

ный процесс которых связан с перевозочной работой, может быть показателем, оценивающим технико-экономическую эффективность $K_{ш}$. Этот показатель должен определяться при одинаковых условиях движения автотранспортных средств. Причём если в сравнении используется контрольный расход топлива, то сопоставление осуществляется при одинаковых скоростях установившегося движения.

Использование для определения $K_{ш}$ показателей расхода топлива автомобилей в циклах при испытаниях на стенде с беговыми барабанами (Правила ЕЭК ООН № 101-01), которым соответствуют определённые скорости, также допускается (формула 5).

УДК 629.113

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОМОБИЛЯ

Доктора техн. наук БЕЛОУСОВ Б.Н.,
ГЛАДОВ Г.И. и ХАРИТОНЧИК С.В.,
кандидаты техн. наук ОСТРЕЦОВ А.В. и ШМЕЛЁВ А.В.,
ПЕТУХОВ А.В.
МГТУ имени Н.Э. Баумана (499.263-60-65),
БНТУ, ОИМ НАН РБ

На основе результатов исследований в рамках Программы Союзного государства "Автоэлектроника" на примере автоматизации управления ходовой частью рассматриваются общие принципы построения системы автоматического управления движением автомобиля.

Ключевые слова: система автоматического управления автомобилем, автомобиль с "автономным" управлением, бортовая информационно-управляющая система, интеллектуальная транспортная система.

Belousov B.N., Gladov G.I., Kharitonchik S.V., Ostretsov A.V., Shmelev A.V., Petuhov A.V.
GENERAL PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF MOVEMENT CAR

Based on the results of research in the framework of the Union state Program "Electronics" for example, automation control suspension deals with the General principles of construction of system of automatic control of movement car.

Keywords: system of automatic car control, a vehicle with Autonomous control, on-Board information control system, intelligent transportation system.

Создание интеллектуальных транспортных систем невозможно без автоматизации управления автомобилем. В октябре 2012 года на 19-м Всемирном Конгрессе в Вене, который собрал более 10 000 участников из 91 страны мира, была официально признана необходимость адаптации конструкции транспортных средств к автоматическому управлению (см. "Венский манифест по ИТС"). Поэтому развитие продуктов и систем для автоматизированного вождения автомобиля в рамках ИТС является центральной темой долгосрочных стратегий крупных международных автомобильных поставщиков технологий. В развитие этих стратегий вкладываются миллиарды долларов, чтобы пройти путь к управлению автомобилем будущего. Для

Литература

1. О создании типажа специализированных автотранспортных средств. Л.Г. Трёмбевельский д. т. н. САМТ-Фонд. Автомобильная промышленность 2017 г. № 6.
2. Трёмбевельский Л.Г. Оценка производительности и технико-экономической эффективности грузовых автомобилей и автобусов. Грузовик & 2008, № 10. С. 49—53.
3. Краткий автомобильный справочник в 4-х томах. Т. 4. Специальные и специализированные автомобили. Часть 7. Под общей редакцией д. т. н., проф. М.И. Гриффа. Москва. АвтоПолис. 2013, 486 с.
4. Зимелёв Г.В. Теория автомобиля. Москва, Машгиз, 1954, 456 с.
5. О безопасности колёсных транспортных средств. Технический регламент Таможенного союза 018/2011. 465 с.

всех зарубежных производителей автомобилей ясно, что автоматизированные системы управления станут ключевым элементом в мобильности автомобиля будущего. Фирмы оценивают первые результаты по частично автоматизированному процессу управления автомобилем, чтобы в конечном итоге создать полностью автоматизированную систему его движения (САУД), в том числе на высоких скоростях и в сложных дорожных ситуациях, и подготовить её к производству к 2020 или 2025 году.

Таким образом, развитие, создание и совершенствование САУД или, как первый шаг, бортовых информационно-управляющих систем (БИУС) транспортных средств является одним из главных направлений развития мирового автотракторостроения.

С технологической точки зрения САУД представляет собой развитие систем помощи водителю, которые широко используются в настоящее время в конструкции зарубежных автомобилей. Их концепция, построенная на создании сетей с информацией водителя и частичным (в перспективе — полным) управлением основными системами автомобиля, всё больше завоевывает признание. Системы оказания помощи водителю для оценки ситуации на дороге при низкой скорости движения до 30 км/ч строятся по принципу "остановить и ехать". Но этот первый шаг к автоматизации не освобождает водителя от ответственности за оценку того, что происходит на дороге.

Предполагается, что в перспективе автомобиль с автоматизированным управлением будет иметь полный и независимый контроль движения до скорости 130 км/ч. Но когда автомобиль превысит эту скорость, водитель должен взять под контроль управление даже при системе высокого уровня автоматизации. Полностью автоматизированные системы предполагается построить к 2025 году, но их действия все равно будут ограничены при движении по шоссе. Предполагается, что если водитель не реагирует на требование взять под контроль управление, автомобиль автоматически вернется в безопасное состояние, т.е. начнется процесс его торможения и последующей остановки.

Рассматривая причины возникновения неконтролируемого движения, которое зачастую приводит к дорожно-транспортным происшествиям, сопровожда-

ющимся повреждениями и невозможностью продолжения движения, специалисты констатируют, что в большинстве случаев ДТП происходят по вине водителей. Связано это с выполнением требований системы эксплуатации автомобильной техники, предписывающих проведение своевременного диагностирования и прохождение технического обслуживания автомобиля.

В последнее время всё чаще слышится термин "не справился с управлением", что вполне логично, так как при возросших скоростях и интенсивности движения водитель работает на пределе своих возможностей по принятию правильных решений в возникающих сложных дорожных ситуациях.

Решение данной проблемы видится в максимальном освобождении человека от функций управления автомобилем в случаях возникновения таких скоростных, быстро развивающихся во времени процессов, какими, например, являются занос, экстренное торможение или опрокидывание автомобиля.

Подобные задачи по признанию отечественных и зарубежных специалистов должна решать САУД транспортного средства. САУД является системой (дирижёром), комплексно управляющей всеми подсистемами автомобиля, обеспечивающими связь с объектами дорожно-транспортной обстановки. Для построения таких систем необходимы алгоритмы их функционирования, полученные на основе комплексных математических моделей движения автомобиля и закономерностей взаимодействия приводов подсистем автомобиля между собой. Это обстоятельство требует интерактивных исследований. В практике отечественного автомобилестроения построение САУД, как правило, сводится к созданию систем с усечённой функцией сбора информации о состоянии автомобиля, объёма выполненной им работы и т.п. Примером может служить БИУС автомобилей КамАЗ. Для создания САУД в современном представлении требуется пересмотр парадигмы проектирования автомобиля как объекта автоматического управления, переход от "чисто" механической конструкции к конструкции автомобиля на базе мехатронных модулей и систем. Об этом авторы ранее уже писали.

Более того, новая программно-мехатронная парадигма создания ТС является поворотным моментом для старта появления новых компоновочных решений интеллектуальных транспортных средств, появление которых при классическом механическом подходе проектирования не представляется возможным. При новой парадигме на первый план выходят задачи управления отдельными свойствами и совокупностью свойств ТС, а задачи оценки и оптимизации отдельных свойств и показателей можно на данном этапе научно-технического развития считать задачами следующего (второго) уровня.

Современные электронные системы (так называемые системы-ассистенты) способны на несколько порядков быстрее распознавать развитие критических ситуаций и принимать корректирующие решения. В настоящее время в конструкции автомобилей является практически обязательным применение таких систем,

как антиблокировочная, антипробуксовочная, экстренного торможения, динамической стабилизации, распределения тормозных усилий и др.

Таким образом, создание САУД тягово-транспортных средств является одной из главных особенностей современного развития конструкций автомобилей и тракторов.

Безусловно, потребуется ещё не одно десятилетие, чтобы автомобили с полностью автоматическим управлением (или с так называемым за рубежом "автомномным вождением") появились на дорогах мира. Уже разрабатываются многие из систем, делающие автоматическое управление (вождение) реальным и возможным. Следует ожидать, что в недалеком будущем машины с САУД будут общаться одновременно между собой, с операторами-людьми и дорожной инфраструктурой, например, через *Wi-Fi* (беспроводный интернет). Они смогут обмениваться данными о своем местоположении, направлении и скорости движения, выполняемой работе и её целях, а также другой необходимой информацией о своей деятельности, образуя, таким образом, распределённую производственную систему, применимую, в частности, в строительстве и сельском хозяйстве. Следовательно, сложность архитектуры электронных систем, которая определяется структурой установленных модулей, как составных частей автомобиля, и их сетевым взаимодействием будет возрастать. Это обстоятельство вызывает возрастание сложности программного обеспечения, объёмов передаваемых данных и новые проблемы для электронных компаний. Уже сейчас перед учёными и разработчиками ТС стоит актуальная проблема обоснования, формулирования единых принципов и подходов при создании подобных систем.

Адаптивный круиз-контроль, системы предупреждения о покидании полосы движения и передовые системы предупреждения столкновений являются строительными блоками для разработки дополнительных функций безопасности САУД. Они продолжают развиваться и совершенствоваться. Их разработчики в состоянии расширить свою роль посредством интеграции этих систем с другими системами. Подобный подход можно считать наиболее рациональным направлением создания быстро адаптивных систем транспортных средств.

Под другими системами здесь понимаются системы автоматического управления функционированием составных частей/систем транспортных средств, устройства, которые обеспечивают 360-градусный мониторинг угроз для водителя и целый ряд других. В настоящее время в дополнение к взаимодействию составных частей автомобиля (бортовые системы) зарубежные инженеры также рассматривают системы, обеспечивающие взаимодействие автомобиля с окружающей средой по следующим принципам: "транспортное средство — транспортному средству" (V2V) и "транспортное средство — коммуникационная инфраструктура" (V2X). К сожалению, и здесь ИТ-специалисты шагают впереди специалистов автомобильной промышленности.

Можно заключить, что в мировой практике автомобилестроения сложилось устойчивое направление —

создание интеллектуальных транспортных средств, которые обеспечивают эффективность и безопасность перевозок на основе использования в конструкции мехатронных модулей и систем. На использовании мехатроники построена современная парадигма проектирования перспективных автомобилей за рубежом. Кроме того, модельно-ориентированный подход к проектированию ТС приходит на смену традиционной в отечественном автомобилестроении конструкторско-механической парадигме разработки новой техники и является значимым фактором обеспечения конкурентоспособности при создании новых образцов. Новая парадигма создания транспортных средств стимулирует за рубежом развитие современных технологий разработки, уровень техники которых был недостижим при классическом подходе. В качестве примера достаточно упомянуть уже известные системы: управление тягой, электронные системы стабилизации курсовой устойчивости, систему активного распределения крутящего момента, различные виды активной подвески, активные стабилизаторы поперечной устойчивости, активное рулевое управление, системы активной безопасности, гибридно-электрические и полностью электрические трансмиссии транспортных средств и др. Об этом авторы уже писали ранее.

Системы помощи водителю V2V и V2X развиваются с использованием достижений в области создания новых типов датчиков и GPS-карт. Задача состоит в том, чтобы интегрировать эти датчики в системы и представить информацию водителям с помощью удобных человеко-машинных интерфейсов (HMI) и, таким образом, обеспечить удобство и привычность управления.

Перед тем как САУД транспортного средства сможет взять на себя ответственность за вождение, она должна получить всеобъемлющую и достоверную информацию о том, что автомобиль окружает. Разработчики ТС должны определить, сколько и каких требуется датчиков для обеспечения подобного 360-градусного мониторинга.

Собрать информацию и сделать её анализ достаточно быстро, чтобы предотвратить ДТП без ложных срабатываний, — весьма непростая задача. Во-первых, контроллеры должны собирать информацию от нескольких датчиков и отсеивать неполадки.

В то же время система должна управлять тормозами, рулевым управлением и другими системами автомобиля, задавая им оптимальный режим совместной работы для достижения главной целевой функции автомобиля при обычной работе и в аварийной ситуации в частности. При этом не совершать опасных действий, например, экстренного торможения при смене полосы движения в процессе объезда/обгона препятствия/ТС на дороге. Эти решения, вероятно, должны приниматься централизованным контроллером безопасности, который получает данные через высокоскоростную сеть. Чтобы перейти к этому типу центрального контроллера, необходимо перейти к использованию высокоскоростного сетевого протокола на автомобиле для ускорения скорости передачи данных и добиться стабильности работы и отказоустойчивости системы.

Например, Протокол SAE J1939 на уровнях программного обеспечения и слоёв связи данных, которые выделены в пакетах стандартов ISO-OSI, всё ещё базируется на шине CAN2.0B (*Controller Area Network*), и этому есть несколько причин. Шина CAN остается в действии благодаря своему широкому проникновению в автомобильную промышленность, но в недалеком будущем её пропускная способность может достигнуть своего предела в указанных выше применениях. CAN-шина — пока лучшее решение с точки зрения рентабельности, которое можно применять в самых разных случаях.

Протокол CAN, однако, не лишён определённых недостатков, особенно с точки зрения полосы пропускания, максимальной длины сети и топологии. В перспективе так называемый "будущий стандарт SAE J1939" потребует большей полосы пропускания, чем способна обеспечить CAN-шина. Поэтому так важно совершенствование существующей или создание новой системы-преемника.

Например, локальная сеть *Ethernet* может быть легко адаптирована под автомобильные применения. Решения на основе Интернет-протокола (IP) способны обеспечить полосу пропускания, требуемую для будущего SAE J1939 (или другого сетевого протокола для силовой передачи). Он способен повысить функциональность системы, обеспечивая более высокую степень взаимодействия и интеграции в системах распределённого управления машинами, как этого требуют новейшие разделы разрабатываемого в настоящее время стандарта *ISOBUS* (стандарт ISO 11783).

Анализ всех аспектов и ограничений применения стандарта SAE J1939 на *Ethernet*, или, что точнее, протокола на основе *TCP/IP* — очень сложное дело. Поэтому анализ, выполненный специалистами IT-компаний, сосредоточился на том, чтобы показать, что соединение сетей является не только целесообразным и относительно простым, но и в состоянии упростить некоторые протокольные сервисы. Что касается конструкции сети, то смешанная архитектура возможна по причине простоты реализации шлюза между CAN и *Ethernet*, а также из-за ограниченной полосы пропускания CAN, которая даже при максимальной занятости полосы составляет лишь небольшой процент от максимальной полосы пропускания, которую обеспечивают протоколы, действующие на основе *Ethernet*.

Основная причина использования IP-протокола и других протоколов 4-го уровня, таких как *TCP* (*Transmission Control Protocol* — протокол управления передачей данных) и *UDP*, заключается в возможности объединения различных видов трафика и сохранении при этом безопасности и производительности (используя колоссальный достигнутый в последние годы прогресс в повышении производительности блоков управления).

В то же время *FlexRay* — высокоскоростной сетевой протокол для автомобилей, разработанный мировым консорциумом *FlexRay*, создаёт конкуренцию *Ethernet* и CAN. Пропускная способность этого протокола достигает 10 Мбит/с, т.е. также большую чем CAN. Перевод на *FlexRay* бросает вызов *Ethernet AVB* (*Audio*

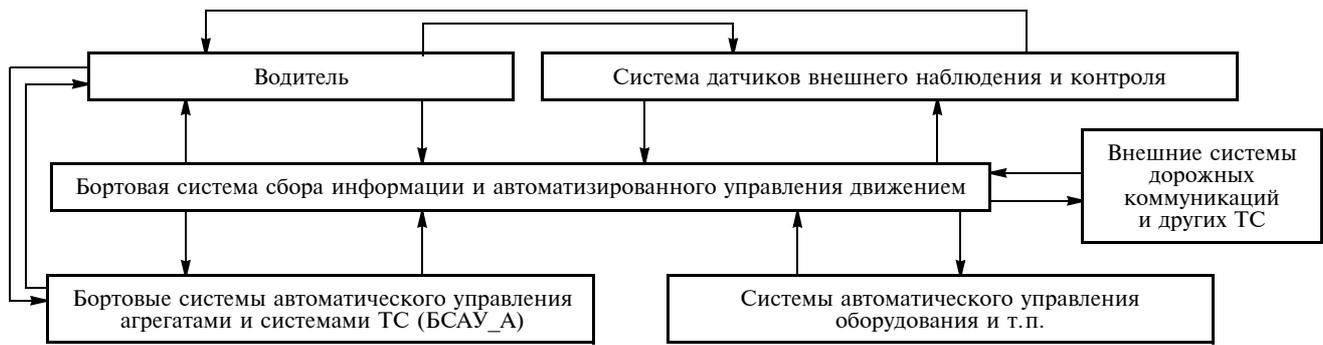


Рис. 1. Блок-схема САУД автомобиля

Video Bridging), который имеет аналогичный уровень производительности. *FlexRay* может быть даже дешевле, чем *Ethernet AVB*.

Необходимо отметить, что, например, современные зарубежные внедорожные автомобили, особенно карьерные самосвалы, уже содержат очень сложные коды встроенного программного обеспечения. Они работают в многочисленных электронных блоках управления, которые предоставляются различными поставщиками. Эти блоки соединяются связями различной электрической архитектуры, которые распределяют тысячи цифровых и аналоговых сигналов вокруг транспортного средства. В настоящее время эти электронные блоки уже потенциально доступны в огромном количестве конфигураций.

Чтобы оставаться конкурентными или вообще присутствовать на рынке, изготовители ТС должны научиться диагностировать и устранять ошибки и сбои программного обеспечения до того, как они попадут к заказчику или покупателю. К сожалению, конкурентное давление, присутствующее на рынке автомобильной техники, не дает ни времени, ни средств на отладку ПО, применённого в таких системах. Совсем скоро следует ожидать достижения подобного уровня интеграции ПО и в конструкции сельскохозяйственной и строительной техники.

Тенденции развития и основополагающие технические решения перспективных транспортных средств предполагают исключительно высокий уровень автоматизации рабочих процессов основных функций систем и оптимизации их совместной работы.

Автоматизации должны подвергаться все основные функции систем:

- работа энергетической установки;
- передача мощности от энергетической установки к ведущим колесам и её рациональное распределение между ними;
- организация режима работы и конфигурация колёсного движителя в соответствии с условиями движения и целями водителя;
- организация работы рулевого управления, обеспечивающая маневренность, курсовую устойчивость и стабилизацию движения автомобиля, а также минимальные энергозатраты энергетической установки;
- работа всех видов тормозных систем, установленных на автомобиле, в том числе и системы электродинамического торможения;

- организация работы системы поддрессоривания транспортного средства в целом и вторичного поддрессоривания кабины, сидений водителя и пассажиров, в частности для радикального подавления воздействия всех видов вредных ускорений;

- активное глушение шума энергетической установки;

- организация и поддержание необходимого микроклимата в кабине водителя;

- комплексная всесторонняя диагностика, самоконтроль, поиск и блокирование отказов, а также оповещение водителя и организация справочно-информационной службы (регистрация параметров движения);

- круиз-контроль и функции автономного вождения.

Система автоматического управления движением состоит из двух основных систем: системы автоматического (автономного) управления движением (глобальная система — система высшего уровня — система "дирижёр") и бортовых систем сбора информации и автоматического управления системами транспортных средств (БИУС — подчинённая бортовая система — управление системами низшего уровня). Системы низшего уровня требуют отдельного рассмотрения.

Как следует из общего перечня задач, стоящих перед САУД, различаются функции, непосредственно связанные с обеспечением движения автомобиля, и функции вспомогательного характера — поддержание микроклимата в салоне (кабине), автоматизация работы головного и вспомогательного освещения, активное глушение шума и целый ряд других. Хотя выполнение этих функций САУД связано с режимом движения автомобиля, непосредственного влияния на него они не оказывают. Связь между этой группой объектов имеет в основном информационный характер, чаще всего — однонаправленный (к вспомогательным системам).

Это даёт основание для построения САУД по иерархическому принципу (рис. 1 и 2 (a—d)).

Основу САУД представляет управление главной для автомобилей функцией, которую можно определить общим термином "движение автомобиля" — "движение АТС" или просто "движение". Эту задачу выполняют отдельные системы управления основными агрегатами и системами. Они должны обеспечивать водителю прямой доступ к их управляющим входам,

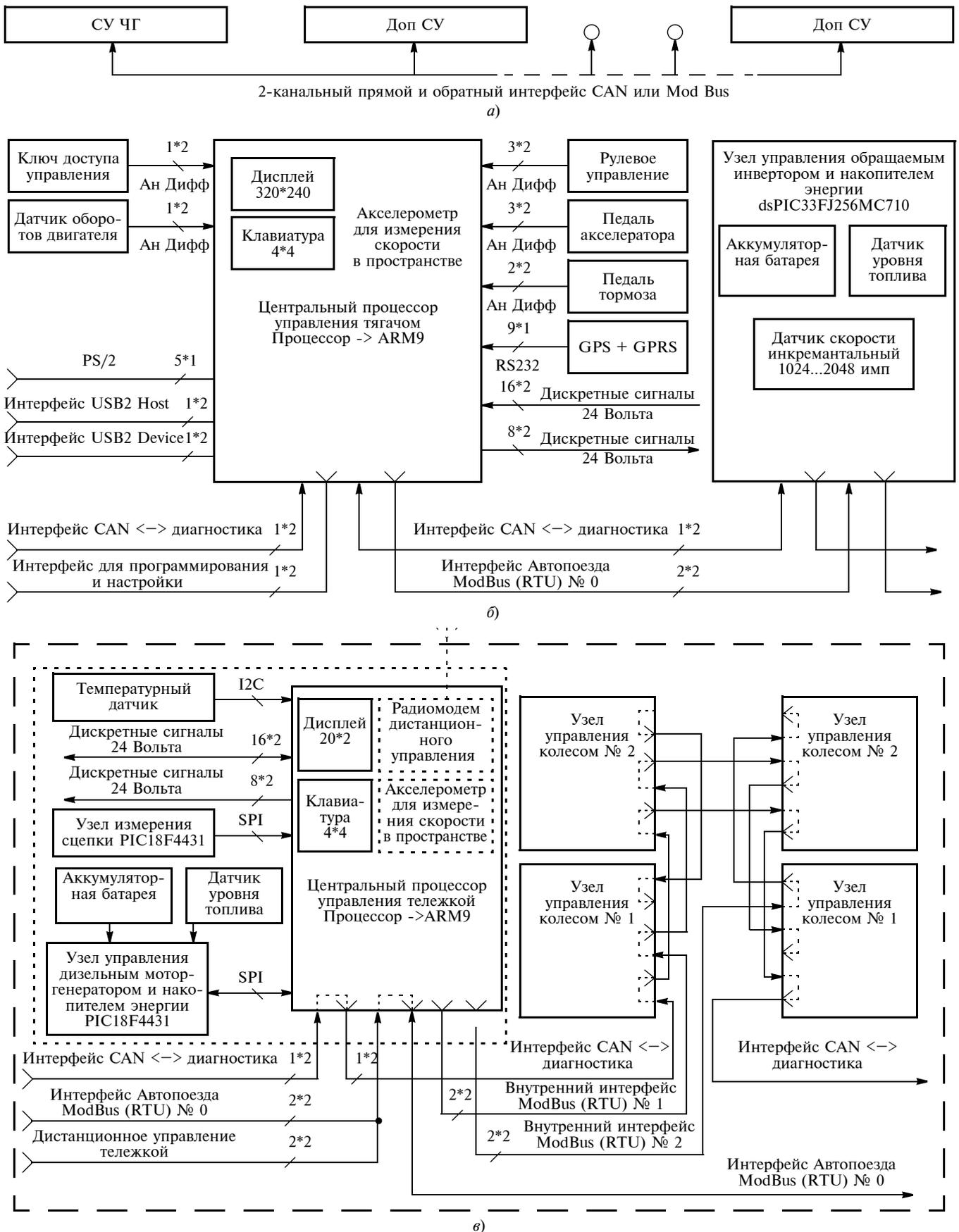
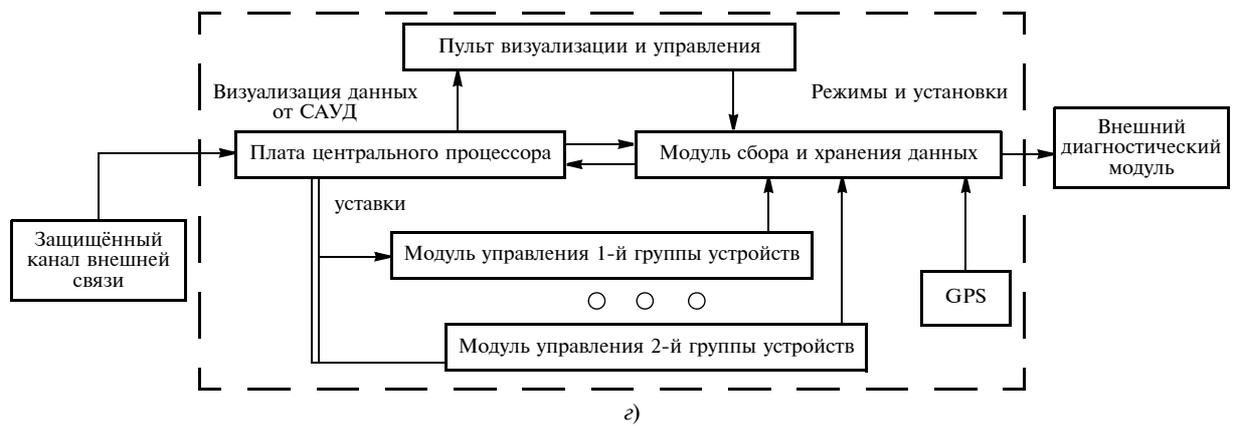
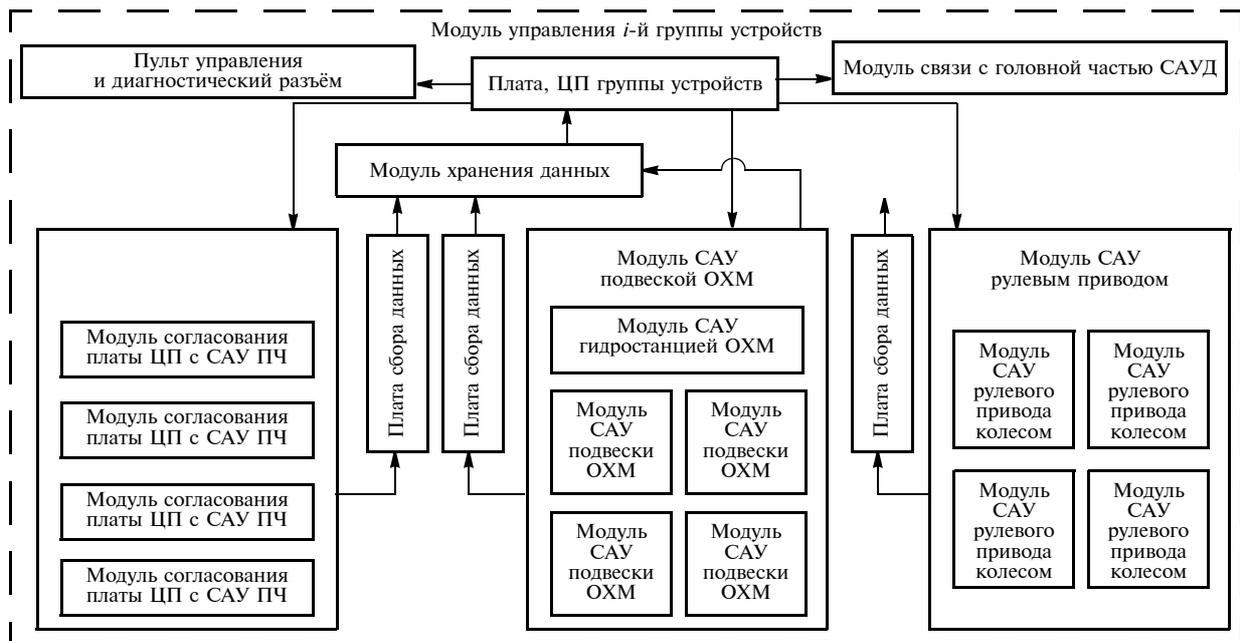


Рис. 2. Вариант структуры САУД на примере многозвенного автопоезда:

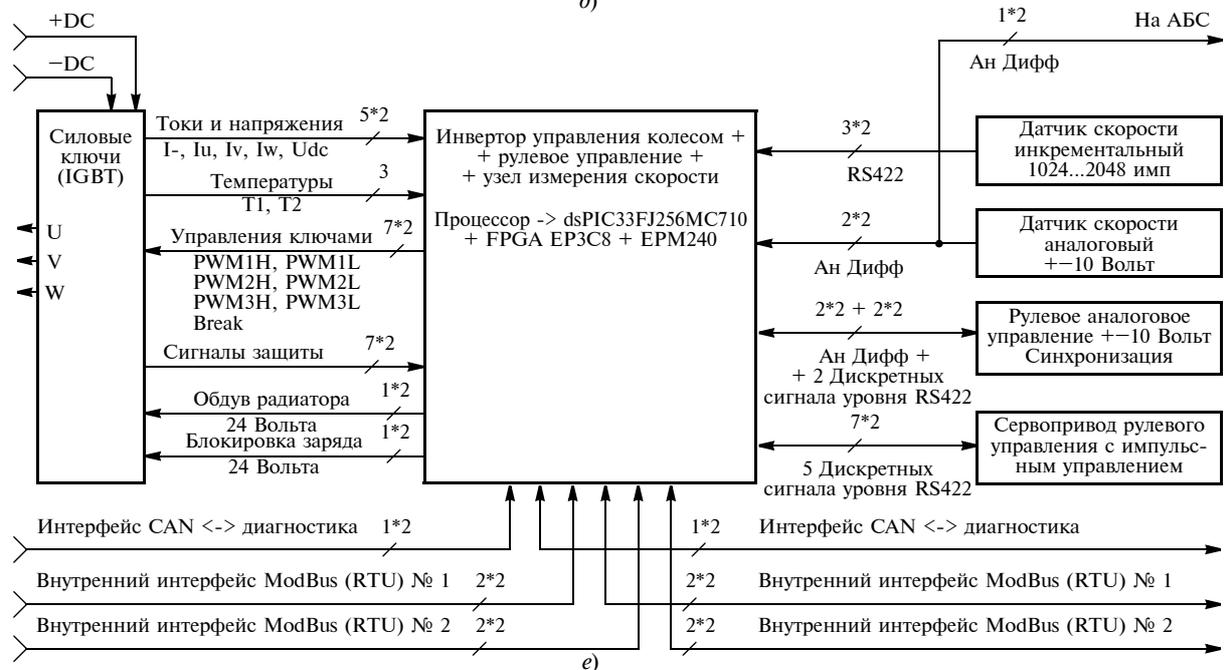
а — общая структура САУД автопоезда; б — функциональная схема центрального процессора (ЦП) головного звена (ГЧ) автопоезда; в — функциональная схема центрального процессора (ЦП) автономной САУД одного из звеньев автопоезда (Доп. СУ)



с)



д)



е)

Рис. 2. (Продолжение):

с — блок-схема САУ звена; д — блок-схема модуля управления группы объектов (колёс в тележке/звене); е — функциональная схема САУ колеса



Рис. 2. (Окончание):

ж — схема диагностического канала

минуя, при необходимости, структуры более высокого иерархического уровня. Особенность автомобиля состоит в том, что команды водителя, поступающие в САУ во всех случаях, обладают высшим приоритетом; обмен информацией между водителем и САУ осуществляется либо через центральные структуры, либо, что бывает чаще всего, с помощью прямого канала связи. Эти особенности позволяют расчленить процесс разработки САУД на несколько последовательных этапов без ущерба для содержательной части работы. На начальных стадиях целесообразно сосредоточить внимание на САУ отдельных систем и БИУС, отложив разработку САУ обеспечения на следующие этапы, либо, при достаточных ресурсах, выполняя эти работы параллельно, но не синхронизируя их этапы. Единственное требование, которое должно неукоснительно выполняться на всех стадиях разработки — это общность информационной базы, что требует одного головного исполнителя по всей САУД.

БИУС — комплекс САУ основных агрегатов и систем транспортного средства — может строиться в виде разнесённых (самостоятельных) систем со своим процессором каждая, который входом и выходом замыкается на общий процессор САУД, или как единая бортовая информационно-управляющая система автоматического управления с единым процессором (БИУСа), замыкающимся на процессор САУД.

Первый вариант, на наш взгляд, предпочтительней.

БСАУ_А — решают весь комплекс задач по управлению динамикой автомобиля в любых дорожных условиях в соответствии с решениями САУД и водителя, которые опираются на свою оценку дорожной ситуации, состояния и конфигурации автомобиля, замысел управления и информацию навигационного характера.

САУД (в полностью автоматическом режиме) самостоятельно действует при автоматическом выполнении типовых маневров, при движении в колонне за лидером и при автоматическом перемещении по размеченным или известным каким-либо образом траекториям. САУД допускает дистанционное управление по радиоканалу или по каналу кабельной связи, если автомобиль применяется в составе автономного роботизированного комплекса. В этом же случае в САУД включают бортовую систему технического зрения и искусственного интеллекта. За исключением отдельных частных случаев САУД может принимать самостоятельные решения и действует по командам вышестоящего управляющего звена — водителя или соответствующего источника внешних систем ИТС.

Иерархический принцип построения является актуальным для создания сложных транспортных систем,

таких как многозвенные автопоезда, состоящие из укрупнённых модулей или макромодулей (рис. 3). Каждый из тяговых модулей активных прицепных звеньев имеет силовую установку. Активные звенья многозвенного модульного автопоезда могут оснащаться механической или электромеханической трансмиссией. Архитектура электронных систем должна быть построена таким образом, что работой систем первого уровня управляет основной бортовой компьютер.

Выделение системы автоматического управления движением вносит изменения в подходы к использованию энергии силовых установок автопоезда, для обеспечения максимальной эффективности которого она объединит и настроит работу систем второго уровня, что даст возможность вывести работу двигателей на экономичные режимы и, в том числе, уменьшить вредные выбросы; повысить динамические характеристики автопоезда как за счёт более точного управления подводом энергии, так и за счёт использования рекуперированной энергии.

Кроме того, структура САУД и её отдельных элементов (рис. 2) позволяет исправлять грубые ошибки водителя по управлению ТС (например, превышение допустимых по сцеплению тяговых и тормозных сил), стабилизировать его прямолинейное движение, выявлять собственные дефекты (самодиагностика) и принимать посильные меры к минимизации их последствий (перестраивая свою структуру, производя необходимые отключения и переключения, меняя режим и характер работы агрегатов, а также включая нужную индикацию и тревожную сигнализацию). САУД способна самостоятельно действовать по предупреждению простейших ДТП типа лобового столкновения, наезда и т.п., а также — в системе ЭРА-ГЛОНАСС (рис. 4).

При создании САУД решаются задачи маршрутизации и навигации.

Под системой маршрутизации понимают электронный бортовой атлас-справочник упрощённого типа, база данных которого постоянно пополняется и обновляется в процессе эксплуатации транспортного средства или из баз данных другого автомобиля.

Под навигационной информацией (применительно к одиночному коммерческому автомобилю или автопоезду) понимают следующие данные:

- о координатах текущего положения машины;
- о направлении перемещения машины;
- о расстоянии до пункта назначения и направлении на него;
- о координатах ориентиров на местности;
- положение на дороге;
- наличие препятствий и т.п.

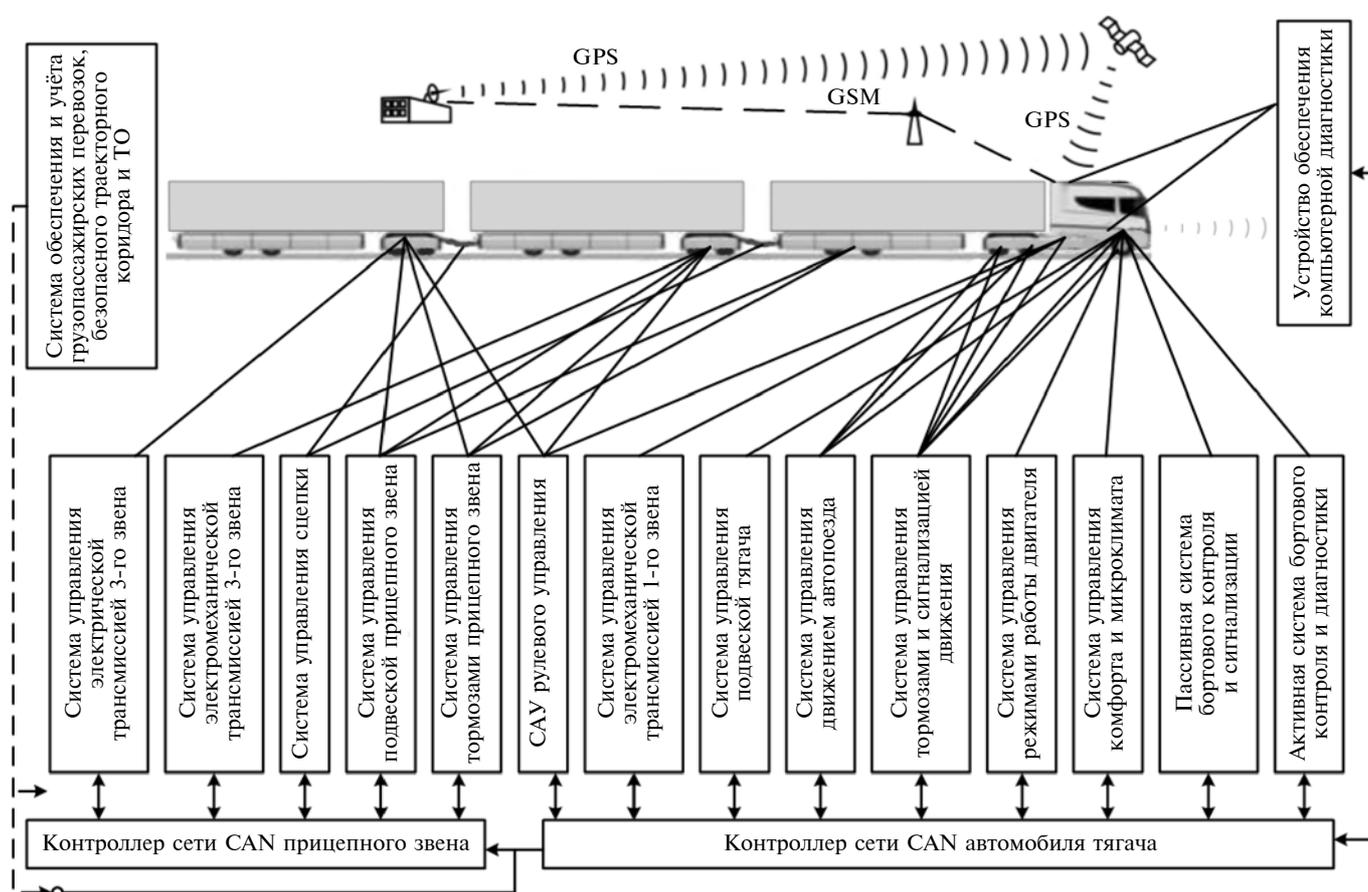


Рис. 3. Состав основных электронных систем управления многозвенным автопоездом

В соответствии с этим навигационные средства должны непрерывно и автоматически определять приведённые данные, выводить информацию водителю или членам экипажа в доступной для их восприятия или документирования форме и, если движение осуществляется по необорудованной местности, осуществлять общее управление движением машины с помощью аппаратных средств САУД.

Навигационные задачи решаются на современном уровне с помощью инерциальных систем навигации и систем, использующих в качестве опоры специальные космические объекты (системы GPS и ГЛОНАСС) (рис. 3 и 4).



Рис. 4. Схема ЭРА-ГЛОНАСС системы экстренного реагирования при ДТП

В наземных навигационных комплексах решаются три вида типовых задач:

- определение собственных прямоугольных координат нахождения объекта и его дирекционного угла (основная задача);
- вычисление текущего направления на пункт назначения и расстояния до него;
- вычисление прямоугольных координат наблюдаемых объектов или ориентиров.

В современной навигационной аппаратуре для измерения скорости используются исключительно электромеханические датчики, связанные с одним из ведущих колёс автомобиля. САУД автомобилем располагает информацией об угловой скорости всех колёс или от датчиков САУ трансмиссии. В первом случае информация поступает непрерывно в аналоговой форме от тахогенератора либо от подобного датчика. Во втором случае работают импульсные датчики. При этом фактически получается информация не о скорости, а об угле поворота соответствующего колеса за время между двумя импульсами. Эластичностью шин обычно пренебрегают только потому, что не располагают возможностями её правильного учёта, хотя в настоящее время разрабатываются и проходят испытания много вариантов так называемых "умных шин", датчики которых позволяют учитывать и параметры шин, и нагрузки на них. САУД автомобилей должна располагать встроенной системой вычисления фактической угловой скорости каждого из колёс с учётом

изменения динамического радиуса при переменном давлении воздуха в шинах и вертикальной нагрузки, а также системой расчёта усреднённой линейной скорости автомобиля. Таким образом, потенциальная точность работы системы определения линейной скорости САУД будет весьма высока, и этот сигнал может быть использован при работе навигационной аппаратуры.

Радиолокационные системы предупреждения столкновения автомобилей начали активно разрабатывать в середине 50-х годов прошлого столетия. Было установлено, что достаточно надёжно работают системы с пилообразной частотной модуляцией и интервалом частот $df = 0,25$ ГГц, достигаемым за 15 мс. РЛС с диапазоном частот 33...50 ГГц компактна и в реальной конструкции размещается в габаритах стандартной автомобильной фары. Выходная мощность излучателя оказывается достаточной на уровне 25...30 мВт при дальности действия до 100 м. При этих параметрах системы надёжно работают даже в сильный ливень (ослабления сигнала почти не наблюдается).

Наиболее важным параметром является допускаемое расхождение пучка излучения не более 5×5 град. Опытные образцы систем на легковых автомобилях успешно включаются в один управляющий контур с приводом управления дроссельной заслонкой (электровакуумный) и рабочими тормозами (электропневматический привод рабочего цилиндра).

Наиболее быстрыми темпами развивается САУ работой всех видов тормозных систем, установленных на автомобиле, в том числе и системы электродинамического торможения. Можно отметить, что решающее значение в повышении активной безопасности принадлежит в настоящее время электронным тормозным системам — ЭТС (EBS). В данном случае речь идёт не только об антиблокировочных и антипротобуксовочных устройствах (АБС/ПБС), но о целом ряде интегрированных электронных систем управления динамикой автомобиля. Ведущими зарубежными фирмами ("Бош", "Кнорр-Бремзе", "Вабко" и др.) для легковых и грузовых автомобилей разработаны следующие системы: электронные тормозные системы (EBS, TEBS); электронные системы динамической стабилизации (ESP, RSP); электронные системы управления подвеской, двигателем и трансмиссией (ACC).

Необходимо отметить, что системы активного или полуактивного поддрессирования колёс находят применение как в легковых автомобилях ("Ситроен", "Мерседес" и др.), так и в грузовых автомобилях. Однако конструкции большинства подобных систем сводятся к простейшим регуляторам уровня и не реализуют всех возможностей с точки зрения требований систем безопасности. Говоря о системах управления подвеской, следует учитывать, что они через свой привод должны не только реализовывать заданные параметры плавности хода, но и обеспечивать надёжный контакт колёс с опорной поверхностью, т. е. повышать устойчивость и противодействовать опрокидыванию автомобиля (автопоезда). В отличие от систем динамической стабилизации автомобиля (EBS, RSP), подтормаживающих соответствующие колёса и снижающих скорость движения при возникновении опас-

ности опрокидывания, работа активной или регулируемой подвески позволяет ТС проходить повороты с большей скоростью за счёт активного противодействия крену. Тем самым работа активной системы поддрессирования позволяет значительно повысить безопасность движения и производительность автомобиля на маршруте.

Аналогичная ситуация характеризует развитие систем всеколёсного рулевого управления, предназначенных либо для повышения устойчивости и управляемости (на легковых автомобилях), либо для повышения маневренности (дорожно-строительная техника). Однако для построения САУД при современном развитии электронных систем необходимо объединять все функциональные возможности и преимущества всеколёсного рулевого управления как системы активной безопасности, которая в некоторых случаях позволяет гораздо эффективнее повышать среднюю скорость движения, чем, например, системы стабилизации, использующие тормоза автомобиля.

Особенно сильно качество всеколёсного рулевого управления проявляются на многоосных колёсных машинах и автопоездах. Машины с базой от восьми метров должны иметь высокую маневренность для движения по дорогам общего пользования, что невозможно без использования всех (или большинства) поворачивающихся колёс. С другой стороны, средние скорости движения постоянно увеличиваются, поэтому устойчивость и управляемость транспортного средства в наибольшей степени зависят от параметров рулевого управления, точнее, от алгоритмов работы его привода.

При индивидуальном управлении поворотом каждого колеса можно создать систему, адаптирующуюся под конкретные условия движения, например под различные коэффициенты сцепления колёс с опорной поверхностью, различную скорость движения машины и т.д.

При таком подходе для наиболее полной оценки ситуации и выдачи необходимых команд системой управления необходимо знать, что происходит в других системах (тормоза, система поддрессирования) в данный момент времени.

Необходимо отметить, что при кажущейся большей затрате мощности, в целом потери автомобиля со всеколёсным рулевым управлением (особенно многоосного) при криволинейном движении гораздо меньше за счёт отсутствия (или минимизации) углов увода колёс.

По результатам работ по моделированию движения колёсных машин по заданному маршруту, можно определённо сказать, что в корректном объединении различных подсистем безопасности в комплексную систему лежит значительный потенциал повышения безопасности автомобиля. Отсутствие учёта взаимного влияния работы подсистем на отдельных режимах движения может привести к негативным последствиям. Это требует использования интерактивных технологий исследований (*Interactive dynamics*) и проектирования.

Таким образом, для получения наилучшей эффективности совместной работы подсистем активной бе-

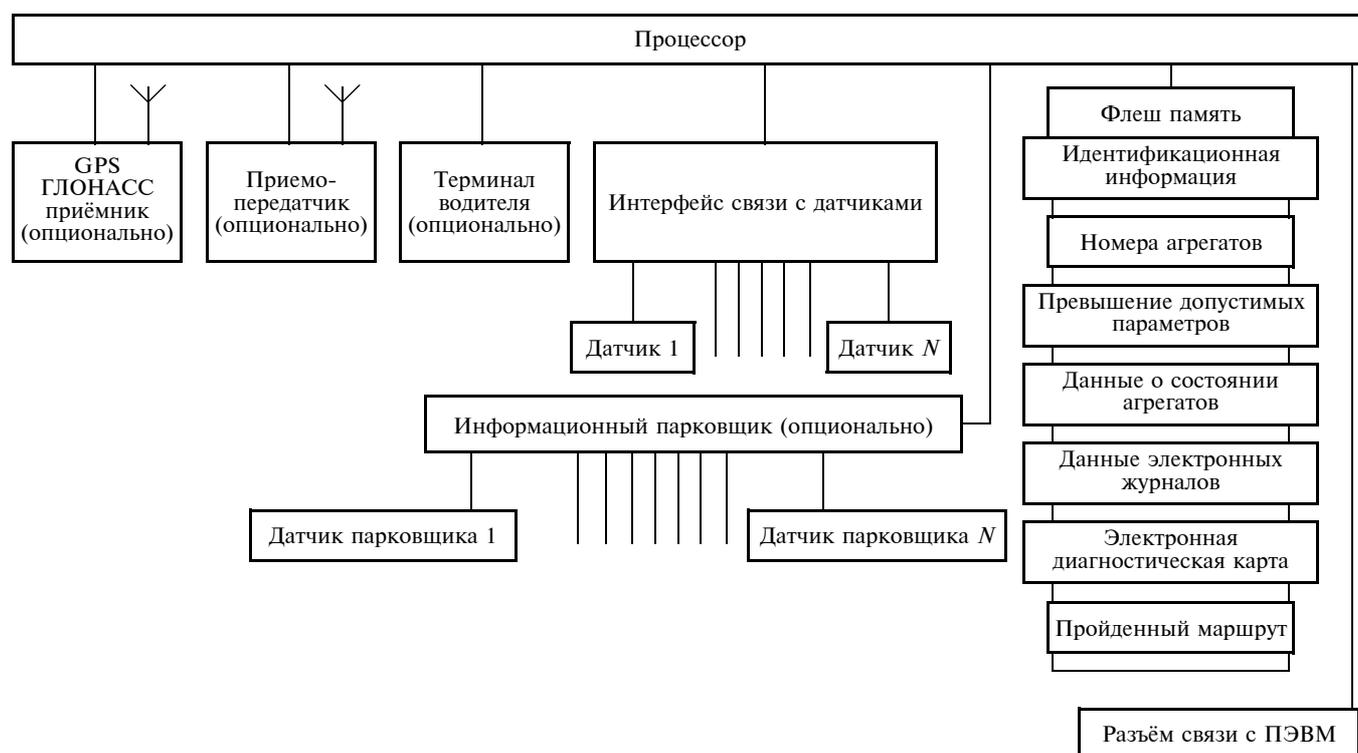


Рис. 5. Структурная схема БИУС автомобиля КамАЗ (вариант)

зопасности, ещё на стадии моделирования целесообразно рассматривать объединение подсистем автомобиля в единый комплекс, что позволит существенно повысить эффективность, а объединение их информационного поля — снизить затраты на внедрение. Так, для работы подсистемы управления подвеской может быть использована информация об угловой скорости вращения колёс автомобиля от датчиков АБС, об ускорениях — от датчиков систем ESP/RSP. В свою очередь, алгоритмы управления системой поддрессирования должны учитывать работу антиблокировочной системы и всеколёсного рулевого управления с тем, чтобы обеспечить в критических ситуациях стабильный контакт колёс с дорогой даже в ущерб плавности хода. Для многоосных колёсных машин с индивидуальными опорно-ходовыми модулями объединение подсистем всеколёсного рулевого управления и активной подвески видится особенно перспективным. В частности, информационное поле, необходимое для работы всеколёсного рулевого управления и системы управления активной подвеской, практически совпадает.

Главная задача САУД — рационально управлять опорно-ходовым комплексом (комплекс "опорно-ходовые модули — ходовая часть").

В последнее время на транспортных средствах получили широкое применение бортовые информационно-управляющие системы (БИУС), как подсистемы САУД.

Под бортовой информационно-управляющей системой объекта в общем случае понимается человеко-машинная система, объединяющая информационную, электронную и электрическую подсистемы, обеспечивающая автоматизацию всех информацион-

ных и управляющих процессов в объекте на основе распределённого бортового вычислительного комплекса с использованием центральной ЭВМ управления, специализированных процессоров (контроллеров) и операционной системы (ОС) реального времени, функционально входящая в состав комплекса средств автоматизации управления. Следует отметить, что под громким названием БИУС в конструкции реальных отечественных автомобилей часто приводится только система сбора, передачи и хранения какой-либо информации, рис. 5 и 6.

В общем виде БИУС предназначены для выполнения следующих функций:

1. Контроль режимов функционирования агрегатов с выводом информации на дисплей.
2. Защита в предаварийных режимах с возможностью ввода запрета или задержки отключения неисправного узла.
3. Регистрация в постоянном запоминающем устройстве характерных параметров эксплуатации и нагрузок узлов.
4. Диагностирование технического состояния агрегатов в оперативном и тестовом режимах.
5. Автоматизация поиска неисправностей с использованием диалогового режима "БИУС — Водитель".
6. Автоматизация управления режимами функционирования агрегатов с возможным запросом санкции водителя.
7. Прогноз остаточного ресурса агрегата и машины в целом по данным регистрации условий эксплуатации.
8. Оптимизация режимов функционирования агрегатов.
9. Информационное обеспечение технического обслуживания и ремонта агрегатов и машины в целом.



Рис. 6. Функциональные возможности БИУС КамАЗ (вариант)

Задача контроля режимов функционирования агрегатов и систем заключается в том, чтобы предоставить водителю исчерпывающую информацию о текущих параметрах режима агрегатов и систем машины при минимальном отвлечении его внимания от основных операций управления автомобилем.

Правильно разработанная бортовая информационно-управляющая система исключает необходимость отслеживания водителем параметров машины, а выводит в необходимых случаях на экран дисплея лаконичные и однозначно воспринимаемые сообщения, рекомендации или команды, которые дублируются специальными цветовыми сигнализаторами, располагаемыми в поле зрения водителя. Весьма эффективно речевое дублирование команд.

Автоматическая защита агрегатов и систем транспортных средств используется в целях предотвращения аварийных режимов эксплуатации, а следовательно, для исключения отказов. Например, автоматическая защита моторно-трансмиссионной установки осуществляется при обнаружении аварийного режима путём остановки двигателя или перевода его в режим холостого хода (когда остановка двигателя может привести к ещё более серьёзному отказу). Другие агрегаты и системы в аварийных режимах, как правило, блокируются. Системы автоматической защиты, срабатывающие при превышении параметров работы агрегатов над заданными предельными значениями, просты по реализации, но неэффективны в эксплуатации.

В состав БИУС, как правило, входят следующие основные составные части: бортовой вычислитель; графиче-

ские видеомониторы; измерительный блок спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS; телевизионные видеокамеры; блок интерфейсов; базовое программное обеспечение.

БИУС обеспечивает следующие технические характеристики и функции (общие).

1) Контроль, диагностика и отображение на дисплее состояния следующих бортовых систем и агрегатов ТС: двигателя; системы смазки двигателя; системы охлаждения двигателя; уровня топлива в топливных баках; шасси; пневматической системы; рулевого управления; внешних световых приборов; системы электропитания.

2) Постоянное отображение информации о скорости движения ТС и частоте вращения коленчатого вала двигателя, а также сообщений о состоянии шасси на графическом дисплее.

3) Выявление отказов, неисправностей, повреждений, опасных ситуаций и индицирование их на дисплее и/или с помощью звукового (голосового) сигнала.

4) Выработка рекомендаций водителю о проведении технических воздействий на узлы и агрегаты транспортного средства по результатам контроля и диагностирования с отображением их на дисплее.

Особенности БИУС: работа в реальном масштабе времени; эксплуатационные и инструментальные особенности; непрерывный режим функционирования; как правило, отсутствие оператора; корректное разрешение нештатных ситуаций; специфические требования к проектированию и отладке; специфические требования по надёжности и безопасности функционирования.

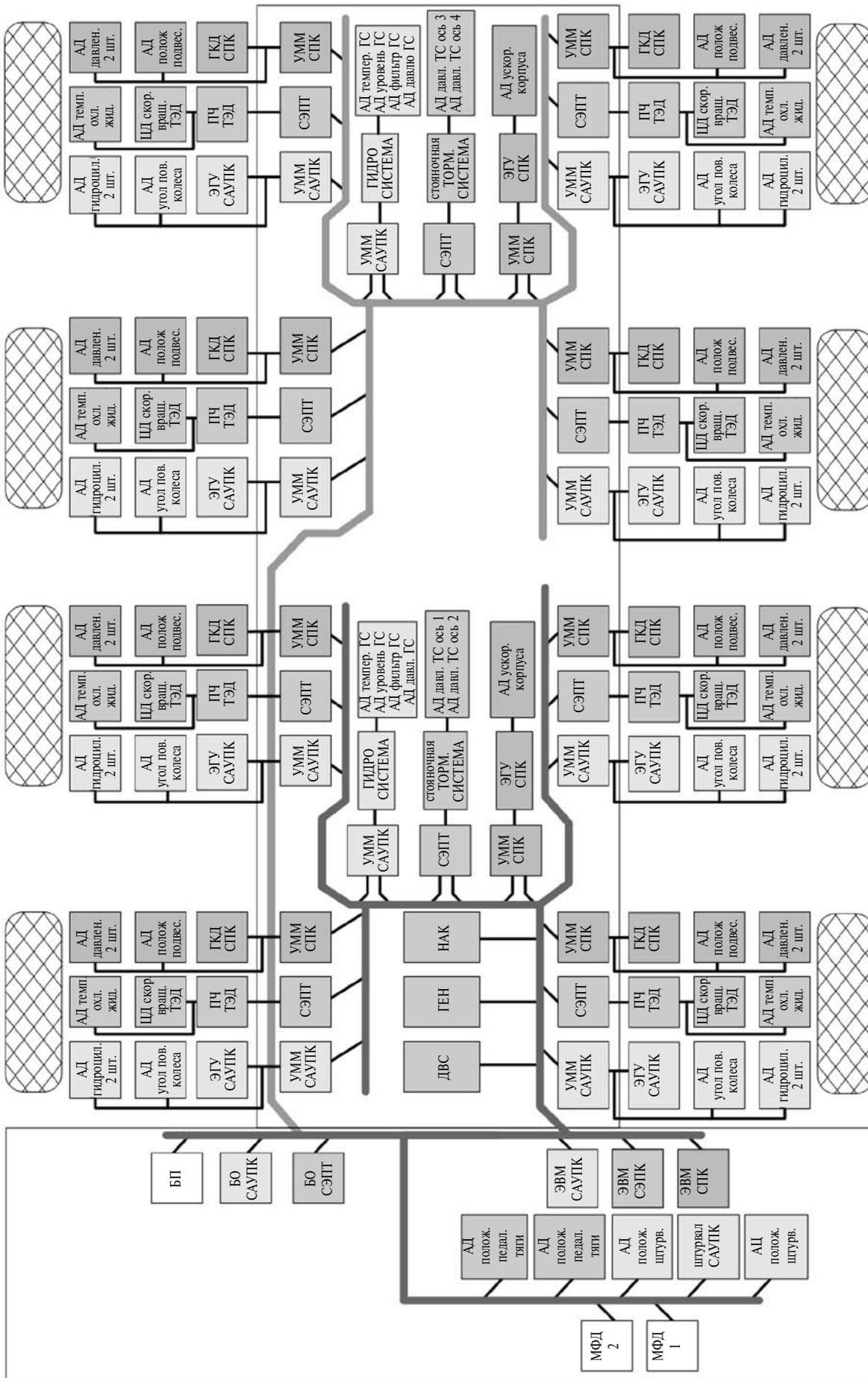


Рис. 7. Расположение элементов БИУС на одиночном автомобиле с электротрансмиссией и ВРУ (вариант):

АД — аналоговый датчик; САУПК — система автоматического управления поворотом колеса; ЦД — электродвигатель рулевой колонки; СЭПТ — система электропитания тягача; ЭГУ — электрогидравлический усилитель; УММ — программное устройство; ГЕН — электрический генератор; СПК — система подпрессоривания колеса; ТЭД — тяговый электродвигатель; ГКД — гидроклапаны дросселей; ПЧ — преобразователь частоты; ПЧ — гидросистема; ЦД — преобразователь частоты; НАК — аккумулятор энергии; МФД — шина передачи сигналов

В результате исследований предметной области развития элементов БИУС авторами предлагаются следующие решения:

- для процессорных плат и одноплатных компьютеров выбор может быть сделан в пользу одноплатного компьютера, например конфигурации CPC30401;

- для интерфейсных CAN плат, сравнения аналогов и прототипов выбор может быть сделан в пользу двухканальной платы интерфейса CAN в формате PC/104 — ECAN527DHR;

- для источников питания выбор может быть сделан в пользу источника питания HESC-104 в формате PC/104 с функцией заряда батарей;

- для источников бесперебойного питания можно рекомендовать батарейный блок для систем PC/104 BAT-SLA25;

- для промышленных носителей на флэш-картах может быть выбрана модель MIC23007 фирмы "Фаствэл", так как данная модель работает в большом диапазоне температур.

На рис. 7 и 8 приведён вариант структурной схемы БИУС с минимальным количеством составных компонентов. Показано логическое и физическое разделение по подсистемам, а также разделение наabinную часть и часть на шасси.

Принцип построения — распределённая информационная система с центральной обработкой данных.

Реализована идея модульности. В качестве модуля выступает двухосная тележка. К каждой тележке подводится своя отдельная аппаратная шина CAN сети. Это повышает надёжность и пропускную способность сети.

Предлагаемый вариант БИУС (см. рис. 8) состоит из следующих функциональных частей: Системы операторского интерфейса (СОИ); бортового вычислительного комплекса (БВК); коммуникационной системы (КС); системы электропитания (СЭП).

Аппаратно системы БИУС могут иметь различную архитектуру, а программно состоят из программ по предназначению системы. Поэтому их содержание подробно в рамках данной статьи не рассматривается.

Система операторского интерфейса (СОИ) предназначена для информирования оператора, ввода команд оператора.

Бортовой вычислительный комплекс (БВК) предназначен для выполнения всех программ БИУС и сохранения всех данных, БВК является центральной частью БИУС.

Коммуникационная система (КС) предназначена для измерения и сбора данных о состоянии ТС и передачи управляющих воздействий на его исполнительные органы.

Система электропитания (СЭП) предназначена для бесперебойного питания электроэнергией всех элементов БИУС, питания контроллеров агрегатов автомобиля, ручного аварийного обесточивания всех цепей БИУС.

Общая архитектура БИУС представляет собой логическую звезду. В центре звезды находится БВК, а на лучах — все УММ и элементы СОИ. Все передаточные функции БИУС (в смысле управления) сконцентрированы в БВК, управляющие воздействия идут от БВК

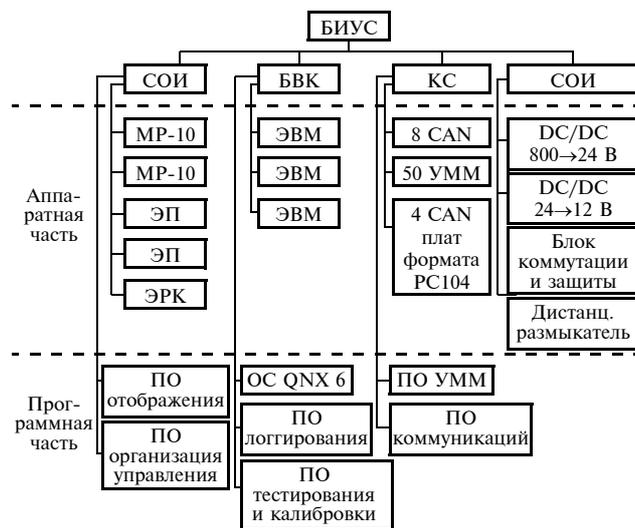


Рис. 8. Функциональная схема БИУС (вариант)

к органам ТС через коммуникационную систему, а информация обратной связи идёт в обратном направлении.

Схема на рис. 7 для четырёхосного ТС с электротрансмиссией включает (на рис. 7 не показано) следующие бортовые системы:

- управления частотой вращения коленчатого вала дизеля, системой пуска дизеля и управления поездными контакторами;
- блоком управления возбуждения генератора;
- системой электроснабжения борта;
- системой охлаждения тягового электродвигателя мотор-колеса (ТЭД);
- частотными преобразователями ТЭД;
- тахогенератором ТЭД;
- датчиком температуры ТЭД-СТ-1;
- системой гидропривода (КРСС).

Связь БСУД с перечисленными выше бортовыми системами выполняется соединителями 2РМД.

В соответствии с исходными данными аппаратная реализация БИУС должна быть проведена на элементах, предназначенных для жёстких условий эксплуатации (см. рис. 7 и 8).

Центральный процессор. Одним из современных форм-факторов вычислительной техники в бортовом исполнении является формат PC/104. В данном формате работает большое количество производителей. Системы PC/104 компактны, легко расширяемы и устойчивы к ударам и вибрации.

Комплектуемыми центрального процессора, как вариант, могут быть следующие компоненты: современная процессорная плата отечественного производителя фирмы "Фаствэл"; отдельная плата CAN адаптера для связи с CAN сетью; блок питания с широким диапазоном входного напряжения; аккумуляторный блок как источник бесперебойного питания; накопитель в виде промышленной флэш-карты.

Следует ещё раз подчеркнуть, что аппаратная часть САУД/БИУС строится на достижениях современных ИТ-технологий и её построение сводится, как правило, к решению чисто технических задач. Программная часть может быть построена только на алгоритмической базе, созданной на результатах интерактивных исследований теории движения автомобиля. Этой важ-

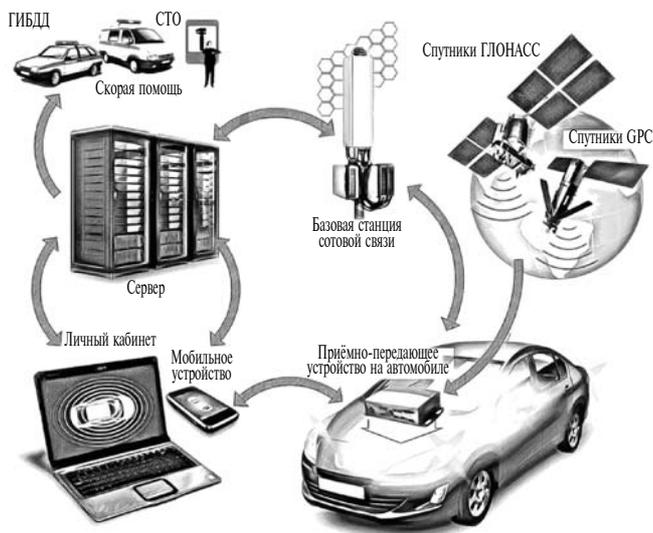


Рис. 9. Схема современных телематических услуг по <http://www.zr.ru/content/articles/737283-chno-takoe-telematika-udalennyj-dostup/>

нейшей частью проблемы в наших странах никто не занимается. Исследования в области теории автомобиля/теории движения сводятся практически к сопровождению ОКР.

В последнее время на страницах журналов и технической литературы появился термин "Транспортная

телематика". Полное понимание термина у различных специалистов пока не сложилось. Авторам ближе всего следующее толкование: "сфера телематики охватывает довольно широкий и постоянно развивающийся спектр услуг доступа к информационным ресурсам, служб электронной почты, передачи факсимильных, аудио- и видео сообщений". Термин "телематика" в современном толковании может иллюстрировать данные рис. 9.

Автоматизация управления автомобилем является основной тенденцией развития современного автомобилестроения. Создание ИТС невозможно без разработки САУД. БИУС может рассматриваться как составная часть этой комплексной системы. Архитектура САУД представляет собой комплекс мехатронных модулей и систем. Аппаратная составляющая САУД строится на достижениях IT-технологий, а программная составляющая — на алгоритмической базе, разрабатываемой на основе результатов интерактивных исследований теории движения ТС. Создание алгоритмической базы быстроадаптивных систем является главной задачей современной теории автомобиля.

Статья подготовлена на результатах совместных МГТУ имени Н.Э. Баумана и "Объединённого института машиностроения НАН Беларуси" внебюджетных исследований в рамках Программы Союзного государства "Автоэлектроника".

УДК 629.124: 629.331.5

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ГИБРИДНЫЕ АМФИБИИ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ ДЛЯ АРКТИКИ.¹ ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА НАГНЕТАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Кандидаты техн. наук **ДУБИН А.Е.** и **НЕСТЕРОВ В.Е.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана (tec@sm.bmstu.ru)

Представлена конструкция перспективных гибридных амфибий на воздушной подушке, предназначенных для преимущественной эффективной эксплуатации в условиях Арктики. Опытный образец машины имеет многокамерную воздушную подушку системы Ж. Бертена, опорно-ходовой колесный 4S4-двигатель и два тяговых воздушных винта. Для такого типа транспортных средств предложена новая инженерная методика расчёта нагнетательных комплексов воздушной подушки, исходя из заданного набора требований по профильной проходимости. Показаны границы применимости предложенной методики. На примере опытного образца сделана количественная сравнительная оценка результатов расчётов, выполненных по предложенной методике, относительно классического варианта для традиционных аппаратов с камерным способом организации воздушной подушки.

Ключевые слова: Арктика, Арктическая зона России, транспортная система, гибридная амфибия, амфибийное транспортное средство на воздушной подушке, амфибия с гибридным опорно-ходовым комплексом, аппарат, судно на воздушной подушке, многокамерная воздушная подушка, гибкое ограждение системы Ж. Бертена, нагнетательный комплекс, нагнетатели, расчёт.

Dubin A.E., Nesterov V.E. PROSPECTIVE AIR-CUSHION HYBRID VEHICLES FOR THE RUSSIAN ARCTIC: DESIGN DESCRIPTION AND A SPECIAL CALCULATION METHOD FOR LIFT SYSTEMS

In this paper, we present a new design of prospective amphibious air-cushion hybrid vehicles to use in the Russian Arctic. The hybrid vehicles consist of the following main parts: the basic multiple-cone skirt system by Jean Bertin, a steerable wheel chassis equipped with low pressure tires, and an additional propulsion complex with air propellers. For this kind of wheeled air-cushion hybrid vehicles we propose a special method to calculate their lift systems. A comparison between the new one and the classic calculation method is demonstrated by analyzing the presented design of prospective air-cushion hybrid vehicles.

Keywords: Russian Arctic, Arctic zone, transportation system, amphibious air cushion vehicle, air-cushion hybrid vehicle, hovercraft, new design, basic multiple-cone skirt system, multi-chamber flexible skirt, skirt type by Jean Bertin, jupe, lift system, special calculation method.

В процессе проведения комплексных испытаний опытного образца (см. рис. 1 в первой части статьи) было установлено, что для такого типа гибридных амфибий характерны условия преимущественной эксплуатации, значительно отличающиеся от обычных режимов работы традиционных амфибийных транспортных средств на воздушной подушке — судов (аппаратов) на воздушной подушке. Данное обстоятельство, вместе с учётом конструктивных особенностей реализации опорного комплекса машины, в частности, потребовало модификации известных методов расчёта, кото-

¹ Окончание. Начало см. «АП», 2017, № 5.