

ISSN 1561-8323 (Print)

ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 629.33; 64.011.342; 004.8; 612.821

<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-5-624-631>

Поступило в редакцию 04.05.2020

Received 04.05.2020

В. В. Савченко, С. Н. Поддубко*Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси, Минск,
Республика Беларусь*

КОНЦЕПЦИЯ ПЕРЕДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДИТЕЛЮ В ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

(Представлено членом-корреспондентом Л. Г. Красневским)

Аннотация. С междисциплинарных позиций, на основе системного подхода, впервые сформулирована концепция передачи управления водителю в высокоавтоматизированных транспортных средствах (ВАТС), позволяющая определить потенциальную возможность восстановить контроль над высокоавтоматизированным автомобилем по состоянию, основывающийся на осведомленности о ситуационной обстановке по маршруту движения, мониторинге текущего функционального состояния, включая готовность к экстренным действиям, и индивидуальных особенностях водителя. Представлена классификация кросс-модальных информационных потоков в высокоавтоматизированных и автономных автомобилях. Дано определение кросс-модального взаимодействия в ВАТС и сформулирована цель анализа разнородных информационных потоков в бортовых системах транспортных средств, где автоматический анализ разнородных информационных потоков дает синергетический эффект. Представлены примеры релевантной информации для водителя.

Ключевые слова: высокоавтоматизированные автомобили, индивидуальные особенности водителя, кросс-модальные информационные потоки, мониторинг функционального состояния водителя, передача управления водителю, ситуационная обстановка по маршруту движения

Для цитирования: Савченко, В. В. Концепция передачи управления водителю в высокоавтоматизированных транспортных средствах / В. В. Савченко, С. Н. Поддубко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2020. – Т. 64, № 5. – С. 624–631. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-5-624-631>

Vladimir V. Savchenko, Sergey N. Poddubko*Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk,
Republic of Belarus*

CONCEPT OF TRANSFERRING CONTROL TO A DRIVER IN HIGHLY AUTOMATED CARS

(Communicated by Corresponding Member Leonid G. Krasnevsky)

Abstract. From an interdisciplinary point of view, on the basis of a systematic approach, the concept of transferring control to a driver in highly automated vehicles was first formulated, which allows one to determine the potential possibility of regaining control of a highly automated car based on its awareness of the situational situation along the route of movement and monitoring of the current functional state, including readiness for emergency actions, and individual features of the driver. The classification of cross-modal information flows in highly automated and autonomous cars is presented. The definition of cross-modal interaction in highly automated vehicles is given, and the goal of analyzing heterogeneous information flows in on-board vehicle systems is formulated, where automatic analysis of heterogeneous information flows gives a synergistic effect. Examples of relevant driver information are provided.

Keywords: highly automated cars, driver's individual characteristics, cross-modal information flows, monitoring the functional state of the driver, transfer of control to the driver, situational circumstances along the route

For citation: Savchenko V. V., Poddubko S. N. Concept of transferring control to a driver in highly automated cars. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2020, vol. 64, no. 5, pp. 624–631 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-5-624-631>

Введение. Поиск путей и разработка методов передачи управления водителю в высокоавтоматизированных транспортных средствах (ВАТС) сегодня находятся на исследовательской стадии [1]. Известно, что с ростом автоматизации во всех классах систем «человек–машина» появляется все больше и больше монотонных фрагментов в алгоритмах деятельности человека–

оператора, которые оказывают негативное воздействие на штатное выполнение алгоритмов деятельности, прежде всего уменьшают текущую осведомленность об интегральной ситуационной обстановке (что сказывается на адекватности оценки динамики ее развития) и увеличивают время реакций человека-оператора при возникновении потребности в экстренном действии, что непосредственно влияет на безопасность функционирования систем «человек–машина».

Например, использование адаптивного круиз-контроля – Adaptive Cruise Control (ACC) приводит к относительно небольшому сокращению рабочей нагрузки на водителя, а высокоавтоматизированное вождение (BAV) – к значительному сокращению рабочей нагрузки по сравнению с ручным вождением. В [2] представлен обзор полученных в ходе двенадцати исследований экспериментальных данных об эффективности решения водителем дополнительных задач при использовании ACC и BAV при нагрузке и его осведомленности о ситуации в сравнении с ручным вождением. В том числе представлен анализ рабочей нагрузки, измеряемой как производительность при выполнении произвольной задачи, отображенной на бортовом дисплее. Среднее количество выполненных задач составило 100 % для ручного вождения, 112 % при использовании ACC и 261 % при использовании BAV. Другими словами, при использовании ACC водители могут выполнять на визуальном дисплее примерно на 12 % больше задач, чем при ручном управлении. Однако при использовании BAV они могут выполнять более чем в 2,5 раза больше задач, чем при ручном управлении. Всего метаанализу было подвергнуто свыше 4000 литературных источников.

Около 12 лет назад начали проводиться исследования проблемы человеческого фактора при возрастании уровня автоматизации в транспортных средствах (ТС), в основном ориентированные на взаимодействие водителей с ACC, и уже тогда было установлено, что увеличение уровня автоматизации может привести к снижению осведомленности о дорожной ситуации, способствуя снижению эффективности выполнения алгоритмов деятельности по управлению ТС при возникновении нештатных ситуаций [3]. В последующем схожие результаты были получены и при исследовании влияния систем – ассистентов водителя (ADAS) по поддержанию полосы движения на водителя при уровнях автоматизации автомобиля с первого по третий [1; 4; 5].

Резолюция о внедрении в практику высоко- и полностью автоматизированных транспортных средств в условиях дорожного движения Глобального форума по безопасности дорожного движения (WP.1) и документа ЕЭК ООН (ECE/TRANC/WP.1/165)¹, «высокоавтоматизированное ТС» означает ТС, оснащенное автоматизированной системой вождения. Эта автоматизированная система вождения действует «в пределах конкретного домена штатной эксплуатации (ДШЭ)» применительно к некоторым или всем поездкам без необходимости вмешательства человека в качестве запасного варианта обеспечения безопасности дорожного движения; ДШЭ означает окружающие и географические условия, время суток, а также дорожно-транспортные, инфраструктурные, погодные и другие условия, для работы в которых конкретно предназначена данная автоматизированная система вождения. Поиск путей решения проблемы передачи управления водителю в высокоавтоматизированных ТС, когда бортовые системы ТС не могут поддерживать далее «беспилотный» режим управления (не соответствуют ДШЭ, например, сильный ливень (контроллеры видекамер не «распознают» ситуационную обстановку по пути следования, съезд на второстепенные дороги, где отсутствует инфраструктурная поддержка BAV и др.)) сегодня в мире находится на уровне поисковых исследований.

Концепция передачи управления водителю в БАТС по состоянию. Развитие оценочных критериев и условий для автоматической передачи управления водителю во время движения при смене парадигмы управления ТС с автоматического на ручное сегодня является одной из самых актуальных задач. Основная цель – определить, в какой момент времени возможна безопасная передача управления, когда водитель уже потенциально способен выполнять требуемые алгоритмы деятельности в соответствии с текущим функциональным состоянием (ФС). Очевидно, что для разных людей это будет разное время, поскольку влияние оказывают внутренние и внешние факторы, имеющие различные весовые коэффициенты. Основные – это осведомленность о ситуационной обстановке по маршруту движения, текущее функциональное состояние

¹ Global Forum for Road Traffic Safety (WP.1) resolution on the deployment of highly and fully automated vehicles in road traffic. – Document ECE/TRANS/WP.1/2018/4/Rev. – 14 January 2019, UNECE, Geneva.

(во многом обусловленное родом занятия в предшествующие 5–10 минут) и индивидуальные особенности конкретного человека.

Ситуационная обстановка по маршруту движения – величина качественная и переменная, зависящая от многих факторов (интенсивности трафика и потенциальных сложностей на конкретных локальных участках дороги, нестандартных ситуаций, инцидентов и аварий, погодных условий, времени суток и др.). Исследования осведомленности водителя о ситуационной обстановке по маршруту движения ведутся в мире достаточно интенсивно [2; 4; 5]. По разным оценкам и в зависимости от сложности ситуационной обстановки и рода деятельности водителя в предшествующее время требуется от нескольких десятков (часто около 60 с) до 360 с на адекватную оценку ситуационной обстановки. В большинстве исследовательских проектов используются методы мониторинга и оценки динамики зрительного анализатора водителя с применением соответствующего экспериментального оборудования во взаимосвязях с восстановлением контроля водителя над траекторным движением ТС, ситуационной обстановки и выполнением алгоритмов деятельности (или их фрагментов) в различных вариациях и в реальном масштабе времени. Определенное значение имеет и динамика изменения психофизиологических и физиологических параметров непосредственно во время восстановления осведомленности о ситуационной обстановке.

Методы мониторинга и поддержания текущего функционального состояния водителя на основе мониторинга и анализа параметров электродермальной активности (ЭДА) во взаимосвязи с выполняемыми алгоритмами деятельности непосредственно во время выполнения алгоритмов деятельности разработаны и неоднократно апробированы. Системы, их реализующие, выпускаются серийно, установлено, что они обеспечивают поддержание водителя в состоянии готовности к экстренному действию [6–9].

На рис. 1 представлена структура системы верхнего уровня для обеспечения передачи управления водителю в ВАТС.

Новизной представленной системы является возможность анализа разнородной информации, циркулирующей в системах активной безопасности и управления ВАТС, ADAS, включающие системы мониторинга функционального состояния водителя по анализу параметров (характеристик зрительного анализатора) и ЭДА, коммуникационной платформе C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything), интеллектуальных транспортных системах (ИТС), работающих в реальном масштабе времени, с поддержкой навигационной системы ТС и облачных сервисов. Облачные сервисы поддерживают ведение и обновление базы данных индивидуальных профессионально важных качеств (ПВК) водителей, отслеживаемых во время выполнения алгоритмов деятельности при ручном управлении ВАТС, обработку виртуальным сервером информационных потоков с C-V2X, ИТС и синтез вероятностных оценок возможности передачи управления водителю в конкретной дорожной ситуации и реальных условиях движения, работающих по взаимоувязанным спецификациям протоколов обмена информацией.

Индивидуальные особенности водителя в рассматриваемом контексте – это прежде всего динамика психофизиологических (физиологических) параметров, уровень и динамика развития его ПВК при управлении ТС, в том числе индивидуальные количественные значения (например, временные затраты на осуществление управляющих действий, прием сигнальной информации и др.), которые могут регистрироваться (мониторироваться) при выполнении алгоритмов деятельности при ручном управлении ВАТС, находятся в облачных базах данных систем профессионального отбора и развития таких качеств. Например, в [10] представлен подход, позволяющий контролировать восприятие оператором семантически бинарной релевантной информации.

Восприятие релевантной информации, в отличие от индифферентных раздражителей, неизменно без всякого исключения сопровождается импульсом фазической составляющей ЭДА (кожно-гальванической реакцией). В ВАТС релевантная информация для водителя – это предупреждение систем ADAS об ошибочных действиях в текущей ситуации (пересечение линий разметки дороги без включения поворота, попытка перестроения, когда в мертвой зоне видимости находится другой автомобиль, внезапное появление пешехода или велосипедиста, превышение скорости и др.). Это также кросс-модальная информация, передаваемая по протоколам V2I

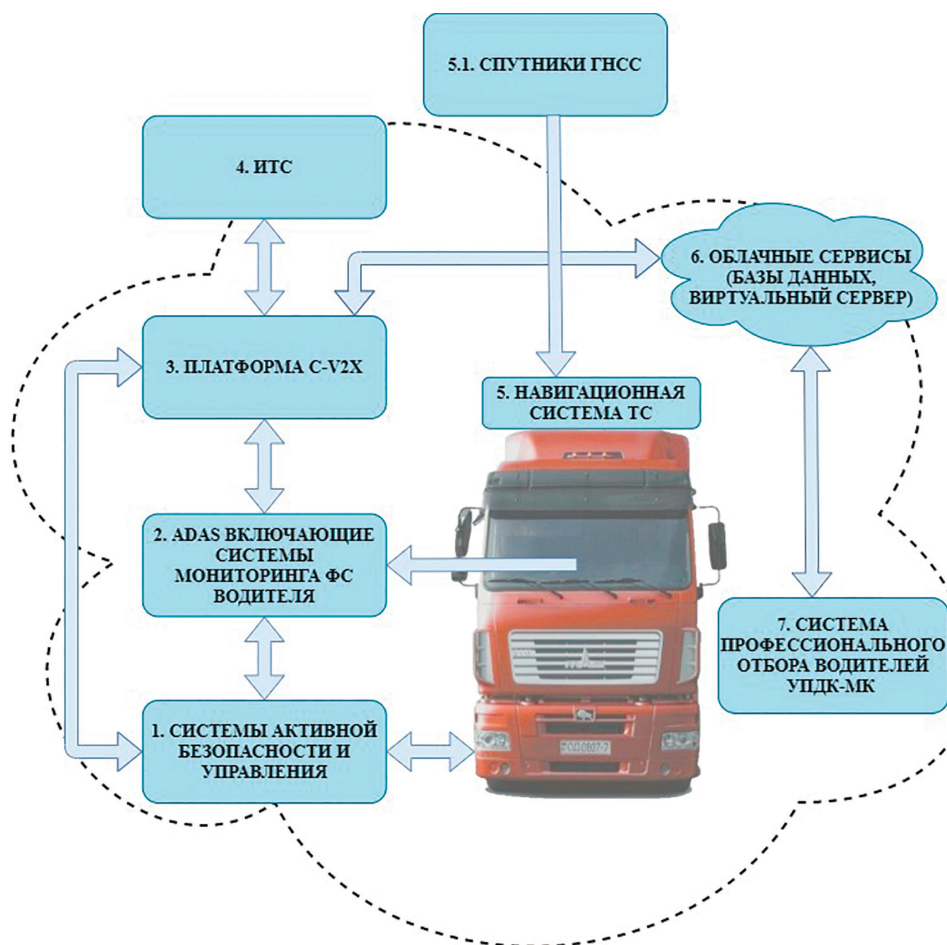


Рис. 1. Структура системы верхнего уровня для передачи управления водителю в БАТС: 1 – системы активной безопасности и управления ТС; 2 – ADAS, включающие системы мониторинга ФС водителя; 3 – коммуникационная платформа C-V2X; 4 – ИТС; 5 – навигационная система ТС; 5.1 – спутники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС); 6 – облачные сервисы (базы данных, виртуальный сервер); 7 – стационарная система профессионального отбора водителей (универсальный психодиагностический комплекс УПДК-МК)

Fig. 1. The structure of the upper-level system for transferring control to the driver in a highly automated vehicle: 1 – active safety and vehicle control systems; 2 – ADAS, including systems for monitoring the functional state of the driver; 3 – communication platform C-V2X; 4 – intelligent transport systems; 5 – vehicle navigation system; 5.1 – satellites of global navigation satellite systems (GNSS); 6 – cloud services (databases, virtual server); 7 – stationary system of professional selection of drivers (universal psychodiagnostic complex UPDK-MK)

(коммуникации автомобиль – придорожная инфраструктура), например, смена знака светофора, предупреждения о сложных метеорологических условиях и др., и по протоколам V2V (коммуникации автомобиль–автомобиль), например, авария на пути следования ТС, предупреждение об опасности обгона, проблемы с дорожным покрытием и др.

Наиболее широкое распространение получили такие стационарные системы профессионального отбора водителей, как УПДК-МК [11] и психологическая аттестация водителей (система тестирования Vienna Traffic) [12], которые используют по 30–50 психологических методик, психофизиологических параметров и личностных тестов для оценки уровня ПВК водителей в стационарных условиях при проведении профессионального отбора или осмотра психологом. Например, УПДК-МК обеспечивает тестирование психофизиологических ПВК (восприятия пространственных отношений и времени, глазомера, устойчивости, переключаемости и распределения внимания, памяти, психомоторики, эмоциональной устойчивости, динамики работоспособности) и свойств и качеств личности водителя, которые позволят ему безопасно управлять ТС (нервно-психической устойчивости, свойств темперамента, склонности к риску, конфликтности, монотоностойчивости).

УПДК–МК также включает методики развития ПВК (тренировку избирательности и концентрации внимания, распределения внимания, повышение эмоциональной устойчивости, гибкости темпа действий, устойчивости к монотонии) и методики общего развития (тренировку ассоциативных процессов, памяти на образы и символы). Все методики, использующиеся при тестировании ПВК, соответствуют требованиям валидности. Информация баз данных систем профессионального отбора или осмотра конкретного водителя может быть доступна на борту высокоавтоматизированного ТС с использованием информационных каналов коммуникационной платформы C-V2X с этим водителем и использована в алгоритмах анализа потенциальной возможности водителя восстановить контроль над высокоавтоматизированным автомобилем по состоянию для повышения достоверности алгоритмов. Некоторые значения ПВК могут актуализироваться в автоматическом режиме (с использованием облачных технологий и виртуальных вычислений), например, все, что связано со скоростью реакций водителя во время ручного управления [10], мониторится в фоновом режиме во время управления водителем высокоавтоматизированным ТС в ручном режиме и через C-V2X направляется в облако, где и происходит (в автоматическом режиме) актуализация персональной сущности конкретного водителя в базе данных УПДК–МК. Таким образом, если конкретный водитель периодически или время от времени использует для управления высокоавтоматизированным ТС ручное управление, его база данных ПВК (по ряду параметров) будет актуальна в реальном масштабе времени.

Кросс-модальные информационные потоки в высокоавтоматизированных и автономных автомобилях. Уровень автоматизации неуклонно растет, что позволяет решать ранее существовавшие при функционировании автомобилей проблемы, но также создает новые, которые еще предстоит исследовать и решить. При возрастании уровня автоматизации значительными темпами растут объемы разнородной информации, циркулирующей в такой метасистеме, как «водитель–высокоавтоматизированный автомобиль–дорога–интеллектуальная транспортная система–информационное поле». На рис. 2 представлены прогнозируемый поток данных, генерируемых в автономных автомобилях, и основные источники.

Для реализации алгоритмов траекторного движения и их корректировки в соответствии с текущими условиями беспилотным автомобилям, по мнению специалистов компании Intel [13], нужны видео камеры, генерирующие поток информации порядка 20–60 Мб/с, радары и ультразвуковые локаторы (по 10–100 Кб/с), системы навигации GPS (50 Кб/с, хотя мы полагаем, что предпочтительно использование четырехсистемного навигационного чипсета (ГЛОНАСС, «Галилео», BeiDou, GPS – по 50 Кб/с для каждой из ГНСС, итого 200 Кб/с) как обладающего функционалом, позволяющим с большей точностью определять текущую координату, более высокой



Рис. 2. Прогнозируемый поток данных, генерируемых автономным автомобилем

Fig. 2. The predicted data flow generated by the autonomous vehicle

помехозащищенностью и достоверностью [14]). Лидар формирует трафик порядка 10–70 Мб/с. По приблизительным экспертным оценкам, использующий такие технологии автомобиль будет генерировать около 4 Тб данных в день. К этому добавляется информация, генерируемая классическими системами активной безопасности и системами мониторинга основных узлов и агрегатов [15; 16].

В ВАТС к этим потокам также добавляются информационные потоки различной семантики, получаемые от интеллектуальных транспортных систем (для информирования), телематических систем, видео камер и датчиков мониторинга функционального состояния водителя, в том числе для решения задачи автоматической оценки определения времени возможной передачи управления, когда водитель потенциально способен выполнять требуемые алгоритмы деятельности, при переходе с автоматического режима управления движением ТС на ручной. Как автономный, так и высокоавтоматизированный автомобиль одновременно является и значимым потребителем информации телематических систем (например, высокоточных 3D-карт дорог (включая местность на расстоянии нескольких метров от них), которые будут постоянно обновляться в автоматическом режиме с использованием ресурсов самих автомобилей, в том числе включающих высокоточные навигационные координаты дорожной разметки; получаемые данные автомобиль отправляет в облако, где они преобразуются в высокоточную цифровую копию маршрута движения [17]) и C-V2X для подключенных автомобилей. Функционал C-V2X имеет значимые перспективы, поскольку использует как сетевую (уже существующее покрытие сетей сотовой связи и распространение смартфонов, планшетов и гаджетов), так и прямую связь, необходимую для сервисов V2X. Объемы получаемых высокоавтоматизированным и автономным автомобилями потоков данных соизмеримы с объемами данных, генерируемых автономным автомобилем.

Определение. Кросс-модальное взаимодействие в ВАТС – это преобразование, синхронизация и анализ разнородных информационных потоков в бортовых системах ТС в реальном масштабе времени с единой целевой функцией.

Цель анализа разнородных информационных потоков в бортовых системах ТС – получение интегральной оценки (синтез интегральных оценочных критериев) и автоматической выработки управляющих команд для эффективного функционирования при ВAB с поддержкой ADAS, ИТС, коммуникационной платформы C-V2X и облачных баз данных в реальном масштабе времени, причем автоматический анализ разнородных информационных потоков дает синергетический эффект.

Одним из приоритетных направлений повышения эффективности эксплуатации высокоавтоматизированных автомобилей является автоматический мониторинг парка подключенных автомобилей, в том числе обмена информацией, и аналитика. Это позволит своевременно определять и блокировать появляющиеся угрозы.

Развитие ИТС, ADAS, коммуникационных платформ, облачных технологий, систем активной безопасности (включая высокоточные навигационные системы, работающие с несколькими ГНСС) и неуклонно возрастающий уровень автоматизации автомобилей позволяют ставить и решать принципиально новые задачи по безопасности функционирования транспортных систем «человек–машина», причем автоматический анализ разнородных информационных потоков дает синергетический эффект. Кросс-модальное взаимодействие в транспортных системах «человек–машина» – это взаимодействие иерархически выстроенных разнофункциональных бортовых систем мониторинга и управления (технических компонент транспортного средства, характеристик траекторного движения в привязке к навигационной координате, результатов работы ADAS, включая функциональное состояние водителя) между собой и с внешними системами (прежде всего ИТС, диспетчерскими и экстренными службами) с целевой функцией повышения эффективности функционирования систем «человек–машина». Анализ кросс-модального информационного обмена в транспортных системах «человек–машина» с единых методологических позиций позволяет с приемлемой для решения прикладных задач точностью формировать в реальном масштабе времени интегральную оценку состояния базовых компонент системы «человек–машина» и динамику изменения ситуационной обстановки, включая внешнюю среду, во взаимосвязях.

Закключение. С междисциплинарных позиций на основе системного подхода впервые сформулирована концепция передачи управления водителю в ВАТС, позволяющая определить потенциальную возможность водителя восстановить контроль над высокоавтоматизированным автомобилем по состоянию, основывающуюся на оценке осведомленности водителя о ситуационной обстановке по маршруту движения, мониторинге текущего функционального состояния и индивидуальных особенностей водителя в контексте ПВК.

Определены основные кросс-модальные информационные потоки в высокоавтоматизированных и автономных автомобилях. Дано определение кросс-модального взаимодействия в ВАТС и сформулирована цель анализа разнородных информационных потоков в бортовых системах ТС.

Представленные результаты свидетельствуют об актуальности задачи мониторинга функционального состояния водителя (потенциальной способности выполнять требуемые алгоритмы деятельности) в реальном масштабе времени, в том числе при ВАВ.

Список использованных источников

1. Madigan, R. The effect of varying levels of vehicle automation on drivers' lane changing behavior / R. Madigan, T. Louw, N. Merat // PLoS ONE. – 2018. – Vol. 13, N 2. – Art. e0192190. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192190>
2. Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: a review of the empirical evidence / J. C. F. de Winter [et al.] // VDI Wissensforum [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.vdi-wissensforum.de/news/effects-of-adaptive-cruise-control-and-highly-automated-driving>. – Date of access: 17.01.2020.
3. Endsley, M. Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task / M. Endsley // Ergonomics. – 1999. – Vol. 42, N 3. – P. 462–492. <https://doi.org/10.1080/001401399185595>
4. Highly automated driving, secondary task performance and driver state / N. Merat [et al.] // Human Factors. – 2012. – Vol. 54, N 5. – P. 762–771. <https://doi.org/10.1177/0018720812442087>
5. Transition to manual: driver behavior when resuming control from a highly automated vehicle / N. Merat [et al.] // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior. – 2014. – Vol. 27. – P. 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.09.005>
6. Savchenko, V. V. Optimization of the Parameters of Semantic Biological Feedback in Systems of Monitoring the Functional State of Operators / V. V. Savchenko // Journal of Automation and Information Sciences. – 2009. – Vol. 41, N 1. – P. 75–80. <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v41.i1.80>
7. Dementienko, V. V. Driver vigilance remote monitoring system / V. V. Dementienko // Science Journal of Transportation. – 2015. – N 6. – P. 110–114.
8. Савченко, В. В. Система поддержания работоспособности водителя: результаты испытаний и экспериментальных исследований / В. В. Савченко, М. С. Свистун, В. В. Сикорский // Автомобильная промышленность. – 2008. – № 1. – С. 32–34.
9. Дементенко, В. В. Оценка эффективности систем контроля уровня бодрствования человека-оператора с учетом вероятностной природы возникновения ошибок при засыпании / В. В. Дементенко, В. Б. Дорохов // Журн. высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2013. – Т. 63, № 1. – С. 24–32. <https://doi.org/10.7868/S0044467713010036>
10. Савченко, В. В. Методы и средства повышения эффективности функционирования операторов транспортных систем «человек–машина» / В. В. Савченко // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2005. – № 2. – С. 29–37.
11. Кремез, А. С. Психологические аспекты безопасности деятельности оперативного персонала технологических установок / А. С. Кремез, В. В. Бонч-Бруевич // Автоматизация в промышленности. – 2011. – № 7. – С. 43–48.
12. Психологическая аттестация водителей. СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ VIENNA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/28720064-Psihologicheskaya-attestaciya-voditeley-sistema-testirovaniya-vienna.html>. – Дата доступа: 29.01.2020.
13. Intel: каждый роботомобиль будет генерировать в среднем 4 Тбайт данных в день // 3DNews Daily Digital Digest: оф. сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3dnews.ru/951292.html>. – Дата доступа: 29.01.2020.
14. Савченко, В. В. Интеграция пассивных систем помощи водителю с бортовыми системами автомобилей [Электронный ресурс] / В. В. Савченко, С. Н. Поддубко // Интеллектуальные транспортные системы. – М., 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
15. Савченко, В. В. Подход к разработке метода передачи управления транспортным средством водителю бортовыми системами в автоматическом режиме / В. В. Савченко, С. Н. Поддубко // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. – 2018. – № 2 (121). – С. 181–187.
16. Savchenko, V. V. Cross-modal information flows in highly automated vehicles / V. V. Savchenko, S. N. Poddubko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 534 – Art. 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/534/1/012003>
17. Самые подробные карты мира будут нужны автомобилям, а не людям // Security-Corp.org: сайт об информационной безопасности. – 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://security-corp.org/programming/vebdev/39026-samyie-podrobnyie-karty-mira-budut-nuzhny-avtomobilyam-a-ne-lyudyam.html>. – Дата доступа: 29.01.2020.

References

1. Madigan R., Louw T., Merat N. The effect of varying levels of vehicle automation on drivers' lane changing behavior. *PLoS ONE*, 2018, vol. 13, no. 2, art. e0192190. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192190>
2. de Winter J. C. F., Happee R., Martens M. H., Stanton N. A. Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: a review of the empirical evidence. *VDI Wissensforum*. Available at: <https://www.vdi-wissensforum.de/news/effects-of-adaptive-cruise-control-and-highly-automated-driving> (accessed 17 January 2020).
3. Endsley M. Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 1999, vol. 42, no. 3, pp. 462–492. <https://doi.org/10.1080/001401399185595>
4. Merat N., Jamson A. H., Lai F. C. H., Carsten O. Highly automated driving, secondary task performance and driver state. *Human Factors*, 2012, vol. 54, no. 5, pp. 762–771. <https://doi.org/10.1177/0018720812442087>
5. Merat N., Jamson A. H., Lai F. C. H., Daly M., Carsten O. M. J. Transition to manual: driver behavior when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, 2014, vol. 27, pp. 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.09.005>
6. Savchenko V. V. Optimization of the Parameters of Semantic Biological Feedback in Systems of Monitoring the Functional State of Operators. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2009, vol. 41, no. 1, pp. 75–80. <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v41.i1.80>
7. Dementienko V. V. Driver vigilance remote monitoring system. *Science Journal of Transportation*, 2015, no. 6, pp. 110–114.
8. Savchenko V. V., Svistun M. S., Sikorski V. V. Driver Support System: Test and Experimental Results. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry], 2008, no. 1, pp. 32–34 (in Russian).
9. Dementienko V. V., Dorokhov V. B. Estimation of efficiency of fatigue monitoring devices considering the occurrence of the instability of nature of falling asleep errors. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti imeni I. P. Pavlova* [I. P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity], 2013, vol. 63, no. 1, pp. 24–32 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0044467713010036>
10. Savchenko V. V. Methods and Facilities for Higher Functioning Efficiency of “Man–Machine” System Operators. *Vestsi Natsyynal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2005, no. 2, pp. 29–37 (in Russian).
11. Kremez A. S., Bonch-Bruevich V. V. Psychological aspects of the safety of the operating personnel of technological installations. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* [Automation in Industry], 2011, no. 7, pp. 43–48 (in Russian).
12. *Psychological certification of drivers. VIENNA TESTING SYSTEM*. Available at: <https://docplayer.ru/28720064-Psihologicheskaya-atstestaciya-voditeley-sistema-testirovaniya-vienna.html> (accessed 29 January 2020).
13. Intel: each robo-car will generate an average of 4 TB of data per day. *3DNews Daily Digital Digest*. Available at: <https://www.3dnews.ru/951292.html> (accessed 29 January 2020).
14. Savchenko V. V., Poddubko S. N. Integration of passive driver assistance systems with on-board vehicle systems. *Intellektual'nye transportnye sistemy* [Intelligent transport systems]. Moscow, 2017 (in Russian).
15. Savchenko V. V., Poddubko S. N. An approach to development of a method for transfer of vehicle control from on-board systems to the driver in autonomic mode. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva = Transactions of NNSTU n.a. R. E. Alekseev*, 2018, no. 2(121), pp. 181–187 (in Russian).
16. Savchenko V. V., Poddubko S. N. Cross-modal information flows in highly automated vehicles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 534, art. 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/534/1/012003>
17. *The most detailed maps of the world will be needed by cars, not people. Security-Corp.org: a site about information security, 2017*. Available at: <http://security-corp.org/programming/vebdev/39026-samy-podrobnye-karty-mira-budut-nuzhny-avtomobilyam-a-ne-lyudyam.html> (accessed 29 January 2020).

Информация об авторах

Савченко Владимир Владимирович – канд. техн. наук, начальник центра. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси (ул. Академическая, 12, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: uus@tut.by.

Поддубко Сергей Николаевич – канд. техн. наук, доцент, генеральный директор. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси (ул. Академическая, 12, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: bats@ncpmm.bas-net.by.

Information about the authors

Savchenko Vladimir V. – Ph. D. (Engineering), Chief of the Center. Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus (12, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: uus@tut.by.

Poddubko Sergey N. – Ph. D. (Engineering), Associate professor, General director. Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus (12, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bats@ncpmm.bas-net.by.