

Научная статья
УДК 629.33

Определение среды штатной эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств. Обзор ISO 34503-2023

Далер Тимурович Юсупов¹, Андрей Андреевич Васильев²

^{1,2}Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт» (ФГУП «НАМИ»), Москва, Россия

¹daler.yusupov@nami.ru

²a.vasiliev@nami.ru

Аннотация. В последние годы с учетом ускоренного развития систем автоматизации движения колесных транспортных средств Правительство Российской Федерации всесторонне способствует внедрению высокоавтоматизированных транспортных средств в транспортный поток дорог общего пользования для предоставления транспортных услуг. Важной частью обеспечения безопасности дорожного движения является определение среды штатной эксплуатации высокоавтоматизированного транспортного средства. Среда штатной эксплуатации – окружающие и географические условия, время суток, а также дорожно-транспортные, инфраструктурные, погодные и другие условия, для работы в которых предназначена система автоматизации вождения. В статье рассмотрен подход определения среды штатной эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств, обозначена важность ее применения в процессах разработки и тестирования систем автоматизированного вождения, а также обеспечении безопасности дорожного движения. Произведен аналитический обзор международного стандарта ISO 34503-2023.

Ключевые слова: среда штатной эксплуатации, высокоавтоматизированное транспортное средство, система автоматизированного вождения.

Для цитирования: Юсупов Д.Т., Васильев А.А. Определение среды штатной эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств. Обзор ISO 34503-2023 // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. №2 (40).

Original article

Operational design domain definition for highly automated vehicles. Review of ISO 34503-2023

Daler T. Yusupov¹, Andrey A. Vasiliev²

^{1,2}State Research Center of the Russian Federation Federal state unitary enterprise «Central Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute» (FSUE «NAMI»), Moscow, Russia

¹daler.yusupov@nami.ru

²a.vasiliev@nami.ru

Abstract. In recent years, given the accelerated development of the automated driving systems, the Government of the Russian Federation has comprehensively promoted the introduction of highly automated vehicles into the traffic flow of public roads for the provision of transport services. An important part of road safety is the operational design domain definition of a highly automated vehicle. The operational design domain is the environmental and geographical conditions, time of day, as well as traffic, infrastructure, weather and other conditions for operation in which the automated driving system is designed to operate. The paper reviews an operational design domain definition approach for highly automated vehicles, identifies its importance in the development and testing processes, as well as ensuring road safety. An analytical review of the international standard ISO 34503-2023 is performed.

Keywords: operational design domain, highly automated vehicles, automated driving system.

For citation: Yusupov D.T., Vasiliev A.A. Operational design domain definition for highly automated vehicles. Review of ISO 34503-2023. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2024. №1 (39).

Актуальность темы

На сегодняшний день высокоавтоматизированные транспортные средства (ВАТС) активно внедряются в транспортный поток дорог общего пользования [1, 2]. Одной из важнейших задач при внедрении автомобилей с высоким уровнем автоматизации в транспортный поток дорог общего пользования является обеспечение безопасности дорожного движения, что отражено в «Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах

общего пользования», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 25.03.2020 №724-р. Основопологающей частью обеспечения безопасности дорожного движения является определение среды штатной эксплуатации высокоавтоматизированного транспортного средства [3]. Согласно утвержденной концепции, *среда штатной эксплуатации (СШЭ) – окружающие и географические условия, время суток, а также дорожно-транспортные, инфраструктурные, погодные и другие условия, для работы в которых предназначена данная автоматизированная система вождения.* Таким образом, условия среды штатной эксплуатации, при которых динамическое управление транспортным средством осуществляется на устойчивой основе, должны быть тщательно определены. *Динамическое управление – выполнение в реальном времени всех оперативных и тактических функций, необходимых для передвижения транспортного средства.* Понятие включает в себя управление движением транспортного средства в боковом и продольном направлении, контроль за условиями дорожного движения, реагирование на явления, происходящие в дорожно-транспортной ситуации, а также планирование и сигнализацию маневров. Более того, СШЭ должна быть документально закреплена. Концепция выделяет три типа средств штатной эксплуатации на основе оснащения дорожно-транспортной инфраструктуры и ВАТС. Среда штатной эксплуатации первого типа определяется для ВАТС, которые оснащены только бортовыми датчиками и статической цифровой картой. СШЭ второго типа определяется для ВАТС, оснащенных бортовыми датчиками и динамической цифровой картой местности высокого разрешения. СШЭ третьего типа подразумевает наличие технологии V2X для сетевого взаимодействия между ВАТС, другими участниками дорожного движения и дорожно-транспортной инфраструктурой. Хотя метод определения среды штатной эксплуатации не был представлен, тем не менее она должна быть указана в декларации о безопасности высокоавтоматизированного

транспортного средства, являющейся Приложением

№1 Программе экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по предоставлению транспортных услуг с использованием высокоавтоматизированных транспортных средств на территориях отдельных субъектов Российской Федерации, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 29 декабря 2022 г. N 2495 [4].

В августе 2022 года был выпущен регламент Европейского союза 2022/1426, устанавливающий правила применения Регламента (ЕС) 2019/2144 Европейского парламента и Совета в отношении единообразных процедур и технических спецификаций для одобрения типа системы автоматизированного вождения (САВ) полностью автоматизированных транспортных средств [5]. Согласно этому регламенту, утверждение среды штатной эксплуатации является краеугольным камнем разработки и верификации систем автоматизированного вождения, по следующим причинам:

1. Программное и аппаратное обеспечение САВ должно быть разработано для бесперебойного функционирования в рамках утверждённой СШЭ.
2. САВ должна осуществлять динамическое управление автомобилем в рамках утвержденной СШЭ.
3. Способность САВ выполнять весь перечень динамического управления автомобилем должна быть отражена в контексте СШЭ.
4. САВ должна обнаруживать относящиеся к выполнению динамического управления объекты и события в рамках СШЭ, а также реагировать на них.
5. САВ должна распознавать СШЭ и ее границы, а также предвидеть выход системы за пределы СШЭ.

6. Когда САВ достигает границ установленной СШЭ, должна быть выполнена безопасная остановка с уведомлением об этом оператора, находящегося в автомобиле или осуществляющего контроль удаленно.

7. Сценарии тестирования САВ должны исходить из СШЭ.

8. Орган одобрения типа САВ должен иметь доступ к документации, подтверждающей, что САВ была сконструирована и разработана для функционирования без необоснованного риска для пассажиров и других участников дорожного движения в рамках задекларированной СШЭ.

Данное постановление вскользь затрагивает вопрос разработки СШЭ не вдаваясь в подробности. В свою очередь Международная организация по стандартизации опубликовала в августе 2023г. стандарт ISO 34503:2023 – Road Vehicles – Test scenarios for automated driving systems – Specification for operational design domain, устанавливающий требования к иерархической структуре определения среды штатной эксплуатации для систем автоматизированного вождения [6].

Согласно стандарту, ключевым аспектом безопасного использования ВАТС является определение их возможностей и ограничений, а также четкое доведение их до конечного пользователя. Первым шагом в определении возможностей системы автоматизированного вождения является утверждение ее СШЭ. Помимо обеспечения безопасной эксплуатации, определение СШЭ также важно для соответствия законам и регламентам, а также для достижения целевых показателей транспортного средства. СШЭ представляет собой условия эксплуатации, в которых система автоматизированного вождения может безопасно выполнять динамическое управление движением колесного транспортного средства. Данный стандарт в основном применим к САВ третьего и четвертого уровней, согласно SAE J3016 [7]. СШЭ для САВ пятого уровня является безграничной, так как этот уровень автоматизации подразумевает функционирование во всех дорожных

условиях. Стандарт может быть использован организациями, участвующими в разработке обоснований безопасности ВАТС, в частности, организациями, проводящими испытания, тестирование и коммерческое внедрение. Стандарт также может представлять интерес для страховых компаний, регулирующих органов, поставщиков услуг, национальных, местных и региональных органов власти, чтобы дать им представление о возможности применения и способностях САВ.

Целевая среда эксплуатации и текущая среда эксплуатации

ISO 34503:2023 предлагает использование нового термина – целевая среда эксплуатации. В то время как СШЭ определяет условия эксплуатации, для которых САВ разрабатывается и в границах которых должна безопасно функционировать, целевая среда эксплуатации (ЦСЭ) определяет реальные условия в которых, как ожидается, будет функционировать САВ. В большинстве случаев СШЭ будет состоять из атрибутов ЦСЭ. В связи с этим, важно понимать разницу между СШЭ и ЦСЭ и предусмотреть механизмы реагирования САВ при переходе из СШЭ в ЦСЭ для обеспечения безопасности и снижению риска. С другой стороны, можно рассматривать ЦСЭ вместо СШЭ, как требование при разработке САВ.

Также в данном стандарте предложен термин «текущая среда эксплуатации» (ТСЭ), под которым подразумеваются реальные условия эксплуатации, в которых находится САВ в данный момент времени. САВ необходимо в масштабе около реального времени определять ТСЭ и значения ее атрибутов, постоянно сопоставляя их с утвержденной СШЭ для того чтобы вовремя принять меры по обеспечению безопасности (остановка с минимизацией рисков, передача управления подготовленному пользователю или удаленному оператору) при выходе ТСЭ за границы СШЭ.

Таксономия определения среды штатной эксплуатации

Таксономия определения СШЭ в ISO 34503:2023 идентична представленной Британским институтом стандартов в PAS 1883:2020 [8]. На

верхнем уровне среда штатной эксплуатации состоит из трех атрибутов: элементы окружения, условия окружающей среды и динамические элементы. Элементы окружения включают в себя географическое расположение, стационарные конструкции (дороги, здания, знаки дорожного движения и т.д.). Условия окружающей среды включают в себя погодные и атмосферные условия, состояние беспроводной сотовой связи и спутниковой системы навигации, а также технологии обмена данными ВАТС с элементами интеллектуальной транспортной системы и другими участниками дорожного движения. Динамические элементы включают в себя само ВАТС, а также участников дорожного движения. Иерархически атрибуты СШЭ представлены на рисунке 1.

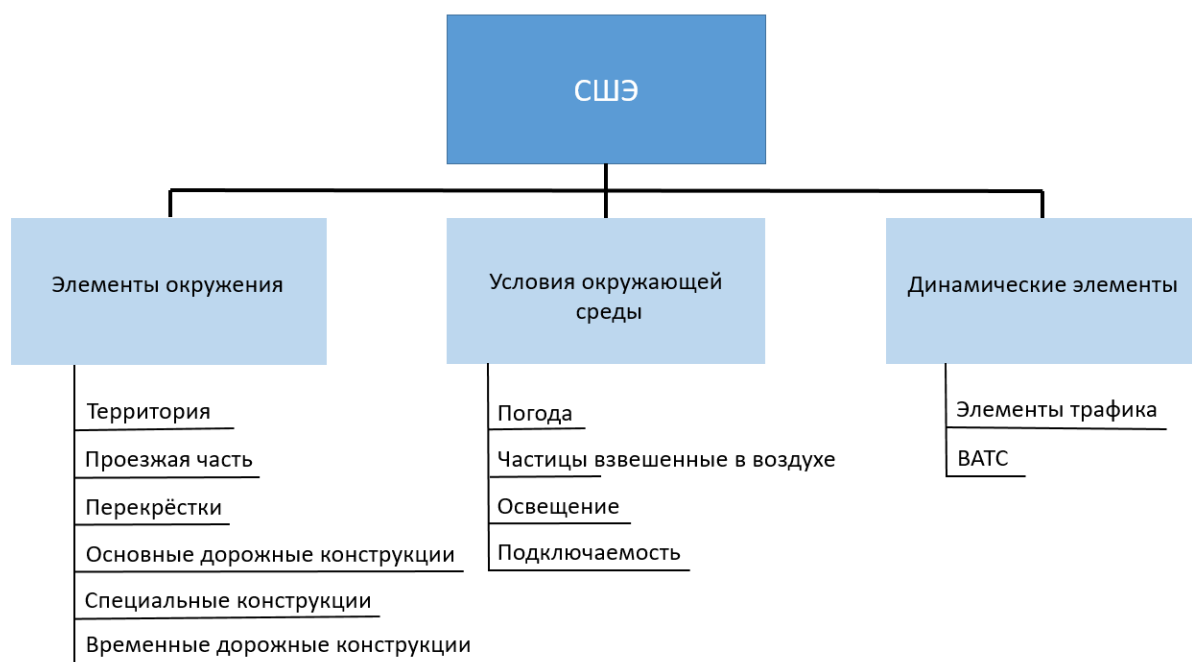


Рис. 1. Таксономия СШЭ

Среда штатной эксплуатации имеет древесную структуру, атрибуты которой декомпозируются до получения точных значений. К примеру: СШЭ => Элементы окружения => Территория => Регион => Российская Федерация или СШЭ => Условия окружающей среды => Освещение => Естественное освещение => Ночное время суток (< 1 лк).

Варианты определения СШЭ и статус атрибутов

В связи с тем, что количество атрибутов СШЭ может быть огромно, стандарт предлагает три варианта определения среды штатной эксплуатации: разрешающий, ограничительный и «по умолчанию». При определении СШЭ в разрешающем варианте, неуказанные атрибуты по умолчанию включаются в состав СШЭ. В свою очередь при определении СШЭ в ограничительном варианте, неуказанные атрибуты исключаются из СШЭ. В варианте «по умолчанию» атрибуты, представляющие интерес, явно указываются в СШЭ и отслеживаются во время функционирования САВ. Неуказанные атрибуты считаются невливающими на функционирование САВ и могут не отслеживаться, но тем не менее включаются в состав СШЭ. Вариант определения СШЭ должен быть согласован заинтересованными лицами. Допускается использовать разные варианты определения СШЭ для различных секций.

У каждого атрибута должен быть свой статус, он может быть включен в состав среды штатной эксплуатации, исключен из нее или иметь условный статус. К примеру, если система разработана для проезда всех типов перекрестков кроме кругового движения, то при разрешающем варианте определения СШЭ достаточно будет только указать атрибут «перекресток с круговым движением» со статусом «исключен». Таким образом, путем выбора подходящего варианта определения СШЭ и использования статусов атрибутов можно значительно сократить описание СШЭ. Использование условного статуса атрибута позволяет указать связи и влияния атрибутов друг на друга. При эксплуатации САВ в специфических условиях (густой туман, ливень и т.д.) логично ожидать различные ограничения в функционировании САВ. К примеру, диапазон скорости автомобиля под управлением САВ составляет 0 – 110 км/ч, но он будет снижен до 0 – 40 км/ч с целью обеспечения безопасности функционирования. При использовании условного статуса описание должно происходить следующим образом:

- статус 1: условный;
- статус 2: (к примеру, включить);
- метрика атрибута: (к примеру, интенсивность дождя);
- влияющий атрибут: (к примеру, дождь);
- атрибут попадающий под влияние: (к примеру, скорость движения ВАС);

- значение влияющего атрибута (к примеру, ливень ($> 0,67$ мм/мин));
- значение атрибута попадающего под влияние (к примеру, 0-40 км/ч).

Применение СШЭ при сценарном тестировании

Поскольку функционирование САВ в рамках обозначенной СШЭ должно подвергаться проверке, использование атрибутов СШЭ играет ключевую роль в сценарном тестировании. СШЭ и сценарии являются двумя различными, но взаимосвязанными конструкциями. В то время как СШЭ определяет условия работы САВ, сценарий описывает поведение участников движения, а также состояния САВ. СШЭ используется в качестве одного из исходных элементов для основанной на сценарном тестировании оценки безопасности в соответствии с ISO 34502 [9]. Таким образом, одним из первых шагов в процессе верификации САВ будет анализ обозначенной СШЭ. Согласно рисунку 2, СШЭ в совокупности с библиотекой поведений САВ и участников дорожного движения, а также событиями и их триггерами, создает сценарий тестирования. Такой сценарий может быть далее детализирован в функциональные, абстрактные, логические и конкретные сценарии для создания библиотеки сценариев.

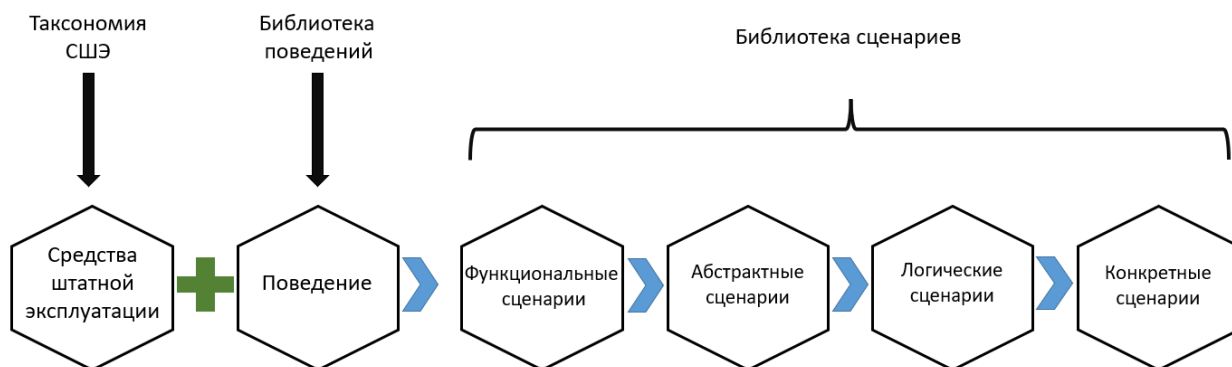


Рис. 2. Процесс формирования сценария

Кроме того, определение СШЭ может использоваться в качестве критерия для определения того, находятся ли отдельные сценарии тестирования в пределах, за пределами или на границе СШЭ. Помимо тестирования САВ в рамках её СШЭ, важно также проводить сценарное тестирование на основе атрибутов, не входящих в СШЭ, чтобы убедиться в том, что САВ не может быть использована в условиях для которых она не предназначена, а также выполняются меры для обеспечения безопасности движения, такие как заблаговременное информирование оператора с передачей ему управления или выполнение безопасной остановки.

Вывод

Таким образом, определение среды штатной эксплуатации является ключевым компонентом разработки, тестирования и сертификации САВ. Среда штатной эксплуатации позволяет избежать недосказанностей о возможностях и ограничениях системы между производителем, заказчиком, сертифицирующим органом, конечным пользователем и прочими заинтересованными сторонами. В связи с этим задокументированное определение среды штатной эксплуатации САВ должно быть доступно всем заинтересованным лицам начиная от заказчика и заканчивая конечным пользователем. Для достижения этой цели стоит отказаться от деления среды штатной эксплуатации на типы в зависимости от оснащения ВАТС, что сделано в «Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования», а взамен разработать единую целевую среду эксплуатации ВАТС, которая будет включать в себя все необходимые атрибуты условий эксплуатации ВАТС на территории Российской Федерации с широкими диапазонами их значений. Такая целевая среда эксплуатации должна быть максимально гармонизирована с правилами дорожного движения, государственными стандартами и регламентами, а также включать в себя множество факторов влияющих на восприятие атрибутов ЦСЭ, к

примеру: износ дорожной разметки, перекрытие знаков дорожного движения листвой, снежные заносы. Очевидно, что учет в ЦСЭ ВТС совокупности всех факторов и особенностей дорожно-транспортных, инфраструктурных, погодных и прочих условий, с которыми встречается человек-водитель является комплексной итерационной задачей, тем не менее создание единой ЦСЭ из атрибутов которой заказчики и производители САВ и ADAS смогут компоновать СШЭ разрабатываемых систем, что приведет к общему пониманию условий функционирования.

Помимо восприятия, планирования и управления для САВ теперь также ставится задача мониторинга текущей среды эксплуатации для определения использования САВ в рамках определенной СШЭ, а также принятия мер по обеспечению безопасности в случае выхода САВ из ее границ [10]. В связи с этим становится необходимостью проведение сценарного тестирования не только в рамках СШЭ и при пограничных значениях ее атрибутов, но также и за ее пределами. В связи с тем, чтобы покрыть дорожными испытаниями использование САВ как в границах СШЭ, так и за ее пределами, представляется крайне ресурсоемкой, затратной по времени и дорогостоящей задачей. Подобные испытания перешли в область сценарного виртуального тестирования. Таким образом, необходимо создание регламента проведения такого тестирования с предоставлением сертификационным органам результатов, которые должны подтвердить корректное функционирование системы в границах обозначенной СШЭ, а также принятие мер по обеспечению безопасности дорожного движения и перехода в состояние минимального риска в случае выхода системы за ее пределы.

Список источников

1. Implementation of modern approaches to development and testing of advanced driver assistance systems, including driverless systems / D. V. Endachev, S. V. Bakhmutov, V. V. Evgrafov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2021), Novorossiysk, 15–16 июня 2021 года / IOP Publishing. – Novorossiysk: IOP PUBLISHING LTD, TEMPLE CIRCUS, TEMPLE WAY, BRISTOL, ENGLAND, BS1 6BE, 2021. – P. 012121. DOI10.1088/1742-6596/2061/1/012121. – EDN OONMZB.
2. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA): Automated Driving Systems: A Vision for Safety. U.S. Department of Transportation, DOT HS 812 442, September 2017.
3. Концепция обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 25.03.2020 №724-р.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2022 № 2495". Об установлении экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций и утверждении Программы экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по предоставлению транспортных услуг с использованием высокоавтоматизированных транспортных средств на территориях отдельных субъектов Российской Федерации".
5. Regulations. Commission implementing regulation (EU) 2022/1426 of 5 August 2022 laying down rules for the application of Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council as regards uniform procedures and technical specifications for the type-approval of the automated driving system (ADS) of fully automated vehicles, Official Journal of European Union, 26.8.2022.
6. ISO 34503:2023, Road Vehicles – Test scenarios for automated driving systems – Specification for operational design domain, ISO, 2023.
7. SAE J3016_202104, Taxonomy and Definitions for Terms Related to OnRoad Motor Vehicle Automated Driving Systems, SAE, 2021.
8. PAS 1883:2020 - Operational design domain (ODD) taxonomy for an automated driving system (ADS) -Specification, Centre for Connected & Autonomous Vehicles, The British Standards Institution, 2020.
9. ISO 34502:2022, Road vehicles - Test scenarios for automated driving systems - Scenario based safety evaluation framework, ISO, 2022.
10. Юсупов, Д. Т. Аналитический обзор подходов к управлению продольной и поперечной динамикой беспилотного автомобиля / Д. Т. Юсупов // Труды НАМИ. – 2023. – № 1(292). – С. 82-90. – DOI 10.51187/0135-3152-2023-1-82-90. – EDN HOFJVE.

References

1. Endachev D.V., Bakhmutov S.V., Evgrafov V.V., Mezentsev N.P., Ryazantsev V.A., Khorychev A.A., Yusupov D.T. Journal of Physics: Conference Series : International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2021), Novorossiysk, IOP PUBLISHING LTD, TEMPLE CIRCUS, TEMPLE WAY, BRISTOL, ENGLAND, BS1 6BE, 2021, p. 012121. DOI10.1088/1742-6596/2061/1/012121.
2. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA): Automated Driving Systems: A Vision for Safety. U.S. Department of Transportation, DOT HS 812 442, September, 2017.
3. Концепция обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 25.03.2020 №724-р. (The concept of ensuring road safety with the participation of unmanned vehicles on public roads. Approved by order of the Government of the Russian Federation dated March 25, 2020 №. 724).
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2022 № 2495". Об установлении экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций и утверждении Программы экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по предоставлению транспортных услуг с использованием высокоавтоматизированных транспортных средств на территориях отдельных субъектов Российской Федерации" (Decree of the Government of the Russian Federation dated December 29, 2022 No. 2495 "On the establishment of an experimental legal regime in the field of digital innovation and approval of the Program for an experimental legal regime in the field of digital innovation for the provision of transport services using highly automated vehicles in the territories of individual constituent entities of the Russian Federation").
5. Regulations. Commission implementing regulation (EU) 2022/1426 of 5 August 2022 laying down rules for the application of Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council as regards uniform procedures and technical specifications for the type-approval of the automated driving system (ADS) of fully automated vehicles, Official Journal of European Union, 26.8.2022.
6. ISO 34503:2023, Road Vehicles – Test scenarios for automated driving systems – Specification for operational design domain, ISO, 2023.
7. SAE J3016_202104, Taxonomy and Definitions for Terms Related to OnRoad Motor Vehicle Automated Driving Systems, SAE, 2021.
8. PAS 1883:2020 – Operational design domain (ODD) taxonomy for an automated driving system (ADS) -Specification, Centre for Connected & Autonomous Vehicles, The British Standards Institution, 2020.
9. ISO 34502:2022, Road vehicles - Test scenarios for automated driving systems - Scenario based safety evaluation framework, ISO, 2022.

10. Yusupov D.T. *Trudy NAMI*, 2023, no. 1(292), pp. 82-90, DOI 10.51187/0135-3152-2023-1-82-90.

Рецензент: Ю.А. Короткова, канд, техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторах

Юсупов Далер Тимурович, главный специалист центра интеллектуальных систем,
ФГУП «НАМИ».

Васильев Андрей Андреевич, инженер центра интеллектуальных систем,
ФГУП «НАМИ».

Information about the authors

Yusupov Daler T., chief specialist of the center of intelligent systems, FSUE «NAMI».

Vasiliev Andrey A., engineer of the center of intelligent systems, FSUE «NAMI».

Статья поступила в редакцию 02.04.2024; одобрена после рецензирования 06.05.2024; принята к публикации 13.06.2024.

The article was submitted 02.04.2024; approved after reviewing 06.05.2024; accepted for publication 13.06.2024.