

ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И БЕСПИЛОТНЫЕ АВТОМОБИЛИ: ОСНОВНЫЕ ТРЕНДЫ



Владимир Савченко,
начальник НИЦ
«Бортовые системы
управления мобильных
машин» Объединенного
института
машиностроения
НАН Беларуси, кандидат
технических наук,
доцент



Сергей Поддубко,
генеральный директор
Объединенного
института
машиностроения
НАН Беларуси, кандидат
технических наук,
доцент

Наблюдаемая тенденция роста уровня автоматизации транспортных средств (ТС) направлена на повышение эффективности и безопасности транспортных систем и комфорта для водителей. Предполагается, что в обозримом будущем автомобили с системами беспилотного управления и соответствующая им интеллектуальная инфраструктура, обеспечивающая функционирование высокоавтоматизированных и автономных ТС в среде штатной эксплуатации (СШЭ), будут широко распространены.

Часть 1. Бортовая информационно-аналитическая система

Разработанная сообществом автомобильных инженеров классификация содержит 6 уровней автоматизации (стандарт SAE J3016 [1]):

0-й (без автоматизации): отсутствие автоматического контроля над машиной, но может присутствовать система уведомлений, весь процесс управления осуществляет водитель;

1-й (включающий помощь человеку): в основном водитель управляет ТС, где, как правило, установлены системы ADAS, оказывающие содействие в управлении рулевой системой и тормозами с использованием информации о внешней среде, работающие в автоматическом режиме, но с возможностью отключения водителем;

2-й (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 (условно автоматизированный): водитель может не контролировать ТС на некоторых типах дорог (например, автобанах), но должен быть готовым взять управление при изменении ситуационной обстановки, или система останавливает ТС, если человек не реагирует на оповещение;

4-й (высокоавтоматизированный): аналогичный 3-му, но уже не требует внимания водителя и выполняет свои функции, которые допустимы в конкретных внешних условиях движения;

5-й (полностью автоматизированный): со стороны человека не требуется никаких действий, кроме указания на начало движения и определения пункта назначения.

Из представленной классификации видно, что уже начиная с 1-го уровня бортовые системы представляют собой аппаратно-программные средства, в которых значительное место (в том числе по функционалу) занимают методы и алгоритмы анализа разнородной информации о процессах функционирования ТС и синтеза управляющих воздействий на системы различного иерархического уровня для динамической стабилизации автомобиля и его траекторного движения с использованием IT-методов и технологий и специализированного программного обеспечения, и лишь на 5-м уровне достигается практически полная автоматизация. На рис. 1. показано видение компании Movimento [2] на современные «объемы» программного обеспечения (одна из простых характеристик метрики – количество строк программного кода) в различных системах в сравнении и на то, как изменится автомобиль в перспективе.

Согласно Резолюции Глобального форума по безопасности дорожного движения (WP.1) о внедрении в практику высоко- и полностью автоматизированных ТС в условиях дорожного движения и документу ECE/TRANC/WP.1/165 [3], «высокоавтоматизированное ТС» означает транспортное средство, оснащенное автоматизированной системой вождения (АСВ). Эта система действует в пределах конкретной СШЭ [4, 5] применительно к некоторым или всем поездкам без необходимости вмешательства человека в качестве запасного варианта обеспечения безопасности дорожного движения. Среда штатной эксплуатации означает время суток, окружающие и географические условия, а также дорожно-транспортные, инфраструктурные, погодные и другие, для работы в которых предназначена данная АСВ.

Существуют следующие основополагающие определения:

- **автоматизированная система вождения** – это комбинация аппаратного и программного обеспечения, которое осуществляет динамическое управление ТС на устойчивой основе;
- **динамическое управление** – выполнение в реальном масштабе времени всех оперативных и тактических функций, необходимых для передвиже-



Рис. 1. Количество строк кода в различных системах
Источник: [2]

ния ТС, включает в себя управление движением в боковом и продольном направлении, контроль за условиями дорожного движения, реагирование на явления, происходящие в дорожно-транспортной ситуации, а также планирование и сигнализацию маневров;

- **полностью автоматизированное ТС** – транспортное средство, оснащенное автоматизированной системой вождения, действующей без каких бы то ни было ограничений СШЭ применительно к некоторым или всем поездкам без необходимости вмешательства человека в качестве запасного варианта обеспечения безопасности дорожного движения. Представлены соответствующие рекомендации по функционалу к АСВ и их пользователям [3].
- Всемирный форум для согласования правил в области ТС (WP.29, по автоматизированным (автономным) ТС) определил приоритетные направления работы, их порядок, ожидаемые



Рис. 2. Объемы технических компонентов программного обеспечения и контента на автомобильном транспорте в перспективе
Источник: [2]

результаты, сроки и принципы для автоматизированных (автономных) ТС, концепцию безопасности (кибербезопасности) и ее ключевые аспекты. Усилия должны быть сконцентрированы на разработке подробных технических требований, сформулированных в виде нормативных или ненормативных документов (руководств, рекомендаций, глобальных технических правил ООН). Приоритетные направления – функциональные требования для автоматизированных (автономных) ТС; новый метод оценки (испытаний); кибербезопасность и «беспроводное» обновление программного обеспечения; система хранения информации; регистратор данных об аварии [4, 5].

Функциональные требования для автоматизированных (автономных) ТС должны охватывать в том числе требования к человеко-машинному интерфейсу (ЧМИ) и информации об операторе: в тех случаях, когда может потребоваться участие водителя в управлении ТС (например, в случае запроса на передачу управления), оно должно осуществлять мониторинг вовлеченности водителя, с тем, чтобы оценить его внимание и готовность полностью взять на себя управление, а также обеспечивать возможность взаимодействия с другими участниками дорожного движения (например, с помощью внешнего ЧМИ для определения рабочего состояния ТС и др.) [4, 5]. Термин «мониторинг вовлеченности водителя» предполагает оценку его внимания и готовности полностью взять на себя управление авто, при этом в ряде работ [6, 7] используется близкая по семантике формулировка «осведомленности водителя о ситуационной обстановке», что определяется на основе видеонаблюдения камерами и интерпретируется на основе автоматического анализа направления взгляда (оператора, водителя), наклонов головы, окулограммы, моргания глаз. В обзорах представлено значительное количество работ, исследующих динамику изменения физиологических (психофизиологических) параметров (кроме указанных, это электроэнцефалография и связанные с событиями потенциалы, частота сердечных сокращений и вариабельность сердечного ритма, артериальное давление, электродермальная активность (ЭДА), электромиография, тепловидение) водителя в зависимости от уровня автоматизации и режимов движения ТС [6, 7], но не представлены методы, которые достоверно, в реальном масштабе времени и в автоматическом режиме интерпретируют текущее функциональное состояние человека за рулем [8, 9].

Бортовая информационно-аналитическая система

Создание отечественных систем помощи водителю реализуется в Республике Беларусь и Российской Федерации в рамках научно-технических программ различного уровня, поддерживается фондами, профильными предприятиями, выполняется компаниями в инициативном порядке. Значительное количество текущих разработок направлено на получение пассивных ADAS для коммерческих автомобилей. Подобные системы только предупреждают водителя о некоторых потенциально опасных ситуациях (визуальное и звуковое оповещение) и не влияют в автоматическом режиме на динамику ТС. В основном они используют информацию с камер (контроль движения в полосе и смежные задачи), ультразвуковых датчиков (контроль «мертвых» зон), радаров, навигационных модулей определения местоположения и др., устанавливаемых на транспортном средстве. Известно достаточно вариантов, которые выпускаются серийно, например системы поддержания работоспособности водителей (СПРВ или VIGITON), созданные на базе мониторинга психофизиологических параметров водителей для автоматической интерпретации их текущего функционального состояния и способности выполнять алгоритмы деятельности по управлению автомобилем [10, 11]. Например, усовершенствованные системы Mobileye 5-й или 6-й серии, построенные на основе монокамеры и семейства чипов EyeQ для обработки получаемых изображений, предупреждают водителя об опасном фронтальном сближении (FCW – о возможном столкновении с впереди идущим транспортным средством за 2,7 сек до вероятного события, UFCW – об опасности столкновения на невысокой скорости, активируется при показателе ниже 30 км/ч); об опасности столкновения с пешеходами (PCW); о съезде с полосы движения (LDW); показывает время (в секундах) до впереди идущего автомобиля (HMT) и выдает звуковое оповещение, если дистанция между автомобилями равна или меньше времени, заданного в настройке и др. Кроме того, к ним можно отнести системы индикации предельно допустимой скорости (SLI), которые обнаруживают и классифицируют различные знаки скоростного режима, уведомляя водителя о превышении допустимой скорости; системы распознавания дорожных знаков (TSR). При использовании Mobileye водитель должен самостоятельно выполнять все задачи управления и сохранять контроль над ТС, отслеживать условия

движения, выполнять рекомендации по безопасному управлению автомобилем. В руководстве пользователя производитель указывает что «не может гарантировать и не гарантирует 100% точности обнаружения ТС, пешеходов, дорожных знаков или полос движения и не гарантирует предоставления любых связанных с этим звуковых и визуальных предупреждающих сигналов. Кроме того, на качество распознавания и реагирования систем Mobileye могут отрицательно влиять дорожные, погодные и иные условия». При этом, 27 OEM-поставщиков ADAS используют в своих системах компоненты компании Mobileye, чипы EyeQ (сегодня уже восьмого поколения) и программное обеспечение.

Созданием активных ADAS занимаются крупные корпорации, в арсенале которых – компоненты и/или системы активной безопасности: BOSCH и Knorr-Bremse (Германия), Wabco (США) и др. Согласно анализу рынка Semicast Research, компания Continental была лидером в области электронных компонентов для автомобильных систем ADAS.

Разработка информационно-аналитической системы с указанным функционалом выполнена в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси в рамках НТП Союзного государства «Автоэлектроника» в кооперации с партнерами, обладающими компетенциями по данному направлению: ООО «НТЛаб-системы», которое входит в группу компаний НТЛаб (Республика Беларусь), разрабатывает и производит сверхбольшие интегральные схемы (СБИС), интегрированные модули, а также портативные программно-аппаратные комплексы, в том числе навигационные, для использования на автомобильном транспорте, на базе специализированных собственных СБИС; ОАО «Экран» (Республика Беларусь) – разработчиком и поставщиком на конвейеры машиностроительных предприятий стран СНГ серийных систем активной безопасности, бортовых систем управления и их компонентов; АО «Нейроком» (Российская Федерация), обеспечивающим создание и развитие методологии мониторинга функционального состояния операторов систем «человек-машина», и на этой основе ведущим разработку, освоение производства и поставку модельного ряда серийных систем для железнодорожного и автомобильного транспорта.

Была поставлена задача разработать базовую структуру бортовой информационно-аналитической системы (БИАС) и архитектуру базового программного обеспечения по созданию бортовой платформы для коммерческого транспорта со следующим функционалом:

- определением местоположения ТС с сантиметровой точностью, прежде всего для поддержки ADAS по контролю движения в полосе, когда полоса и обочина «не распознаются» оптическими методами;
- поддержкой коммуникаций с диспетчерскими службами и экстренной помощи;
- передачей, в том числе в автоматическом режиме, информации о динамике системы «человек-машина» (текущее состояние основных систем, узлов и агрегатов, состояние водителя, информирование об аварийной ситуации, вызов экстренных служб в случае аварии или потери сознания, смерти водителя);
- коммуникацией между пассивными ADAS и системами активной безопасности или их интеграцией с целью координации совместной работы в динамике по предотвращению аварии или минимизации последствий.

Структура БИАС и ее подключение при использовании с другими интеллектуальными бортовыми системами и ADAS на борту ТС представлена на рис. 3.

Бортовой модуль определения опасных состояний водителя (разработка АО «Нейроком») подключен к системе через информационную шину CAN. Его применение существенно расширяет функциональные возможности БИАС и придает ей свойства превентивной системы безопасности, позволяющей предотвратить аварию по причине релаксации, потери сознания или смерти водителя. Модуль уникален тем, что в нем использованы робастные алгоритмы выделения полезного сигнала из шума, оригинальные алгоритмы автоматического определения 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 ЭДА (основной критерий для автоматической интерпретации текущей динамики уровня релаксации водителя; метод имеет наименьшую из известных вероятность опасного отказа ($p=0,0001$), применены принципы построения систем безопасного мониторинга состояния

человека-оператора). В технических требованиях к бортовому модулю определения 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} .

Навигационный модуль. Для улучшения показателей его точности и надежности предусмотрено использование в совместной обработке сигналов функционирующих глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) ГЛО-НАСС (в диапазонах частот L1, L2), GPS (в диапазонах L1, L2), GALILEO (в диапазонах E1B, E1C, E5a, E5b) и BEIDOU (в диапазоне B1-C). В дополнение предусматривается возможность применения технологии RTK кинематики реального вре-

мени, позволяющей за счет совместной обработки сигналов от ГНСС и корректирующих станций получать сантиметровую точность определения координат. Комплексирование обработки сигналов ГНСС с информацией от датчиков микроэлектромеханических систем и одометрического датчика пути автомобиля дает возможность использовать технологию «Dead reckoning», обеспечивающую снижение ошибки исчисления навигационных параметров, и 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)

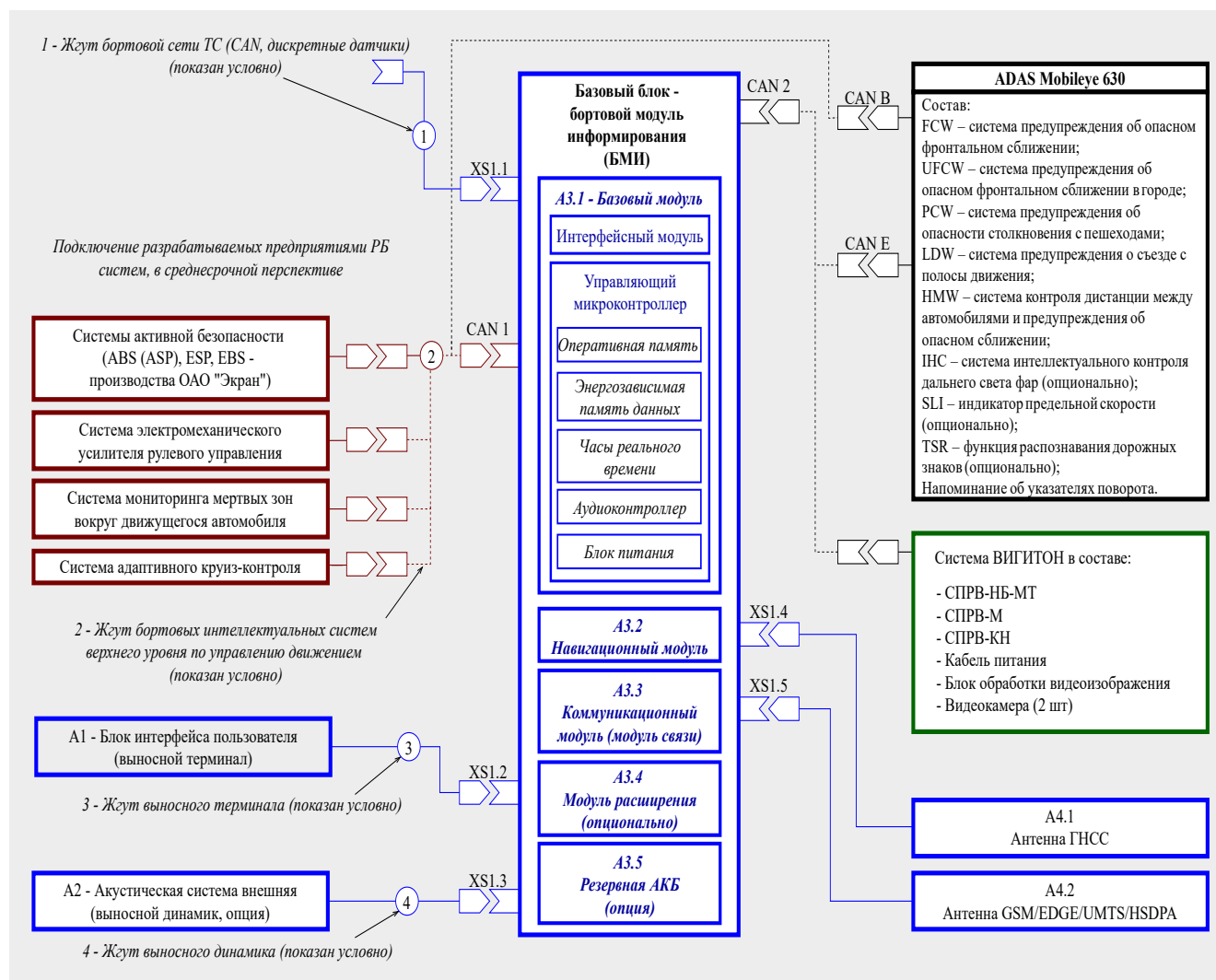


Рис. 3. Структура БИАС и ее подключение на борту ТС

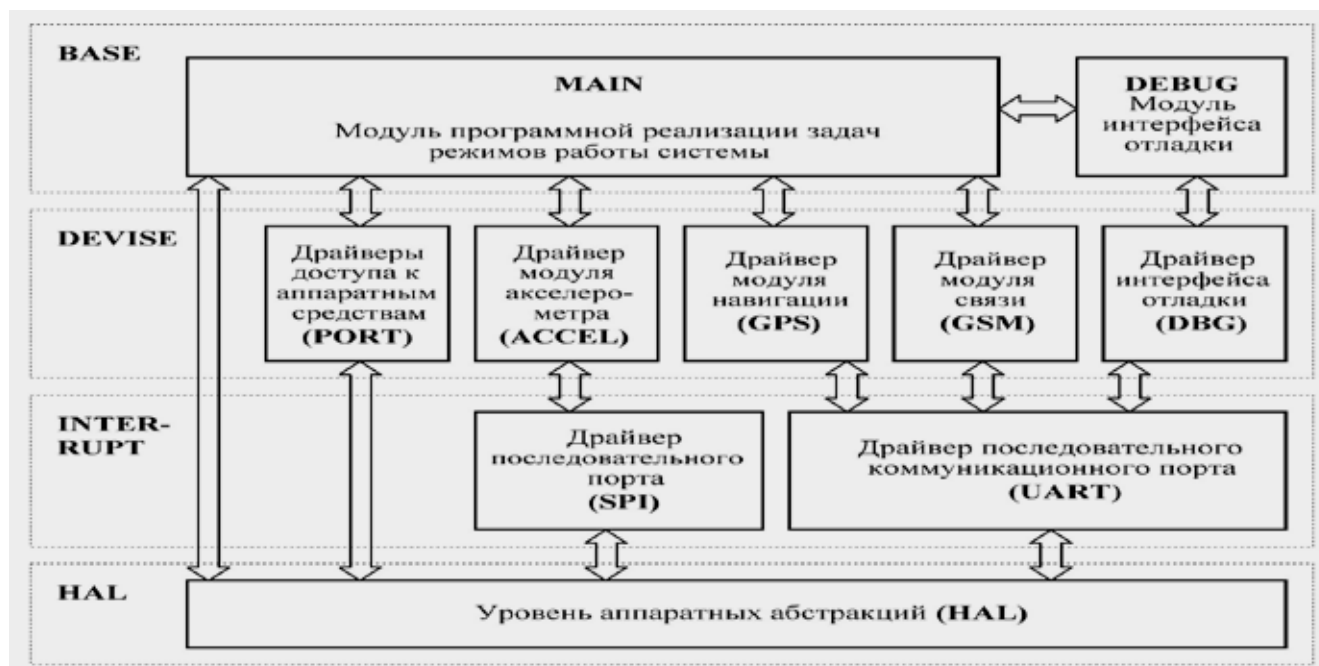


Рис. 4. Архитектура базового программного обеспечения

и алгоритмов комплексования данных ГНСС и инерциальных датчиков (акселерометров) собственной разработки, определение навигационных параметров в системах координат WGS-84 или ПЗ-90 (при доверительной вероятности 0,95).

На рис. 3 показаны системы, разработка которых уже ведется или планируется в ближайшее время в Республике Беларусь: электромеханического усилителя рулевого управления, мониторинга мертвых зон вокруг движущегося автомобиля, электронно-пневматического привода тормозов, в перспективе – системы адаптивного круиз-контроля. Массовое их появление на борту ТС следует ожидать в краткосрочной перспективе. Подключение предполагается по дополнительной информационной шине CAN, возможность аппаратной реализации которой заложена в разрабатываемой системе.

Имеется также существенный потенциал, связанный с применением перспективных пассивных ADAS. Сюда можно отнести системы распознавания пешеходов и велосипедистов, дорожных знаков, помощи движения в полосе, ночного видения и др. Их работа базируется на быстро развивающихся в последнее время системах технического зрения или (в ряде разработок по контролю мертвых зон, помощи при парковке) сканировании пространства ультразвуковыми датчиками.

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

Модуль расширения поддерживает дополнительные функциональные возможности, связанные со взаимодействием с другими интеллектуальными системами ТС.

Программное обеспечение имеет многоуровневую модульную иерархическую структуру. Отдельные модули работают асинхронно относительно друг друга, реализуя многозадачный режим работы в реальном времени. Используемая файловая структура позволяет добиться максимальной изоляции кода уровней и модулей. Архитектура базового программного обеспечения показана на рис. 4 и предусматривает следующие уровни:

- *BASE, состоящего из модуля программной реализации режимов работы системы (подпрограммы, обеспечивающие функционирование системы на логическом уровне) и модуля интерфейса отладки (предоставляющего доступ к переменным модуля программной реализации на аппаратно независимом уровне). Они могут прямо обращаться к аппаратно зависимым функциям контроллера, имеющим атомарный доступ посредством уровня HAL.*

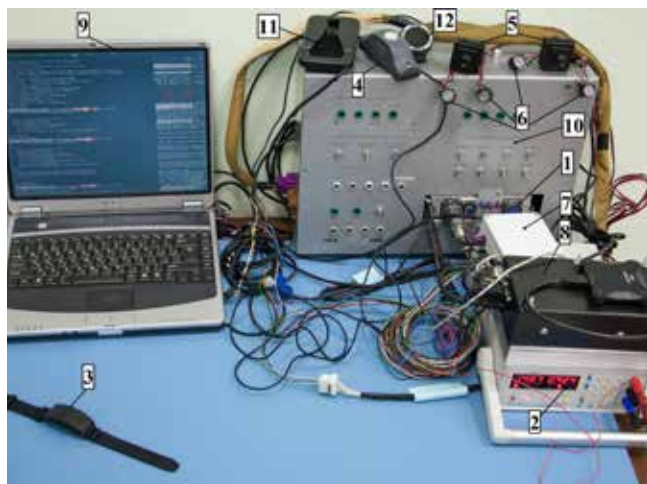


Рис. 5. Работа с системами на этапе проверки в лабораторных условиях: совместное подключение систем БИАС, «Mobileye 630» и «ВИГИТОН»

1 — технологический образец БИАС (на базе опытного образца), 2 — источник питания, 3 — носимая часть «Браслет» СПРВ-МТ системы «Вигитон», 4 — кнопка СПРВ-КН системы «Вигитон», 5 — выносные камеры системы «Вигитон», 6 — подсветка выносных камер ИК-диапазона системы «Вигитон», 7 — модуль СПРВ-М НКРМ.468362.002 системы «Вигитон», 8 — блок обработки видеоизображения системы «Вигитон», 9 — персональный компьютер, 10 — АЖРИ.442241.016.01 (устройство имитации дискретных и аналоговых сигналов бортовой сети №05.18.507), 11 — устройство (модуль) Mobileye 6 Main Unit системы «Mobileye», 12 — устройство (модуль) EyeWatch Display and Control Unit системы «Mobileye»

- **DEVICE:** здесь расположены модули драйверов внешних устройств, обеспечивающие обмен информацией на уровне протоколов, специфичных для каждого устройства: систем активной безопасности, мониторинга функционального состояния водителя, ADAS, навигации, коммуникаций и др.
 - Драйвер интерфейса отладки **DEBUG** обеспечивает доступ к переменным модуля программной реализации на уровне протокола. Драйверы доступа к аппаратным средствам **PORT** позволяют обращаться к аппаратно зависимым функциям контроллера, требующим обработки на уровне протокола (генерация временных задержек, ввод состояния элементов управления с фильтрацией дрейфа и т.п.).
 - **INTERRUPT** — отвечает за безопасный совместный доступ к данным подпрограмм, работающих в пользовательском режиме и в режиме ядра (обработчики аппаратных прерываний).
 - **HAL** — обеспечивает независимость программного кода уровней **BASE**, **DEVICE** и **INTERRUPT** от особенностей реализации применяемой аппаратной платформы.
- Совместное подключение систем БИАС, «Mobileye 630» и «ВИГИТОН» на этапе проверки в лабораторных условиях представлено на рис. 5.

БИАС ориентирована на повышение уровня автоматизации ТС, построена по модульному принципу и ориентирована на использование в полном объеме на отечественных ТС. Также ее компоненты могут быть применены в других перспективных бортовых системах, которые разрабатываются сейчас и планируются в краткосрочной перспективе. Например, навигационный модуль обладает функционалом и техническими характеристиками, позволяющими задействовать его и в беспилотных ТС, разработку которых сегодня ведут крупнейшие предприятия машиностроительного комплекса нашей страны (ОАО «БЕЛАЗ», «МАЗ», «МТЗ») в кооперации с партнерами. ADAS компании «Mobileye» могут быть использованы ОАО «Экран» при разработке адаптивного круиз-контроля (ACC, Adaptive Cruise Control), как это делают крупнейшие мировые OEM-производители компонентов и систем для машиностроения. **И**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. SAE J3016. Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 2014.
2. К. Валентин. Будущее автомобильной промышленности: автомобиль, определяемый программным обеспечением // Материалы междунар. автомобил. науч. форума «Интеллектуальные транспортные системы» (МАНФ-2017), Москва, 18–19 окт. 2017 г. / ААИ, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». — М., 2017.
3. 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.
4. Рамочный документ по автоматизированным/автономным транспортным средствам // document ECE/TRANS/WP.29/2019/34. — 15 April 2019, UNECE, Geneva.
5. Концепция обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 25. 03. 2020 г. №724-п) // <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/>.
6. Joost C.F. de Winter, Riender Happee, Marieke H. Martens, Neville A. Stanton Stanton Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: a review of the empirical evidence // VDI Wissensforum // <https://research.utwente.nl/en/publications/effects-of-adaptive-cruise-control-and-highly-automated-driving-o>.
7. Monika Lohani, Brennan R. Payne, David L. Strayer A Review of Psychophysiological Measures to Assess Cognitive States in Real-World Driving / Front. Hum. Neurosci., 19 March 2019 // <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2019.00057/full>.
8. В.В. Савченко С.Н. Поддубко. Подход к разработке метода передачи управления транспортным средством водителю бортовыми системами в автоматическом режиме // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2018. №2(121). С. 181–187.
9. В.В. Савченко С.Н. Поддубко. Концепция передачи управления водителю в высокоавтоматизированных транспортных средствах // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2020. Т. 64, №5. С. 624–631 // <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-5-624-631>.
10. V.V. Dementienko. Driver vigilance remote monitoring system // Science Journal of Transportation. 2015. №6. P. 110–114.
11. В.В. Савченко. Развитие методологии мониторинга функциональных состояний операторов транспортных систем «человек-машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. №6. С. 27–32.