовательно, системы, обеспечивающие мгновенное вмешательство в управление боковым и/или продольным движением ТС, управляющие, но не выполняющие части ДЗВ на продолжительной основе (например, антиблокировочные тормозные системы, электронный контроль устойчивости, автоматизированное торможение в чрезвычайной ситуации), не включаются в классификацию (кроме уровня 0)

по стандарту J3016.

Обычный круиз-контроль не обеспечивает продолжительное управление, поскольку не реагирует на внешние события.

Режим вождения (driving mode) — тип функционирования ТС с характерными требованиями ДЗВ (например слияние автострад, высокоскоростное движение, медленное движение в пробке и др.).

Проектная область функционирования (ПОФ; operational design domain, ODD) — специальные условия, для функционирования в которых разработана система или функция автоматизации вождения, включая режимы вождения (но не ограничиваясь ими). Проектная область функционирования может включать географические, дорожные, экологические, потоковые, скоростные и/или временные ограничения. Система автоматизации вождения (САВ) может быть создана, чтобы работать, например, только в пределах географически определенной территории со скоростью менее 25 км/ч и (или) только при дневном свете.

Проектная область функционирования может включать один режим вождения или более. Например, САВ может быть разработана, чтобы управлять ТС только на автострадах с полностью управляемым доступом и в медленном либо быстром движении или в том и другом режиме.

С использованием введенных терминов формулируются определения наиболее общих объектов рассматриваемой области.

Автоматизация вождения (driving automation) — исполнение части или всей ДЗВ на продолжительной основе.

Таблица 1. Уровни автоматизации вождения

Уровень	Наименование	Вербальное определение	Динамическая задача вождения (ДЗВ)		Аварийный режим ДЗВ	Проектная область функционирования (ПОФ)
			Продолжительное управление продольным и боковым движением транспортного средства	Обнаружение и реагирование на объекты и события (ОРОС)		
Водитель выполняет часть ДЗВ						
0	Нет автоматизации вождения	Выполнение водителем всей ДЗВ, даже при улучшении систем активной безопасности	Водитель	Водитель	Водитель	—
1	Помощь водителю	Продолжительное выполнение системой автоматизации вождения в пределах ПОФ подзадачи управления продольным или боковым (но не тем и другим одновременно) движением транспортного средства ДЗВ с условием, что водитель выполняет оставшуюся часть ДЗВ	Водитель и система	Водитель	Водитель	Ограниченная
2	Частичная автоматизация вождения	Продолжительное выполнение системой автоматизации вождения в пределах ПОФ всей ДЗВ с условием, что водитель завершает выполнение подзадачи ОРОС и контролирует систему автоматизации вождения	Система	Водитель	Водитель	Ограниченная
Система высокой автоматизации вождения (СВАВ), когда она задействована, выполняет всю ДЗВ						
3	Условная автоматизация вождения	Продолжительное выполнение СВАВ в пределах ПОФ подзадач управления продольным и боковым движением транспортного средства ДЗВ с условием, что пользователь, готовый к реализации аварийного режима ДЗВ, восприимчив к выданным СВАВ запросам вмешательства, а также к системным отказам, важным для выполнения ДЗВ, других систем транспортного средства и будет реагировать соответственно	Система	Система	Пользователь, готовый к реализации аварийного режима ДЗВ (становится водителем во время аварийного режима)	Ограниченная
4	Высокая автоматизация вождения	Продолжительное выполнение СВАВ в пределах ПОФ всей ДЗВ и аварийного режима ДЗВ без ожидания, что пользователь будет реагировать на запрос вмешательства	Система	Система	Система	Ограниченная
5	Полная автоматизация вождения	Продолжительное и не ограниченное ПОФ выполнение СВАВ всей ДЗВ и аварийного режима ДЗВ без ожидания, что пользователь будет реагировать на запрос вмешательства	Система	Система	Система	Неограниченная

Системы или технологии автоматизации вождения (driving automation system or technology) — аппаратное и программное обеспечение, совместно обеспечивающее исполнение части или всей ДЗВ на продолжительной основе. Термин описывает любую систему, способную к автоматизации вождения уровней 1–5.

Система автоматизированного вождения (Automated driving system, ADS) — аппаратное и программное обеспечение, совместно обеспечивающее выполнение всей ДЗВ на продолжительной основе, независимо от ограничений ПОФ. Термин используется, чтобы описать САВ уровней 3–5.

В отличие от системы автоматизированного вождения общее обозначение

«система автоматизации вождения» соответствует любой системе уровней 1–5 или функции, выполняющей динамическую задачу вождения либо ее часть на продолжительной основе. С учетом подобия между общим обозначением «система автоматизации вождения» и конкретным термином уровней 3–5 «система автоматизированного вождения» в стандарте предлагается для последнего термина, если это возможно, использовать аббревиатуру ADS, в то время как предыдущий термин не нужно сокращать.

В целях предотвращения путаницы при использовании созвучных терминов с совпадающими сокращениями для обозначения различных объектов предлагается в русскоязычном варианте вместо термина «система автоматизированного

вождения» применять термин «система высокой автоматизации вождения» и сокращение СВАВ, а для термина «система автоматизации вождения» использовать сокращение САВ.

Безопасность функционирования САВ транспортных средств

Необходимо предусмотреть возможность возникновения неисправностей, ограничивающих возможность автоматизированного вождения. Для этого предлагается ряд терминов.

Системный отказ (DDT performance-relevant system failure) — сбой в САВ и/или другой системе ТС, препятствующий надежному выполнению ДЗВ САВ (частичному или полному). Определение относится к условиям неисправности ТС

Таблица 2. Роли человека-водителя и системы автоматизации вождения по уровням автоматизации вождения

Уровень автоматизации вождения	Роль пользователя	Роль системы автоматизации вождения
Водитель выполняет динамическую задачу вождения (ДЗВ)		
Уровень 0: нет автоматизации вождения	Водитель (всегда) выполняет ДЗВ полностью	Система автоматизации вождения (если имеется): <ul style="list-style-type: none"> • не выполняет никакой части ДЗВ на продолжительной основе (хотя другие системы транспортного средства могут обеспечить предупреждение или поддержку, например мгновенное чрезвычайное вмешательство)
Уровень 1: помощь водителю	Водитель (всегда): <ul style="list-style-type: none"> • выполняет часть ДЗВ, не выполненную системой автоматизации вождения; • контролирует ее работу и вмешивается по мере необходимости, чтобы поддерживать безопасное управление транспортным средством; • определяет целесообразность включения или выключения системы автоматизации вождения; • немедленно выполняет всю ДЗВ, когда это необходимо или желательно 	Система автоматизации вождения (когда задействована): <ul style="list-style-type: none"> • выполняет часть ДЗВ, решая подзадачи управления продольным или боковым движением транспортного средства; • отключается немедленно по требованию водителя
Уровень 2: частичная автоматизация вождения	Водитель (всегда): <ul style="list-style-type: none"> • выполняет часть ДЗВ, не выполненную системой автоматизации вождения; • контролирует ее работу и вмешивается по мере необходимости, чтобы поддерживать безопасное управление транспортным средством; • определяет целесообразность включения или выключения системы автоматизации вождения; • немедленно выполняет всю ДЗВ, когда это необходимо или желательно 	Система автоматизации вождения (когда задействована): <ul style="list-style-type: none"> • выполняет часть ДЗВ, решая подзадачи управления продольным и боковым движением транспортного средства; • отключается немедленно по требованию водителя
Система высокой автоматизации вождения (СВАВ) выполняет всю ДЗВ		
Уровень 3: условная автоматизация вождения	Водитель (когда СВАВ не задействована): <ul style="list-style-type: none"> • проверяет эксплуатационную готовность транспортного средства, оборудованного СВАВ; • определяет, когда включение СВАВ целесообразно; • становится пользователем, готовым к реализации аварийного режима ДЗВ, когда СВАВ задействована. <p>Пользователь, готовый к реализации аварийного режима ДЗВ (когда СВАВ задействована):</p> <ul style="list-style-type: none"> • реагирует на запрос вмешательства, реализуя аварийный режим ДЗВ; • реагирует на системные отказы, важные для выполнения ДЗВ, в системах транспортного средства, после появления отказов реализует аварийный режим ДЗВ; • определяет необходимость и способ обеспечения условий минимального риска; • становится водителем после требуемого выключения СВАВ 	СВАВ (когда не задействована) допускает включение только в пределах ее ПОФ.
		СВАВ (когда задействована): <ul style="list-style-type: none"> • выполняет всю ДЗВ; • определяет близость к выходу за пределы ПОФ и в случае выхода выдает запрос вмешательства пользователю, готовому к реализации аварийного режима ДЗВ; • определяет системный отказ, важный для выполнения ДЗВ, и выдает запрос вмешательства пользователю, готовому к реализации аварийного режима ДЗВ; • отключается в соответствующее время после выдачи запроса вмешательства; • отключается немедленно по требованию водителя
Уровень 4: высокая автоматизация вождения	Водитель/диспетчер (когда СВАВ не задействована): <ul style="list-style-type: none"> • проверяет эксплуатационную готовность транспортного средства, оборудованного СВАВ; • определяет, когда включение СВАВ целесообразно; • становится пассажиром, когда СВАВ задействована, если находится внутри транспортного средства. <p>Пассажир/диспетчер (когда СВАВ задействована):</p> <ul style="list-style-type: none"> • не должен реализовывать ДЗВ или аварийный режим ДЗВ; • не должен определять необходимость и способ обеспечения условий минимального риска; • может реализовать аварийный режим ДЗВ после запроса вмешательства; • может потребовать выключения СВАВ и обеспечения условия минимального риска после ее выключения; • может стать водителем после требуемого выключения СВАВ 	СВАВ (когда не задействована): <ul style="list-style-type: none"> • допускает включение только в пределах ее ПОФ <p>СВАВ (когда задействована):</p> <ul style="list-style-type: none"> • выполняет всю ДЗВ; • может выдавать своевременный запрос вмешательства; • реализует аварийный режим ДЗВ и автоматический переход к условию минимального риска, когда: происходит системный отказ, важный для выполнения ДЗВ; пользователь не реагирует на запрос вмешательства; пользователь требует, чтобы СВАВ обеспечила условия минимального риска; • отключается, если возможно, только после: обеспечения условия минимального риска; реализации ДЗВ водителем; • может задержать требуемое пользователем отключение СВАВ

<p>Уровень 5: полная автоматизация вождения</p>	<p>Водитель/диспетчер (когда СВАВ не задействована):</p> <ul style="list-style-type: none"> • проверяет эксплуатационную готовность транспортного средства, оборудованного СВАВ; • определяет, когда включение СВАВ целесообразно; • становится пассажиром, когда СВАВ задействована, только если находится внутри транспортного средства <p>Пассажир/диспетчер (когда СВАВ задействована):</p> <ul style="list-style-type: none"> • не должен реализовывать ДЗВ или аварийный режим ДЗВ; • не должен определять необходимость и способ обеспечения условий минимального риска; • может выполнять аварийный режим ДЗВ после запроса вмешательства; • может потребовать выключения СВАВ и обеспечить условия минимального риска после ее выключения; • может стать водителем после требуемого выключения СВАВ 	<p>СВАВ (когда не задействована):</p> <p>допускает включение во всех ситуациях вождения, поддающихся управлению водителем</p> <p>СВАВ (когда задействована):</p> <ul style="list-style-type: none"> • выполняет всю ДЗВ; • может выдавать своевременный запрос вмешательства; • реализует аварийный режим ДЗВ и автоматический переход к условию минимального риска, когда: происходит системный отказ, важный для выполнения ДЗВ; пользователь не реагирует на запрос вмешательства; пользователь требует, чтобы СВАВ достигла условия минимального риска; • отключается, если возможно, только после: обеспечения условия минимального риска; выполнения ДЗВ водителем; • может задержать требуемое пользователем отключение СВАВ
---	--	--

и отказам САВ, препятствующим тому, чтобы система в полном объеме выполняла проектные требования. Термин не относится к переходным ошибкам в работе САВ уровня 1 или 2, возникающим вследствие проектных ограничений и не препятствующим выполнению системой своей части ДЗВ на длительной основе.

Рассмотрим сценарии возможного реагирования систем различного уровня сложности на сбой в работе. В САВ уровня 1, которая выполняет подзадачу управления боковым движением ТС ДЗВ, происходит важный для ДЗВ системный отказ одной из его камер, препятствующий надежному обнаружению дорожной разметки. Система отображает сообщение признака сбоя на центральной консоли, а также автоматически отключает подзадачу управления боковым движением ТС ДЗВ, требуя, чтобы водитель немедленно продолжил выполнять ее.

В СВАВ уровня 3 происходит важный для ДЗВ системный отказ одного из радарных датчиков, препятствующий надежному обнаружению объектов на траектории ТС. Система реагирует, выдавая запрос вмешательства пользователю, готовому к реализации аварийного режима ДЗВ, и продолжает выполнять ДЗВ, уменьшая скорость ТС, в течение нескольких секунд, чтобы дать время пользователю возобновить управление ТС без резких действий.

В случае, когда при эксплуатации ТС с включенной САВ уровня 3 происходит разрушение поперечной рулевой тяги, это сильно ухудшает возможности управления пользователю, готовому к реализации аварийного режима ДЗВ, давая ему кинематические признаки, указывающие на необходимость вмешательства вследствие неисправности ТС. Пользователь

реагирует, возобновляя выполнение ДЗВ, включает аварийную сигнализацию и выводит ТС на ближайшую обочину, обеспечивая таким образом условия минимального риска.

Когда в СВАВ уровня 4 отказывает один из ее вычислительных модулей, система переходит к аварийному режиму ДЗВ, действуя для обеспечения условий минимального риска избыточный вычислительный модуль или несколько модулей.

Условия минимального риска (minimal risk condition) — условия, к которым пользователь или САВ могут привести ТС после выполнения аварийного режима ДЗВ, чтобы уменьшить риск аварии, если поездку необходимо продолжать.

На уровнях 1 и 2 водитель может обеспечить условия минимального риска в зависимости от особенностей неисправности ТС или отказа САВ.

На уровне 3 в случае важного системного отказа СВАВ или ТС водитель, готовый к реализации аварийного режима ДЗВ, отвечает за условия минимального риска.

На уровнях 4 и 5 СВАВ способна к автоматическому достижению условий минимального риска, когда это необходимо, т. е. при выходе за пределы ПОФ или при важном системном отказе СВАВ либо ТС. Особенности автоматизированного достижения условий минимального риска на уровнях 4 и 5 изменяются согласно типу и степени системного отказа, ПОФ для рассматриваемых возможностей СВАВ и особым условиям функционирования при системном отказе или выходе за пределы ПОФ. Это может повлечь автоматическое обеспечение остановки ТС на текущей траектории движения или более обширный маневр, разработанный,

чтобы удалить ТС из полосы активного движения и/или автоматически вернуть ТС в пункт отправления.

Примеры решений, принимаемых САВ, для обеспечения условий минимального риска представлены далее.

САВ уровня 2, позволяющая пользователю находиться за пределами ТС и иницировать автоматизированный маневр парковки через беспроводное устройство, автоматически приводит ТС к остановке на текущей траектории движения при важном для ДЗВ системном отказе.

СВАВ уровня 4, разработанная, чтобы управлять ТС при высокой скорости на автострадах, в случае важного для ДЗВ системного отказа или получения запроса пассажира об остановке автоматически удаляет ТС из полосы активного движения, прежде чем остановить его.

Если ТС, оснащенное СВАВ уровня 4, испытывает важный для ДЗВ системный отказ в основной системе электропитания, СВАВ использует резервный источник питания, чтобы обеспечить условия минимального риска.

Запрос вмешательства (request to intervene) — уведомление САВ водителю, указывающее, что он должен быстро перейти на аварийный режим ДЗВ.

Аварийный режим ДЗВ (dynamic driving task fallback) — реакция пользователя или САВ, чтобы либо выполнить ДЗВ, либо обеспечить условия минимального риска после возникновения системного отказа, важного для выполнения ДЗВ, или выхода за пределы ПОФ.

ДЗВ и аварийный режим ДЗВ — различные функции, и способность выполнить одну из них не обязательно влечет за собой способность выполнить другую. Таким образом, СВАВ уровня 3, обеспечивающая выполнение всей ДЗВ в пределах

ПОФ, может не обеспечивать выполнения всей ДЗВ в любой ситуации и выдает запрос вмешательства пользователю, готовому к реализации аварийного режима ДЗВ, когда это необходимо.

На уровне 3 СВАВ может продолжать выполнение ДЗВ в течение нескольких секунд после выдачи запроса вмешательства пользователю, готовому к реализации аварийного режима ДЗВ, который обеспечит условия минимального риска, если сочтет это необходимым.

На уровнях 4 и 5 СВАВ должна реализовывать аварийный режим ДЗВ, а также обеспечивать условия минимального риска. ТС, оборудованные СВАВ уровнями 4 и 5, которые обеспечивают функционирование под управлением водителя (обычного или удаленного), могут позволять пользователю переходить на аварийный режим ДЗВ. Однако системы уровня 4 или 5 могут быть разработаны без такой функции, чтобы уменьшить риск аварии.

Когда СВАВ уровня 4 или 5 выполняет ДЗВ в аварийном режиме, она может быть ограничена проектом в скорости и/или диапазоне управления боковым и/или продольным движением ТС (т. е. войти в так называемый «хромающий режим»).

Примеры аварийных режимов представлены далее.

Адаптивный круиз-контроль уровня 1 (ACC) испытывает системный отказ, что ведет к прекращению выполнения его функции. Человек-водитель переходит на аварийный режим, возобновляя исполнение полной ДЗВ.

СВАВ уровня 3, которая выполняет всю ДЗВ во время пробок на дороге, не в состоянии выполнять задачу, когда сталкивается с условиями аварии, и поэтому выдает запрос вмешательства пользователю, готовому к реализации аварийного режима. Он реагирует, исполняя всю ДЗВ, чтобы маневрировать вблизи места аварии. (Отметим, что в этом примере условия минимального риска не являются необходимыми).

Автоматически управляемое ТС уровня 4, которое выполняет всю ДЗВ в географически ограниченном центре города, испытывает системный отказ, важный для работы ДЗВ. В ответ ТС переходит на аварийный режим, включая световые сигналы опасности, выводя ТС на обочину дороги и паркуя его перед автоматическим вызовом чрезвычайной помощи. (Отметим, что в этом примере ТС автоматически обеспечивает условия минимального риска).

Пользователь, готовый к реали-

зации аварийного режима ДЗВ (DDT fallback-ready user), — пользователь ТС, оборудованного СВАВ с функциями уровня 3, который способен управлять ТС и реагирует на выданные СВАВ запросы вмешательства и очевидные системные отказы, важные для ДЗВ и вынуждающие его перейти к реализации аварийного режима ДЗВ.

При выполнении ДЗВ СВАВ уровня 3 предполагается, что готовый к реализации аварийного режима ДЗВ пользователь доступен, чтобы выполнить ДЗВ в необходимом объеме. На уровнях 4 и 5 такое предположение не предусматривается.

Готовый к реализации аварийного режима ДЗВ пользователь, который переходит к выполнению всей ДЗВ или определенной ее части, становится водителем.

Пользователь, готовый к реализации аварийного режима ДЗВ, также может быть и удаленным по отношению к оборудованному СВАВ ТС.

Например, СВАВ уровня 3, которая выполняет ДЗВ в плотном потоке на автострате, сталкивается с объектами, которые изменяют транспортный поток вследствие серьезной аварии. СВАВ выдает запрос вмешательства пользователю, готовому к реализации аварийного режима ДЗВ, инструктируя его продолжить выполнение ДЗВ (т. е. стать водителем).

Классификация уровней автоматизации вождения транспортного средства

Рекомендуемая классификация уровней автоматизации вождения [10, 11] на основе приведенных понятий представлена в *табл. 1*. В этой таблице слово «система» означает систему автоматизи-

рованного вождения или систему высокой автоматизации вождения (СВАВ) соответственно.

В *табл. 2* детализированы шесть уровней автоматизации вождения относительно ролей, которые пользователь и СВАВ играют в выполнении ДЗВ и аварийного режима ДЗВ. Назначение ролей относится к техническим аспектам управления ТС (не к юридическим).

Особенности уровней автоматизации

Уровень 3: условная автоматизация вождения

Продолжительное выполнение СВАВ в пределах ПОФ всей ДЗВ при условии, что пользователь, готовый к реализации аварийного режима ДЗВ, воспринимает запросы вмешательства, а также отказы, важные для выполнения ДЗВ, в других системах ТС и реагирует адекватно.

Пользователь, готовый к реализации аварийного режима ДЗВ, не должен регулировать СВАВ уровня 3, когда она задействована, но предполагается, что он готов возобновить выполнение ДЗВ, когда система выдает запрос вмешательства, а также в случае системного отказа, важного для выполнения ДЗВ.

Кроме того, предполагается, что пользователь СВАВ уровня 3, готовый к реализации аварийного режима ДЗВ, воспринимает очевидные отказы, важные для выполнения ДЗВ, в тех системах ТС, которые не всегда вызывают выдачу системой запроса вмешательства, такие как повреждение кузова или компонентов подвески.

В случае системного отказа, важного для выполнения ДЗВ, в СВАВ уровня 3



или когда СВАВ вскоре выйдет за пределы ПОФ, система выдает запрос вмешательства за достаточное время, чтобы человек мог отреагировать вручную на сложившуюся ситуацию вождения.

Адекватная реакция пользователя, готового к реализации аварийного режима ДЗВ, на запрос вмешательства может повлечь за собой приведение ТС к условиям минимального риска или продолжение управления ТС после того, как СВАВ отключена.

Уровень 4: высокая автоматизация вождения

Продолжительное выполнение СВАВ в пределах ПОФ всей ДЗВ и аварийного режима ДЗВ без ожидания, что пользователь отреагирует на запрос вмешательства.

Пользователь не должен регулировать функционирование СВАВ уровня 4 или реагировать на запрос вмешательства, если система задействована. СВАВ уровня 4 способна к автоматическому выполнению аварийного режима ДЗВ, как и к обеспечению условий минимального риска, если пользователь не возобновляет исполнение ДЗВ. Автоматизированная реализация аварийного режима ДЗВ и способность обеспечения условий минимального риска — основные различия возможностей СВАВ уровня 4 и уровня 3. Это означает, что пользователь СВАВ уровня 4 — пассажир, который не должен реагировать на запрос вмешательства или системный отказ, важный для выполнения ДЗВ.

СВАВ уровня 4 разрабатывают, чтобы управлять ТС в течение всей поездки или во время части поездки, находящейся в пределах ПОФ (например, функции управления в условиях скоростного движения по автостраде). Пользователю ТС, которое оборудовано СВАВ уровня 4, раз-

работанной для управления ТС в условиях скоростного движения по автостраде, нужно выбрать реализацию ДЗВ, когда автострада закончится, чтобы завершить поездку. В противном случае СВАВ автоматически установит аварийный режим ДЗВ и при необходимости обеспечит условия минимального риска. Подчеркнем, что на уровне 3 пользователь не может реализовать аварийный режим ДЗВ, когда задействована СВАВ.

Примером СВАВ уровня 4 может быть система, способная к выполнению всей ДЗВ во время парковки без участия водителя.

СВАВ уровня 4, способная к выполнению всей ДЗВ во время продолжительного управления на автостраде, т. е. в пределах ее ПОФ. (В этом примере предполагается, что за рулем пользователь, готовый к выполнению ДЗВ. Участие пользователя необходимо перед въездом на автостраду и после съезда с нее. Таким образом, СВАВ должна оповещать пользователя, чтобы он возобновил управление ТС прежде, чем выйти из ПОФ. Если пользователь не отреагирует на такое оповещение, то СВАВ реализует аварийный режим ДЗВ и обеспечит условия минимального риска автоматически.)

Диспетчер может включить автоматически управляемое ТС уровня 4, способное двигаться по определенному маршруту в ограниченном районе (например в жилом квартале, на территории предприятия и т. п.).

Уровень 5: полная автоматизация вождения

Продолжительное и не ограниченное ПОФ выполнение СВАВ всей ДЗВ и аварийного режима ДЗВ без ожидания, что пользователь отреагирует на запрос вмешательства. Выполнение, не ограниченное ПОФ, означает, что СВАВ

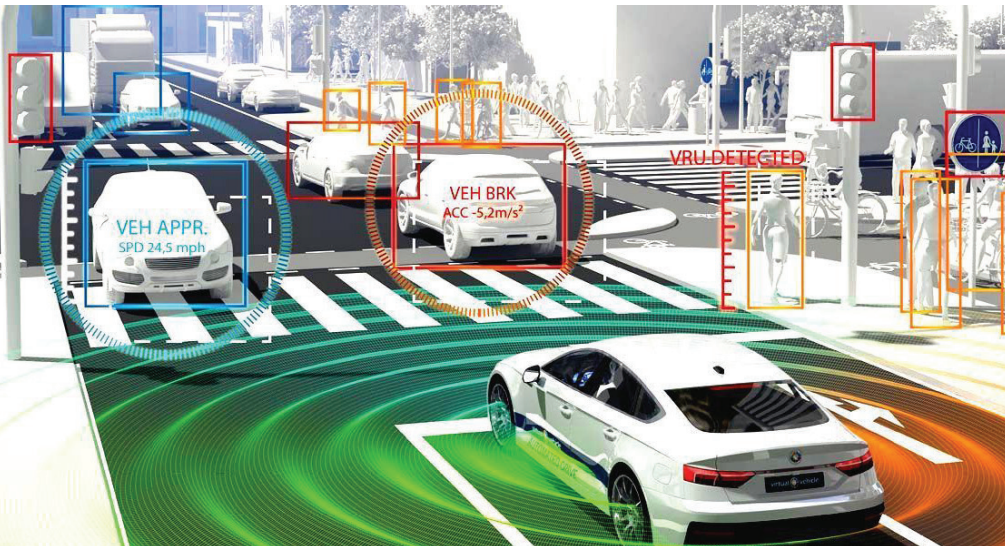
может управлять ТС во всех ситуациях, поддающихся управлению водителем. Отсутствуют погодные, временные или географические ограничения относительно управления СВАВ ТС. Однако в случае природных катаклизмов (снежный шторм с отсутствием видимости, затопленные дороги, лед, отражающий яркий свет, и т. д.) СВАВ не способна закончить поездку. В неблагоприятных условиях СВАВ может реализовать аварийный режим ДЗВ, чтобы обеспечить условия минимального риска (например, остановить ТС на краю дороги в ожидании изменения ситуации).

В случае системного отказа, важного для выполнения ДЗВ (СВАВ или ТС), СВАВ уровня 5 автоматически реализует аварийный режим ДЗВ и обеспечивает условия минимального риска. Пользователь не должен регулировать СВАВ уровня 5 и реагировать на запрос вмешательства, когда система задействована.

Примером СВАВ уровня 5 может быть система ТС с СВАВ, способной управлять ТС во время полных поездок на общедоступных дорогах независимо от начальных и конечных пунктов или погодных условий, дорожной обстановки.

Необходимо отметить, что уровни в предложенной классификации предельно дискретные и взаимоисключающие. Также для данной функциональности логически невозможно назначить больше одного уровня. Например, функциональность автоматизации вождения при медленной скорости, описанная изготовителем как способная к выполнению полной ДЗВ в плотном движении на автострадах с полностью управляемым доступом, не может быть и уровня 3, и уровня 4 одновременно, потому что или она способна к автоматическому выполнению аварийного режима ДЗВ и обеспечению условий минимального риска, когда это необходимо, или на водителя возлагается (по крайней мере, иногда) реагирование на запрос вмешательства и либо выполнение ДЗВ, либо обеспечение условий минимального риска.

Для системы автоматизации вождения, однако, можно представить различные функциональности на том или ином уровне в зависимости от спецификации использования и/или пользовательского предпочтения. Например, ТС может быть оборудовано системой автоматизации вождения, способной к обеспечению при различных условиях функциональности АСС уровня 1, функциональности помощи на дороге уровня 2, функциональности





движения в заторе на автостраде уровня 3 и парковки без регулирования водителем уровня 4, в дополнение к разрешению пользователю управлять ТС на уровне 0 без задействованных функциональностей автоматизации вождения. С точки зрения пользователя функциональности задействуются последовательно, даже если САВ использует большую часть одной и той же основной технологии аппаратного и программного обеспечения, чтобы реализовать все четыре функциональности автоматизации вождения.

Представленные в работе описания высокоуровневых моделей функционирования систем автоматизированного вождения ТС, а также их взаимодействия с пользователями, созданные на основе предложенного русскоязычного понятийного аппарата, могут быть рекомендованы к использованию при разработке требований к таким системам и методов оценки соответствия предъявляемым требованиям.



Литература

1. Blanco M., Atwood J., Russell S. et al. Automated vehicle crash rate comparison using naturalistic data: Final Report Virginia Tech Transp. Inst. 2016. [https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/64420/Automated%20Vehicle%20Crash%20Rate%20Comparison%20Using%20Naturalistic%20Data_](https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/64420/Automated%20Vehicle%20Crash%20Rate%20Comparison%20Using%20Naturalistic%20Data_Final%20Report_20160107.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
2. Dingus T.A., Guo F., Lee S. et al. Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data // Proc. Natl. Acad. Sci. 2016. Vol. 113. (Факторы риска столкновений и оценка распространенности с использованием на основе реальных статистических данных о вождении).
3. Dreany H. H., Roncace R., Young P. Safety engineering of computational cognitive architectures within safety-critical systems // Safety Sci. 2018. Vol. 103.
4. Deutscher Verkehrssicherheitsrat (DVR) Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Vehicle-2-X-Kommunikation. <https://www.dvr.de/dvr/beschluesse/2017-erhoehung-der-verkehrssicherheit-durchvehicle-2-x-kommunikation.html>.
5. Eckhoff D., Sofra N., German R. A Performance Study of Cooperative Awareness in ETSI ITS G5 and IEEE WAVE // 10th Ann. Conf. Wireless On-Demand Network Systems and Services (WONS). IEEE. 2013.
6. European Commission Certificate Policy for Deployment and Operation of European Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) – Release 1. Brussels: C-ITS Platform chaired by the European Commission, 2017.
7. Härrilä J., Berens F. Challenges and Opportunities of WiFi-based V2X Communications. Berlin, 2017.
8. Hendricks D. L., Fell J. C., Freedman M. The relative frequency of unsafe driving acts in serious injury accidents. Veridian Engineering, US Department of Transportation National Highway Transportation Safety Administration, 2001.
9. Merat N., Jamson A., Lai F et al. (2014). Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle // Transp. Res. Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2014. Vol. 27(B). P. 274–282. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2014.09.005>.
10. SAE J3016 Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. SAE, 2018. (Классификация и определения терминов, относящихся к системам автоматизации вождения автотранспортных средств).
11. Engström J., Monk C., Hanowski R. et al. (2013). A conceptual framework and taxonomy for understanding and categorizing driver inattention. Brussels, Belgium: Europ. Com., 2013.
12. Комаров В. Самоуправляемому транспорту нужны новые сертификационные испытания [Текст] / В. Комаров, С. Гараган // Вестник ГЛОНАСС. 2019. № 4. С. 12–30.