



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-7-40-46>

*Оригинальная статья*  
*Original paper*

УДК 612. 821.6

## ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ ОТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВОЖДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКУ

ДУБОВСКИЙ В.А., САВЧЕНКО В.В.

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси (г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 12 июня 2020*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

**Аннотация.** На основе анализа тенденций в развитии автомобилестроения и известных методов автоматизации управления транспортными средствами предложен подход к организации передачи управления транспортным средством от автоматизированной системы вождения человеку. Подход предполагает мониторинг параметров функционирования транспортного средства и систем, обеспечивающих автоматизированное вождение, состояния окружающей среды и психофизиологического состояния водителя, а также условий дорожного движения на предстоящем пути, прогнозирование места и времени передачи управления водителю, определение и регулирование его готовности взять управление на себя при возникновении такой необходимости. Особенностью предложенного подхода является то, что при автоматизированном вождении постоянно поддерживается минимальный уровень готовности водителя к управлению транспортным средством, который в течение определенного интервала времени перед запланированным переходом к ручному управлению доводится до оптимального. Такой двухуровневый контроль состояния водителей высокоавтоматизированных транспортных средств позволит повысить безопасность дорожного движения как в случаях прогнозируемой, так и в случаях неожиданно возникающей необходимости экстренного перехода от автоматизированного к ручному вождению. Цель работы – развитие методологии повышения безопасности дорожного движения с участием высокоавтоматизированных транспортных средств.

**Ключевые слова:** автоматизированное вождение, безопасность дорожного движения, домен штатной эксплуатации, передача управления водителю, система «человек-машина».

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Дубовский В.А., Савченко В.В. Подход к организации передачи управления транспортным средством от автоматизированной системы вождения человеку. Доклады БГУИР. 2020; 18(7): 40-46.

## AN APPROACH TO ORGANIZING THE TRANSITION OF VEHICLE CONTROL FROM AN AUTOMATED DRIVING SYSTEM TO A PERSON

VLADIMIR A. DUBOVSKY, VLADIMIR V. SAVCHENKO

*The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus)*

*Submitted 12 June 2020*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

**Abstract.** The analysis of trends in the development of the automotive industry and well-known methods of automating vehicle control served the basis for us to propose an approach to organizing the transfer of vehicle control from an automated driving system to a person. The approach involves monitoring the vehicle performance and the systems that provide automated driving, the state of the environment and the driver's psychophysiological state, as well as road conditions on the upcoming path, predicting the place and time of transition of control to the driver, determining and regulating his/her readiness to take control if necessary. This approach is peculiar for in time of automated driving, the minimum level of the driver's readiness to operate the vehicle is constantly maintained, which is brought to optimal within a certain time before the scheduled transition to manual control. This two-level monitoring of the condition of drivers of highly automated vehicles will improve road safety both in cases of predicted and unexpected need for an emergency transition from automated to manual driving. The aim of the work is to develop a methodology for improving road safety with highly automated vehicles involved.

**Keywords:** automated driving, road safety, automated mode, transition of control, human-machine system.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Dubovsky V.A., Savchenko V.V. An approach to organizing the transition of vehicle control from an automated driving system to a person. Doklady BGUIR. 2020; 18(7): 40-46.

### Введение

Наблюдающаяся в настоящее время тенденция к росту уровня автоматизации транспортных средств (ТС) имеет своей целью повышение как эффективности и безопасности транспортных систем, так и комфорта для водителей [1, 2]. Предполагается, что в обозримом будущем автомобили с системами беспилотного управления и соответствующая им интеллектуальная инфраструктура, обеспечивающая функционирование высокоавтоматизированных и автономных ТС в домене штатной эксплуатации, будут широко распространены [3, 4]. Известна классификация уровней автоматизации автомобилей, разработанная сообществом автомобильных инженеров (стандарт SAE J3016), в соответствии с которой выделены 6 уровней: от 0 (без автоматизации) до 5 (полная автоматизация, в автомобиле не предусмотрены органы управления траекторным движением). Такой ход вещей предполагает постепенные изменения в отношениях между водителем и ТС: деятельность водителей будет смещаться от выполнения задач, связанных с вождением, к выполнению задач по мониторингу параметров функционирования автоматизированной системы вождения [5, 6]. Это облегчает труд водителя, но не снимает проблему человеческого фактора, по крайней мере, в течение всего переходного периода к интеллектуальным транспортным системам прежде всего из-за необходимости по тем или иным причинам менять режим управления ТС между ручным и автоматизированным вождением в ту или иную сторону [5, 7]. Данная проблема обусловлена тем, что при автоматизированном вождении неучастие водителя в управлении ТС снижает его осведомленность о текущей дорожно-транспортной ситуации и уровень развития его профессиональных качеств и навыков, что в сложных дорожных обстоятельствах может негативно повлиять на безопасность дорожного

движения в случаях запланированной или неожиданно возникающей необходимости смены режима управления [7–9].

В настоящее время поиск решений обозначенной проблемы ведется в направлении разработки наиболее эффективных способов предупреждения водителя о необходимости передачи ему управления ТС и соответствующих интерфейсов, которые позволяли бы достаточно быстро и плавно приводить функциональное состояние водителя к нужному уровню [10–12]. Такой подход к решению проблемы смены режима управления ТС предполагает наличие определенного промежутка времени между предупреждением о передаче управления водителю и полным переходом к ручному вождению, в силу чего он представляется целесообразным лишь в случаях ожидаемой смены режима управления [13].

В случаях экстренной необходимости перехода к ручному вождению, когда водитель не готов взять управление ТС в свои руки и если при этом дорожно-транспортная ситуация в том или ином отношении сложна, рассмотренный подход к решению проблемы смены режима управления не может обеспечить в должной мере безопасность дорожного движения [14]. Для снижения риска дорожно-транспортных происшествий с участием высокоавтоматизированных ТС в случаях экстренной необходимости перехода от автоматизированного к ручному вождению представляется целесообразным постоянно поддерживать минимальный уровень готовности водителя к управлению ТС, а в случаях запланированного перехода к ручному управлению этот минимальный уровень готовности водителя к управлению ТС повышать до оптимального.

Цель работы – развитие методологии повышения безопасности дорожного движения с участием высокоавтоматизированных ТС на основе двухуровневого контроля состояния их водителей.

### **Подход к организации передачи управления ТС от автоматизированной системы вождения человеку**

Предлагаемый подход к организации передачи управления ТС от автоматизированной системы вождения человеку рассматривается на основе разработанного авторами обобщенного алгоритма для его реализации, который приведен на рис. 1.

Обобщенный алгоритм для реализации предлагаемого подхода к организации передачи управления ТС от автоматизированной системы вождения человеку включает в себя следующие стадии.

1. Определение условий, при которых необходим переход от автоматизированного к ручному режиму управления ТС, например, в виде ограничений, накладываемых на использование автоматизированного режима трафиком движения, погодными условиями, качеством и надежностью информационных сигналов от бортовых систем ТС и средств спутниковой и других видов связи. Задание минимального  $PS_{\min}$  и оптимального  $PS_{\text{opt}}$  значений показателя  $PS$  психофизиологического состояния водителя, в качестве которого могут быть использованы, например, показатели электродермальной активности и частота сердечных сокращений [5, 15]. Задание интервала  $\Delta t$  времени для комфортной и безопасной передачи управления ТС водителю от системы автоматизированного вождения, под которым понимается промежуток времени между запросом на ручное вождение и началом активных действий водителя, связанных с управлением ТС. Интервал  $\Delta t$  времени необходим для того, чтобы водитель, не вовлеченный в управление ТС, до полного отключения системы автоматизированного вождения успел среагировать на запрос о ручном вождении и обратить внимание на дорожно-транспортную ситуацию (ДТС), занять нужную позу, положить руки на рулевое колесо и ноги на педали, сформировать верное представление о текущей ДТС и начать активные действия по управлению ТС, адекватные текущей ДТС [5, 11, 12].

Результаты исследований [11, 16] показали, что минимальное время передачи управления водителю при движении в высокоавтоматизированном ТС составляет 2–4 с. Задаваемый интервал  $\Delta t$  времени должен превышать указанное минимальное значение времени передачи управления для того, чтобы водитель мог комфортно принять управление ТС и избежать потенциально опасных ситуаций в сложных дорожных условиях.

2. Во время управления ТС в автоматизированном режиме осуществляется мониторинг условий передачи управления водителю на предстоящем пути, психофизиологического состояния водителя и параметров/признаков текущей ДТС. Полученная информация с помощью бортового компьютера и/или платформы облачных вычислений анализируется с целью принятия решения о необходимости по тем или иным причинам в определенном месте предстоящего пути перейти от автоматизированного к ручному режиму управления ТС, после чего водитель информируется об этом. Прогноз остающегося до передачи управления водителю времени  $T$  осуществляется в реальном времени на основе известного расстояния до места смены режима вождения и запланированной средней скорости ТС. Прогноз остающегося времени  $T$  до передачи управления водителю непрерывно уточняется по мере приближения к месту смены режима вождения. При этом в реальном времени осуществляется генерация текстового описания ДТС и поддерживается минимальный уровень осведомленности (информированности) водителя о ДТС путем воспроизведения в звуковой форме основных компонентов ее текстового описания. Также поддерживается значение  $PS_{\min}$  водителя путем предупреждения его о приближении психофизиологического состояния к заданному минимальному уровню.

3. В случае, если время  $T$ , оставшееся до перехода к ручному вождению, превышает предварительно заданный интервал времени  $\Delta t$  (соблюдается условие  $T - \Delta t > 0$ ), а уровень  $PS$  психофизиологического состояния водителя не опускается ниже заданного минимального уровня  $PS_{\min}$  и нет запроса на экстренную передачу управления водителю, режим автоматизированного вождения продолжается. Если при этом возникает необходимость экстренной передачи управления водителю, последнему дают запрос на ручное вождение, и при получении от него подтверждения о восприятии запроса передают ему управление ТС. В противном случае, а также в случае, если уровень  $PS$  психофизиологического состояния водителя оказывается ниже заданного минимального уровня  $PS_{\min}$ , система автоматизированного вождения в установленном порядке останавливает ТС.

4. В случае, если время  $T$ , остающееся до перехода к ручному вождению, становится равным предварительно заданному интервалу времени  $\Delta t$ , водителю дают запрос на ручное вождение и повышают уровень его осведомленности о ДТС путем воспроизведения в звуковой форме полного ее текстового описания. После получения от водителя подтверждения о восприятии запроса при условии, что уровень  $PS$  его психофизиологического состояния не ниже заданного оптимального уровня  $PS_{\text{opt}}$  и время  $T$  до перехода к ручному вождению не истекло, передают управление ТС водителю. Если же уровень  $PS$  психофизиологического состояния водителя оказывается ниже заданного оптимального уровня  $PS_{\text{opt}}$  и время  $T$  до перехода к ручному вождению не истекло, повышают психофизиологическое состояние водителя до заданного оптимального уровня  $PS_{\text{opt}}$  путем стимуляции его органов чувств стимулами различной модальности (зрительными, звуковыми, тактильными), после чего передают ему управление ТС. В случае, если уровень  $PS$  психофизиологического состояния водителя при этом не поднимается до заданного оптимального уровня  $PS_{\text{opt}}$  и время  $T$  до перехода к ручному вождению истекло, а также в случае отсутствия подтверждения от водителя о восприятии им запроса на ручное вождение, система автоматизированного вождения в установленном порядке останавливает ТС.

Реализация предлагаемого подхода к организации перехода от автоматизированного к ручному режиму вождения предполагает наличие на ТС системы автоматизированного вождения, систем мониторинга параметров функционирования ТС, психофизиологического состояния водителя, состояния окружающей среды и условий дорожного движения на предстоящем пути, системы поддержания работоспособности (должного уровня психофизиологического состояния и осведомленности о ДТС) водителя, средств отображения информации и коммуникационной платформы для связи с платформой облачных вычислений, инфраструктурой и другими участниками дорожного движения.

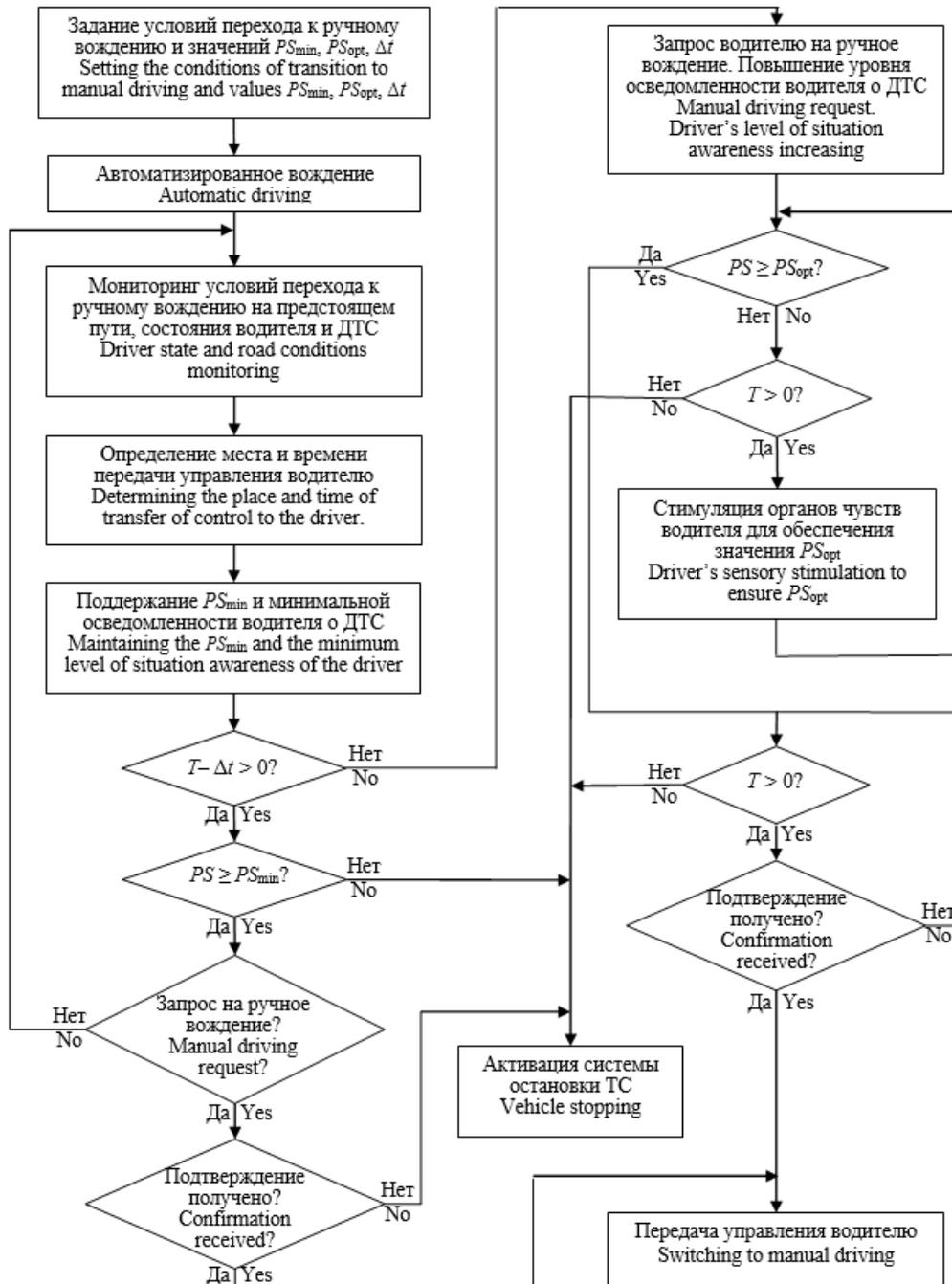


Рис. 1. Обобщенный алгоритм передачи управления ТС от автоматизированной системы вождения человеку

Fig. 1. A generalized algorithm for transiting vehicle control from an automated driving system to a person

### Заключение

Предложенный подход к организации передачи управления ТС от системы автоматизированного вождения человеку основан на мониторинге параметров функционирования ТС и систем, обеспечивающих автоматизированное вождение, состояния окружающей среды и психофизиологического состояния водителя, а также условий дорожного движения на предстоящем пути, определении места передачи управления водителю, прогнозировании времени, остающегося до передачи управления, и регулировании работоспособности (должного уровня психофизиологического состояния и осведомленности

о ДТС) водителя для обеспечения его готовности принять управление ТС на себя при возникновении такой необходимости. Особенностью предложенного подхода является то, что во время автоматизированного вождения постоянно поддерживается минимальный уровень готовности (минимальный уровень психофизиологического состояния и осведомленности о ДТС) водителя к управлению ТС, а перед запланированным переходом к ручному управлению уровень готовности водителя к управлению ТС доводится до оптимального. Такой двухуровневый контроль готовности водителя высокоавтоматизированного ТС принять управление ТС на себя позволит повысить безопасность дорожного движения как в случаях прогнозируемой, так и в случаях неожиданно возникающей необходимости экстренной смены режима управления ТС.

### Список литературы / References

1. Papadimitratos P., Fortelle A., Evenssen K., Brignolo R., Cosenza S. Vehicular Communication Systems: Enabling Technologies, Applications, and Future Outlook on Intelligent Transportation. *IEEE Communications Magazine*. 2009;47(11):84-95.
2. Burnett G.E. On-the-Move and in Your Car: An Overview of HCI Issues for In-Car Computing. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*. 2009;1(1):60-78.
3. Tanelli M., Toledo-Moreo R., Stanley L.M. Guest Editorial: Multifaceted Driver-Vehicle Systems: Toward More Effective Driving Simulations, Reliable Driver Modeling, and Increased Trust and Safety. *IEEE Transactions on human-machine systems*. 2018;48(1):1-5. DOI: 0.1109/THMS.2017.2784018.
4. Hancock P.A., Nourbakhsh I., Stewart J. On the future of transportation in an era of automated and autonomous vehicles. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2019;116(16):7684-7691.
5. Collet C. and Musicant O. Associating Vehicles Automation with Drivers Functional State Assessment Systems: A Challenge for Road Safety in the Future. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019;13:131. DOI: 10.3389/fnhum.2019.00131.
6. Russell H.E.B., Harbott L.K., Nisky I., Pan S., Okamura A.M., Gerdes J.C. Motor learning affects car-to-driver handover in automated vehicles. *Science Robotics*. 2016;1(1):1-9.
7. Lu Z., Happee R., Cabral C.D.D., Kyriakidis M., Winter J.C.F. Human Factors of Transitions in Automated Driving: A General Framework and Literature Survey. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2016;43(11):183-198.
8. Merat N., Jamson A.H., Lai F.C.H., Daly M., Carsten O.M.J. Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation Research Part F*. 2014;27:274-282.
9. Дубовский В.А., Савченко В.В. Концептуальная модель системы «водитель-автомобиль-дорога-среда». *Доклады НАН Беларуси*. 2019;63(1):112-120. Dubovsky V.A., Savchenko V.V. [A conceptual model of the “driver-car-road-environment” system]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2019;63(1):112-120. (in Russ.)
10. Saito T., Wada T., Sonoda K. Control Authority Transfer Method for Automated-to-Manual Driving Via a Shared Authority Mode. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*. 2018;3(2):198-207. DOI: 10.1109/TIV.2018.2804167.
11. Gold C., Damböck D., Lorenz L., Bengler K. Take over! How long does it take to get the driver back into the loop? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2013;57(1):1938-1942. DOI: 10.1177/1541931213571433.
12. Gold C., Körber M., Lechner D., Bengler K. Taking Over Control from Highly Automated Vehicles in Complex Traffic Situations: The Role of Traffic Density. *Human Factors*. 2016;58(4):642-652. DOI: 10.1177/0018720816634226.
13. Savchenko V.V., Poddubko S.N. Development approach to a method for monitoring of driver’s ability of resumption of control over the vehicle by on-board systems in automatic mode. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018;121(2):181-187.
14. Савченко В.В. Проблема передачи управления водителю в высокоавтоматизированных транспортных средствах: метод мониторинга восприятия семантически бинарной релевантной информации водителем. *Механика машин, механизмов и материалов*. 2019;47(2):14-19. Savchenko V.V. [The problem of transferring control to the driver in highly automated cars: a method for monitoring the perception of semantically binary relevant information by the driver]. *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*. 2019;47(2):14-19. (in Russ.)
15. Дементенко В.В., Иванов И.И., Макаев Д.В. Комплексная система мониторинга состояния водителя в рейсе. *Вестник НЦ БЖД*. 2016;29(3):17-21. Dementienko V.V., Ivanov I.I., Makaev D.V. [Comprehensive system of monitoring the state of the driver on the trip]. *Vestnik NTsBZhD*. 2016;29(3):17-21. (in Russ.)

16. Жанказиев С.В., Воробьев А. И., Забудский А. Ю. Определение минимального времени передачи управления при движении в высокоавтоматизированном автомобиле. *Транспорт РФ*. 2019;4(83):33-36. Zhankaziev S.V., Vorobiev A.I., Zabudsky A.Y. [Determination of the minimum control transmission time when driving in a highly automated vehicle]. *Transport of Russia*. 2019;4(83):33-36. (in Russ.)

### Вклад авторов

Дубовский В.А. разработал обобщенный алгоритм передачи управления транспортным средством от автоматизированной системы вождения человеку.

Савченко В.В. сформулировал постановку задачи и выполнил анализ полученных результатов.

### Authors' contribution

Dubovsky V.A. has developed a generalized algorithm for transiting vehicle control from an automated driving system to a person.

Savchenko V.V. has formulated the problem statement and made an analysis of the obtained results.

### Сведения об авторах

Дубовский В.А., к.т.н., старший научный сотрудник Объединенного института машиностроения Национальной академии наук Беларуси.

Савченко В.В., к.т.н., доцент, начальник научно-инжинирингового центра «Бортовых систем управления мобильных машин» Объединенного института машиностроения Национальной академии наук Беларуси.

### Information about the authors

Dubovsky V.A., PhD, Senior Researcher of The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus.

Savchenko V.V., PhD, Associate Professor, Chief of R&D Center "Onboard control systems of mobile machines" of The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus.

### Адрес для корреспонденции

220072, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Академическая, 12,  
Объединенный институт машиностроения  
Национальной академии наук Беларуси  
тел. +375-17-370-07-49;  
e-mail: v\_dubovsky@tut.by  
Дубовский Владимир Андреевич

### Address for correspondence

220072, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Akademicheskaya str., 12,  
The Joint Institute of Mechanical Engineering  
of the National Academy of Sciences of Belarus  
tel. +375-17-370-07-49;  
e-mail: v\_dubovsky@tut.by  
Dubovsky Vladimir Andreevich