

УДК 004.932 (656.13)

DOI: 10.24412/3033-6007-2026-137-61-68

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ВОДИТЕЛЯ В УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ

Воробьев Андрей Игоревич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Организация и безопасность движение, интеллектуальные транспортные системы», МАДИ, Москва, Россия,
E-mail: andrey552@yandex.ru

Маркаров Александр Игоревич, ассистент кафедры «Организация и безопасность движение, интеллектуальные транспортные системы», МАДИ, Москва, Россия,
E-mail: markarov20@yandex.ru

Селезнев Денис Витальевич, лаборант кафедры «Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы», МАДИ, Москва, Россия,
E-mail: den.sele@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Человек является центральным элементом системы «водитель – автомобиль – дорога – среда», безопасность функционирования которой во многом зависит от его действий и решений. Даже в беспилотных транспортных средствах предусмотрено присутствие человека, осуществляющего мониторинг и контроль над процессом. Статья является частью исследования, заключающегося в оценке уровня вовлеченности водителя в управление высокоавтоматизированными транспортными средствами и его способности оперативно восстановить контроль в случае возникновения критической ситуации, а также в определении его способности инициировать соответствующие действия в условиях отвлеченности. В статье описана подготовка к эксперименту, позволяющему оценить вовлеченность человека-водителя в процесс управления при взаимодействии с автоматизированными системами управления транспортом. Основное внимание уделено описанию комплекса, с помощью которого моделируется процесс движения высокоавтоматизированного транспортного средства.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, машинное обучение, компьютерное зрение, высокоавтоматизированные транспортные средства, психофизиология водителей.

Введение

В современном обществе вопросам психологического состояния водителя при управлении транспортным средством придаётся важное значение. Водитель обязан не только осуществлять мониторинг дорожно-транспортной обстановки, но и принимать точные и обоснованные решения при управлении транспортным средством, что напрямую влияет на безопасность дорожного движения. Безопасность дорожного движения определяется комплексом экономических и социальных факторов, а также зависит от уровня подготовки водителя, состояния транспортного средства и инфраструктуры.

Одним из ключевых аспектов обеспечения безопасности дорожного движения является обучение основам управления транспортным средством и использование современных автомобилей, оснащённых системами активной и пассивной безопасности, а также электронными системами помощи водителю. Безопасность дорожного движения следует рассматривать в рамках системы ВАДС (водитель – автомобиль – дорога – среда), где каждая подсистема оказывает влияние на общую надёжность и безопасность функционирования. Основными параметрами, определяющими безопасность дорожного движения, являются конструктивные особенности транспортного средства, включая его активную и пассивную безопасность, а также техническое состояние автомобиля. Состояние дорожного покрытия, его содержание и инженерное обустройство также играют значительную роль в обеспечении безопасности дорожного движения. Несмотря на постоянное улучшение характеристик транспортных средств и развитие инфраструктуры, уровень дорожно-транс-

портных происшествий остаётся высоким. Анализ статистических данных свидетельствует о том, что действия водителей являются основным фактором, влияющим на аварийность. Примерно 75% дорожно-транспортных происшествий происходят вследствие ошибочных действий водителей в различных дорожных ситуациях [1-3].

Одной из главных причин дорожно-транспортных происшествий является невнимательность водителя. Причины невнимательности или ошибочных решений водителя связаны с его психофизиологическими особенностями, включая сенсорное восприятие, сенсомоторные реакции, когнитивные процессы (внимание, мышление, память), эмоциональные и волевые характеристики, а также личностные особенности и другие факторы. Внедрение высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС) может решить данную проблему только частично, так как движение без участия водителя возможно только при пятом уровне автоматизации и соответствующей среде штатной эксплуатации (согласно классификации SAE J3016:2021) [4].

В первом разделе статьи описаны предпосылки для проведения эксперимента по оценке вовлеченности водителя в управление ВАТС, во второй части описан комплекс, с помощью которого можно реализовать данный эксперимент, а в третьей части представлен типовой сценарий для его проведения.

1. Способы оценки вовлеченности водителя в управление ВАТС

Основной задачей является разработка аппарата оценки вовлеченности водителя в управление ВАТС. Вовлечённость водителя может быть перцептивной (включает в себя визуальную, звуковую, осязательную вовлечённость), деятельной и когнитивной. Последняя есть основная задача вождения и связывает перцептивную и деятельную вовлечённость (рис. 1).

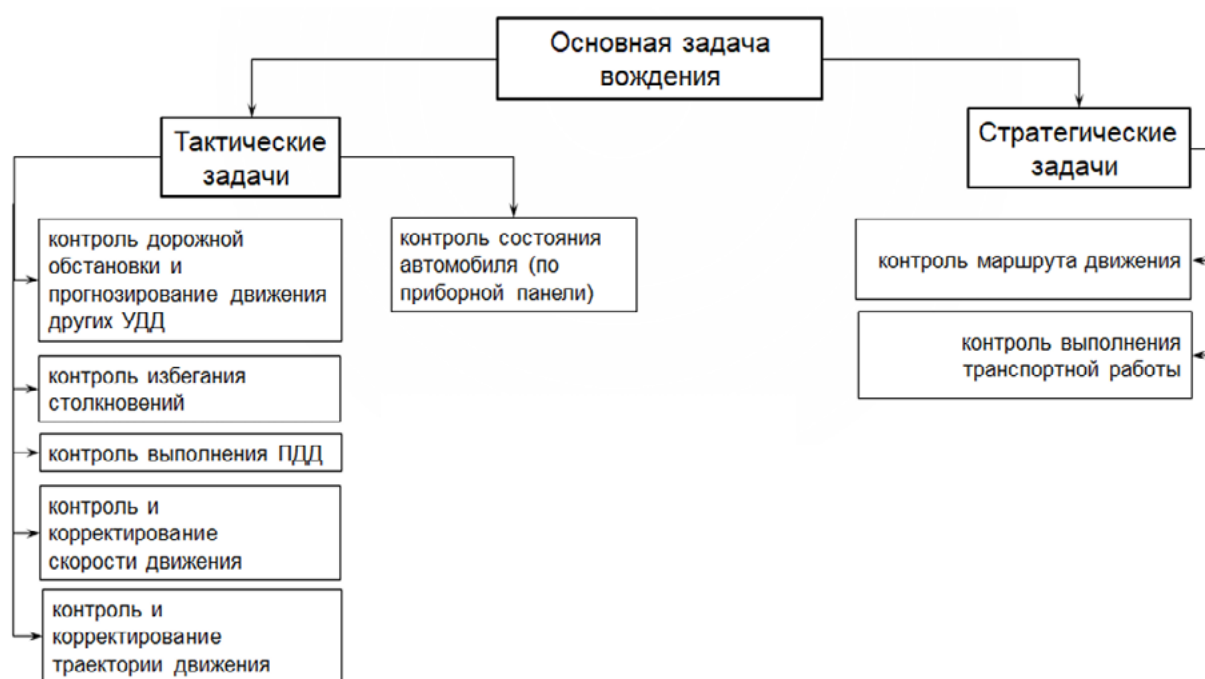


Рис. 1 – Классификация задач вождения

Чтобы оценить вовлеченность водителя в управление ВАТС необходимо провести сравнение двух режимов движения: когда водитель будет находиться в ВАТС в режиме беспилотного управления и отвлекаться на посторонние занятия или внешние воздействия и когда водитель ВАТС находится в ручном режиме. На этом основании предполагается построение аппаратного определения моделей, по которым происходит отвлечение водителя.

Для водителей характерны реакции на движущиеся объекты, требующие выполнения определенных действий в зависимости от дорожных условий. Исследования показывают, что время реакции водителя в процессе управления автомобилем варьируется от 0,3 до 2,5 секунд и подвержено влиянию множества факторов, как связанных с дорожными условиями, так и с психофизиологическими характеристиками водителей [5]. Для предотвращения дорожно-транспортных происшествий водители должны обладать способностью к быстрому переключению внимания и адаптации своих действий в соответствии с изменяющимися условиями, включая возможность перехода от одного управляющего воздействия к другому.

Переключение и распределение внимания – залог своевременности определения усложнения какой-то конкретной дорожной ситуации, особенности которой выявляются экспериментальным путём. При поездке в ВАТС водитель часть времени не выполняет управляющих воздействий, но предполагается, что в определенный момент ему потребуется взять управление на себя. Эксперимент включает в себя наблюдение за водителем: может ли он, в случае появления препятствия, вовремя переключиться на ручное управление ВАТС, и как на это влияет то, что в процессе движения, водитель был отвлечён каким-либо способом. Это исходит из того утверждения, что человек не может долго сосредотачиваться на одном объекте, интенсивность внимания всегда различна [8, 9]. Снижение внимания приводит к возникновению опасных ситуаций, влекущих за собой ДТП.

Особое внимание следует уделить процессу передачи управления от системы к человеку, поскольку водитель может не обладать полной информацией о ситуации вокруг транспортного средства и может быть не готов к принятию решений в данных условиях [10-13]. Определить времена отвлечения водителя при передвижении в ВАТС возможно с помощью эксперимента, проведенного с использованием аппаратного комплекса.

2. Описание комплекса для проведения эксперимента по оценке вовлеченности водителя в управление ВАТС

В качестве регистрирующей и измерительной аппаратуры предлагается использовать установку для психофизиологического мониторинга ПФМ-МАДИ-1 (рис. 2). Комплекс позволяет осуществлять регистрацию и отслеживание психофизиологического состояния исследуемого, выступающего в роли водителя. По функциональности систем управления автомобилем симулятор полностью соответствует реальному ТС, доработанному до исследовательской модели, которая позволяет проводить эксперименты различной сложности.

В состав комплекса входит следующее оборудование:

- симулятор, состоящий из кабины ТС и проекционного экрана;
- средство управления комплексом (место оператора);
- система трекинга глаз;
- комплекс психофизиологического анализа.



Рис. 2 – Общий вид ПФМ-МАДИ-1

В момент проведения исследований испытуемый и оборудование, требуемое для имитации ВАТС и дорожной ситуации, располагаются в отдельном затемнённом помещении, чтобы полностью погрузить в атмосферу управления автомобилем. Звуковое сопровождение осуществляется по пяти каналам.

На экранах оператора и испытуемого, дублируется видеоряд, который представляет собой дорожную сцену (рис. 3).

Состав комплекса психофизиологического анализа:

- Браслет, реагирующий на кожно-гальваническую реакцию (точность 2%, полоса частот 0,5-1,5 Гц) и сердечно-сосудистую деятельность (точность 10 мВ, полоса частот 0,5-2,5 Гц). Браслет подключается к беспроводному блоку регистрации физиологических показателей.
- Система мониторинга направления взгляда водителя. В состав системы входят очки и модуль записи.



Рис. 3 – Информация, отображаемая на экранах оператора и испытуемого, соответственно

С помощью системы мониторинга направления взгляда водителя возможно определить время вовлечения водителя в процесс управления.

Помимо камеры, фиксирующей положение глазного зрачка, есть и другая, фиксирующая происходящее вокруг. Время концентрации внимания на каком-то объекте есть время фиксации – время, в течение которого скорость перемещения точки по координатной сетке панорамы равнялось нулю. Это основной фактор оценки вовлечённости водителя.

Данные от системы мониторинга психофизиологических параметров водителя (полиграфа) и системы мониторинга направления взгляда водителя отображаются и записываются на носитель информации портативного компьютера, предназначенного для обработки получаемого цифрового видеоряда при помощи специального программного обеспечения.

Аппаратный комплекс ПФМ МАДИ-1 ранее был использован при разработке методики проектирования режимов бортового информирования водителя в рамках задач интеллектуальных транспортных систем [5]. Проектирование режимов бортового информирования водителя высокоавтоматизированного транспортного средства требует проведения отдельных экспериментов, так как увеличивается количество сценариев поведения водителя. Комплекс дает возможность провести эксперименты на симуляторе с использованием трекинга взгляда и снятием физиологических показателей, что является мультимодальным подходом и позволяет точнее провести классификацию состояний водителя [6, 7].

3. Проведение эксперимента по оценке вовлеченности водителя в управление ВАТС

Типовой сценарий проведения исследований с применением комплекса ПФМ-МАДИ-1 состоит из следующих этапов:

1. Воспроизведение различных видов заранее смоделированных ситуаций на испытуемых.

2. Сбор данных, отражающих психофизиологическое состояние участника исследования, включая фиксацию его взглядов, движений.
3. Обработка и анализ данных, полученных в пунктах 1-2.
4. Выводы на основе данных, полученных в ходе эксперимента.

Для оценки психофизиологического состояния водителя, измеряются следующие параметры:

1. Активность мыслительной деятельности – измерение этого параметра позволяет оценить когнитивную нагрузку водителя во время движения по участку дороги. В качестве основных источников информации во время движения будет выделены:
 - дорожные знаки и ТСОДД;
 - дорога (информация о геометрических параметрах);
 - придорожные объекты;
 - впереди идущие транспортные средства;
 - пешеходы;
 - иные объекты;

Активность мыслительной деятельности изменяется в зависимости от числа объектов, с которыми происходит информационный обмен. Оценка изменения показателя данного параметра производится в зонах, где возможно размещения максимального количества объектов (участников ДД) для того, чтобы стимулировать повышение умственной активности и далее оценивать с учетом заданных параметров внешних условий.

2. Уровень стресса и уровень агрессии. Стресс – является реакцией человека на какие-либо неблагоприятные факторы окружающей среды. Агрессия – поведение, отражающее предрасположенность к нанесению физического и психологического вреда. Присутствие некомфортных или непривычных условий движения влияют на человека и меняют уровни стресса и агрессии. В качестве таковых в заранее определенных зонах маршрута будет действовать лидер-провокактор, для воздействия на испытуемого водителя.

Визуализация данных по активности мыслительной деятельности, а также уровню стресса и уровню агрессии представляет собой интерфейс, который позволяет оценивать изменение данных параметров на протяжении всего эксперимента (рис. 4). По оси x откладывается время проведения эксперимента, а по оси y величина соответствующего параметра.

3. Распределение внимания водителя. Позволяет оценить число объектов, находящихся в поле зрения водителя в момент времени. В качестве основных объектов, на которых будет регистрироваться фиксация будут выступать:
 - дорожные знаки;
 - рекламные щиты;
 - автомобили других участников ДД;
 - светофоры;
 - пешеходы;
 - дорога.
4. Время фиксации взгляда на объекте. Позволяет оценить качество восприятия информации. Для оценки данного параметра будет проводиться покадровая оценка задержки взгляда на следующих объектах:
 - дорожные знаки;
 - рекламные щиты;
 - автомобили других участников ДД;
 - светофоры;
 - пешеходы;
 - дорога.

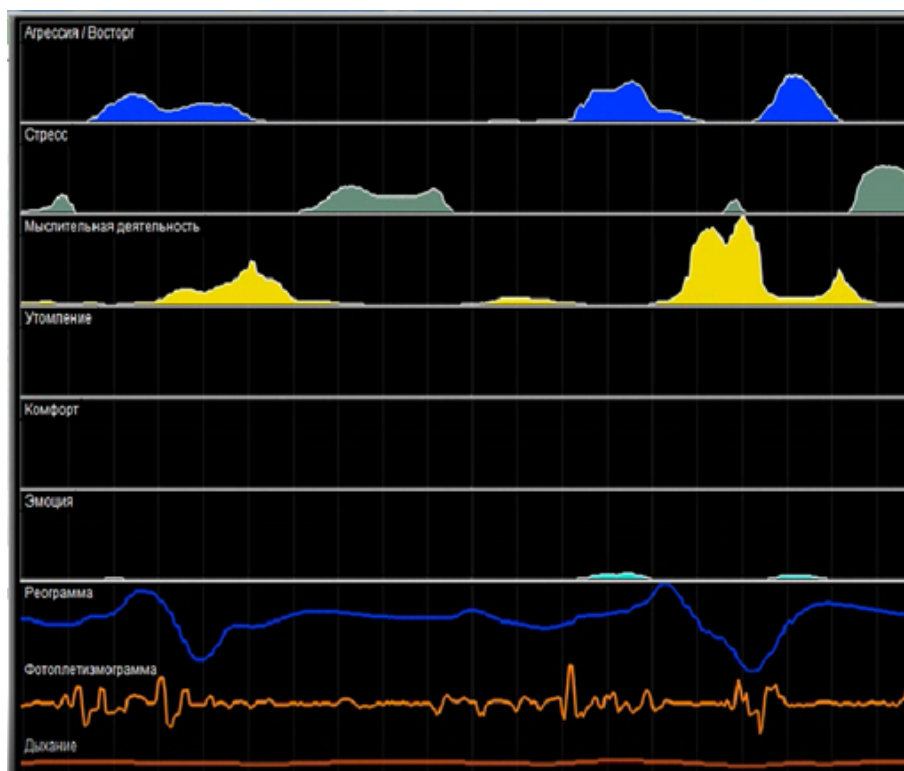


Рис. 4 – Интерфейс визуализации параметров для оценки психофизиологического состояния водителя

Параметры распределения внимания, времени фиксации взгляда и распределения взгляда по ключевым объектам дорожной инфраструктуры замеряется одним прибором и в качестве выходных данных получается видеозапись в высоком разрешении с наложением информации о координатах перемещения взгляда респондента (рис. 5).



Рис. 5 – Результаты трекинга взгляда

Анализ результатов проводится по итогам рассмотрения всех полученных данных путем сопоставления интерфейсов, отображающих уровень мыслительной деятельности, уровень стресса и агрессии и сопоставления их с видеодорожкой результатов записи экспериментальных исследований для получения зависимостей от условий движения и особенностей водителей-респондентов.

Во время эксперимента для каждого сценария также фиксируются следующие данные:

- t_3 – время замечания события: в процессе движения, будучи отвлечённым, водитель переводит взгляд на дорогу и воспринимает информацию, возвращая взгляд и внимание на дорогу;

- $t_{\text{расп}}$ – время распознавания, за которое водитель сопоставляет полученную информацию с реальными условиями;
- $t_{\text{реак}}$ – время реакции, которое необходимо водителю для принятия решения.

Сумма $t_3, t_{\text{расп}}, t_{\text{реак}}$ и дает время реакции водителя, отвлеченного от процесса вождения, на сложную ситуацию – $t_{\text{осн}}$. С помощью данных величин возможно рассчитать относительный уровень внимания водителя на основную задачу вождения. Математическую модель и примеры результатов экспериментальных исследований планируется рассмотреть в следующих публикациях авторов по данной теме.

Заключение

Результаты, полученные при проведении экспериментального исследования с применением аппаратного комплекса, будут использованы для формирования алгоритма оценки уровня вовлеченности водителя в процесс движения и проектирования человеко-машинного интерфейса. С помощью алгоритма оценки вовлеченности становится возможным подбирать оптимальные сценарии информирования водителя при управлении ВАТС.

Список использованной литературы

1. Воеводин Е. С., Фомин Е. В., Пулянова К. В. и др. Определение оптимальных параметров элементов системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2018. – Т. 22, № 5(136). – С. 240–250. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-5-240-250.
2. Дронсейко В. В., Забудский А. Ю., Короткова Ю. А. Рефлексивное управление в транспортных средствах с различным уровнем автоматизации как инструмент снижения уровня конфликтности // *Вестник МАДИ*. – 2021. – № 2(65). – С. 101–105.
3. Борисова С. Е. Влияние психологических установок водителей на безопасность дорожного движения // *Психология и право*. – 2011. – № 4. – С. 88–98.
4. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for OnRoad Motor Vehicles* (SAE J3016) [Электронный ресурс] // SAE International. – URL: https://www.sae.org/standards/j3016_202104-taxonomy-definitions-terms-related-driving-automation-systems-road-motor-vehicles/ (дата обращения: 01.03.2026).
5. Ионов С. В. Разработка методики проектирования режимов бортового информирования водителя в рамках задач интеллектуальных транспортных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. – М., 2015. – 22 с.
6. N. Kim et al., «Takeover safety analysis with driver monitoring systems and driver-vehicle interfaces in highly automated vehicles,» *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 15, p. 6685, 2021. DOI: 10.3390/app11156685.
7. N. Liang et al., «Using eye-tracking to investigate the effects of pre-takeover visual engagement on situation awareness during automated driving,» *Transp. Res. Part F*, vol. 80, pp. 198–212, 2021. DOI: 10.1016/j.trf.2021.04.007.
8. Короткова Ю. А. Особенности восприятия информации водителем высокоавтоматизированного транспортного средства // *Безопасность дорожного движения*. – 2022. – № 3. – С. 48–51.
9. Юлин А. С. Влияние информированности пользователей о работе систем электронных помощников водителя на безопасность дорожного движения на примере второго уровня автоматизации // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2024. – № 3-2(90). – С. 219–225. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-3-2-219-225.
10. Воробьев А. И., Ионов С. В., Шадрин А. В. Обоснование эффективности систем информирования водителей в рамках сценариев определения опасных ситуаций // *Вестник МАДИ*. – 2014. – № 3(38). – С. 94–97.
11. Жанказиев С. В., Воробьев А. И., Забудский А. Ю. Определение минимального времени передачи управления при движении в высокоавтоматизированном автомобиле // *Транспорт Российской Федерации*. – 2019. – № 4(83). – С. 33–36.

12. A. Y. Zabudskiy, A. I. Vorobyev, V. V. Dronseiko et al., «Research of the level of driver involvement in the management of a highly automated vehicle,» in *2022 Syst. Signal Gener. Process. Field Board Commun. (SOSG)*, Moscow, 2022. DOI: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744381.
13. C. Marberger and D. Manstetten, «Driver state monitoring in automated driving,» in *Handbook of Assisted and Automated Driving*, H. Winner et al., Eds. Wiesbaden: Springer, 2026. DOI: 10.1007/978-3-658-45276-6_51.

USING A HARDWARE COMPLEX TO ASSESS DRIVER ENGAGEMENT IN THE OPERATION OF A HIGHLY AUTOMATED VEHICLE

Andrey I. Vorobyev, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Organization and Safety of Traffic, Intelligent Transport Systems», MADI, Moscow, Russia,
E-mail: andrey552@yandex.ru

Alexander I. Markarov, Assistant Professor of the Department «Organization and Safety of Traffic, Intelligent Transport Systems», MADI, Moscow, Russia,
E-mail: markarov20@yandex.ru

Denis V. Seleznev, Laboratory assistant of the Department «Organization and Safety of Traffic, Intelligent Transport Systems», MADI, Moscow, Russia,
E-mail: den.sele@mail.ru

ABSTRACT

A person is the central element of the driver – car – road – environment system, the safety of which largely depends on his actions and decisions. Even in unmanned vehicles, there is a human presence that monitors and controls the process. The article is part of a study aimed at assessing the driver's level of involvement in driving highly automated vehicles and his ability to quickly regain control in the event of a critical situation, as well as determining his ability to initiate appropriate actions in conditions of distraction. The article describes the preparation for an experiment that allows to evaluate the involvement of a human driver in the control process when interacting with automated transport control systems. The main attention is paid to the description of the complex, with the help of which the process of movement of a highly automated vehicle is simulated.

Keywords: intelligent transport systems, machine learning, computer vision, highly automated vehicles, psychophysiology of drivers.