

УДК 629.3.06

В.В. Савченко, С.Н. Поддубко

## ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ПЕРЕДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ ВОДИТЕЛЮ БОРТОВЫМИ СИСТЕМАМИ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения  
НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрена структура и основные функциональные возможности бортовой информационно-аналитической системы верхнего уровня и ее подключение при совместном использовании с другими интеллектуальными бортовыми системами на борту транспортного средства. Предложен и обоснован подход к разработке нового метода оценки потенциальной возможности передачи (возврата) управления транспортным средством водителю бортовыми системами в автоматическом режиме, предположительно, имеющем высокую эффективность и достоверность.

*Ключевые слова:* ADAS, интеллектуальные бортовые системы, определение опасных состояний водителя, транспортное средство, функциональное состояние водителя, уровень автоматизации автомобилей.

### Введение

Широко известная классификация уровней автоматизации автомобилей разработана сообществом автомобильных инженеров (стандарт SAE J3016 [1]), содержит шесть уровней:

- 0-й уровень (без автоматизации): отсутствие автоматического контроля над машиной, но может присутствовать система уведомлений, весь процесс управления осуществляет водитель;
- 1-й уровень (включающий помощь водителю): водитель в основном осуществляет управление, как правило на борту транспортного средства (ТС) установлены ADAS оказывающие содействие водителю в управлении рулевой системой и тормозами с использованием информации о внешней среде, работающие в автоматическом режиме, но могут отключаться водителем;
- 2-й уровень (частично автоматизированный): водитель должен реагировать, если система не смогла в автоматическом режиме справиться самостоятельно. ADAS управляет ускорением, торможением и рулением одновременно, может быть отключена водителем;
- 3-й уровень (условно автоматизированный): водитель может не контролировать ТС на некоторых типах дорогах (например, автобаны), но должен быть готовым взять управление при изменении ситуационной обстановки или система останавливает ТС если водитель не реагирует на оповещение;
- 4-й уровень (высоко автоматизированный): аналогичный 3-му уровню, но уже не требует внимания водителя и выполняет свои функции, которые допустимы в конкретных внешних условиях движения;
- 5-й уровень (полностью автоматизированный): со стороны человека не требуется никаких действий кроме указания на начало движение и определение пункта назначения.

Из представленной классификации видно, что уже начиная с 1-го уровня, бортовые системы представляют из себя аппаратно-программные средства, в которых значительное место (в том числе по функционалу) занимают методы и алгоритмы анализа разнородной информации о процессах функционирования транспортных средств и синтеза управляющих воздействий на системы различного иерархического уровня для динамической стабилизации транспортного средства и его траекторного движения с использованием IT методов и технологий и специализированного программного обеспечения (с каждым уровнем степень автоматизации увеличивается), и лишь на 5-м уровне со стороны человека не требуется никаких

действий, кроме указания на начало движение и определение пункта назначения. На рис 1. показано видение компании Movimento [2] по современным «объёмам» программного обеспечения (одна из простых характеристик метрики – количество строк программного кода) в различных системах, в сравнении, и как изменится «сегодняшний» автомобиль в перспективе.

## Характеристики метрики программного обеспечения



## Тренд изменения соотношения технической и программной части в автомобильной технике



**Рис. 1. Количество строк кода в различных системах и объемы технических компонент, программного обеспечения и контента на автомобильном транспорте в перспективе**

Таким образом, уровень автоматизации ТС значительно возрастает, при этом этап оснащения ТС системами ADAS рассматривается как промежуточный при переходе к полностью автоматизированному движению. По мнению экспертов, к 2035 году на дорогах общего

пользования Российской Федерации будет около 10% беспилотных ТС. Будут реализованы и компромиссные варианты, при определенных условиях ТС движется в беспилотном режиме, а при изменении ситуации (прежде всего связанные со сложностью или невозможностью ее формализации) «передает» управление водителю.

### Классификация методов мониторинга усталости водителя

Известны основные требования к системам мониторинга функционального состояния операторов систем «человек-машина» [3, 4], в том числе водителей автомобилей: необходимо обнаруживать предвестники опасных состояний, интерпретировать в реальном масштабе времени функциональные состояния, которые несовместимы с выполняемой работой (смерть, потеря сознания, сон и т.п.). Определение предвестников опасных состояний позволяет принять превентивные меры, в автоматическом или автоматизированном режиме, а констатация наличия таких функциональных состояний почти неизбежно приводит к развитию аварийной обстановки.

Известны методы, определяющие наличие предвестников сна и глубокой релаксации водителей автомобилей (табл. 1, где  $p$  – вероятность опасного отказа; ЭДА – электродермальная активность) и лежащие в основе многих систем мониторинга усталости водителя [5].

Таблица 1

Методы, определяющие наличие предвестников сна и глубокой релаксации водителей автомобилей [5]

Технология	$p$
Изменение «почерка» вождения	0,3
Рациональные действия	0,3
Пульс	0,3
Поза (тонус мышц)	0,2
Направление взгляда	0,2
Наклоны головы (тонус мышц)	0,1
Речь	0,1
Окулограмма	0,05
Моргания	0,02
Микросаккады (потенциально)	0,001
ЭДА (47 млн. ч-час без аварий)	0,0001

### Создание информационно-аналитической системы верхнего уровня

На рис. 2 представлена структура бортовой информационно-аналитической системы (БИАС) верхнего уровня и ее подключение при совместном использовании с другими интеллектуальными бортовыми системами на борту ТС [6]. Основное назначение системы – превентивное автоматическое упреждение развития аварийной ситуации, в том числе вызванной ошибочными действиями водителя или автоматической интерпретации опасных состояний водителя (не совместимых с выполнением основных алгоритмов по управлению ТС), в реальном масштабе времени, путем удержания ТС в полосе движения (с использованием серийно выпускаемых ОАО «Экран» систем активной безопасности, разрабатываемых в стране системы электромеханического усилителя рулевого управления, системы мониторинга мертвых зон вокруг движущегося автомобиля, системы электронно-пневматического привода тормозов, в перспективе системы адаптивного круиз-контроля), потенциала классических пассивных ADAS (например, компании Mobileye 6-Series), с корректировкой, при необходимости, траекторного движения ТС с использованием информации с высокоточного навигационного модуля. БИАС выполняет, в том числе, функции системного интегратора (в зависимости от того какие бортовые системы установлены на конкретном ТС), уменьшает кинетическую энергию и/или останавливает в аварийном режиме ТС, если позволяет ситуацион-

ная обстановка, с учетом интегральной оценки, на основе анализа информации от всех подключенных бортовых систем, с единых методологических позиций. В случае, если авария произошла, БИАС в автоматическом режиме реализует функцию систем экстренного реагирования при авариях (ЭРА-РБ, ЭРА-ГЛОНАСС).

Бортовой модуль определения опасных состояний водителя подключен к системе через информационную шину CAN [5,6]. Применение модуля существенно расширяет функциональные возможности БИАС и придает системе свойства превентивной системы безопасности, позволяющей предотвратить наступление события аварии по причине глубокой релаксации, потери сознания или смерти водителя.

Модуль отличается тем, что в нем использован специализированный чипсет, робастные алгоритмы выделения полезного сигнала из шума, оригинальные алгоритмы автоматической интерпретации функционального состояния водителя, ближняя телеметрия для передачи информации на стационарную часть системы, что в совокупности позволяет получить высокую надежность интерпретации динамики уровня бодрствования водителя, сопоставимую с требованиями, предъявляемыми к системам активной безопасности.

Прототипом для разрабатываемого модуля является серийно выпускаемая СПРВ или VIGITON, в которой используется мониторинг и автоматический анализ параметров электродермальной активности (основной критерий для автоматической интерпретации текущей динамики уровня релаксации водителя, использованный метод имеет наименьшую, из известных, вероятность опасного отказа ( $p = 0,0001$ ), применены принципы построения систем безопасного мониторинга состояния водителя. В технических требованиях к бортовому модулю определение опасных состояний водителя (глубокая релаксация, потеря сознания, смерть) заложены вероятность опасной ошибки метода регистрации (ошибка 2-го рода) не более  $4 \cdot 10^{-4}$  и поток вероятности опасных отказов, приводящих к ДТП, не хуже  $10^{-9}$ .

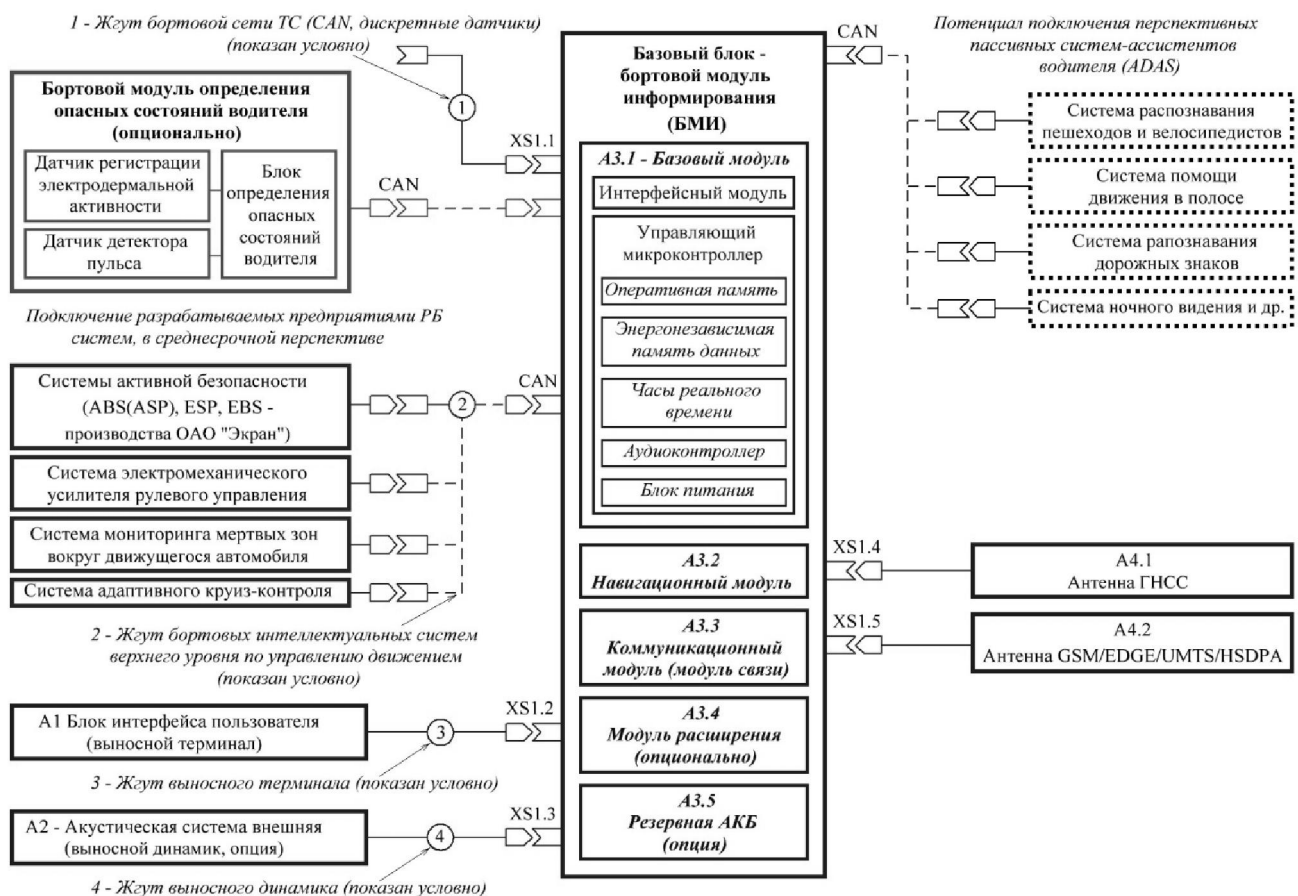


Рис. 2. Структура БИАС и ее подключение на борту ТС

*Навигационный модуль.* Для улучшения показателей точности и надежности навигационного модуля, предусмотрено использование в совместной обработке сигналов функционирующих глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) ГЛОНАСС (в диапазонах частот L1, L2), GPS (в диапазонах частот L1, L2), GALILEO (в диапазонах частот – E1B, E1C, E5a, E5b) и BEIDOU (в диапазоне B1-C). Для дополнительного повышения точности определения координат предусматривается возможность применения технологии RTK (Real Time Kinematic - дословно «кинематика реального времени»), позволяющей за счет совместной обработки в реальном времени сигналов от ГНСС и сигналов корректирующих станций получать сантиметровую точность определения координат [7].

Возможность комплексирования обработки сигналов ГНСС с информацией от датчиков *микроэлектромеханических систем* и одометрического датчика пути автомобиля позволяет использовать технологию Dead reckoning, что обеспечит снижение ошибки исчисления навигационных параметров, а также позволит производить оценку координат при недоступности сигналов ГНСС в заданных временных диапазонах. Модуль поддерживает автоматический контроль целостности (достоверности) навигационных определений и исключения недостоверных измерений, реализацию робастных алгоритмов дифференциальной коррекции (режим RTK) и алгоритмов комплексирования данных ГНСС и инерциальных датчиков (акселерометров) собственной разработки, определение навигационных параметров в системах координат WGS-84 или ПЗ-90 (при доверительной вероятности 0,95).

*Базовый модуль* содержит необходимый аппаратный функционал и набор интерфейсов, обеспечивающий реализацию базовых функций и технологические режимы.

*Модуль расширения* поддерживает дополнительные функциональные возможности, связанные с взаимодействием с перспективными интеллектуальными системами, которые появятся на борту ТС.

Программное обеспечение БИАС имеет многоуровневую модульную иерархическую структуру. Отдельные модули работают асинхронно относительно друг друга, что позволяет реализовать многозадачный режим работы в реальном времени. Используемая файловая структура позволяет добиться максимальной изоляции кода уровней и модулей.

### **Методы исследований перехода ТС с автоматического режима управления движением к «ручному»**

Сегодня только начинают создаваться и находятся на стадиях поисковых и исследовательских проектов [8, 9 и др.]. В подавляющем большинстве исследовательских проектов используются методы мониторинга и оценки динамики зрительного анализатора водителя, с использованием 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, при уровнях автоматизации ТС с первого по четвертый, в соответствии с классификацией SAE.

Установлено, что в зависимости от конкретной ситуационной обстановки на трассе, чем занимался водитель до возникновения обстоятельств по возобновлению контроля за вождением (пассивно наблюдал за ситуационной обстановкой, использовал в это время различные телематические сервисы или просматривал информацию на DVD носителях) ему потребуется несколько десятков секунд для возобновления контроля над ТС, но указывается, что «в будущих исследованиях следует подумать о том, как наилучшим образом информировать водителей о своем обязательстве возобновить контроль за вождением из автоматизированной системы».

Один из банальных вариантов может быть запрос у водителя о его готовности возобновить контроль за вождением, и субъективный ответ водителя значим, поскольку он четко понимает, что при положительном ответе он принимает и всю меру ответственности, в том числе за безопасность дорожного движения. Из табл. 1 видно, что достоверность интерпре-

тации функционального состояния водителя ADAS типа DMS (система контроля состояния водителя) классифицируется в зависимости от используемой технологии в конкретной DMS, и вероятность опасного отказа лежит в диапазоне  $p - 02 - 0,001$ , при использовании методов мониторинга зрительного анализатора водителя и  $p - 0,0001$ , при использовании методов мониторинга анализа динамики ЭДА, при автоматической интерпретации функционального состояния водителя (способность выполнять заданные алгоритмы деятельности) типа «глубокая релаксация».

Известна методология мониторинга функционального состояния (способности выполнять заданные алгоритмы деятельности в реальном масштабе времени, готовности к экстренному действию) операторов транспортных систем «человек-машина», широко апробированная на машинистах локомотивов и водителях автомобилей [10–13 и др.], основанная на автоматическом анализе параметров ЭДА оператора. Системы поддержания работоспособности водителей автомобилей прошли квалификационные испытания [14] и продолжают развиваться [3–6].

В БИАС используется бортовой модуль определения опасных состояний водителя (глубокой релаксации, потери сознания или смерти водителя), где автоматическая интерпретация релаксации водителя (не совместимой с требуемой готовностью к выполнению алгоритмов деятельности по управлению автомобилем) основана на автоматическом анализе параметров ЭДА, что позволяет обосновано прогнозировать эффективность и наиболее высокую достоверность предложенного подхода к разработке и исследованию нового метода(ов) оценки передачи (возврате) управления транспортным средством водителю бортовыми системами в автоматическом режиме.

### Заключение

Реализация в БИАС функций мониторинга функционального состояния водителя, высокоточного определения текущих навигационных координат транспортного средства и анализа разнородной текущей информации (динамические характеристики ТС, состояние основных узлов и агрегатов, состояние водителя, навигационная координата и ее тренд) в реальном масштабе времени, где используются оригинальные алгоритмы и программное обеспечение, модульности построения БИАС и возможность наращивания функционала путем интеграции с другими бортовыми системами имеет перспективу развития и направлено на повышение эффективности функционирования автотранспортных систем «человек-машина».

БИАС, являясь, по сути, бортовым интегрирующим комплексом, может быть использована и как экспериментальная система для обоснования и разработки новых методов определения времени возможной передачи управления водителю, когда водитель потенциально способен выполнять требуемые алгоритмы деятельности, при переходе с автоматического режима управления движением ТС к «ручному».

### Библиографический список

1. SAE J3016. Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems. Warrendale: Society of Automotive Engineers; 2014.
2. **Валентин, К.** Будущее автомобильной промышленности: автомобиль, определяемый программным обеспечением // Интеллектуальные транспортные системы: мат. Междунар. автомобил. науч. форума (МАНФ-2017), М., 18–19 окт. 2017 г. [Электронное издание] / ААИ, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». – М., 2017. — R20171026.
3. **Савченко, В.В.** Развитие методологии мониторинга функциональных состояний операторов транспортных систем «человек-машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – №6. – С. 27–32.
4. **Бонч-Бруевич, В.В.** Дистанционный контроль бодрствования водителя в рейсе/ В.В. Бонч-Бруевич [и др.] // Автоматизация в промышленности. – 2015. – №2. – С. 33–35.
5. **Dementienko, V.V.** Driver vigilance remote monitoring system // Science Journal of Transportation. – October 2015. – Especial Issue. – №. 06. – P. 110–114.

6. **Савченко, В.В.** Интеграция пассивных систем помощи водителю с бортовыми системами автомобилей / В.В. Савченко, С.Н. Поддубко // Интеллектуальные транспортные системы: материалы междунар. автомобил. науч. форума (МАНФ-2017), М., 18–19 окт. 2017 г. [Электронное издание] / ААИ, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». – М., 2017. — R20171014.
7. NT1065/66\_USB3\_multi-channel\_GNSS\_RF\_front-end\_board. URL: <http://ntlab.com/section/sec:v:44976.htm>
8. **Merat, N.** Highly automated driving, secondary task performance and driver state / N. Merat. [and all] // Human Factors. – 2012. – № 54. P. 762–771.
9. **Merat, N.** Transition to manual: Driver behavior when resuming control from a highly automated vehicle / N. Merat, Jamson, H. Lai, F. O. Carsten, // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior. – November 2014. – Volume 27, Part B. – P. 274–282.
10. **Савченко, В.В.** Методы и средства повышения эффективности функционирования операторов транспортных систем «человек-машина» // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз-тэхн. навук. – 2005. – №2. – С. 9–37.
11. **Дементенко, В.В.** Биоматематическая модель засыпания человека-оператора / В.В. Дементенко // Физиология человека. – 2008. – № 34(5). – С. 63–72.
12. Физические принципы построения систем безопасного мониторинга состояния человека-оператора: автореф. дисс. ... на соиск. учен. степ. докт. техн. наук: 01.04.01: 26.11.2010 / Дементенко Валерий Васильевич. – М., 2010. – 41 с.
13. **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 // Журнал высшей нервной деятельности. – 2013. – Т. 63. – № 1. – С. 24–32.
14. **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.

*Дата поступления  
в редакцию 20.04.2018*

**V.V. Savchenko, S.N. Poddubko**

## **AN APPROACH TO DEVELOPMENT OF A METHOD FOR TRANSFER OF VEHICLE CONTROL FROM ON-BOARD SYSTEMS TO THE DRIVER IN AUTOMATIC MODE**

The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Republic of Belarus

**Purpose:** A new approach to assess the potential readiness of the driver to return control over the trajectory movement of the vehicle is proposed.

**Methodology:** A method to monitor the functional state and readiness for emergency action of the driver based on the analysis of the parameters of electrodermal activity, successfully tested by engine-drivers and motor vehicle drivers in practice, is used.

**Results:** The main functionalities of upper level on-board information-analytical system and information analysis from all the connected on-board systems are used having applied uniform methodological positions.

**Originality/value:** An approach to development of a method for assessment of capability of transfer (return) of vehicle control from on-board systems to the driver in automatic mode with the least probability of a dangerous failure is proposed and justified.

*Key words:* ADAS, intelligent on-board systems, detection of dangerous driver's conditions, vehicle, driver's functional state, vehicle's automation level.