

ISSN 1561-8323 (Print)

ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 612.821.6

<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-112-120>

Поступило в редакцию 29.06.2018

Received 29.06.2018

**В. А. Дубовский, В. В. Савченко***Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь***КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ  
«ВОДИТЕЛЬ–АВТОМОБИЛЬ–ДОРОГА–СРЕДА»***(Представлено членом-корреспондентом Л. Г. Красневским)*

**Аннотация.** Предложена концептуальная модель системы «водитель–автомобиль–дорога–среда», впервые использующая положения теории функциональных систем и представление водителя в виде функциональной системы, содержащей три уровня: стратегический, тактический и физический. Информационные взаимодействия на тактическом уровне водителя рассматриваются как взаимодействия мультимодальных образов элементов системы «водитель–автомобиль–дорога–среда», представленных в виде векторов состояний этих элементов. Рассмотрены факторы, влияющие на эффективность функционирования тактического уровня водителя в отношении обеспечения безопасности дорожного движения. Показана значимость функции внимания и связанных с ней особенностей кросс-модальных взаимодействий в центральной нервной системе человека и информационных потоках в бортовых системах для безопасного управления транспортным средством. Показано, что создание эффективных человеко-машинных интерфейсов представляется наиболее перспективным подходом к повышению безопасности дорожного движения, поскольку позволяет глубже, более адекватно и разносторонне интегрировать функции водителя и транспортного средства в единую систему с общей целевой функцией.

**Ключевые слова:** безопасность, водитель, система «человек–машина», дорожно-транспортная ситуация, кросс-модальные взаимодействия, информационные потоки

**Для цитирования.** Дубовский, В. А. Концептуальная модель системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» / В. А. Дубовский, В. В. Савченко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 1. – С. 112–120. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-112-120>

**Vladimir A. Dubovsky, Vladimir V. Savchenko***Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus***CONCEPTUAL MODEL OF THE DRIVER–CAR–ROAD–ENVIRONMENT SYSTEM***(Communicated by Corresponding Member Leonid G. Krasnevsky)*

**Abstract.** In this paper, we present a new conceptual model of the driver–car–road–environment system based on the theory of functional systems and the hierarchical driver model that consists of three levels that are strategic, tactical and physical levels. In this model, the information interactions at the tactical level of the driver are considered as interactions of multimodal images of actual, desired and current road situations. The proposed concept also includes an attention function that plays a significant role in providing safe driving and demonstrates the importance of cross-modal interactions in perception and cognition while driving. This conceptual model can be used to develop appropriate mathematical models of driving with increased cognitive load to study the mechanisms underlying the driving abilities in a person. Additionally, such mathematical models can be used to develop and investigate new methods to improve professionally important qualities of drivers and the resumption of the driver’s control over the vehicle.

**Keywords:** driver, safety, “man–machine” system, road situation, crossmodal interactions, information flows

**For citation:** Dubovsky V. A., Savchenko V. V. Conceptual model of the system “driver–car–road–environment”. *Doklady Natsional’noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019, vol. 63, no. 1, pp. 112–120 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-112-120>

**Введение.** В настоящее время одной из основных тенденций развития автомобильных транспортных систем в мире является постепенный переход от автомобилей, управляемых человеком, к автономным транспортным средствам (ТС), интегрированным в интеллектуальную транспортную среду [1]. При этом наблюдается непрерывный рост оснащенности ТС различными электронными системами, предназначенными как для частичной автоматизации процесса

вождения, так и для обеспечения их безопасности и комфортабельности [2]. С одной стороны, такой ход вещей позволяет облегчить труд водителя и, в конечном счете, превратить его в пассажира, с другой – ставит новые проблемы, связанные с неготовностью водителя-наблюдателя экстренно брать на себя управление ТС в случаях, когда система автономного вождения не в состоянии найти правильное решение в конкретной дорожно-транспортной ситуации (ДТС) с требуемой достоверностью [3]. Кроме того, возникают проблемы, связанные с повышением когнитивной нагрузки на водителей вследствие интенсификации дорожного движения и возрастающих информационных потоков, в том числе в связи с развитием интеллектуальных транспортных систем [4; 5]. Из-за ограниченности ресурсов мозга человека это ведет к непрерывному перераспределению внимания и снижению эффективности профессионально важных функций, обеспечивающих восприятие ДТС, обработку информации, оперативную память и своевременное реагирование, что повышает риск дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [6; 7]. При возрастании уровня автоматизации в алгоритмах деятельности водителя появляется все больше и больше монотонных фрагментов и, следовательно, снижается готовность водителя к экстренному действию. Таким образом, на современном этапе развития автомобильных транспортных систем проблема человеческого фактора в обеспечении безопасности дорожного движения не только не теряет своей актуальности, но представляется более значимой и многогранной задачей.

Цель работы – предложить новый подход к представлению системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» (ВАДС) с учетом психофизиологии человека, который можно было бы использовать в качестве базовой концепции при разработке и исследовании методов и средств снижения рисков негативного проявления человеческого фактора.

**Концептуальная модель системы ВАДС.** Теоретической основой представления системы ВАДС с учетом психофизиологии человека могут служить положения теории функциональных систем П. К. Анохина, в соответствии с которой главным фактором, организующим ту или иную функцию центральной нервной системы (ЦНС) человека, является результат его действий [8], и иерархическая модель водителя, предложенная J. A. Michon [9]. В общем виде систему «человек–машина» можно представить как совокупность биологических и технических элементов, объединенных в единую функциональную систему целенаправленного поведения. При этом биологические элементы рассматриваются в виде некоторой функциональной системы организма человека, под которой понимается динамическая организация биологических механизмов и процессов, обеспечивающая ему приспособительный эффект, точно соответствующий требованиям данного момента [10].

В терминах теории биотехнических систем [10] система ВАДС относится к классу биотехнических систем эргатического типа и включает в себя водителя, ТС, с помощью которого водитель реализует свою текущую доминирующую потребность в передвижении, и внешнюю среду (ВС) (объекты дорожной инфраструктуры, других участников движения, метеоусловия и т. п.). В предлагаемой концептуальной модели такой биотехнической системы (рис. 1) водитель представлен трехуровневой структурой, содержащей стратегический, тактический и физический уровни. ТС представлено взаимосвязанными посредством информационных каналов (например, шины CAN) основными узлами и агрегатами (с диагностикой фактического состояния), органами управления, бортовым информационно-аналитическим комплексом, системами безопасности и мониторинга внешней среды, центральным дисплеем и телематическими системами. Взаимодействия между всеми компонентами в системе ВАДС осуществляются с помощью коммутаторов и телематических систем на основе использования технологий V2X – информационного обмена «автомобиль–автомобиль» (V2V), «автомобиль–инфраструктура» (V2I), «автомобиль–человек» (V2P).

В соответствии с приведенной концептуальной моделью система ВАДС функционирует следующим образом. На стратегическом уровне водителя, исходя из текущей доминирующей потребности в передвижении, формируется общий план поездки, включающий цель, маршрут и сопутствующие условия. На тактическом уровне водителя в соответствии с принятым на стратегическом уровне решением и текущей ДТС выбираются подходящие программы действий (программы взаимодействия с другими участниками дорожного движения и дорожной инфра-

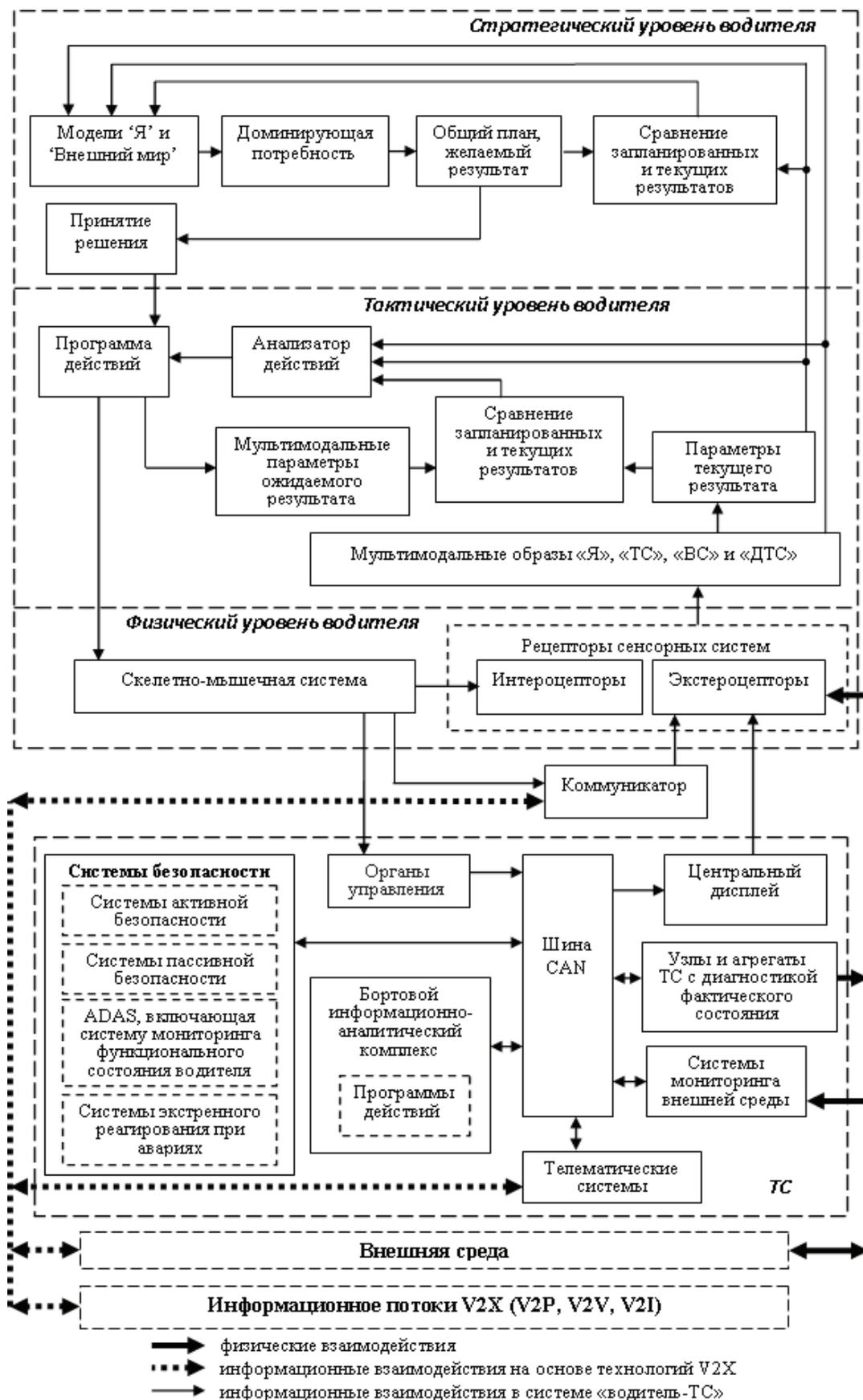


Рис. 1. Концептуальная модель системы ВАДС

Fig. 1. Conceptual model of the driver-car-road-environment system

структурой), а также задаются желаемые пространственно-временные параметры их результатов (скорость, полоса движения, расстояние до впереди идущего автомобиля и т. п.). На физическом уровне водителя активируются необходимые для реализации актуализированной программы действий эффекторные подсистемы – те или иные компоненты скелетно-мышечной системы и рецепторные подсистемы (интероцепторы и экстероцепторы сенсорных систем разной модальности). При этом водитель воздействует на органы управления ТС, получая актуальную информацию о текущем состоянии системы ВАДС как непосредственно из окружающей среды, так и опосредованно с помощью центрального дисплея и коммуникатора. В процессе управления ТС сигналы от рецепторных подсистем интегрируются сенсорными системами в целостные динамические мультимодальные образы водителя (образ «Я»), ТС, ВС и ДТС, анализ которых на тактическом уровне позволяет водителю скорректировать реализуемую программу действий или заменить ее другой программой. Кроме того, информация о ДТС, состоянии и результатах действий водителя поступает на стратегический уровень, что дает возможность водителю анализировать ее соответствие общему плану и в случае необходимости корректировать или менять общий план действий.

Как видно из предложенной концептуальной модели системы ВАДС для снижения рисков негативного проявления человеческого фактора критически важно обеспечить эффективное функционирование тактического уровня водителя. Известны следующие основные пути достижения указанной цели: мониторинг и коррекция функционального состояния водителя (усталость, сниженный уровень реакций, чрезмерное эмоциональное возбуждение и др.) в рейсе, повышение уровня развития его профессионально важных качеств (зрительное восприятие дорожной ситуации; внимание, скорость реакции, точность действий и др.) с использованием специальных тренажерных комплексов, создание систем-ассистентов водителя (ADAS) и создание человеко-машинных интерфейсов, учитывающих особенности психофизиологии человека для оптимизации процессов взаимодействия водителя и автомобиля. На современном этапе эволюции транспортных систем с учетом того факта, что основной причиной (около 80 %) всех ДТП в мире является человеческий фактор [11], целесообразно использовать все указанные подходы к обеспечению безопасности дорожного движения. При этом, принимая во внимание вышеуказанные тенденции развития транспортных систем в мире и связанные с ними аспекты проблемы человеческого фактора, подход, ориентированный на создание эффективных человеко-машинных интерфейсов, представляется наиболее перспективным, поскольку позволяет глубже, более адекватно и разносторонне интегрировать функциональные системы водителя и ТС для решения текущих задач с общей целевой функцией. Данный подход основывается на современных достижениях междисциплинарных исследований и предполагает изучение и использование особенностей нейрофизиологических механизмов когнитивной деятельности у водителей и их способностей к развитию профессионально важных качеств.

Поскольку при управлении ТС стимулируется несколько сенсорных систем водителя одновременно (прежде всего, зрительная, слуховая, вестибулярная, проприоцептивная и тактильная сенсорные системы), восприятие текущего состояния ТС, ВС и ДТС водителем и последующие процессы обработки информации на его тактическом уровне носят мультисенсорный, мультимодальный характер. На эти процессы оказывают влияние и внутренние (висцеральные) сенсорные системы, которые наряду с другими структурами ЦНС участвуют в формировании текущего образа «Я» водителя и образа его действий. Сказанное свидетельствует о том, что при разработке методов и средств эффективного взаимодействия водителя и автомобиля целесообразно учитывать потенциал кроссмодальных взаимодействий, под которыми в когнитивной психологии понимается проявление тех или иных особенностей взаимодействия в ЦНС человека информационных потоков разной сенсорной модальности при осуществлении им определенного вида деятельности [12]. Применительно к системам «человек–машина» потенциал кроссмодальных взаимодействий представляет интерес, прежде всего, в отношении влияния сигналов одной модальности на восприятие и обработку сигналов другой модальности как водителем, так и бортовыми системами ТС.



потенциально опасное, реально опасное);  $I_V^A$  – реальное состояние ТС (нормальное, потенциально опасное, реально опасное, аварийное);  $I_E^A$  – реальное состояние ВС (нормальное, потенциально опасное, реально опасное, аварийное).

$\bar{S}_R = \left\| V^R, D_1^R, D_2^R, L_L^R, L_R^R, I_I^R, I_V^R, I_E^R \right\|^T$  – вектор образа требуемой ДТС, где  $V^R$  – требуемая скорость ТС;  $D_1^R$  – требуемое расстояние до впереди идущего ТС;  $D_2^R$  – требуемое расстояние до сзади идущего ТС;  $L_L^R$  – требуемое расстояние до левой разделительной полосы;  $L_R^R$  – требуемое расстояние до правой разделительной полосы;  $I_I^R$  – требуемое состояние водителя (нормальное);  $I_V^R$  – требуемое состояние ТС (нормальное);  $I_E^R$  – требуемое состояние ВС (нормальное).

$\bar{e}_S = \left\| V^e, D_1^e, D_2^e, L_L^e, L_R^e, I_I^e, I_V^e, I_E^e \right\|^T$  – вектор рассогласования образов требуемой и текущей ДТС на тактическом уровне водителя, где  $V^e$  – рассогласование требуемой и текущей скоростей ТС;  $D_1^e$  – рассогласование требуемого и текущего расстояний до впереди идущего ТС;  $D_2^e$  – рассогласование требуемого и текущего расстояний до сзади идущего ТС;  $L_L^e$  – рассогласование требуемого и текущего расстояний до левой разделительной полосы;  $L_R^e$  – рассогласование требуемого и текущего расстояний до правой разделительной полосы;  $I_I^e$  – рассогласование требуемого и текущего состояний водителя;  $I_V^e$  – рассогласование требуемого и текущего состояний ТС;  $I_E^e$  – рассогласование требуемого и текущего состояний ВС.

$\bar{I}_S = \left\| V^S, D_1^S, D_2^S, L_L^S, L_R^S, I_I^S, I_V^S, I_E^S \right\|^T$  – вектор текущего образа ДТС на тактическом уровне водителя, где  $V^S$  – текущая скорость ТС;  $D_1^S$  – текущее расстояние до впереди идущего ТС;  $D_2^S$  – текущее расстояние до сзади идущего ТС;  $L_L^S$  – текущее расстояние до левой разделительной полосы;  $L_R^S$  – текущее расстояние до правой разделительной полосы;  $I_I^S$  – текущее состояние водителя (нормальное, потенциально опасное, реально опасное);  $I_V^S$  – текущее состояние ТС (нормальное, потенциально опасное, реально опасное, аварийное);  $I_E^S$  – текущее состояние ВС (нормальное, потенциально опасное, реально опасное, аварийное).

$\bar{I}_I = \left\| I_1^I, I_2^I, I_3^I, I_4^I, I_5^I, I_6^I, I_7^I, I_8^I \right\|^T$  – вектор образа «Я» водителя, где  $\bar{I}_1^I$  – самочувствие (хорошее, плохое, очень плохое);  $\bar{I}_2^I$  – уровень релаксации (бодрствование, тренд к релаксации);  $\bar{I}_3^I$  – эмоциональное состояние (комфорт, дискомфорт, чрезмерное возбуждение);  $\bar{I}_4^I$  – внимание (нормальное, отвлеченное);  $\bar{I}_5^I$  – уровень развития профессионально важных качеств (высокий, средний, низкий);  $\bar{I}_6^I$  – биомеханические ограничения (нет, есть);  $\bar{I}_7^I$  – опыт (большой, малый);  $\bar{I}_8^I$  – возраст (молодой, зрелый, пожилой).

$\bar{I}_V = \left\| I_1^V, I_2^V, I_3^V, I_4^V, I_5^V, I_6^V, I_7^V, I_8^V \right\|^T$  – вектор образа ТС, где  $\bar{I}_1^V$  – режим управления (управление водителем, полуавтоматическое, автономное);  $\bar{I}_2^V$  – динамические характеристики (скорость, ускорение);  $\bar{I}_3^V$  – положение в пространстве (координаты от глобальных навигационных спутниковых систем, относительно разделительных линий и других ТС);  $\bar{I}_4^V$  – информация с ADAS (расстояние до впереди идущего ТС, скорость относительно впереди идущего ТС, несанкционированное пересечение полосы движения);  $\bar{I}_5^V$  – состояние узлов и агрегатов ТС (динамика характеристик систем активной безопасности, давление в шинах и др.);  $\bar{I}_6^V$  – состояние информационно-развлекательной системы (включена, отключена);  $\bar{I}_7^V$  – физические параметры ТС (вес, габариты);  $\bar{I}_8^V$  – функциональное состояние (аварийное, рабочее, отдельные неисправности систем).

$\bar{I}_E = \left\| I_1^E, I_2^E, I_3^E, I_4^E, I_5^E, I_6^E, I_7^E, I_8^E \right\|^T$  – вектор образа ВС, где  $\bar{I}_1^E$  – вид дороги (автомагистраль, асфальтовая, грунтовая, гравийная);  $\bar{I}_2^E$  – состояние дороги (нормальное, ремонтные работы, дефекты);  $\bar{I}_3^E$  – эксплуатационные характеристики дороги (расчетная скорость, расчетная нагрузка, габариты мостов и тоннелей, пропускная способность, показатели безопасности движения);  $\bar{I}_4^E$  – потенциально опасные участки дороги (неуправляемый перекресток, ЖД переезд, места миграции животных и т. п.);  $\bar{I}_5^E$  – потенциально опасные объекты на дороге (ТС, люди, животные);  $\bar{I}_6^E$  – ограничение скорости;  $\bar{I}_7^E$  – состояние светофоров (красный, желтый, зеленый);  $\bar{I}_8^E$  – метеоусловия.

В соответствии с приведенной на рис. 2 концептуальной моделью информационные взаимодействия на тактическом уровне водителя осуществляются в виде взаимодействия образов «Я» водителя, «ТС», «ВС» и «ДТС», представленных векторами их состояний. Существенную роль в этих взаимодействиях при обеспечении безопасности дорожного движения играют внимание

водителя и особенности взаимодействия в ЦНС человека информационных потоков разной сенсорной модальности.

Основные положения концепции информационных взаимодействий в системе ВАДС:

Регуляторами действий водителя в системе ВАДС являются мультимодальные образы «Я» водителя, «ТС» и «ДТС», которые преимущественно формируются зрительной, слуховой, вестибулярной, проприоцептивной, тактильной и висцеральными сенсорными системами. Указанные образы взаимодействуют (обрабатываются) на тактическом уровне водителя, управляя его действиями.

При формировании образов «ТС», «ВС» и «ДТС» ведущая роль принадлежит зрительной системе, при формировании образа «Я» водителя – висцеральным сенсорным системам. Слуховая, вестибулярная, проприоцептивная и тактильная сенсорные системы придают указанным образам дополнительные характерные черты, которые часто не менее важны, чем основные. Мультисенсорное кодирование визуальных объектов приводит к более комплексной и надежной репрезентации объекта.

При формировании и обработке мультимодальных образов «Я» водителя, «ТС», «ВС» и «ДТС» при определенных условиях может проявиться феномен кроссмодальных взаимодействий, который может так или иначе сказываться на состоянии и действиях водителя (влиять на концентрацию и распределение внимания, уровень бдительности, чувство комфорта, быстроту реакции, скорость мышления, точность движений и т. п.).

Основными факторами, влияющими на механизмы взаимодействия различных сенсорных модальностей у человека, являются структурная организация сенсорных систем, частота совместной встречаемости в естественной среде, совпадение пространственно-временных характеристик и значений стимулов, синестетические ассоциации [12].

Кроссмодальные взаимодействия существуют между всеми возможными парами сенсорных модальностей, зависят от существа задачи, решаемой человеком, и проявляются уже на ранних этапах кортикальной обработки информации [12].

Время реакции человека на предъявление конгруэнтных кроссмодальных пар стимулов меньше по сравнению с унимодальной стимуляцией [14].

Мультисенсорные следы в памяти человека повышают быстроту и точность узнавания визуальных объектов по сравнению с унисенсорными следами [14].

Семантическая конгруэнтность стимулов повышает эффективность когнитивных процессов в головном мозге человека [14].

Семантически близкая дополнительная информация, получаемая водителем от бортовых информационно-аналитических систем, позволяет водителю корректировать и дополнять построенные модели поведения, повышая их релевантность.

Внимание участвует и играет существенную роль как при сознательном, так и при бессознательном восприятии стимулов человеком (как элементарных, так и сложных семантических). Сознательно воспринимается тот стимул, которому уделяется наибольшее внимание. В любой фиксированный момент времени внимание считается распределенным по всему множеству стимулов, доступных восприятию. Все стимулы, доступные в данный момент восприятию, не могут в одинаковой степени отчетливо и полно восприниматься, поскольку восприятие каждого из стимулов требует определенных затрат ресурсов организма, количество которых ограничено. Селективность внимания обусловлена нагрузкой и временными ограничениями на выполнение алгоритмов деятельности [13].

**Заключение.** Предложенная концептуальная модель системы ВАДС впервые использует положения теории функциональных систем и основана на представлении водителя в виде функциональной системы, содержащей три уровня: стратегический, тактический и физический. Информационные взаимодействия на тактическом уровне водителя рассматриваются как взаимодействия мультимодальных образов водителя, ТС, ВС и ДТС, представленных векторами их состояний, сформированных информационными потоками как от бортовых систем ТС (систем активной безопасности, ADAS, систем мониторинга функционального состояния водителя, навигационных систем и др.), так и от физиологических систем водителя. Существенную роль

в этих взаимодействиях для безопасности дорожного движения играют внимание водителя и связанные с ним особенности кроссмодальных взаимодействий в ЦНС человека. Для снижения рисков негативного влияния человеческого фактора на безопасность дорожного движения представляется целесообразным создание эффективных человеко-машинных интерфейсов, позволяющих более глубоко, адекватно и разносторонне интегрировать функциональные системы водителя и транспортного средства в единую систему с общей целевой функцией.

### Список использованных источников

1. Tanelli, M. Guest Editorial: Multifaceted Driver–Vehicle Systems: Toward More Effective Driving Simulations, Reliable Driver Modeling, and Increased Trust and Safety / M. Tanelli, R. Toledo-Moreo, L. M. Stanley // *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. – 2018. – Vol. 48, N 1. – P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/thms.2017.2784018>
2. Burnett, G. E. On-the-Move and in Your Car: An Overview of HCI Issues for In-Car Computing / G. E. Burnett // *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*. – 2009. – Vol. 1, N 1. – P. 60–78. <https://doi.org/10.4018/jmhci.2009010104>
3. Savchenko, V. V. Integration of passive driver-assistance systems with on-board vehicle systems / V. V. Savchenko, S. N. Poddubko // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 315. – 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/315/1/012024>
4. Assessing Cognitive Distraction in the Automobile / D. L. Strayer [et al.] // *Human Factors*. – 2015. – Vol. 57, N 8. – P. 1300–1324. <https://doi.org/10.1177/0018720815575149>
5. Block, R. A. How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review / R. A. Block, P. A. Hancock, D. Zakay // *Acta Psychologica*. – 2010. – Vol. 134, N 3. – P. 330–343. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.03.006>
6. What is cognitive distraction and why is it so dangerous to drivers? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.aktriallaw.com/Articles/What-is-cognitive-distraction-and-why-is-it-so-dangerous-to-drivers.shtml>. – Date of access: 14.05.2018.
7. Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving: VTI rapport 533A [Electronic resource] / J. Östlund [et al.]. – 2006. – 82 p. – Mode of access: [https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s\\_675275](https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s_675275). – Date of access: 14.05.2018.
8. Sudakov, K. V. The theory of functional systems: General postulates and principles of dynamic organization / K. V. Sudakov // *Integrative Physiological and Behavioral Science*. – 1997. – Vol. 32, N 4. – P. 392–414. <https://doi.org/10.1007/bf02688634>
9. Michon, J. A. A critical view of driver behaviour models: What do we know, what should we do? / J. A. Michon // *Human behavior and traffic safety*. – New York, 1985. – P. 485–520.
10. Биотехнические системы: Теория и проектирование / В. М. Ахутин [и др.]. – Л., 1981. – 220 с.
11. Горшенин, А. А. Анализ устройств для контроля состояния водителя / А. А. Горшенин, Е. Ю. Липатов // *Изв. Волг. ГТУ*. – 2013. – Вып. 6, № 10. – С. 51–53.
12. Spence, C. Crossmodal correspondences: A tutorial review / C. Spence // *Atten., Percept., Psychophys.* – 2011. – Vol. 73, N 4. – P. 971–995. <https://doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7>
13. Ho, C. Affective multisensory driver interface design / C. Ho, C. Spence // *Int. J. Vehicle Noise and Vibration*. – 2013. – Vol. 9, N 1/2. – P. 61–74. <https://doi.org/10.1504/ijvvnv.2013.053817>
14. Андреева, Е. В. Феномен кроссмодальных взаимодействий: современное состояние проблемы в зарубежной психологии / Е. В. Андреева // *Рос. науч. журн.* – 2013. – № 1. – С. 219–225.

### References

1. 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, vol. 48, no. 1, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/thms.2017.2784018>
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, vol. 1, no. 1, pp. 60–78. <https://doi.org/10.4018/jmhci.2009010104>
3. Savchenko V. V., Poddubko S. N. Integration of passive driver-assistance systems with on-board vehicle systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 315, 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/315/1/012024>
4. Strayer D. L., Turrill J., Cooper J. M., Coleman J. R., Medeiros-Ward N., Biondi F. Assessing Cognitive Distraction in the Automobile. *Human Factors*, 2015, vol. 57, no. 8, pp. 1300–1324. <https://doi.org/10.1177/0018720815575149>
5. Block R. A., Hancock P. A., Zakay D. How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica*, 2010, vol. 134, no. 3, pp. 330–343. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.03.006>
6. What is cognitive distraction and why is it so dangerous to drivers? Available at: <https://www.aktriallaw.com/Articles/What-is-cognitive-distraction-and-why-is-it-so-dangerous-to-drivers.shtml> (accessed 14 May 2018).
7. Östlund J., Nilsson L., Törnros J., Forsman Å. Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving: VTI rapport 533A. 2006. 82 p. Available at: [https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s\\_675275](https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s_675275) (accessed 14 May 2018).

8. Sudakov K. V. The theory of functional systems: General postulates and principles of dynamic organization. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 1997, vol. 32, no. 4, pp. 392–414. <https://doi.org/10.1007/bf02688634>
9. Michon J. A. A critical view of driver behaviour models: What do we know, what should we do? *Human behavior and traffic safety*. New York, 1985, pp. 485–520.
10. Akhutin V. M., Nemirko A. P., Pershin N. N., Pozharov A. V., Popechitelev E. P., Romanov S. V. *Biotechnical systems: Theory and designing*. Leningrad, 1981. 220 p. (in Russian).
11. Gorshenin A. A., Lipatov E. Yu. Analysis of the devices for control of the driver's state. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy [Izvestiya of the Volgograd State Technic University. Series: Ground Transportation]*, 2013, vol. 6, no. 10, pp. 51–53 (in Russian).
12. Spence C. Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception & Psychophysics*, 2011, vol. 73, no. 4, pp. 971–995. <https://doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7>
13. Ho C., Spence C. Affective multisensory driver interface design. *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, 2013, vol. 9, no. 1/2, pp. 61–74. <https://doi.org/10.1504/ijvvn.2013.053817>
14. Andreeva E. V. Crossmodal Correspondence: Review of Latest Foreign Researches. *Rossiiskii nauchnyi zhurnal = Russian Scientific Journal*, 2013, no. 1, pp. 219–225 (in Russian).

### Информация об авторах

Дубовский Владимир Андреевич – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси (ул. Академическая, 12, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: v\_dubovsky@tut.by.

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.

### Information about the authors

Dubovsky Vladimir Andreevich – Ph. D. (Engineering), Senior researcher. Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus (12, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v\_dubovsky@tut.by.

Savchenko Vladimir Vladimirovich – 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.