ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

Москва
"Машиностроение"

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
науки и технологий РФ,
ОАО "АВТОСЕЛЬХОЗМАШ-ХОЛДИНГ"

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 6 • июнь • 2017

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 629.113: 339.137.2

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕВОЖНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д-р техн. наук **КОЗЛОВСКИЙ В.Н.**,
канд. техн. наук **АЙДАРОВ Д.В.**
Самарский ГТУ, ПАО "КамАЗ",
Самарская ГОА (Наяновой) (846.278-44-60)

Представлены результаты разработки и реализации аналитического инструмента определения тревожных сигналов при проведении мониторинга качества новых автомобилей в период гарантийной эксплуатации.

Ключевые слова: *автомобильная промышленность, мониторинг качества.*

Kozlovskiy V.N., Aydarov D.V.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF DEFINITION OF ALARM SIGNALS FOR CAR MONITORING OF THE QUALITY OF VEHICLES IN OPERATION

The presented article presents the results of the development and implementation of an analytical instrument for the detection of alarm signals when monitoring the quality of new vehicles in the period of warranty operation.

Keywords: *automotive industry, quality monitoring.*

Конструкция современных легковых автомобилей состоит из десятков тысяч деталей и узлов. Эксплуатационные отказы каждого из этого множества элементов конструкции существенно влияют на качество и надежность функционирования всего автотранспортного средства. Эксплуатационная практика показывает, что наибольшее число отказов фиксируется по электронным и электротехническим устройствам и системам, которыми автомобили активно насыщаются в последние десятилетия. В связи с развитием производства электромобилей и автомобилей с комбинированными энергоустановками электрооборудование будет усложняться и дальше. Более того, уже приходят первые беспилотные автомобили, которые, конечно, еще сложнее.

Рассматривая современные методы и подходы к организации процесса измерения качества сложной высокотехнологичной продукции в процессе эксплуатации, можно прийти к выводу, что они в основном устроены таким образом, что ключевым элементом, к которому подводится вычислительная база мониторинга, является месяц производства исследуемой партии продукции. Многие корпоративные информационные системы мониторинга качества автомобилей в период эксплуатации автопроизводителей именно так и организованы. Период сбора данных осуществляется в отчётный период — месяц. Затем, в течение нескольких дней после отчетного месяца, обычно один — три дня, проводится автоматизированная проверка, анализ полученной базы данных, её расчёт. Далее в работу вступает аналитическая служба качества, которая готовит отчёты о качестве автомобилей в эксплуатации. Таким образом, может получиться так, что с момента возникновения отказа или группы отказов на автомобилях в эксплуатации до момента их идентификации в корпоративной службе качества предприятия может пройти довольно приличный временной промежуток, в некоторых случаях он будет равен месяцу. Естественно, это недопустимо. Требуются инструменты для оперативного анализа качества, с помощью которых возможна быстрая идентификация отказов уже в первые часы и в первые сутки после их возникновения и регистрации на предприятиях фирменного автосервиса.

Анализ сложившихся на российских предприятиях автомобильной отрасли традиционных инструментов оперативного мониторинга качества автомобилей в эксплуатации показывает, что в отличие от так называемых современных методов измерения качества, упомянутых выше, традиционные более оперативны [1]. На рис. 1 в качестве примера представлена аналитическая форма оперативного мониторинга качества автомобилей популярной марки в эксплуатации одного из ведущих национальных автопроизводителей. Представленная форма ранее активно использовалась службой качества.

В аналитической форме представлены показатели качества конкретной марки автомобилей по данным из гарантийной эксплуатации. Форма может быть условна разделена на три основные части: диаграмма уровня дефектности; диаграмма уровня затрат; таблица изменения показателей по наиболее массовым дефектам. Представленная аналитическая форма не потеряла своей актуальности и сегодня. Однако определённые недостатки у этой формы все же присутствуют. Среди них наиболее важным является то, что в рамках используемой методологии невозможно выделить группы автомобилей с определённой датой выпуска и определённым периодом эксплуатации, на которых возникает основная масса дефектов, так сказать, кризис качества. Здесь дефекты рассчитываются в общем, и связь между показателем уровня дефектности и периодом эксплуатации и датой выпуска автомобилей не поддерживается. В то же время данный аспект является весьма важным. Для аналитика требуется быстрое решение задачи по определению кризиса по конкретной позиции дефектности, а также требуется отнести этот кризис на конкретные партии автомобилей с конкретной датой выпуска, например месяц и год, и конкретным периодом эксплуатации, например 3, 6, 12 месяцев эксплуатации [2].

Именно поэтому целью данного исследования является разработка и реализация адаптированной к современной системе мониторинга качества автомобилей в эксплуатации методики определения тревожных сигналов по данным из гарантийной эксплуатации.

При разработке и реализации методики определения тревожных сигналов, по данным о качестве автомобилей в период гарантийной эксплуатации, необходимо учитывать как минимум фактор обеспечения оперативности поиска факта указывающего на наличие проблемы. При разра-

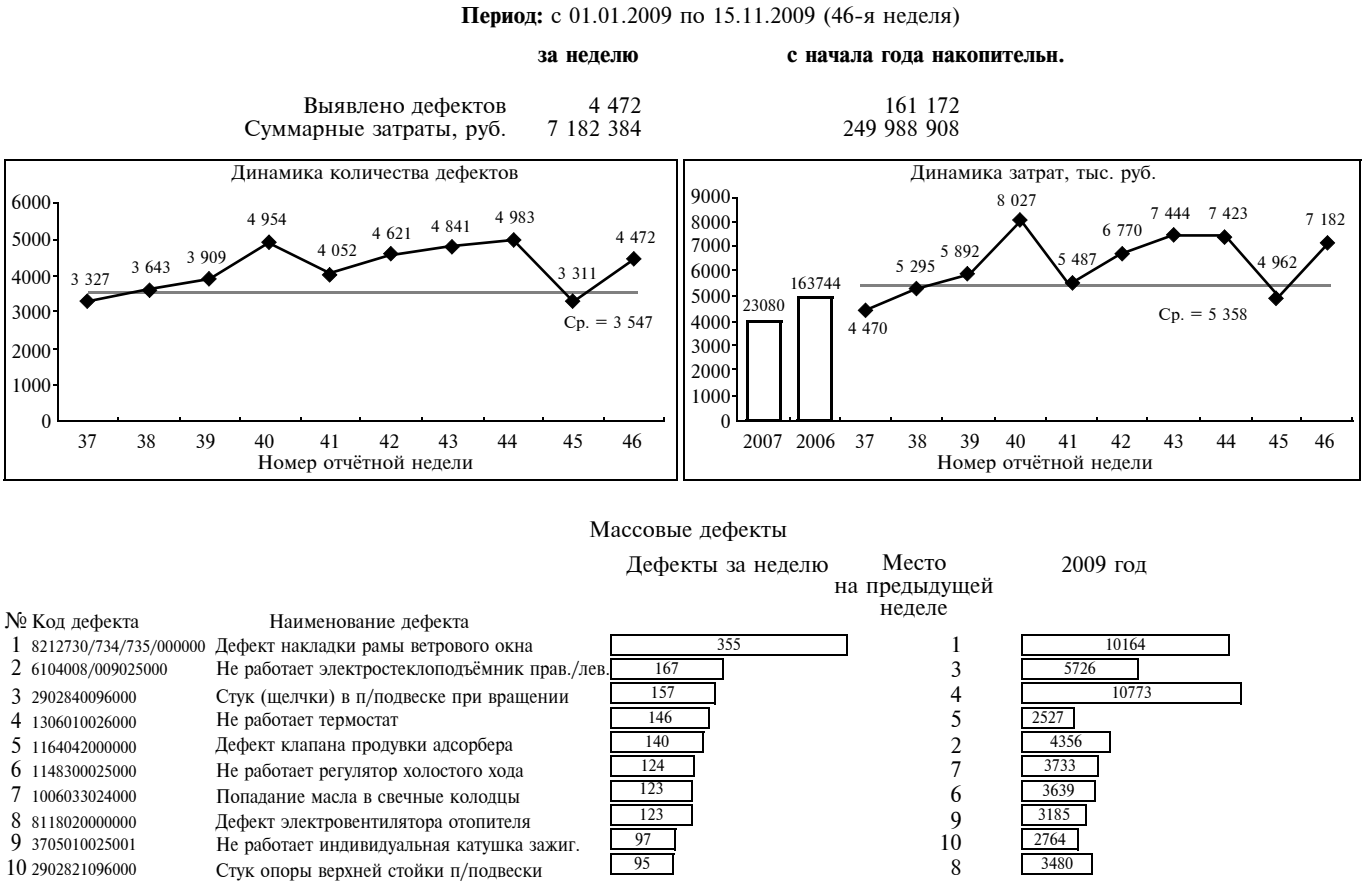


Рис. 1. Традиционная форма оперативного мониторинга качества автомобилей в период гарантийной эксплуатации

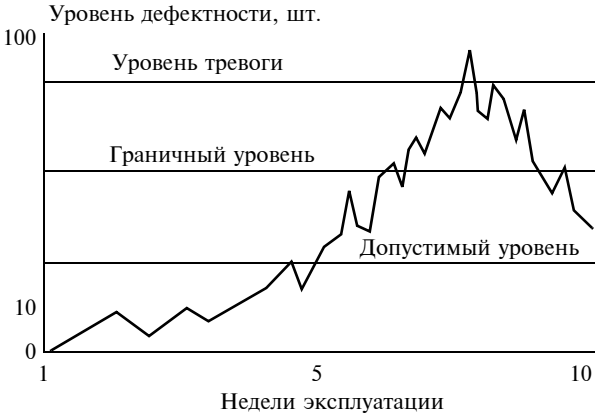


Рис. 2. Диаграмма реализации первого подхода к определению тревоги в гарантийной эксплуатации автомобилей позиции неуклонно растёт, что для аналитика уже является подозрительным фактом

ботке и реализации более совершенного аналитического инструмента определения тревожных сигналов, кроме вышеуказанного, необходимо: обеспечить быструю идентификацию проблемы по кодам дефектов; определить, в какой период эксплуатации преимущественно возникает данная проблема; выделить степень её значимости исходя из возможных потерь по позициям надёжности, функциональности, экологичности, комфорта [3].

Практика показывает, что чаще всего всплески дефектов вследствие недостаточного уровня качества сборки автомобилей или производства автокомпонентов проявляются в первые несколько месяцев эксплуатации. Именно поэтому в первом из предлагаемых подходов к измерению тревожных сигналов рассматриваются первые десять недель эксплуатации автомобилей.

Таким образом, тревожные сигналы в гарантии (Т) представляют собой совокупность показателей, отражающих количество отказов по каждой из позиций кодификатора дефектов в течение первых десяти недель эксплуатации автомобилей.

На рис. 2 представлена диаграмма тревог. В случае резкого увеличения числа отказов по первым неделям эксплуатации автомобилей с заданной датой выпуска, с трёхкратным превышением границы допустимого уровня, объявляется тревога по данной номенклатуре. При этом допустимый и граничный уровни устанавливаются нормативами с учётом данных из гарантии за прошлые периоды и с учётом целевых показателей к качеству автомобилей в эксплуатации. Таким образом, уровни определяются усреднением эксплуатационных показателей по отказам, по каждой из позиции, в период допустимой стабильности. После фиксации тревоги, определяемой по резкому росту уровня отказов, начинается реализация алгоритма действий по устранению отказов в эксплуатации, с внедрением конкретных мероприятий в процессах проектирования и производства. При этом возможна инициализация процедуры индивидуального отзыва автомобилей из гарантийной эксплуатации. Несомненным достоинством первого подхода является его простота. Существенными недостатками следует признать: ограниченность анализа не более первых десяти недель, а также отсутствие системы градации влияния вскрытой проблемы на свойства АТС.

Второй из предлагаемых подходов более сложный. Оценка проводится по количеству дефектов, зарегистрированных за отчётную неделю (по дате регистрации дефектов) $D^{n-mis}_{\text{отч.нед}}$ относительно среднего значения за предыдущие 10 недель $D^{n-mis}_{\text{сред}}$. Формула для его расчёта имеет следующий вид: $\text{ТСГ}^{n-mis} = \dfrac{D^{n-mis}_{\text{отч.нед}}}{D^{n-mis}_{\text{сред}}} \geq 3$, где ТСГ^{n-mis} — показатель тревожных сигналов по дефектам в гарантии; $n - mis$ — период гарантийной эксплуатации автомобиля, на котором выявлены дефекты. Рассматриваются следующие периоды (0—3 месяца, 3—6 месяцев, 6—12 месяцев).

Тревожный сигнал определяется трёхкратным превышением количества дефектов, зарегистрированных за отчётную неделю к среднему значению за предыдущие 10 недель. Расчёт проводится для всех дефектов семейств автомобилей с учётом периода гарантийной эксплуатации. В случае отсутствия проявления дефектов в отчётной неделе — количество дефектов принимает значение 0 (ноль).

Вопрос классификации тревог проиллюстрирован в таблице, где показаны процедуры действий в случае возникновения тревоги соответствующего уровня. Для анализа тревожных сигналов в гарантии и формирования заключения о наличии тревожного сигнала используются ряд аналитических форм показанных ниже.

Уровень тревоги	Заключение о тревожном сигнале в гарантии
Красный	*Тревога!* (Информация передаётся на открытие задания на устранение несоответствия)
Оранжевый	*Требуются дополнительные данные!* (Обязательный мониторинг на следующей неделе — появляется в таблице следующей недели)
Синий	*Нет тревоги.* (Сохраняется в таблице, действия не требуются)

Рис. 3. Пример диаграммы распределения дефекта "Не работает регулятор холостого хода"

Первая форма (рис. 3) раскрывает процесс мониторинга проявления дефектов подробно, по неделям, за несколько лет, с учетом нахождения группы автомобилей в пределах или за пределами гарантийных обязательств. В качестве примера выбрана позиция дефекта — "Не работает регулятор холостого хода". Анализ диаграммы (рис. 3) показывает, что наблюдается несколько всплесков по уровню дефектности, все основные из них располагаются после 40-й недели 2014 г. Полноценный кризис качества наблюдается на 30-й неделе 2015 г. График четко показывает рост уровня дефектности при возрастании эксплуатационного периода автомобилей, что не может быть логичным, поскольку пик частоты отказов в период приработки автомобилей, как правило, заканчивается на этапе прохождения первого технического обслуживания (ТО-1). Для основной массы отечественных автомобилей этот период соответствует 4—5 тыс. км, или первым годом эксплуатации. Далее, как показывает практика, происходит снижение частоты отказов автомобилей до некоторого установившегося уровня. И этот процесс наблюдается вплоть до окончания периода нормальной эксплуатации автомобилей. На диаграмме показано, что уровень дефектности по рассматриваемой позиции неуклонно растёт, что для аналитика уже является подозрительным фактом.

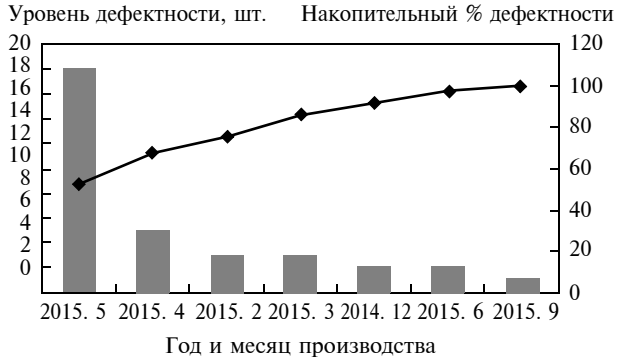


Рис. 4. Анализ распределения дефекта в форме диаграммы Парето

Вторая из предлагаемых аналитических форм (рис. 4) представляет собой модифицированную диаграмму Парето, построенную по принципу определения наибольшего вклада в зафиксированный критический уровень дефектности автомобилей, имеющих определённую дату выпуска (месяц и год). Анализ этой диаграммы показывает, что основной уровень дефектности по рассматриваемой позиции фиксируется по группам автомобилей, имеющим год и месяц производства: 2015.5; 2015.4. Очевидно, что в этот период времени в производстве автомобилей были использованы комплектующие изделия несоответствующего качества.

Следующей формой идентификации тревожного сигнала является диаграмма анализа основного показателя качества автомобилей в эксплуатации — *3 mis IPTV*, определяемого как приведённый к 1 тыс. автомобилей, накопленный уровень дефектности по результатам трёхмесячной эксплуатации для группы автомобилей с определённой датой выпуска (рис. 5). Представленная диаграмма осуществляет функцию проецирования тревожного сигнала по рассматриваемой позиции дефектности на основной целевой индикатор в области качества компании автопроизводителя. То есть рассматривается процесс определения вклада данного дефекта в общий показатель мониторинга качества. Получается, что пики дефектности по указанной позиции наблюдаются на автомобилях с трёхмесячной эксплуатацией, имеющих дату выпуска 3- и 5-й месяц 2014 г.

Перечень предлагаемых форм служит основой для разработки и реализации методики определения тревожных сигналов в гарантии, но не является исчерпывающим. Например, можно дополнить предлагаемый перечень аналитических инструментов формой, раскрывающей затраты на устранение дефектов ТСГ в гарантии, а также формой, которая проводит расслоение дефектов комплектующих по основным производителям компонентной базы.

Рис. 5. Анализ проявления дефекта "Не работает регулятор холостого хода" по показателю уровня дефектности по результатам трёх месяцев эксплуатации автомобилей

Таким образом, разработаны два подхода к решению задачи по поиску и обнаружению тревожных сигналов в гарантии по показателям уровня отказов или дефектности автомобилей. Реализация их обеспечивает возможности оперативного анализа данных о качестве автомобилей с определением критических позиций, наиболее существенно влияющих на качество автомобилей в процессе эксплуатации.

Дальнейшее развитие этих подходов лежит в области информатизации и автоматизации формирования предлагаемых решений в рамках корпоративных информационных систем качества автомобильных корпораций, а также в разработке и реализации дополнительных форм, позволяющих выделять вспомогательный объём, необходимый для анализа проблем и их решения в рамках комплексных мероприятий по улучшению качества автомобилей.

Литература

1. Годлевский В.Е., Юнак Г.Л. Менеджмент качества в автомобилестроении: монография / Под ред. Васильчука А.В. — Самара: ООО "Офорт"; ЗАО "Академический инжиниринговый центр", 2005. — 628 с.
2. Строганов В.И., Козловский В.Н. Инновационные методы исследования качества и надёжности электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой: монография. — Москва. "МАДИ", 2012. — 260 с.
3. Afinogentova N.V., Panyukov D.I. Analytical complex for company car-service quality assessment // Journal of Scientific Research and Development, — 2015. — № 2 (11). — С. 22—30.

АСМ-факты

АВТОМОБИЛЬНЫЙ РЫНОК РОССИИ В ЯНВАРЕ—МАРТЕ 2017 ГОДА

(по информации ОАО "АСМ-холдинг")

ЛЕГКОВЫЕ АВТОМОБИЛИ

Оптовые продажи легковых автомобилей в январе—марте 2017 года выросли на 11,0 % по отношению к январю—марту 2016 г. и составили 320,2 тыс. единиц. Сравнение структуры рынка легковых автомобилей по их происхождению в январе—марте 2017 и 2016 гг. выявляет рост абсолютных объёмов продаж почти во всех сегментах рынка, кроме импорта новых автомобилей зарубежного производства. В отношении занимаемых долей рынка можно отметить расширение доли в сегменте зарубежных моделей российской сборки с 60,0 до 65,8 % и импорте подержанных автомобилей, при сужении рыночных долей в остальных сегментах.

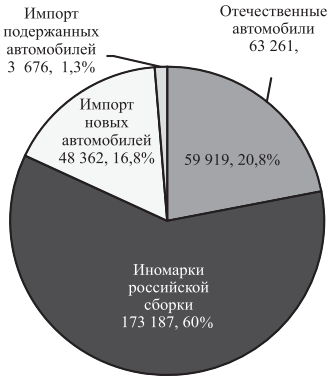
Продажи отечественных автомобилей в январе—марте 2017 г. выросли на 6,0 % до 67,1 тыс. ед., а их рыночная доля снизилась на 0,9 процентных пункта до 21,0 %. Оптовые продажи автомобилей ВАЗ в январе—марте 2017 г. выросли на 6,0 %, а их доля снизились на 1,0 процентный пункт до 19,8 %. Продажи зарубежных моделей российской сборки преобладают на рынке легковых автомобилей и выросли на 21,7 % до 210,8 тыс. ед., а их доля увеличилась с 60,0 до 65,8 %. Совокупная доля продаж автомобилей, собранных в России (отечественных и зарубежных), увеличилась с 81,9 до 86,8 % в январе—марте 2017 года.

Импорт новых автомобилей сократился на 20,1 % до 37,9 тыс. ед., а их доля на рынке убавилась с 16,8 % в январе—марте 2016 года до 11,8 % по итогам трёх месяцев 2017 года; ввоз подержанных автомобилей не играет сколько-нибудь заметной роли на рынке с учётом импорта по ГТД и ТПО.

По данным Ассоциации Европейского Бизнеса, совокупный объём дилерских продаж новых легковых и легких коммерческих автомобилей в России в январе—марте 2017 года составил 322 464 ед., что на 1,0 % больше, чем в январе—марте 2016 года (319 220 ед.); импорт легковых автомобилей по ТПО (включён в расчёт рынка), составил в январе—марте 2017 года 2367 ед. против 2168 ед. годом ранее; из них на подержанные автомобили пришлось 2192 ед. и 1902 ед. соответственно.

СТРУКТУРА РЫНКА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ

Январь—март 2016 г.



Весь рынок — 288 486 ед. (100 %)

Январь—март 2017 г.

Весь рынок — 320 161 ед. (100 %) (+11,0 %)

ГРУЗОВЫЕ АВТОМОБИЛИ (ВКЛЮЧАЯ МАЛОТОННАЖНЫЕ)

СТРУКТУРА РЫНКА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ

Январь—март 2016 г.

Весь рынок — 22 933 ед. (100 %)

Январь—март 2017 г.

Весь рынок — 31 702 ед. (100 %) (+38,2 %)

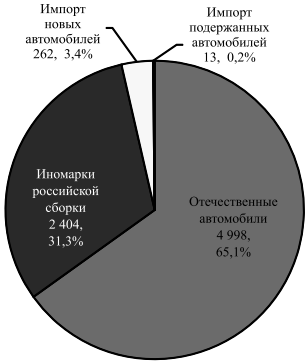
АВТОБУСЫ И МИКРОАВТОБУСЫ

СТРУКТУРА РЫНКА АВТОБУСОВ ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ

Январь—март 2016 г.

Весь рынок — 5304 ед. (100 %)

Январь—март 2017 г.



Весь рынок — 7677 ед. (100 %) (+44,7 %)

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.3.016

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБИЛЕЙ-САМОСВАЛОВ КрАЗ

ЧЕРНЯК Р.Е., кандидаты техн. наук **ДУНЬ С.В.**, **ПАВЛЕНКО А.В.**
ПАО "АвтоКрАЗ", КрНУ имени М. Остроградского

Проведён анализ технико-экономических показателей автомобилей-самосвалов КрАЗ по результатам эксплуатационных испытаний и в сравнении с аналогами. Обоснована эффективность использования автомобилей-самосвалов КрАЗ в карьерах и в других тяжёлых условиях эксплуатации.

Ключевые слова: *автомобиль-самосвал, продуктивность автомобиля, технико-экономические показатели автомобиля.*

Chernyak R.E., Dun S.V., Pavlenko A.V.

INCREASING OPERATIONAL CHARACTERISTICS DUMP TRUCKS KrAZ

The analysis of the technical and economic indicators dump trucks KrAZ the results of operational tests and compared to counterparts. The efficiency of the use of dump trucks KrAZ in quarries and other difficult conditions.

Keywords: *dump truck, truck performance, technical and economic performance of the truck.*

ПАО "АвтоКрАЗ" — традиционный изготовитель автомобилей большой грузоподъёмности, имеющий полный цикл производства. Особое место в его модельном ряду занимают автомобили-самосвалы, работающие в сложных условиях эксплуатации в горнодобывающей отрасли, на строительстве и ремонте дорог, в строительной, аграрной и других отраслях. И соответственно, выпускаемые в разных исполнениях — по грузоподъёмности, мощности, колёсной формуле, объёму платформы и т.д. Базовые модели самосвалов КрАЗ, которые выпускались за всю историю завода, представлены в табл. 1.

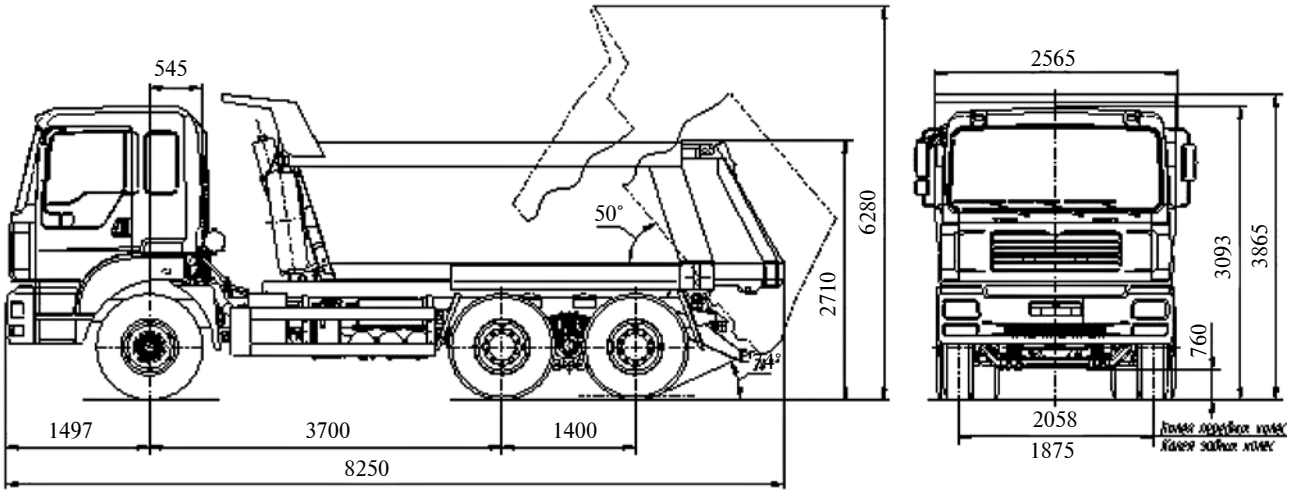


Рис. 1. Габаритные размеры автомобиля-самосвала КрАЗ-7511С4

Анализ данной информации показывает, что модельный ряд автомобилей-самосвалов КрАЗ развивался в сторону повышения двух параметров — грузоподъёмности и максимальной скорости движения, которые в конечном счёте, определяют производительность самосвалов. Для этого на КрАЗах применялись более мощные двигатели, повышался такой важный показатель, как объём самосвальной платформы и создавались автомобили с колёсными формулами 6×6 и 8×4. Проведённая в последние годы диверсификация используемых двигателей известных мировых производителей позволяет удовлетворить требования заказчика в весьма широком диапазоне, поэтому в табл. 1 для новейших моделей самосвалов КрАЗ марки и модели двигателей не указаны.

На предприятии прилагают усилия для занятия новых рыночных ниш, для чего внедрены модели самосвалов бескапотной компоновки, позволяющей улучшить маневренность автомобилей, и созданы облегчённые модели колёсной формулы 4×2. Выразительной тенденцией развития самосвалов КрАЗ стало обеспечение комфортных условий работы водителю, для чего предлагаются кабины различного исполнения.

Наиболее приемлемых технико-эксплуатационных показателей удалось достичь на новейшей модели автомобиля-самосвала КрАЗ-7511С4 (рис. 1), основные технические характеристики которой в сравнении с аналогами показаны в табл. 2. Целью данной разработки было создание современного, надёжного, продуктивного, экономичного самосвала для перевозки сыпучих и навалочных грузов, с оптимальным распределением массы по осям и повышенной маневренностью.

Автомобиль соответствует всем сертификационным требованиям, которые действуют в РФ — по экологическому классу двигателя, уровню внешнего и внутреннего шума, эффективности тормозной системы, используемой светотехнике и др. Он предназначен для эксплуатации в карьерах, на строительных площадках, на дорогах с усовершенствованным покрытием, а также сети дорог с нагрузкой на заднюю тележку до 16,0 т. По своим техническим характеристикам автомобиль-самосвал КрАЗ-7511С4 находится на уровне аналогов.

Предприятие провело эксплуатационные испытания одного из опытных образцов в сравнении с другими моделями автомобилей-самосвалов (КрАЗ-65055, "Шаньси SX3255DR384C" и FAW CA3252) в условиях ОАО "Полтавский ГОК". Самосвалы были задействованы для вывозки вскрышных пород перед началом работ по добыче полезных ископаемых.

Основные технические характеристики этих моделей автомобилей представлены в табл. 3. Опытный образец самосвала КрАЗ-7511С4 оснащён дизелем мощностью 275 кВт, платформой объёмом 14 м^3; передаточное число главной передачи $i_{гп}$ = 6,56. Анализ параметров автомобилей-аналогов показал следующее. Самосвал КрАЗ-65055 имеет наименьшие объём платформы и грузоподъёмность и при этом показал наибольшие значения максимальной эксплуатационной скорости. Лучшая производительность может быть достигнута при его движении по дорогам с твёрдым покрытием за счёт большей установившейся скорости. Опытный образец самосвала КрАЗ-7511С4 имеет наибольшую среди сравниваемых автомобилей грузоподъёмность и мощность двигателя. В то же время у него наибольшее значение передаточного числа главной передачи и ускоряющая высшая в коробке передач, поэтому этот самосвал имеет наименьшую максимальную скорость, и его использование на дорогах общего пользования менее эффективное. Автомобили-самосвалы "Шаньси" и FAW за счёт достаточно больших значений грузоподъёмности, объёма платформ и максимальной скорости имеют в таких условиях эксплуатации более приемлемые показатели.

Во время проведения эксплуатационных испытаний автомобилей-самосвалов в зимний период на протяжении 18 дней фиксировались следующие параметры: суточный пробег, число ходок, длина маршрута (плечо), общая масса перевезённого груза, расход топлива, температура окружающей среды. Сред-

Таблица 1

Модельный ряд автомобилей-самосвалов КрАЗ	Общий вид	Годы выпуска	Основные технические характеристики			
			Колёсная формула	Двигатель	Грузоподъ-ёмность, т	Скорость, км/ч
КрАЗ-222 "Днепр"		1959—1966	6×4	ЯАЗ-М206А (6,9 л, 180 л.с.)	10	47
КрАЗ-256Б, КрАЗ-256Б1		1966—1994	6×4	ЯМЗ-238 (14,8 л, 240 л.с.)	11	68
КрАЗ-6510		1992—2010	6×4	ЯМЗ-238М2 (14,8 л, 240 л.с., Е0-Е2)	13,5	80
КрАЗ-65055, КрАЗ-65055-02		С 1997	6×4	ЯМЗ-238Д (14,8 л, 330 л.с., Е0-Е2)	16—18	90
КрАЗ-65032, КрАЗ-65032-02		С 1997	6×6	ЯМЗ-238Д (14,8 л, 330 л.с., Е0-Е2)	13—17	80
КрАЗ-65055-04, КрАЗ-65055-05		С 2014	6×4	ЯМЗ-6511 (11 л, 330 л.с., Е4-Е5)	18	90
КрАЗ-5401С2		С 2015	4×2	300—330 к.с., Е4-Е5	10	90
КрАЗ-6511С4		С 2014	6×4	360—400 л.с., Е4-Е5	20	90
КрАЗ-7511С4		С 2015	6×4	400—410 л.с., Е4-Е5	26	90
КрАЗ-7133С4		С 2016	8×4	360—400 л.с., Е4-Е5	26	90

Таблица 2

Параметр	КрАЗ -7511С4 (Украина)	"Скания Р380" (Швеция) [1]	MAN TGA 40.480 (Германия) [1]	"Астра HD8 64.36" (Италия) [3]	"Рено Керакс 380.34" (Франция) [4]
Колёсная формула	6×4	6×4	6×4	6×4	6×4
Масса автомобиля, кг:					
полная	40 200	39 000	40 000	41 000	41 000
снаряжённая	26 000	25 290	24 930	26 760	27 250
Грузоподъёмность, кг	14 200	13 610	14 970	14 140	13 650
Двигатель:					
тип, экологический уровень	ДР6НО, Евро-5	ДР6НО, Евро-3	ДV6НО, Евро-3	ДР6НО, Евро-4	Д6РНО, Евро-3
номинальная мощность, кВт (при частоте, мин$^{-1}$)	294 (1900)	279 (1900)	353 (1900)	265 (2000)	279 (1900)
максимальный крутящий момент, Н · м (при частоте, мин$^{-1}$)	1920 (1200)	1800 (1200)	2300 (1200)	1500 (1400)	1800 (1150)
Максимальная скорость, км/ч	85,0	85,0	85,0	85,0	90,0
База, мм	3400 + 1400	3300 + 1500	3940 + 1410	3500 + 1400	3845 + 1370
Объём кузова, м^3	16,0	16,0	18,0	16,0	16,5
Шины	"Мишлен" 385/65R22,5	"ГудЙир" 385/65R22,5	"Континенталь" 12.00R24	"Пирелли" 385/65R22,5	"Мишлен" 385/65R22,5
Удельная мощность, кВт/т	7,31	7,15	8,83	6,46	6,80
Удельная грузоподъёмность, кг/кг	1,83	1,87	1,67	1,89	1,99

няя длина маршрута за рабочую смену составила: для КрАЗ-65055 — 2,48 км, для КрАЗ-7511С4 — 2,92 км, для "Шаньси" — 2,48 км, для FAW — 2,56 км. По полученным данным проведена сравнительная оценка эффективности работы четырёх моделей самосвалов по таким параметрам: общая масса перевезённого груза, эксплуатационный расход топлива, суточный пробег. Результаты эксплуатационных испытаний автомобилей-самосвалов КрАЗ-65055, КрАЗ-7511С4, "Шаньси" и FAW обобщены на рис. 2 и в табл. 4.

Самосвал КрАЗ-65055 имеет наименьшую грузоподъёмность, однако перевозит за смену несколько больше груза, чем FAW, грузоподъёмность которого больше на две тонны. Автомобиль КрАЗ-65055 имеет большую энерговооружённость и выполняет наибольшее количество ходок, поэтому его пробег за смену находится на среднем уровне. Эксплуатационный расход топлива у него больше, чем у КрАЗ-7511С4 (73,83 л/100 км) и FAW (71,01 л/100 км). Наибольший расход топлива — у самосвала "Шаньси" (82,93 л/100 км) при среднем количестве перевезённого груза за смену (400 т), что делает его невыгодным.

Таблица 3

Параметр	КрАЗ-65055	Опытный образец КрАЗ-7511С4	"Шанси SX3255DR384C"	FAW CA3252
Снаряжённая масса, т	12,275	13	11,2	14,5
Полная масса, т	28,35	39	37,5	32,25
Грузоподъёмность, т	16	26	25	18
Объём платформы, м^3	10,5	14	19,3	18,6
Мощность двигателя, кВт	243	275	247	228
Коробка передач:				
число передач	8	9	9	9
передаточные числа	7,30; 4,86; 3,50; 2,48; 2,09; 1,39; 1,00; 0,71	13,96; 7,47; 5,28; 3,82; 2,79; 1,95; 1,38; 1,00; 0,73	12,42; 8,29; 6,08; 4,53; 3,36; 2,47; 1,81; 1,35; 1,00	12,42; 8,29; 6,08; 4,53; 3,36; 2,47; 1,81; 1,35; 1,00
Передаточное число главной передачи	8,173	6,56	5,26	4,8
Максимальная скорость, км/ч	100	70	77	90

Таблица 4

Автомобиль-самосвал	Среднесуточные показатели		
	Пробег, км	Количество груза, т	Число ходок
КрАЗ-7511С4	107,968	467,968	18,687
"Шанси SX3255DR384C"	89,75	400	20
КрАЗ-65055	89,463	389,122	19,853
FAW CA3252	91,729	382,2703	19,48649

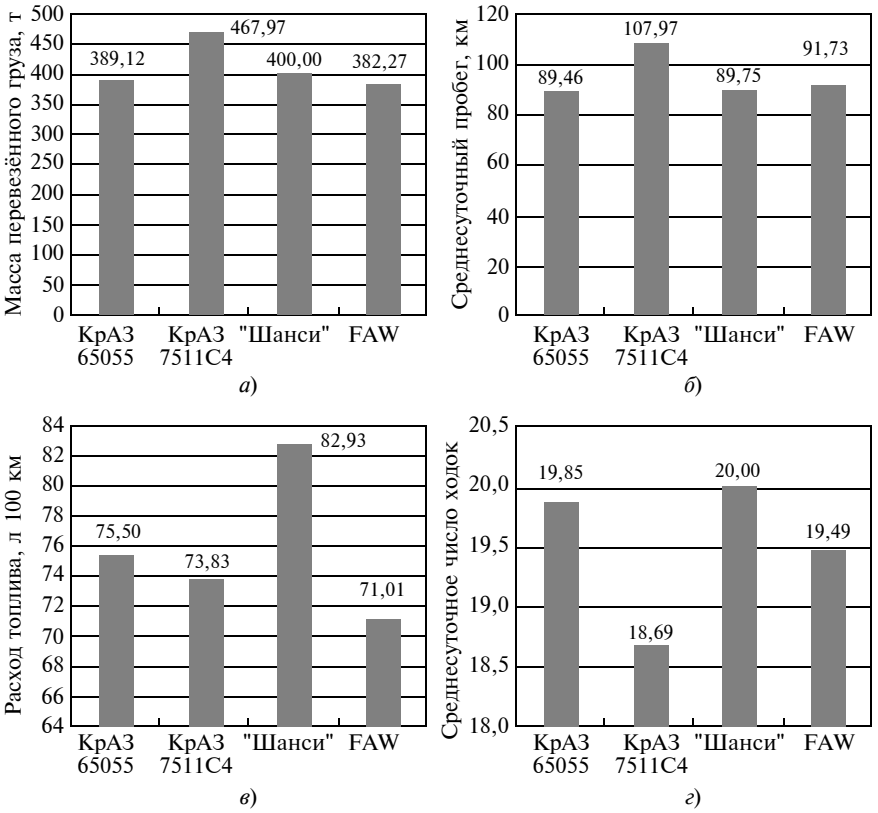


Рис. 2. Результаты эксплуатационных испытаний автомобилей-самосвалов:

а — среднесуточное количество перевезённого груза; *б* — среднесуточный пробег самосвалов; *в* — средний эксплуатационный расход топлива самосвалов за период испытаний; *г* — среднесуточное число ходок

Самосвал FAW CA3252, имея наибольшую максимальную скорость, но заметно меньшую грузоподъёмность, перевёз наименьшее количество груза. При этом среднесуточные значения пробега и количества ходок мало отличаются для "Шаньси SX3255DR384C", КрАЗ-65055 и FAW CA3252. Поэтому определяющими параметрами карьерного самосвала можно считать грузоподъёмность и мощность двигателя. Последняя будет существенно влиять на среднюю скорость самосвала на технологической дороге с большим коэффициентом сопротивления качению.

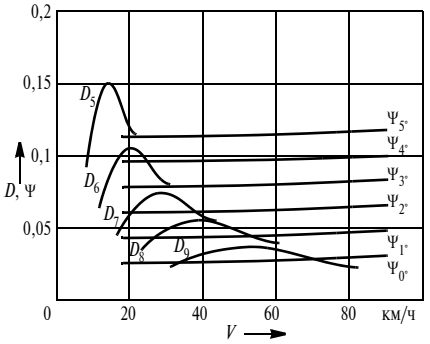


Рис. 3. Динамическая характеристика КрАЗ-7511С4

Поскольку самосвал FAW CA3252 имеет наименьшую мощность двигателя и наименьшее передаточное число главной передачи, можно сделать выводы о том, что этот самосвал имеет иное назначение, чем перевозка грузов в карьере. Он эффективен на маршруте, большая часть которого приходится на дороги с асфальтобетонным покрытием.

Значение передаточного числа главной передачи также влияет на среднюю скорость автомобиля. Однако самосвалы эксплуатируются на технологических дорогах с большим сопротивлением качению и значительной неровностью. Поэтому на такой дороге движение с большими скоростями (70 км/ч и более) будет маловероятным из соображений безопасности и плавности хода. В таких условиях автомобили с большой мощностью и большим передаточным числом главной передачи будут более эффективны.

Оценим способность самосвала двигаться по дороге с подъёмом. Принято, что самосвал движется с полной подачей топлива с постоянной скоростью по технологической дороге, которая представляет собой утрамбованный щебень, поэтому для расчётов принят коэффициент сопротивления качению f_0 = 0,025. Построена динамическая характеристика опытного образца самосвала КрАЗ-7511С4, на которую нанесены кривые дорожного сопротивления ψ при разных углах подъёма дороги (от 0 до 5°) (см. рис. 3).

По динамической характеристике видно, что при полной загрузке самосвал КрАЗ-7511С4 будет двигаться по горизонтальной дороге на высшей передаче со скоростью 70,1 км/ч. Двигаться на подъём в 1° самосвал будет на 8-й передаче со скоростью 52,8 км/ч. Для того чтобы двигаться на подъём 2, 3 и 4°, нужно задействовать 7- и 8-ю передачи. Движение по дороге с подъёмом более 1° будет нерациональным по причине невысокой скорости и большого расхода топлива. Зависимости от угла подъёма θ максимально возможной скорости движения и расхода топлива при установившемся движении показаны на рис. 4 (*а* и *б* соответственно).

Определим продуктивность самосвала КрАЗ-7511С4, сделав допущение, что водитель, пытаясь получить наибольшую производительность, выберет максимально возможную скорость движения 70,1 км/ч. Расчёт производительности выполнен при условии, что самосвал после загрузки начинает разгоняться до скорости 70,1 км/ч, и отрезок пути, который останется после фазы разгона, будет пройден с установившейся скоростью по горизонтальной дороге. Результаты расчёта показаны в табл. 5.

Таблица 5

Показатель	Расчётные значения
Средняя скорость на маршруте длиной 1,8 км, км/ч	61,23
Расход топлива, л/100 км	92,25
Производительность, т · км	4793,6
Длина пути разгона до скорости 70,1 км/ч, м	639,29

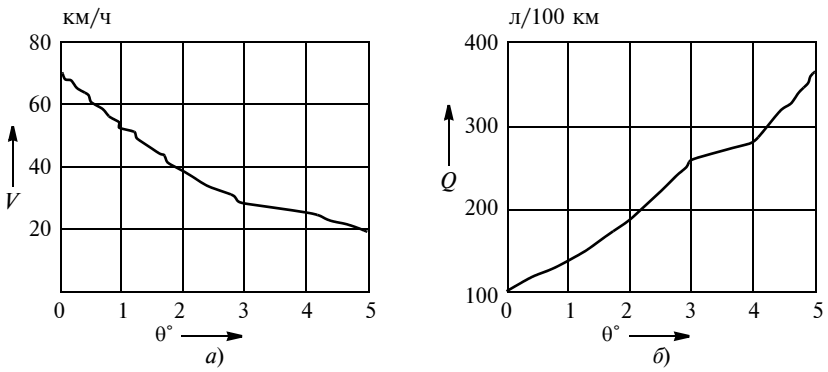


Рис. 4. Максимально возможная скорость движения (а) и расход топлива при установившемся движении (б) для самосвала КрАЗ-7511С4 на дорогах с разным углом подъёма θ

Расчётный расход топлива получился заметно выше полученных во время эксплуатационных испытаний значений, что можно объяснить слишком длинным заданным процессом разгона: длина пути разгона составляет больше трети всего маршрута. Наиболее простое решение для сокращения расхода топлива — снижение установившейся скорости. Определим рациональную скорость движения самосвала КрАЗ-7511С4 на технологической дороге. Для этого нанесём на динамическую характеристику кривую удельного расхода топлива двигателя во время движения на высшей передаче (рис. 5).

Как видим, наименьшему удельному расходу топлива двигателя будет соответствовать скорость в пределах 52—60 км/ч. Кривая D_9 в этом интервале скоростей проходит значительно выше кривой дорожного сопротивления ψ при 0° подъёма. Поэтому для движения с этими скоростями нет необходимости двигаться с полной подачей топлива. Соответственно, реальный расход топлива будет заметно меньшим, чем тот, который бы получили при расчётах расхода топлива установившегося движения с полной подачей топлива.

Для точного определения расхода топлива проведены его расчёты на участке дороги 1,8 км с покрытием из укатанного щебеня с учётом фазы разгона и при условии, что автомобиль будет двигаться с установившейся скоростью 53 и 60 км/ч (табл. 6). Как видим, в пределах скорости установившегося движения 53—60 км/ч расход топлива существенно не увеличился. Его значение очень близко к значению, полученному во время эксплуатационных испытаний опытного образца самосвала КрАЗ-7511С4. При выборе скорости 60 км/ч производительность на 10,66 % больше, чем на скорости 53 км/ч. Объяснение этому очевидно: средняя скорость увеличилась, а расход топлива почти не изменился.

Проведём подобные расчёты при разных скоростях установившегося движения в целях исследования связи скорости установившегося движения и производительности автомобиля. Результаты расчётов показаны на рис. 6, на котором виден опережающий рост производительности самосвала КрАЗ-7511С4 относительно увеличения расхода топлива. Резкое увеличение производительности самосвала при увеличении установившейся скорости его движения позволяет гибко подходить к выбору водителем скорости движения на маршруте с учётом разных внешних факторов. Такое свойство является достаточным обоснованием экономической целесообразности использования самосвалов КрАЗ-7511С4 на этапах подготовки карьеров к добыче полезных ископаемых открытым способом.

Результаты эксплуатационных испытаний опытного образца самосвала КрАЗ-7511С4 и проведённых расчётов послужили основанием для модернизации конструкции в целях улучшения эксплуатационных показателей. Так, на модернизированном самосвале КрАЗ-7511С4 применён более мощный двигатель (294 кВт, или 400 л. с.), при этом без изменений оставлены параметры трансмиссии. В этом случае изменилась динамическая характе-

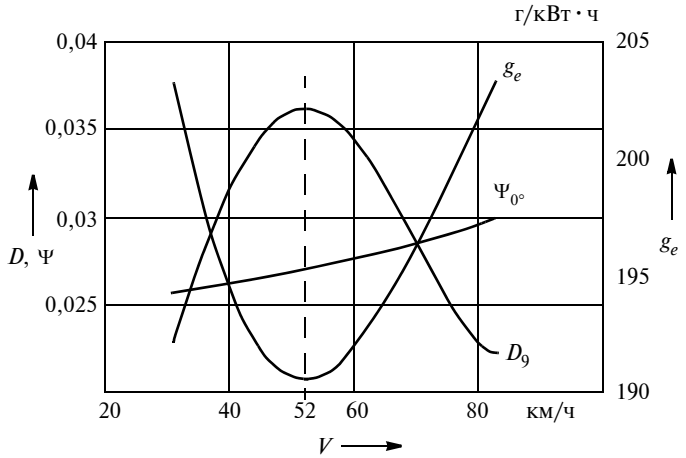


Рис. 5. Совмещение кривой удельного расхода топлива двигателем и динамической характеристики КрАЗ-7511С4 во время движения на высшей передаче на горизонтальной дороге

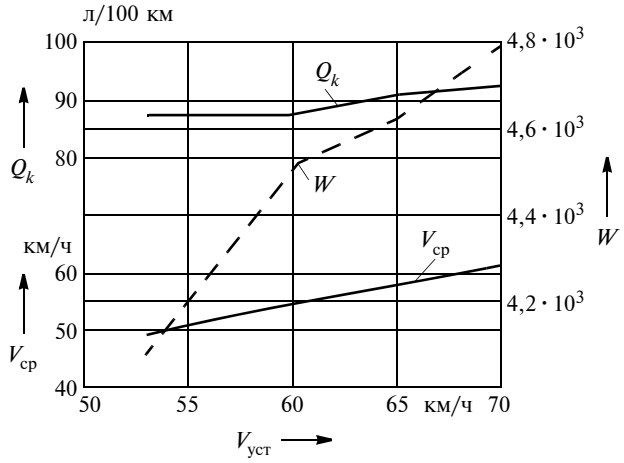


Рис. 6. Зависимость производительности W, расхода топлива Q_k и средней скорости $V_{ср}$ от выбранной скорости $V_{уст}$ установившегося движения КрАЗ-7511С4 на горизонтальной дороге

ристика самосвала (см. рис. 7). Кривые динамического фактора пересекаются, что расширяет возможности водителя по выбору оптимальной скорости движения автомобиля в различных условиях. Максимальная скорость движения на гравийной технологической дороге с полной нагрузкой составляет 71,6 км/ч. Сравнительная характеристика опытного и модернизированного самосвалов представлена в табл. 7.

Таблица 6

Показатель	Значения для скоростей:	
	53 км/ч	60 км/ч
Средняя скорость на маршруте длиной 1,8 км, км/ч	49,22	54,72
Расход топлива, л/100 км	87,13	87,52
Производительность, т · км	4080,0	4515,84
Длина пути разгона до установившейся скорости, м	156,31	178,13

Таблица 7

Угол подъёма, θ°	Максимально возможная скорость движения КрАЗ-7511С4, км/ч	
	Опытный образец	Модернизированный образец
0	70,1	71,6
1	52,83	53,67
2	38,49	38,89
3	27,81	29,21
4	24,966	25,4
5	19,93	20,5

Таблица 8

Угол подъёма, θ°	Расход топлива при установившемся движении КрАЗ-7511С4 с максимально возможной скоростью, л/100 км	
	Опытный образец	Модернизированный образец
0	101,362	100,262
1	135,121	133,727
2	185,63	184,55
3	257,88	237,93
4	281,709	279,058
5	366,026	337,424

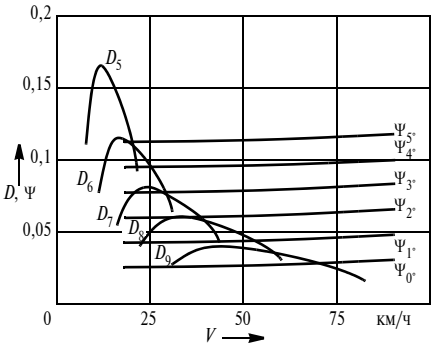


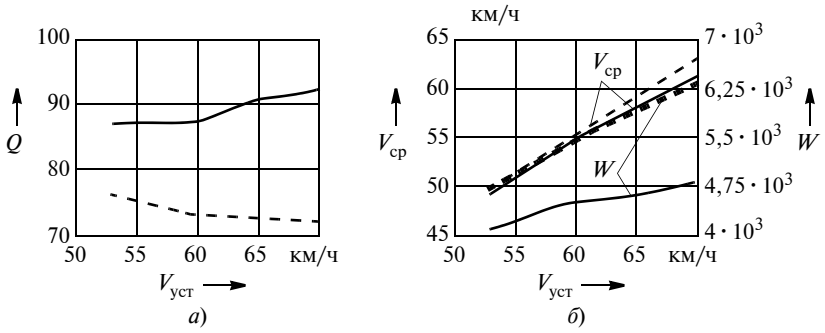
Рис. 7. Динамическая характеристика модернизированного КрАЗ-7511С4 с двигателем мощностью 294 кВт (400 л. с.)

При модернизации модели кроме замены двигателя также была применена новая кабина улучшенного дизайна (рис. 8). Максимальная скорость движения модернизированного самосвала КрАЗ-7511С4 с полной загрузкой увеличилась несущественно. Однако увеличение мощности двигателя отразилось на расходе топлива при установившемся движении самосвала с максимальной скоростью по дорогам с разным углом подъёма (табл. 8). Расход топлива во время движения самосвала КрАЗ-7511С4 на горизонтальной дороге уменьшился несущественно. Однако во время движения по дорогам с подъёмом от 3° разница в расходе топлива становится достаточно заметной, особенно при подъёме в 3—5°.

В целях сравнения изменения выбранных эксплуатационных показателей выполним расчёт расхода топлива, средней скорости на маршруте длиной 1,8 км и производительности модернизированного самосвала КрАЗ-7511С4 с учётом фазы разгона при тех же самых условиях, что и для опытного образца самосвала (рис. 9). Расход топлива на маршруте (угол подъёма равняется 0°) модернизированного самосвала КрАЗ-7511С4 существенно меньше, чем расход топлива опытного образца, причём при увеличении выбранной установившейся скорости расход топлива, в отличие от опытного образца, снижается. Поэтому даже при очень незначительном увеличении средней скорости производительность модернизированного самосвала КрАЗ-7511С4 существенно превосходит показате-

а) *б)*

Рис. 8. Опытный образец (а) и модернизированный автомобиль-самосвал КрАЗ-7511С4



а) *б)*

Рис. 9. Сравнительная характеристика опытного (сплошные линии) и модернизированного (пунктирные) образцов КрАЗ-7511С4: зависимости расхода топлива (а), средней скорости $V_{ср}$ и производительности W самосвалов (б) на маршруте от выбранной водителем установившейся скорости

ли опытного образца, демонстрируя еще больший рост производительности при увеличении установившейся скорости, которую выбирает водитель.

Таким образом, технико-эксплуатационные показатели нового автомобиля-самосвала КрАЗ-7511С4 позволяют эффективно использовать его в горнодобывающей отрасли. Результаты испытаний модернизированного автомобиля-самосвала корреспондируются с тяговым расчётом и подтверждают эффективность его использования в карьерных условиях большую, чем у аналогов. В целях улучшения топливной экономичности КрАЗ-7511С4 обосновано применение двигателя большей мощности (294 кВт, или 400 л. с.).

Литература

1. Самосвал Scania P380 CB 6×4 EHZ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.gruzovikpress.ru/article/4014-samosval-scania-p-380cb-6x4-ehz-hit-sezona.
2. Самосвал MAN TGA 40.480 6X4 BB-WW. Конфигурация для: TGS 33.480 6×4 BBS-WW/L26WGJ32 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.truck-center.ru/upload/iblock/f47/MAN-TGS-33.480-6x4-BBS-WW-2014-specifikaciya.pdf.
3. Самосвал ASTRA HD8. 64.36 (шасси 6×4) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://engine-market.ua/karernyi-samosval-astra-hd8-6436-shassi-64-t32947/.
4. Самосвал KERAX 380.34 6×4 HD (Euro-3) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://vnalichii.info/info/gruz/renaulttrucks/renaulttrucks_151.html.

УДК 629.35

К ВЫБОРУ ШАССИ-НОСИТЕЛЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Доктора техн. наук **ТРЕМБОВЕЛЬСКИЙ Л.Г.**, **ГРИФФ М.И.**
САМТ-Фонд (495.780-07-55)

Рассматривается один из вариантов выбора специализированного автотранспортного средства (САТС), что является этапом создания типажа САТС. Выбор производится на основе оценки эффективности выполнения технологического процесса объектом выбора. Как пример приводится определение эффективности использования двух автомобилей-фургонов. Эффективность определяется с использованием комплексных показателей.

Ключевые слова: *типаж, шасси, носитель, комплексный показатель, эффективность, энергетический потенциал.*

Trembovelsky L.G., Griff M.I.

TO THE CHOICE OF THE CHASSIS CARRIER DURING THE DESIGN OF SPECIALIZED VEHICLE

The article deals with the choosing of a specialized vehicle which is as a step to create the vehicle type. The selection is made on the basis of assessing the of the implementation of the process object of choice. An example is to determine the effectiveness of using two vehicles — vans. The selection is based on assessing of technological process effectiveness implementing by the object of the selection. The determination of the effectiveness by using two vehicles — vans is shown as an example. The effectiveness is determined by the using of the comprehensive indexes.

Keywords: *types (range of models), chassis, carrier, comprehensive index, effectiveness, energy potential.*

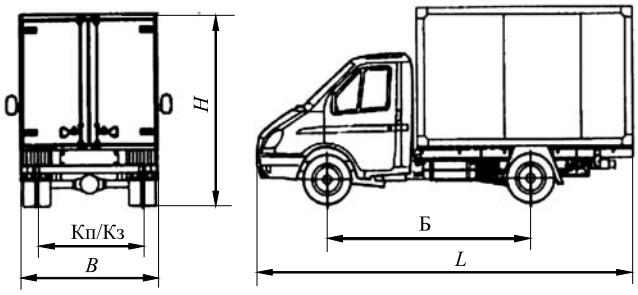
В статье "О создании типажа специализированных автотранспортных средств" (см. "АП" № 4, 2017) указано, что при выборе производителем таких АТС шасси-носителя практически невозможно обойтись без маркетингового исследования [1]. Однако такое исследование, очевидно, будет эффективным лишь при условии наличия комплексного оценочного показателя. Именно комплексного, поскольку на этот выбор влияет довольно много факторов, например таких, как возможность монтажа специализированного оборудования; согласованность параметров и характеристик оборудования с возможностью шасси; ценовая характеристика шасси; его технические параметры; эффективность реализации энергетического потенциала при выполнении технологического процесса (транспортной работы) и т.п.

Наряду с известными комплексными показателями предлагается использовать $K_{\text{т-ээ}}$ — критерий технико-экономической эффективности, имеющий размерность — ткм/л [2] и вычисляемый по формуле 1 (табл. 1).

Однако в нашем случае необходимо оценить эффективность применения шасси при выполнении технологического процесса и выбирать модель учитывая эту оценку. Эта оценка может быть решающей, если предварительный анализ показал ограниченный круг

Таблица 1

№	Формула	Примечания
1	$K_{\text{Т—ЭЭ}} = \frac{m_a v_{\text{ср}}}{G_T}$	m_a — полная масса САТС (т); $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость движения (км/ч); G_T — часовой расход топлива (л/ч)
2	$K_{\text{Т—ЭЭ}} = \frac{m_a}{Q_s} \cdot 100$	Q_s — путевой расход топлива (л/100 км)
3	$K_{\text{Т—ЭЭ}} = m_{\text{сн}} \frac{100}{Q_s} \frac{100}{Q_s}$	$m_{\text{сн}}$ — масса снаряжённого автомобиля, (т); $m_{\text{н}}$ — допустимая масса нагрузки (т)
4	$K_{\text{ш}} = m_{\text{н}} \frac{100}{Q_s}$	—
5	$K_{\text{ш}} = \frac{m_{\text{н}} v_{\text{ср}}}{G_T}$	—



моделей, подходящих для подготовки изделия. Проведя очевидные преобразования выражения *1*, получим зависимость *2* критерия технико-экономической эффективности от путевого расхода топлива.

Заметим: выражение $100/Q_s$ в работе Г.В. Зимелёва [3] обозначается буквой Э и называется "экономический фактор автомобиля" (*стр. 285*).

Выделим из полной массы массу перевозимого груза. Тогда формула приобретает вид выражения *3*. Второе слагаемое в этом выражении и предлагается использовать как оценочный параметр при выборе шасси. Обозначим этот оценочный показатель $K_ш$. Очевидно, что он имеет ту же размерность — т · км/л (формула *4*).

Здесь необходимо сделать следующее замечание. При выборе шасси под m_a, $m_{сн}$, $m_н$ понимается полная, снаряжённая массы и масса нагрузки полноразмерного специализированного транспортного средства. Задача заключается в оценке потенциальной эффективности силовой установки и силового привода шасси при выполнении перевозочной работы специализированным автотранспортным средством.

Однако может возникнуть и более простая задача — выбрать специализированное АТС определённого функционального назначения из предлагаемых различными фирмами-изготовителями. В этом случае рассматриваемые массы соответствуют выбираемым транспортным средствам.

При проведении оценочного анализа необходимо учитывать, что масса нагрузки (перевозимого груза) определяется разностью между полной массой, которую возможно реализовать с использованием исследуемого шасси, и снаряжённой массой оборудованного специализированного автотранспортного средства.

В оценочный показатель *4* не входит в явном виде скорость движения, хотя, безусловно, учитывается. Путевой расход топлива в данном случае играет роль интегрального параметра. Но сравнение надо производить для одинаковых условий эксплуатации. Например, можно использовать контрольный расход топлива (ГОСТ 20306—90) или, если специализированное АТС относится к категориям M_1 (автодом, передвижная лаборатория и др.) и N_1, в качестве штатных условий можно воспользоваться результатами сертификационных испытаний по Правилам ЕЭК ООН № 101-01 (испытания на стенде — тип 1, часть 1 — расход топлива в городском цикле или тип 1, часть 2 — расход топлива в условиях "загородной езды") [5].

Оценочный показатель *4* может подсчитываться и по формуле *5*.

В качестве примера рассмотрим выбор автомобиля-фургона для перевозки грузов различного назначения, кроме опасных. Будем выбирать из двух автомобилей-фургонов полной массой 3500 кг имеющие условные номера № 1 и № 2.

В табл. 2 представлена краткая техническая характеристика автомобилей, а на рисунке — общий вид автомобиля-фургона [4]. Допустим, что у двух представленных моделей нас устраивают все параметры. Вопрос цены в данном случае не рассматривается, хотя он может быть решающим. При таких условиях решающим может оказаться технико-экономическая эффективность перевозки груза, оцениваемая параметром $K_ш$.

Сравнивать будем для скоростей установившегося движения 60 и 80 км/ч полностью гружёных автомобилей-фургонов. Для указанных скоростей определяется контрольный расход топлива, который мы и используем для определения оценочного показателя.

Автомобиль-фургон № 1: скорость 60 км/ч — $K_ш$ = 15,9; скорость 80 км/ч — $K_ш$ = 13,1.

Автомобиль-фургон № 2: скорость 60 км/ч — $K_ш$ = 15,7; скорость 80 км/ч — $K_ш$ = 12,9.

Из этих сравнений мы видим, что перевозка груза с установившимися скоростями автомобилем № 1 более эффективна, несмотря на то что, судя по контрольному расходу топлива, его оппонент более экономичен. Более эффективная перевозка груза может быть решающим аргументом при прочих равноценных факторах. На рисунке схематично представлены рассматриваемые автомобили-фургоны, идентичные по компоновке.

Таким образом, одним из показателей, позволяющих осуществлять выбор носителей специализированных автотранспортных средств, производствен-

Таблица 2

Параметр	Автомобили — фургоны	
Модель	№ 1	№ 2
Полная масса, кг	3500	
Масса перевозимого груза, кг	1350	1150
База, мм	2900	3137
Габаритные размеры, мм: Длина *L*	5500	5254
Ширина *B*	2090	2100
Высота *H*	3000	3300
Колея передних/задних колёс $K_п/K_з$	1740/1560	1737/1710
Тип двигателя	Дизель с турбонаддувом, рядный, 4-цилиндровый	
Рабочий объём V_h, см^3	2781	2402
Максимальная мощность (при частоте) $N_{e\,max}$ (n_N), кВт (мин$^{-1}$)	88,3 (3200)	85(3500)
Контрольный расход топлива л/100 км при скоростях 60 и 80 км/ч	8,5/10,3	7,3/8,9

ный процесс которых связан с перевозочной работой, может быть показатель, оценивающий 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*).

Литература

1. О создании типажа специализированных автотранспортных средств. Л.Г. Трембовельский д. т. н. САМТ-Фонд. Автомобильная промышленность 2017 г. № 6.
2. Трембовельский 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.

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 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 скоротечных, 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 "автономным 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 *IT*-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 потребуется 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*

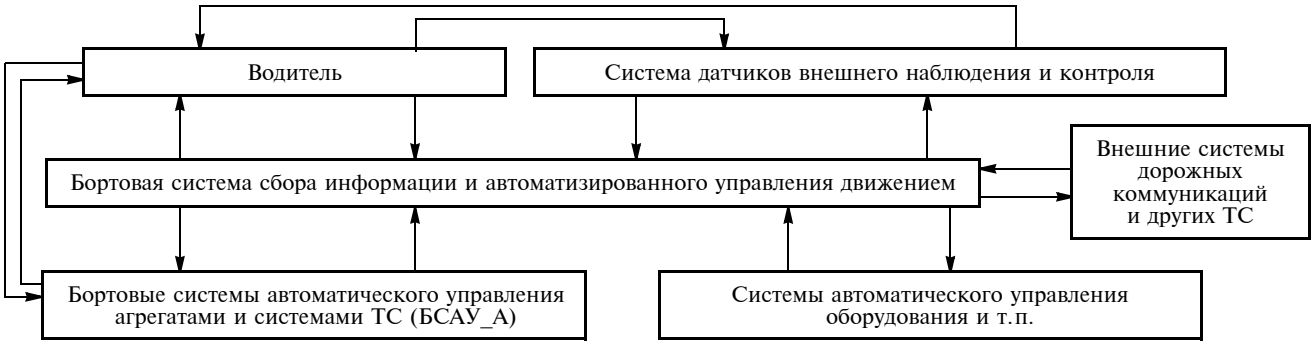


Рис. 1. Блок-схема САУД автомобиля

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 подрессоривания транспортного средства в целом и вторичного подрессоривания 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 (*а—д*)).

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,

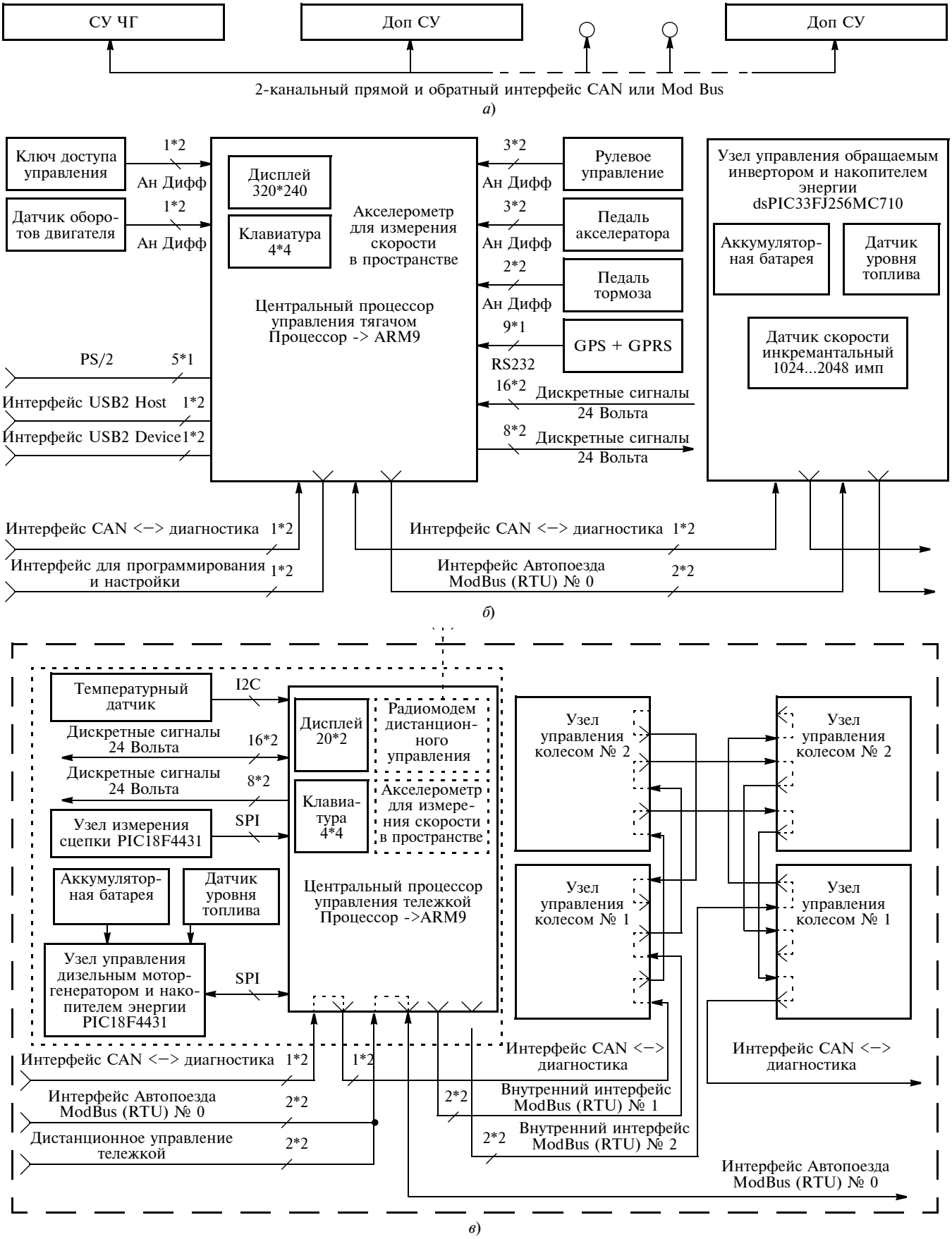


Рис. 2. Вариант структуры САУД на примере многозвенного автопоезда:

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

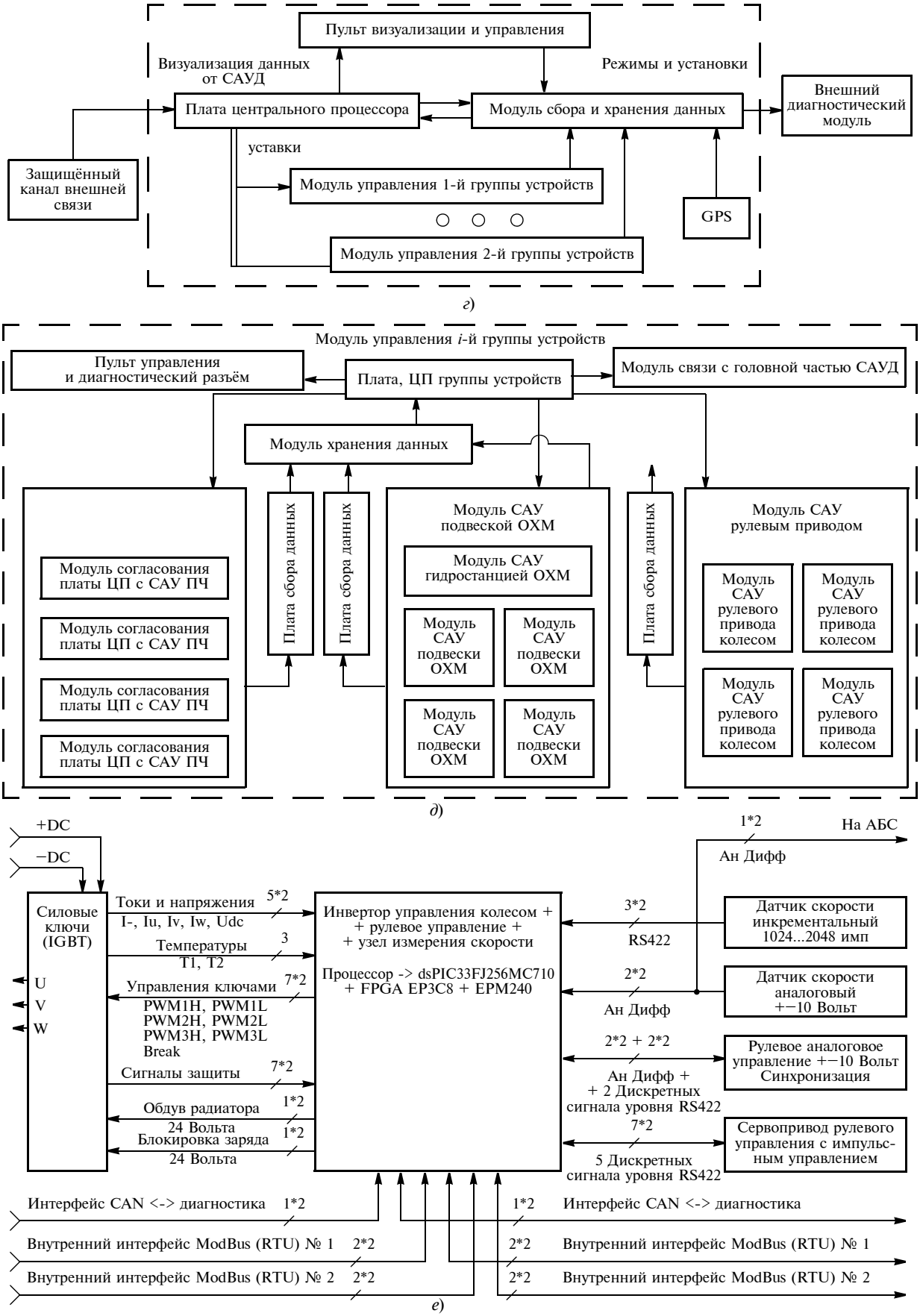
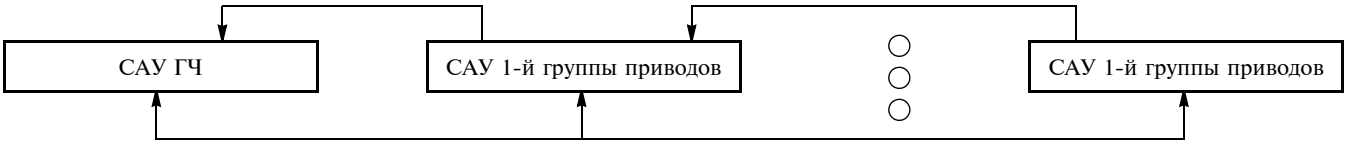


Рис. 2. (Продолжение):

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



Интерфейс связи между модулями управления САУД (CAN2B Либо ModBus RTU)

ж)

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 управлял 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.

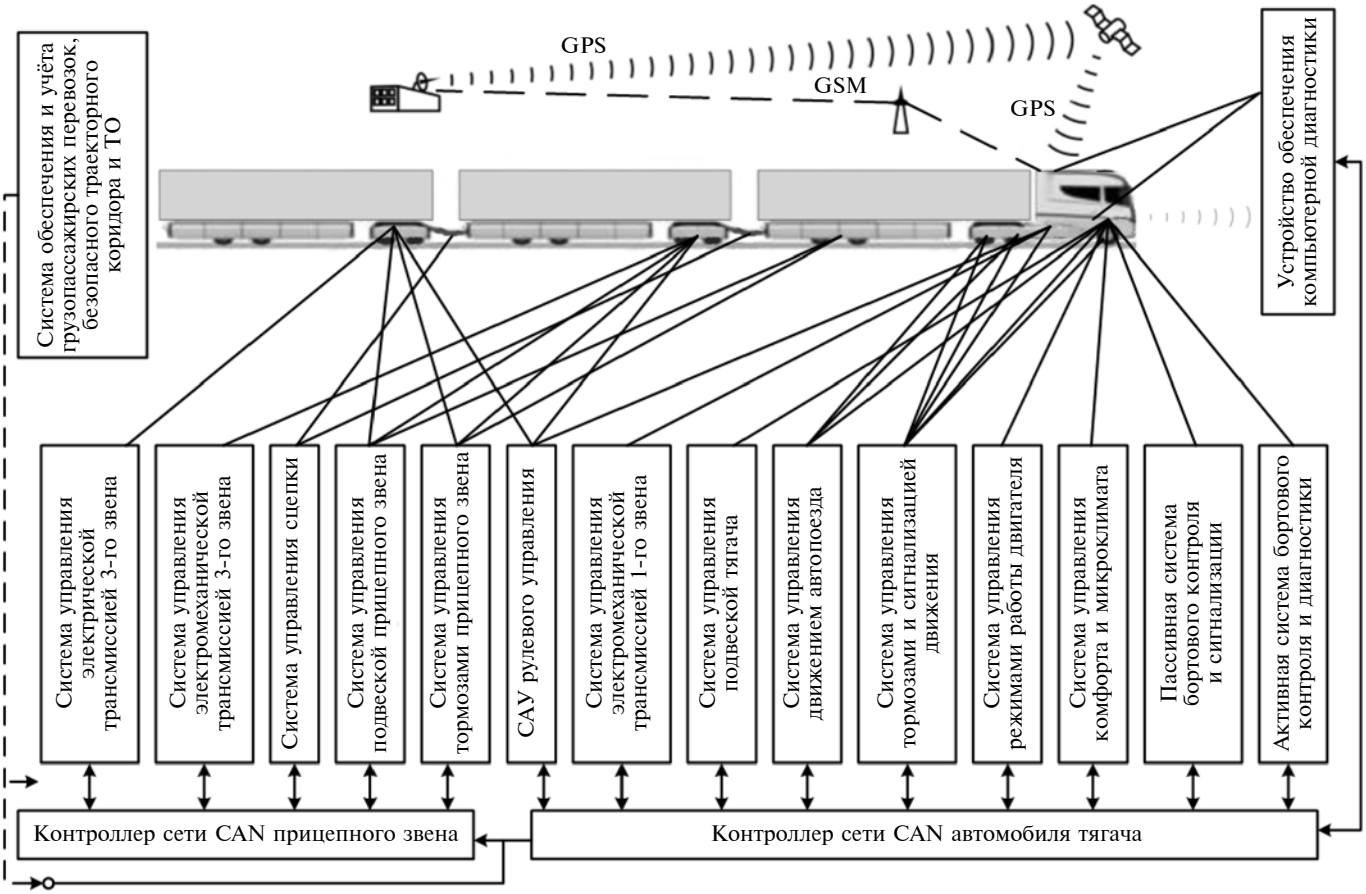


Рис. 3. Состав основных электронных систем управления многозвенным автопоездом

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 автомобилей 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 антипротивобуксовочных 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 подрессоривания 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 опасности опрокидывания, работа активной или регулируемой подвески позволяет ТС проходить повороты с большей скоростью за счёт активного противодействия крену. Тем самым работа активной системы подрессоривания 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 качества 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 подрессоривания) 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-

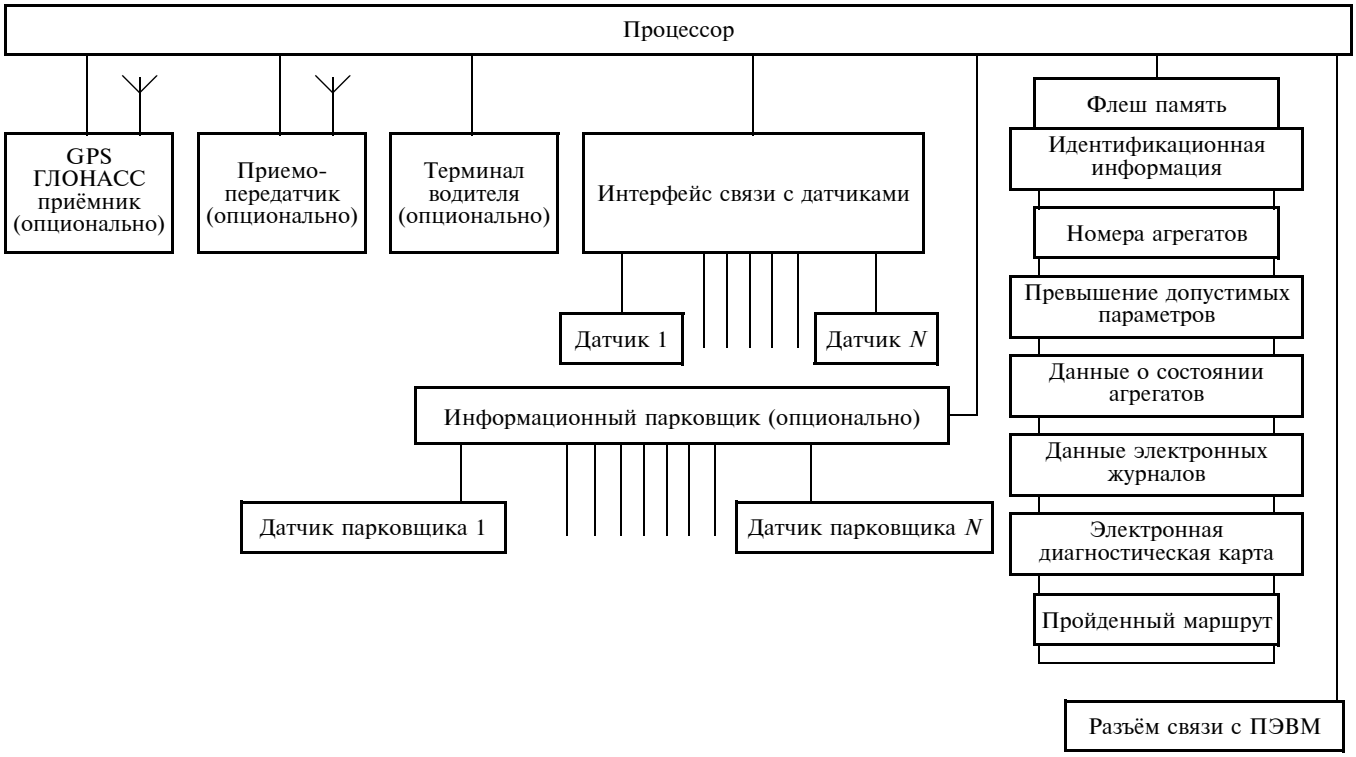


Рис. 5. Структурная схема БИУС автомобиля КамАЗ (вариант)

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 подрессоривания 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 информационных 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 название 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 наработок 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.

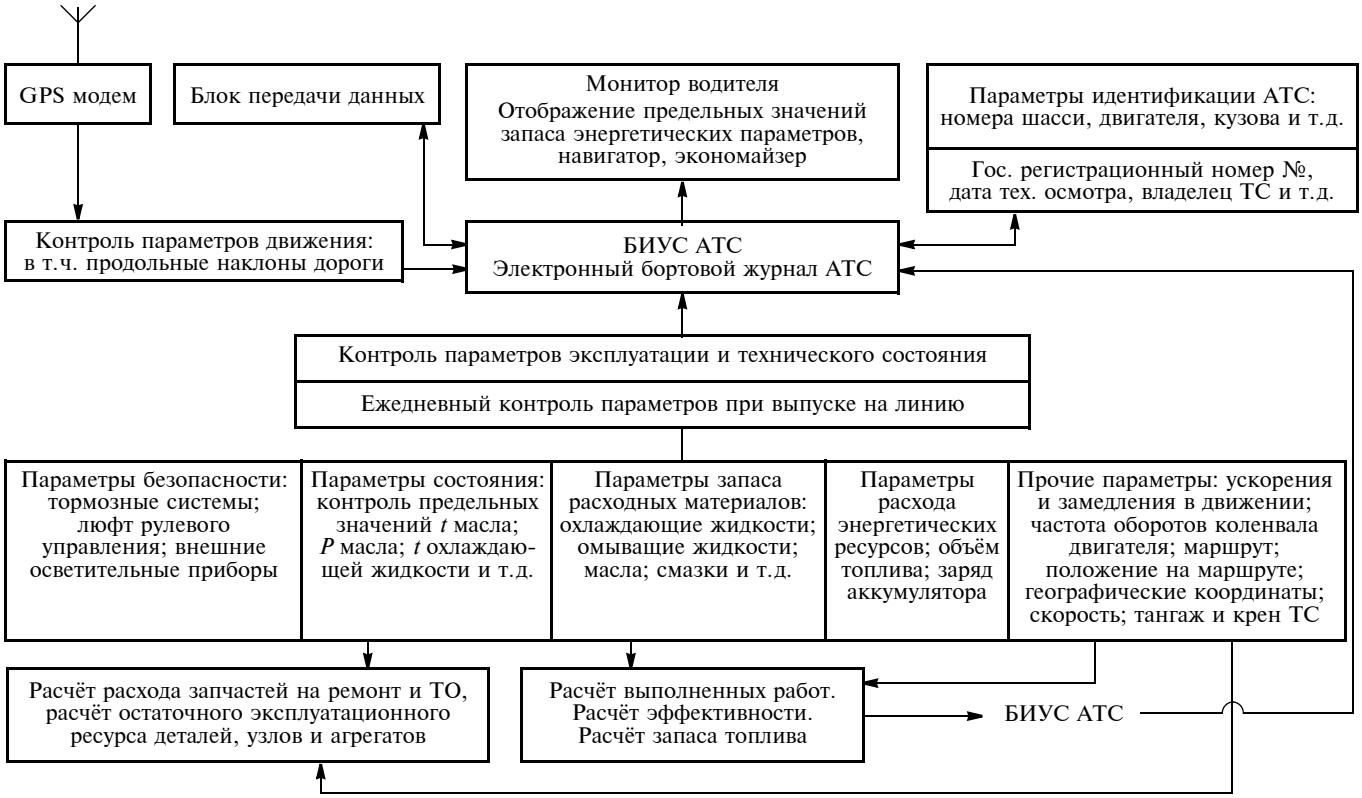


Рис. 6. Функциональные возможности БИУС КамАЗ (вариант)

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; графические 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.

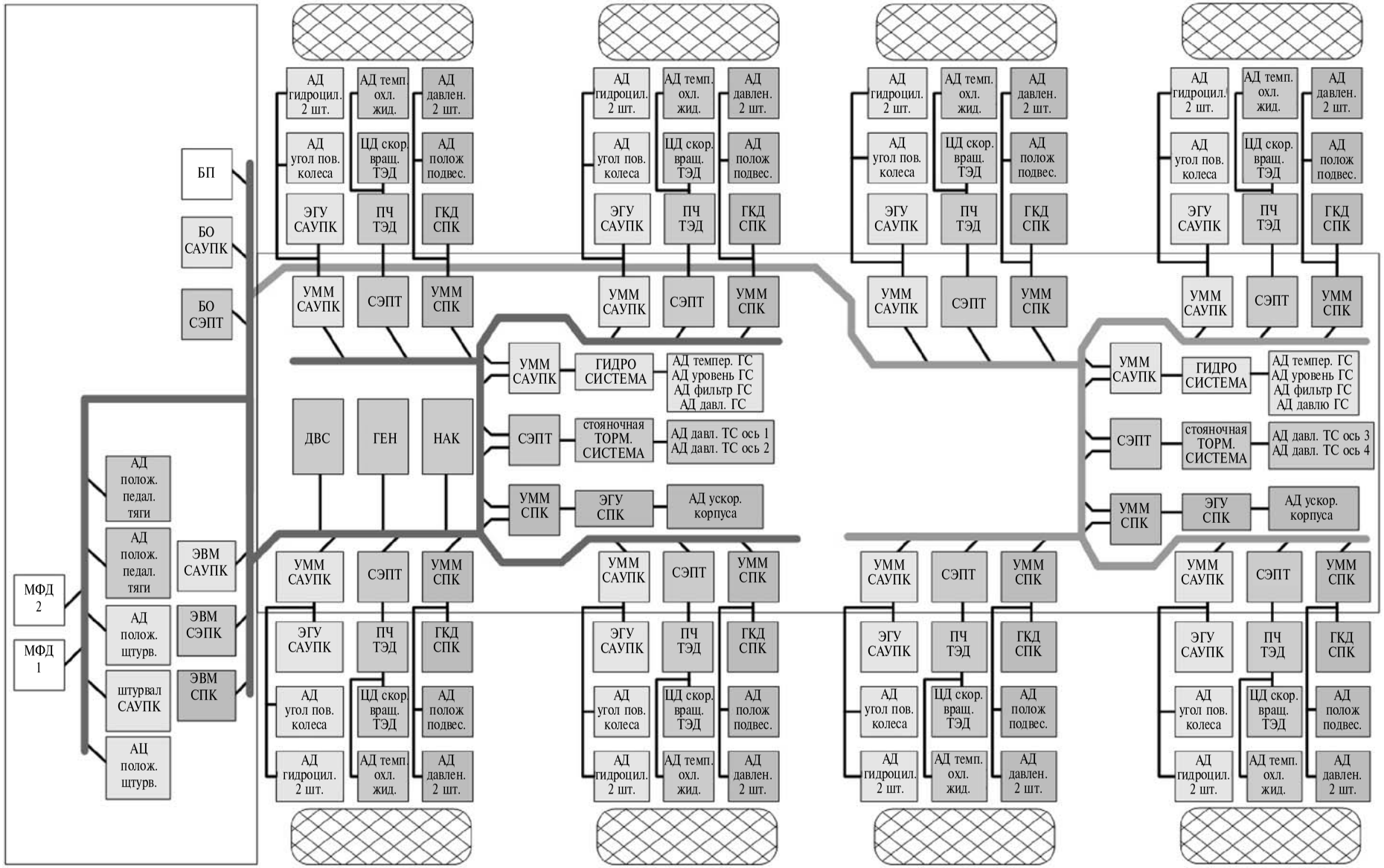


Рис. 7. Расположение элементов БИУС на одиночном автомобиле с электротрансмиссией и ВРУ (вариант):

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 подрессоривания колеса; ТЭД — тяговый электродвигатель; ГКД — гидроклапаны дросселей; ПЧ — преобразователь частоты; ГС — гидросистема; ЦД — цифровой датчик; НАК — накопитель 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 на кабинную 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

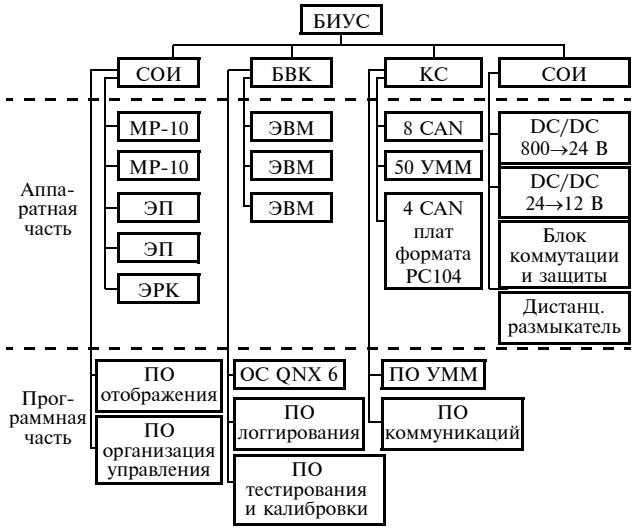


Рис. 8. Функциональная схема БИУС (вариант)

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 моторколеса (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.

Комплектующими центрального процессора, как вариант, могут быть следующие компоненты: современная процессорная плата отечественного произодителя фирмы "Фаствэл"; отдельная плата CAN адаптора 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 *IT*-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-

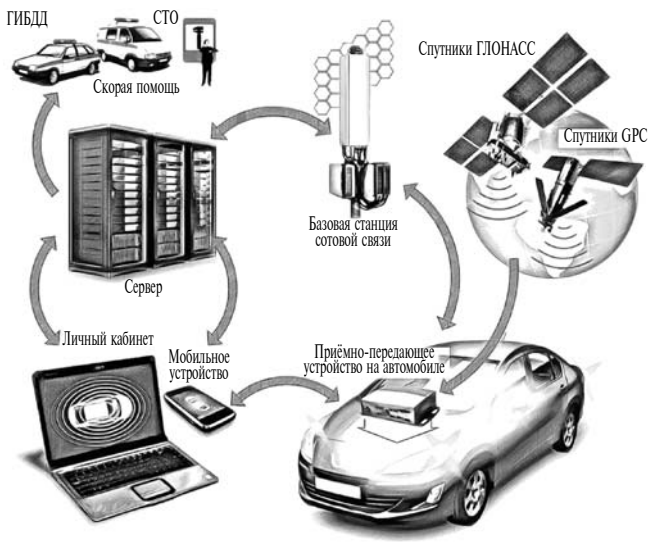


Рис. 9. Схема современных телематических услуг по http://www.zr.ru/content/articles/737283-chto-takoe-telematika-udalennyj-dostup/

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-движитель 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.*

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

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-

рые используются при определении параметров нагнетателей в системах организации воздушной подушки традиционных СВП.

Воздушная подушка системы Ж. Бертена представляет собой конструкцию, в которой сжатый воздух удерживается под корпусом транспортного средства с помощью многокамерного гибкого ограждения, образованного набором отдельных деформируемых конических элементов. Каждый сепаратный конический элемент в такой системе имеет форму усечённого прямого кругового конуса с небольшим значением угла раствора (порядка 10—15°). Такая конструкция обладает определёнными преимуществами перед другими известными конструкциями гибкого ограждения и может рассматриваться в качестве одного из наиболее перспективных вариантов для построения гибридных амфибий, предназначенных для работы в Арктике. Работа воздушной подушки системы Ж. Бертена описывается известными соотношениями, в общем случае справедливыми для произвольной *камерной (купольной)* схемы организации воздушной подушки [1—3].

Статический режим парения для камерной схемы

В любой конструкции с камерным типом организации воздушной подушки подъёмная сила, действующая на корпус машины, образуется в результате создания в полости камеры избыточного давления воздуха, нагнетаемого вентилятором (или компрессором). От действия подъёмной силы корпус машины приподнимается над опорной поверхностью. При этом через образовавшийся между нижней кромкой полости камеры и опорной поверхностью зазор происходит истечение воздуха.

На начальных этапах проектирования одной из основных задач, стоящих перед разработчиками новых транспортных средств на воздушной подушке, выступает задача определения требуемых характеристик вентиляторов нагнетательного комплекса. У промышленного вентилятора есть две основные технические характеристики — давление и производительность. В процессе эксплуатации их текущие значения должны обеспечивать как создание требуемого давления в камере воздушной подушки, так и полную компенсацию утечек воздуха из-под её нижней кромки.

В практике инженерных расчётов минимально допустимые характеристики вентиляторов нагнетательного комплекса традиционно определяются для равновесного статического режима парения машины на заданной высоте над плоским твёрдым горизонтальным экраном.

В такой постановке при работе вентиляторов вес машины полностью уравновешивается подъёмной силой, действующей со стороны воздушной подушки. Соответственно, величина требуемого избыточного давления в полости камеры определяется выражением *1* (табл. 2). Значение объёмного расхода воздуха при истечении из полости камеры воздушной подушки для машины, парящей на определённой высоте h над плоским твердым горизонтальным экраном, описывается уравнением *2*, в котором безразмерный коэффициент расхода μ служит для согласования резуль-

Таблица 2

№	Формула	Примечания
1	$p = \frac{mg}{S_O}$	m — масса, поддерживаемая воздушной подушкой; g — ускорение свободного падения; S_O — опорная площадь воздушной подушки
2	$Q = \mu S_И V = \mu L_O h \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$	$S_И$ — площадь зазора, через который происходит истечение воздуха из камеры; L_O — периметр нижней кромки камеры; h — величина зазора между нижней кромкой камеры и экраном; V — теоретическая скорость истечения воздуха из камеры с избыточным давлением p; ρ — плотность воздуха; μ — безразмерный коэффициент расхода
3	$P = Qp$	—
4	$S_И = L_O h + LH$	$S_И$ — площадь зазора, через который происходит истечение воздуха из камеры; L_O — периметр нижней кромки камеры; h — величина зазора между нижней кромкой камеры и опорной поверхностью; L — максимальное значение суммарной длины дуги нижней кромки камеры, по которой происходит дополнительное истечение воздуха; H — глубина преодолеваемой канавы (колеи)
5	$L = D_O \arccos\left(1 - \frac{2B}{D_O}\right)$ при $B \le \frac{D_O}{2}$	D_O — нижний диаметр конического элемента; B — ширина преодолеваемой канавы (колеи)
6	$Q = \mu D_O \left[\pi h + H \arccos\left(1 - \frac{2B}{D_O}\right)\right] \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$ при $B \le \frac{D_O}{2}$	—
7	$K_Q = 1 + \frac{LH}{L_O h} = 1 + \frac{H \arccos\left(1 - \frac{2B}{D_O}\right)}{\pi h}$	—
8	$Q = \mu K_Q \pi D_O h \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$ при $B \le \frac{D_O}{2}$	—

татов теоретических расчётов и экспериментальных данных [1].

Расчетные величины, полученные по формулам *1* и *2*, служат начальными исходными данными для выбора вентиляторов нагнетательного комплекса с заданными значениями давления и производительности (расхода) соответственно. В качестве дополнительной справочной величины, используемой при сравнительной оценке различных конструкций транспортных средств на воздушной подушке и эксплуатационных режимов, применим значение мощности на поддержание, которая в принятых обозначениях определяется выражением *3*.

Критерии выбора значения расчётной высоты парения для традиционных СВП

Как следует из приведённых уравнений *1—3*, нижняя граница требуемых энергетических характеристик сепаратного нагнетателя для конкретной машины в статическом режиме парения над плоским твердым горизонтальным экраном явно определяется заданным значением высоты парения h. Для конкретной конструкции гибкого ограждения при данных массогабаритных характеристиках транспортного средства заданное значение h однозначно определяет величину мощности на поддержание и, следовательно, позволяет найти (с учётом кпд воздуховода) величину эффективной мощности винта нагнетателя. Далее, с учётом кпд винта, передачи и двигателя, можно вычислить и требуемую мощность двигателя в приводе нагнетателя [1].

В условиях реальной эксплуатации выбранная расчётная высота парения будет определять тягово-скоростные свойства и проходимость транспортного средства на воздушной подушке. Любые препятствия и неровности подстилающей поверхности будут преодолеваться без потери скорости движения в том случае, если их высота не превышает значение текущей высоты парения. В противном случае будет иметь место контакт либо только гибкого ограждения, либо ещё и корпуса машины с подстилающей поверхностью и, как следствие, значительная потеря скорости движения.

Из практики эксплуатации традиционных СВП известно, что для этих машин движение по взволнованной водной поверхности возможно даже в случаях, когда высота волн кратно превышает расчётное значение высоты парения. При этом, однако, имеет место тот факт, что если высота волн превышает высоту парения в 1,5—2 раза, то потеря скорости может составить 20—30 %. А при 4-кратном превышении — потеря скорости будет уже около 50 % [4].

В практике инженерных расчётов для традиционных СВП значение высоты парения обычно задают исходя из спецификационных условий волнения [5]. При этом разработчикам приходится учитывать то обстоятельство, что достижение высоты парения, которая обеспечила бы движение над гребнями волн при значительной их высоте, требует слишком больших энергетических затрат, растущих с увеличением высоты парения.

Принято считать [4, 6], что минимальная высота парения, обеспечивающая нормальную эксплуатацию в хорошую погоду по водной поверхности, для традиционных СВП вплоть до среднего класса грузоподъёмности (полезная нагрузка 1—2 т) выбирается из следующего набора значений: для малых рек и озер, болот, затопленных полей — 3 см; для магистральных рек и больших озёр — 5 см; для прибрежного морского плавания — 8—10 см.

Особенности расчёта для гибридной амфибии

Перспективные амфибии с гибридным опорно-ходовым комплексом предназначены для эффективной эксплуатации не только по водной и снежно-ледовой поверхности, но также и по наземным трассам. При этом при движении на суше их скорость заметно превосходит предельно достижимые для традиционных СВП значения в 20—45 км/час [7]. Качественное расширение требуемого эксплуатационного диапазона для перспективных машин в части характера подстилающей поверхности заставляет пересмотреть многие устоявшиеся конструктивные решения и методы расчёта. Это касается, в том числе, и методики расчёта их нагнетательных комплексов.

Нагнетательный комплекс гибридной амфибии должен обеспечивать требуемые параметры работы воздушной подушки во всём диапазоне заданных условий функционирования. При этом режимы движения с высокими скоростями по негладким и недеформируемым поверхностям наземных трасс, а также режимы преодоления препятствий и обеспечение заданных эксплуатационных свойств по проходимости, — предъявляют повышенные энергетические требования к характеристикам нагнетателей в системе организации воздушной подушки.

Для перспективных амфибий, особенно среднего и более высоких классов грузоподъёмности (с массой полезной нагрузки более 1 т), возможный контакт частей корпуса машины с подстилающей поверхностью в процессе движения по наземным трассам следует признать крайне нежелательным — из-за опасности возникающих в этом случае значительных динамических ударных перегрузок. В то же самое время здесь, как и в случае традиционных СВП, попытка обеспечения заданных тягово-скоростных свойств и проходимости за счёт увеличения высоты парения требует слишком больших энергетических затрат, растущих с увеличением высоты парения.

В опытном образце данная проблема была решена введением в конструкцию дополнительной опорной подсистемы колесного шасси с упругодемпфирующими механизмами подвески колёс. В такой конструкции при недостаточных текущих значениях давления или расхода воздуха в любой из камер гибкого ограждения воздушной подушки удары корпуса о подстилающую поверхность практически исключены. Они будут полностью демпфироваться элементами подвески колёсной опорной подсистемы. Как следствие, понятно, что для конструкций гибридных амфибий данного типа повышенные энергетические требования к характеристикам нагнетателей будут целиком опреде-

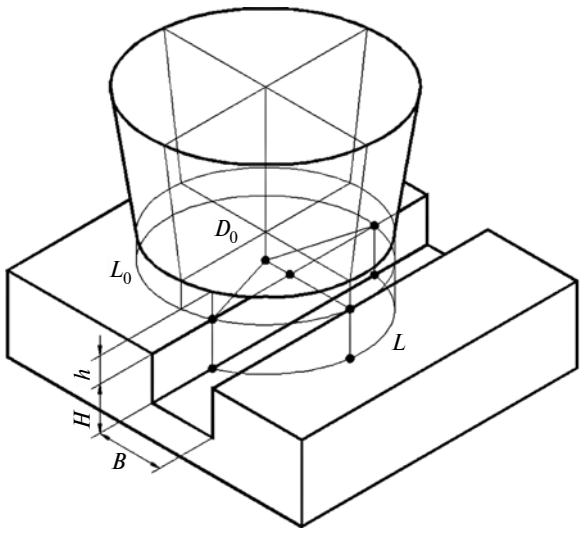


Рис. 2. Расчётная схема преодоления сепаратным коническим элементом воздушной подушки системы Ж. Бертена канавы прямоугольного сечения (или движение по колее)

ляться из условий обеспечения набора заданных эксплуатационных свойств машины по *профильной проходимости*.

Покажем это на примере опытного образца. Рассмотрим расчетную схему на рис. 2. Эта схема описывает три характерных практических случая, возникающих в процессе эксплуатации на суше гибридных амфибий с конструкцией подобного типа.

С одной стороны, схема моделирует процесс преодоления препятствия типа "канава" на малых скоростях движения (например, при маневрировании машины в зоне проведения погрузочно-разгрузочных работ). С другой стороны, к этой же расчётной схеме сводится и режим движения по дороге с глубокой колеёй. Наконец, идентичная расчётная модель возникает в том случае, когда гибридная амфибия двигалась на колёсном движителе по топкой поверхности или по глубокому снегу, увязла и села на днище. Отметим здесь, что последний случай является *критическим* для конструкции опытного образца и обязательно должен быть проанализирован в ходе проектирования.

Как видно из приведённой на рис. 2 схемы, во всех трёх случаях повышенные энергетические требования к характеристикам нагнетателя в камере воздушной подушки при прочих равных условиях определяются изменением значения площади зазора $S_И$ в формуле *2*. Новое значение параметра $S_И$ описывается уравнением *4*.

Для практически значимого случая, когда ширина преодолеваемой канавы (колеи) не превышает половину нижнего диаметра сепаратной камеры воздушной подушки, непосредственно из схемы рис. 2 можно получить уравнение *5*.

Подставим теперь уравнение *5* в уравнение *4* и полученное выражение для $S_И$ в формулу *2*. При этом попутно раскроем очевидное соотношение для L_O, выразив его через нижний диаметр конического элемента. Опустив тривиальные промежуточные преобразования, окончательно новую форму уравнения *2* запишем в следующем виде выражения *6*. Оно служит для расчёта требуемых значений объёмного расхода воздуха в камерах воздушной подушки для гибридных амфибий с конструкцией рассматриваемого типа. Оно получено с учётом специфических требований к перспективным амфибиям при движении по суше и базируется на условии необходимости обеспечения набора заданных эксплуатационных свойств машины по профильной проходимости.

Количественная сравнительная оценка введённых изменений

В целях количественной оценки влияния сделанных изменений на результаты расчёта нагнетателей введём в рассмотрение дополнительную вспомогательную величину — *коэффициент увеличения расхода*, K_Q, характеризующий рост объёмного расхода воздуха при удовлетворении требований по профильной проходимости гибридной амфибии на суше. Данный коэффициент вычисляется по формуле *7*. Тогда уравнение *6* можно переписать в более компактной форме *8*.

В качестве примера на рис. 3 показан рассчитанный по формуле *7* график зависимости K_Q от высоты парения *h* для сепаратной камеры боковой секции воздушной подушки опытного образца амфибии. При этом в расчёте были использованы следующие конструктивные параметры машины: D_O = 1,6 м; B = 0,56 м; H = 0,4 м. Как видим, в реальных конструкциях амфибий с многокамерной воздушной подушкой системы Ж. Бертена величины требуемого расхода воздуха (производительности) для сепаратного нагнетателя в режи-

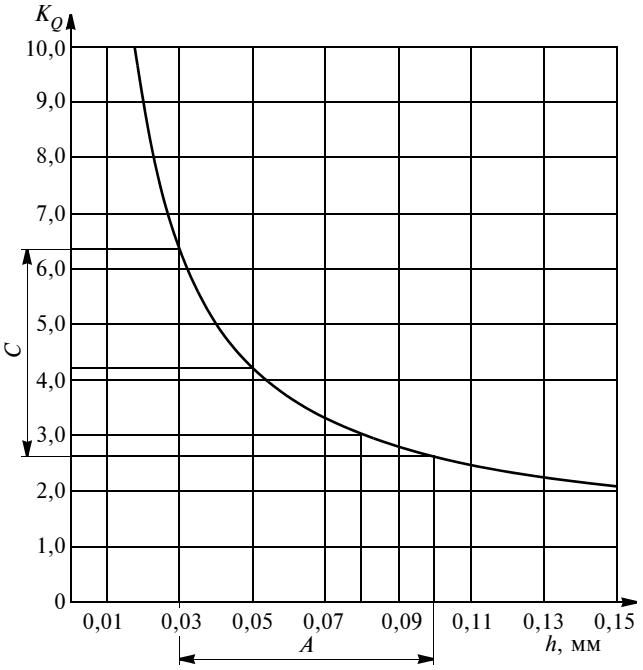


Рис. 3. График зависимости $K_Q = f(h)$ для сепаратной камеры опытного образца:

A — расчётный диапазон высоты парения для традиционных СВП данного класса грузоподъёмности; *C* — интервал степени превышения по требуемым значениям расхода и мощности нагнетателя

мах преодоления препятствий при движении на суше могут кратно — *от 2,5 до 6 и более раз* — превышать значения, рассчитанные по классической методике, применяемой при проектировании традиционных СВП. Очевидно, что аналогичным образом при этом также возрастают и требования по мощности ко всем соответствующим элементам нагнетательного комплекса (см. формулу *3*).

Распространяя полученные результаты на более общий случай, можно заключить, что предложенная инженерная методика расчёта нагнетателей для гибридных амфибий с многокамерной воздушной подушкой системы Ж. Бертена исходя из предъявляемого к машине заданного набора требований по профильной проходимости также может применяться для любых транспортных средств с камерным способом организации воздушной подушки, предназначенных для эксплуатации на твёрдых подстилающих поверхностях (на суше или льду) при наличии характерных препятствий на трассах движения.

Литература

1. Дубин А.Е., Нестеров В.Е. Основы расчёта нагнетательных комплексов для амфибийных транспортных средств на воздушной подушке с многокамерными гибкими ограждениями Ж. Бертена // Автомобильная промышленность. — 2016. — № 10. — С. 19—23.
2. Комиссаров Д.С., Попов С.Д., Савостьянов Г.В. и др. О разработке нетрадиционных амфибийных комплексов для Северных регионов Российской Федерации // Научное обозрение. — М., 2015. — № 1. — С. 42—52.
3. Wong J.Y. Theory of ground vehicles, 4th ed. — New York: John Wiley and Sons, 2008. — 592 p.
4. Будницкий Ю.А. Парящие суда // Катера и яхты. — 1965. — № 4. — С. 7—18.
5. Колызаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания. — Л.: Судостроение, 1980. — 472 с.
6. Стратегия социально-экономического развития Камчатского края до 2025 года (документ утверждён постановлением Правительства Камчатского края от 27.07.2010 № 332-П) // Экспертная сеть по вопросам государственного управления "Госбук". URL: http://gosbook.ru/node/27179 (дата обращения: 27.02.2017).
7. Дубин А.Е., Попов С.Д. Амфибийные транспортные средства с гибридным опорно-ходовым комплексом // Русский инженер-транспортник. — М., 2014, сентябрь. — С. 36—37.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 629.11.42:631.17

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ВАСИДОВ А.Х., д-р техн. наук **БАЗАРОВ Б.И.**, канд. техн. наук **КАЛАУОВ С.А.**
ТАДИ (baxtbb@mail.ru)

Рассмотрены вопросы использования природного газа в качестве моторного топлива для механических транспортных средств Узбекистана, как наиболее рациональное энергоэкологическое техническое решение, и связанных с ними различных проблем, а также ожидаемые перспективные решения.

Ключевые слова: *моторное топливо, механическое транспортное средство, сжатый природный газ, газобаллонные автомобили, колёсные трактора, газобаллонный трактор.*

Vasidov A.H., Bazarov B.I., Kalauov S.A.

THE USE OF NATURAL GAS AS A FUEL FOR MOTOR VEHICLES. PROBLEMS AND PROSPECTS

The problems of the use of natural gas as a fuel for motor vehicles of Uzbekistan as the most energy-efficient environmental solution, and related to various problems, as well as the expected long-term solutions.

Keywords: *motor fuel, motor vehicle, compressed natural gas, gas-cylinder vehicles, wheeled tractor, gas-cylinder tractor.*

Природный газ — наиболее доступное и эффективное на сегодняшний день альтернативное моторное топливо для колёсных транспортных средств — сельскохозяйственных тракторов, автомобильной техники и строительно-дорожных машин, поскольку запасы его достаточно велики, экологические и экономические показатели достаточно высоки, технологии использования хорошо отработаны. Благодаря широкому диапазону пределов воспламеняемости природного газа появляется возможность работы на горючей смеси более бедного состава, что также способствует улучшению эколого-экономических показателей.

Правила № 83 ЕЭК ООН (Приложение 12, п. 2.2.1) допускают пределы изменения (0,71,15) номинальной мощности двигателя на альтернативном топливе — P_e по сравнению с мощностью базового двигателя — $P_e^{Баз}$, но все потребители стремятся получить минимум их равенства при приемлемой стоимости топлива с сохранением основных эксплуатационных показателей КТС, переведённых на питание природным газом. Причём устанавливаемые розничные цены на альтернативные топлива не всегда соответствуют их сравнительным энергетическим составляющим и эксплуатационным особенностям. В связи с этим при переводе машин на питание альтернативными видами моторных топлив следует рассмотреть следующие вопросы.

Предварительная оценка объёмов замещаемых нефтяных моторных топлив и отпускной стоимости используемых альтернативных моторных топлив

Обычно объёмы замещаемых нефтяных моторных топлив устанавливаются по эквивалентным энергетическим соотношениям исходя из значений низшей теплотворной способности базового нефтяного топлива — $H_и^{Баз}$ и альтернативного топлива — $H_и^{Ал}$. Средние значения эквивалентных энергетических соотношений рассматриваемых топлив приводятся в табл. 1 (*ДТ* — дизельное топливо, *СПГ* — сжатый природный газ, *СжПГ* — сжиженный природный газ, *СНГ* — сжиженный нефтяной газ.) Приведённые в ней числовые значения соотношений топлив используются при определении возможных объёмов замещаемых нефтяных топлив, для сравнительной энергоэкологической их оценки, а также при ценовом регулировании альтернативных моторных топлив.

Оценка расходов различных топлив исходя из условий получения максимальной мощности двигателя

Известно, что мощность, развиваемая двигателем внутреннего сгорания, обусловливается не теплотой сгорания топлив, а теплотой сгорания горючей смеси топлива. В данном случае оценка сравнительных энергетических показателей производится на номинальном режиме (из-за того, что двигатели внутреннего сгорания на многих альтернативных топливах практически работают на других составах горючей смеси по сравнению с базовым топливом) путём расчёта теплоты сгорания горючей смеси с помощью известных формул из теории двигателей и использованием соответствующих значений: низшая теплотворная способность соответственно для газообразных и жидких топлив ($H_и^г$, $H_и^ж$ в МДж/м^3, или МДж/кг); количество воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания соответственно для газообразных и жидких топлив ($L_о^г$, $L_о^ж$ в м^3/м^3 или м^3/кг) при $\alpha = 1$; коэффициент избытка воздуха на номинальном режиме двигателя для соответствующих топлив (α) с учётом недогорания топлива.

Таблица 1

№	Эквивалентные энергетические соотношения топлив	Единица измерения	Среднее значение
1	СПГ/бензин	кг/л (м^3/л; кг/кг)	1,54 (1,2; 1,13)
2	СжПГ/бензин	кг/л (л/л; кг/кг)	1,55 (0,65; 1,14)
3	СНГ/бензин	кг/л (л/л; кг/кг)	1,43 (0,79; 1,05)
4	СПГ/ДТ	кг/л (м^3/л; кг/кг)	1,34 (1,04; 1,16)
5	СжПГ/ДТ	кг/л (л/л; кг/кг)	1,35 (0,57; 1,18)
6	СНГ/ДТ	кг/л (л/л; кг/кг)	1,24 (0,68; 1,08)

Таблица 2

№	Топливо	Теплотворная способность, МДж/кг; МДж/л (МДж/м^3)	Плотность, кг/л (кг/м^3)	Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания топлива			Теплота сгорания горючей смеси, МДж/м^3	
				кг/кг	м^3/кг	м^3/л (м^3/м^3)	$\alpha = 1$	α_{Ne}
1	Бензин	44; 32,12	0,73	14,8	19,1	13,94	2,3	2,6
2	ДТ	42,5; 35,3	0,83	14,4	18,6	15,5	2,28	1,63
3	СПГ	49,5; (38,6)	(0,78)	17,2	22,2	(9,5)	2,2	2,0
4	СНГ	46; 25,3	0,55	15,6	20,2	11,1	2,27	2,16
5	СжПГ	50; 21	0,42	17,0	21,9	9,2	2,28	2,08

Таблица 3

№	Эквивалентные энергетические соотношения горючих смесей для различных топлив	Единица измерения	Среднее значение		
			при $\alpha = 1$	при α_{Ne}	соотношение
1	СПГ/бензин	МДж/м^3/ МДж/м^3	0,96	0,77	0,80
2	СжПГ/бензин	МДж/м^3/ МДж/м^3	0,99	0,83	0,83
3	СНГ/бензин	МДж/м^3/ МДж/м^3	0,99	0,8	0,80
4	СПГ/ДТ	МДж/м^3/ МДж/м^3	0,96	1,14	1,19
5	СжПГ/ДТ	МДж/м^3/ МДж/м^3	1,0	1,18	1,18
6	СНГ/ДТ	МДж/м^3/ МДж/м^3	0,99	1,23	1,24

В табл. 2 приводятся результаты проведённых расчётов, а в табл. 3 — эквивалентные энергетические соотношения различных топлив, установленные по значениям теплоты сгорания горючей смеси на номинальном режиме.

Оценка относительных расходов топлив в условиях эксплуатации

В процессе проведённых исследований установлено, что оценка сравнительных расходов базового (нефтяного) и альтернативного топлив, в частности сжатого природного газа, может являться обоснованной информацией для установления энергозатрат при выполнении идентичных полезных работ. Кроме этого, эти данные послужат необходимой информацией при подборе суммарной ёмкости устанавливаемых газовых баллонов.

В ходе проведённых сравнительных — на дизельном топливе и СПГ — эксплуатационных исследований автобусов "Хёндэ" (газовый двигатель C6AB), "Исудзу" (двигатель 4HF1), "Дэу" (газовый двигатель GE12TI), а также тракторов ТТЗ-80 (двигатель Д-243) и "Нью Холланд" (двигатель FRT) установлено, что расход сжатого природного газа во многом зависит от ряда факторов. Это: режим эксплуатации (движение при высотных условиях либо с частыми остановками); поколение установленного подкапотного газобаллонного оборудования; управление газовоздушной смесью двигателей с наддувом; профессиональный уровень водителя (оператора); соблюдение режима заправки и обеспечение требований к качеству СПГ; холостые пробеги, связанные с заправкой газом; наличие передвижных заправочных средств.

Сравнительные эксплуатационные расходы топлив различными транспортными средствами приведены в

Таблица 4

Транспортное средство	Режим эксплуатации (работы)	Эксплуатационный расход топлива		
		ДТ, л/100 км (л/га)	СПГ, $м^3$/100 км ($м^3$/га)	Соотношение СПГ/ДТ
Автобус "Хёндэ" "Аэро Сити 540" (двигатель C6AB)	Городское маршрутное движение	44,33	44,0	0,99
	Служебные перевозки	29,2	29,8	1,02
Автобус "Исудзу" (двигатель 4HF1)	Пригородные пассажирские перевозки (равнинная местность)	17	18	1,05
	Городское маршрутное движение	20	22	1,10
	Пригородные пассажирские перевозки (предгорная и горная местность)	20,9	22,5	1,08
Трактор "Нью Холланд" TS 6070 (двигатель FRT)	Пахота	(25)	(29,7)	1,19
	Глубокое рыхление	(21,7)	(25,6)	1,18

табл. 4. Как видим, соотношение эксплуатационных расходов дизельного топлива и сжатого природного газа при различных условиях эксплуатации составляет от 1,0 до 1,19. С точки зрения снижения холостых пробегов, связанных с заправкой, и увеличения пробега транспортного средства на одной заправке наиболее предпочтительным альтернативным топливом является сжиженный природный газ.

Литература

1. Базаров Б.И., Калауов С.А., Васидов А.Х. Альтернативные моторные топлива. — Ташкент: SHAMS ASA, 2014. — 189 с.
2. Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили. Конструкция, расчёт и диагностика. — М.: Горячая линия, 2006. — 432 с.
3. Using LNG as a fuel in heavy-Duty Tractors. NREL, 1999. — p. 11.
4. Базаров Б.И. Работа поршневых двигателей на альтернативных видах топлива. — Ташкент: ТАДИ, 2001. — 138 с.

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 629.113

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПРОФИЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДОРОГ

Кандидаты техн. наук **ЧАБУНИН И.С.**, **ЩЕРБАКОВ В.И.**
Военный институт (общевойсковой)
ВУНЦ СВ "ОВА ВС РФ"
Московский политехнический университет (МАМИ)

Представлено решение задачи математического моделирования микропрофиля специальных дорог методом формирующего фильтра. Получены дифференциальные уравнения для бельгийской мостовой, булыжной профилированной и булыжной ровного замощения дорог, необходимые для практической реализации моделирования. Адекватность полученных уравнений проверена сопоставлением графика корреляционной функции, построенного по смоделированному микропрофилю, и графика исходной корреляционной функции.

Ключевые слова: *микропрофиль дорожной поверхности, специальные дороги, математическое моделирование, случайный процесс, корреляционная функция, спектральная плотность, формирующий фильтр.*

Chabunin I.S., Shcherbakov V.I.

SIMULATION OF MICROPROFILE OF SPECIAL ROADS SURFACE

The article describes the solution of the problem of mathematical simulation of random microprofile of special roads surface by the method of the forming filter. Formulated differential equations for Belgian pavement, cobblestones and cobblestone shaped smooth tiling of roads necessary for the practical implementation of the simulation. he differential equations for the Belgian pave, cobblestone pavement of even- and stones-profile surface, necessary for practical implementation of modeling are received. Validity of the received equations verified by comparison the graph of correlation function constructed by the simulated microprofile road surface and graph of initial correlation function.

Keywords: *microprofile of road surface, special roads,mathematical modeling, random process, correlation function, spectral density, shaping filter.*

Любое транспортное средство при его движении подвергается вибрациям. В общем случае они происходят от различных источников: неровностей дороги, вибрации и колебаний двигателя, агрегатов и узлов трансмиссии, колёс. При условии нормальной работы всех агрегатов доминирующее влияние имеет кинематическое воздействие на колёса со стороны микропрофиля дорожной поверхности. Поэтому при исследовании колебательных процессов в мобильной машине широко применяют численные методы решения дифференциальных уравнений движения. При необходимости использовании сложной системы, с учётом нелинейных характеристик её упругих и демпфирующих элементов, численное решение, пожалуй, является единственно возможным. Однако для их эффективного использования и получения результатов, адекватных

Таблица 1

№	Формула	Примечания
1	$R_q(x_s) = \sigma_q^2\, e^{-\alpha_1 \lvert x_s \rvert}$	$\sigma_q^2 = R_q(0)$ — дисперсия; A_1, A_2 — весовые коэффициенты; α_i — параметры, характеризующие быстроту затухания корреляционной связи ординат микропрофиля; β_i — параметры, характеризующие гармоническую составляющую микропрофиля; x_s — интервал корреляции
2	$R_q(x_s) = \sigma_q^2\, e^{-\alpha_2 \lvert x_s \rvert} \cos\beta_1 x_s$	
3	$R_q(x_s) = \sigma_q^2 (A_1 e^{-\alpha_3 \lvert x_s \rvert} + A_2 e^{-\alpha_4 \lvert x_s \rvert} \cos\beta_2 x_s)$	
4	$S_q(\theta) = \sigma_q^2 \frac{1}{\pi} \frac{\alpha_1}{\alpha_1^2 + \theta^2}$	θ — путевая частота, м$^{-1}$ ($\theta = 2\pi/l$, l — длина волны гармонической составляющей поверхности дороги)
5	$S_q(\theta) = \sigma_q^2 \frac{\alpha_2}{\pi} \frac{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + \theta^2}{(\theta^2 - \alpha_2^2 - \beta_1^2) + 4\alpha_2^2\theta^2}$	
6	$S_q(\theta) = \sigma_q^2 \frac{1}{\pi} \left(A_1 \frac{\alpha_3}{\alpha_3^2 + \theta^2} + A_2\alpha_4 \frac{\alpha_4^2 + \beta_2^2 + \theta^2}{(\theta^2 - \alpha_4^2 - \beta_2^2)^2 + 4\alpha_4^2\theta^2} \right)$	
7	$\tilde{S}_q(\theta) = 2S_q(\theta)$	—
8	$R_q(x) = \sigma_q^2 (A_3 e^{-\alpha_5 \lvert x \rvert} + A_4 e^{-\alpha_6 \lvert x \rvert} \cos\beta_3 x + A_5 e^{-\alpha_7 \lvert x \rvert} \cos\beta_4 x)$	—
9	$\tilde{S}_q(\theta) = \frac{2}{\pi} \left(A_3 \frac{\alpha_5}{\alpha_5^2 + \theta^2} + A_4\alpha_6 \frac{\alpha_6^2 + \beta_3^2 + \theta^2}{(\theta^2 - \alpha_6^2 - \beta_3^2)^2 + 4\alpha_6^2\theta^2} + A_5\alpha_7 \frac{\alpha_7^2 + \beta_4^2 + \theta^2}{(\theta^2 - \alpha_7^2 - \beta_4^2)^2 + 4\alpha_7^2\theta^2} \right)$	—
10	$L_1\{q(t)\} = L_2(q_0(t)\}$	—
11	$L_1 = a_0 \frac{d^n}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} + \ldots + a_{n-1} \frac{d}{dt} + a_n$	(m, $n \geq 0$; $m \leq n - 1$)
12	$L_2 = b_0 \frac{d^m}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} + \ldots + b_{m-1} \frac{d}{dt} + b_m$	
13	$\tilde{S}_q(\omega) = \frac{\lvert b_0(i\omega)^m + b_1(i\omega)^{m-1} + \ldots + b_{m-1}(i\omega) + b_m \rvert^2}{\lvert a_0(i\omega)^n + a_1(i\omega)^{n-1} + \ldots + a_{n-1}(i\omega) + a_n \rvert^2} \tilde{S}_0(\omega)$	—
14	$\frac{\lvert b_0(i\omega)^m + b_1(i\omega)^{m-1} + \ldots + b_{m-1}(i\omega) + b_m \rvert^2}{\lvert a_0(i\omega)^n + a_1(i\omega)^{n-1} + \ldots + a_{n-1}(i\omega) + a_n \rvert^2} \tilde{S}_0(\omega) = \frac{2}{\pi} \left(A_3 \frac{\alpha_5}{\alpha_5^2 + \theta^2} + A_4\alpha_6 \frac{\alpha_6^2 + \beta_3^2 + \theta^2}{(\theta^2 - \alpha_6^2 - \beta_3^2)^2 + 4\alpha_6^2\theta^2} + A_5\alpha_7 \frac{\alpha_7^2 + \beta_4^2 + \theta^2}{(\theta^2 - \alpha_7^2 - \beta_4^2)^2 + 4\alpha_7^2\theta^2} \right)$	—
15	$\lvert b_0(i\omega)^m + b_1(i\omega)^{m-1} + \ldots + b_{m-1}(i\omega) + b_m \rvert^2 = 1{,}239\omega^8 - 12{,}53036\omega^6 + 32{,}38876\omega^4 - 2{,}64813\omega^2 + 0{,}18581$	—
16	$\begin{cases} b_1^2 - 2b_0b_2 = -12{,}53036; \\ b_2^2 - 2b_1b_3 + 2b_0b_4 = 32{,}38876; \\ b_3^2 - 2b_2b_4 = -2{,}64813. \end{cases}$	—
17	$\lvert a_0(i\omega)^n + a_1(i\omega)^{n-1} + \ldots + a_{n-1}(i\omega) + a_n \rvert^2 = \omega^{10} - 9{,}53509\omega^8 + 19{,}92392\omega^6 + 14{,}18679\omega^4 - 1{,}62748\omega^2 + 7{,}75346 \cdot 10^{-2}$	—
18	$\begin{cases} a_1^2 - 2a_0a_2 = -9{,}53509; \\ a_2^2 - 2a_1a_3 + 2a_0a_4 = 19{,}92392; \\ a_3^2 - 2a_2a_4 + 2a_1a_5 = 14{,}18679; \\ a_4^2 - 2a_3a_5 = -1{,}62748 \end{cases}$	—
19	$L_1 = a_0 q^V + a_1 q^{IV} + a_2 \ddot{q} + a_3 \ddot{q} + a_4 \ddot{q} + a_5 q$	—

Окончание табл. 1

№	Формула	Примечания
20	$L_2 = b_0 q_0^{IV} + b_1 \ddot{q}_0 + b_2 \ddot{q}_0 + b_3 \ddot{q}_0 + b_4 q_0$	—
21	$a_0 q^V + a_1 q^{IV} + a_2 \ddot{q} + a_3 \ddot{q} + a_4 \ddot{q} + a_5 q = b_0 q_0^{IV} + b_1 \ddot{q}_0 + b_2 \ddot{q}_0 + b_3 \ddot{q}_0 + b_4 q_0$	—
22	$\begin{cases} \dot{q} = q_1 + \frac{b_0}{a_0} q_0; \\ \dot{q}_1 = q_4 + c_1 q_0; \\ \dot{q}_2 = -\frac{a_1}{a_0} q_2 - \frac{a_2}{a_0} q_3 - \frac{a_3}{a_0} q_4 - \frac{a_4}{a_0} q_1 - \frac{a_5}{a_0} q + c_4 q_0; \\ \dot{q}_3 = q_2 + \left(c_3 - \frac{a_2}{a_0} c_1\right) q_0; \\ \dot{q}_4 = q_3 + c_2 q_0 \end{cases}$	$c_1 = \frac{b_1}{a_0} - \frac{a_1 b_0}{a_0^2}$; $c_2 = \frac{b_2}{a_0} - \frac{a_2 b_0}{a_0^2} - \frac{a_1}{a_0} c_1$; $c_3 = \frac{b_3}{a_0} - \frac{a_3 b_0}{a_0^2} - \frac{a_1}{a_0} c_2$; $c_1 = \left(\frac{a_1 a_2}{a_0^2} - \frac{a_3}{a_0}\right) c_1 - \frac{a_2}{a_0} c_2 - \frac{a_1}{a_0} c_3 + \frac{b_4}{a_0} - \frac{a_4 b_0}{a_0^2}$
23	$\lvert b_0(i\omega)^m + b_1(i\omega)^{m-1} + \ldots + b_{m-1}(i\omega) + b_m \rvert^2 = 0{,}8896\omega^8 - 2{,}77008\omega^6 + 3{,}32091\omega^4 - 1{,}7284\omega^2 + 0{,}34705$	—
24	$\begin{cases} b_1^2 - 2b_0 b_2 = -2{,}77008; \\ b_2^2 - 2b_1 b_3 + 2b_0 b_4 = 3{,}32091; \\ b_3^2 - 2b_2 b_4 = -1{,}7284 \end{cases}$	—
25	$\lvert a_0(i\omega)^n + a_1(i\omega)^{n-1} + \ldots + a_{n-1}(i\omega) + a_n \rvert^2 = \omega^{10} - 2{,}23916\omega^8 + 2{,}10078\omega^6 - 0{,}61209\omega^4 - 0{,}2308\omega^2 + 0{,}12043$	—
26	$\begin{cases} a_1^2 - 2a_0 a_2 = -2{,}23916; \\ a_2^2 - 2a_1 a_3 + 2a_0 a_4 = 2{,}10078; \\ a_3^2 - 2a_2 a_4 + 2a_1 a_5 = -0{,}61209; \\ a_4^2 - 2a_3 a_5 = -0{,}2308 \end{cases}$	—
27	$\lvert b_0(i\omega)^m + b_1(i\omega)^{m-1} + \ldots + b_{m-1}(i\omega) + b_m \rvert^2 = 0{,}662\omega^8 - 0{,}7114\omega^6 + 0{,}97669\omega^4 - 0{,}29635\omega^2 + 3{,}97435 \cdot 10^{-2}$	—
28	$\begin{cases} b_1^2 - 2b_0 b_2 = -0{,}71114; \\ b_2^2 - 2b_1 b_3 + 2b_0 b_4 = 0{,}97669; \\ b_3^2 - 2b_2 b_4 = -0{,}29635 \end{cases}$	—
29	$\lvert a_0(i\omega)^n + a_1(i\omega)^{n-1} + \ldots + a_{n-1}(i\omega) + a_n \rvert^2 = \omega^{10} - 1{,}92145\omega^8 + 0{,}85031\omega^6 + 0{,}81859\omega^4 - 0{,}37486\omega^2 + 4{,}0096 \cdot 10^{-2}$	—
30	$\begin{cases} a_1^2 - 2a_0 a_2 = -1{,}92145; \\ a_2^2 - 2a_1 a_3 + 2a_0 a_4 = 0{,}85031; \\ a_3^2 - 2a_2 a_4 + 2a_1 a_5 = 0{,}81859; \\ a_4^2 - 2a_3 a_5 = -0{,}37486 \end{cases}$	—

Таблица 2

Дорожная поверхность	σ_q, м	A_1	A_2	$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$, м$^{-1}$	α_4, м$^{-1}$	$\beta_1 = \beta_2$, м$^{-1}$
Цементобетонное	0,005—0,012	1	0	0,15	0	0
Асфальтированное	0,008—0,012	0,85	0,15	0,20	0,05	0,60
Ровное булыжное	0,013—0,022	1	0	0,45	0	0
Разбитое булыжное	0,025—0,033	0	1	0	0,10	0,238
Изношенное бетонное	0,013—0,025	0,85	0,15	0,50	0,20	2,0
Разбитая грунтовая дорога	0,100—0,140	0,55	0,45	0,085	0,08	0,235

полученным при движении по реальным дорогам, необходимо располагать массивом ординат микропрофиля, а не просто соответствующими корреляционными функциями или выражениями спектральных плотностей.

В подавляющем большинстве работ, посвящённых исследованию колебаний транспортных средств, рассматривается соответствующая плоская модель, т.е. исследуются колебания только в его продольной плоскости. В таких случаях для описания микропрофиля дорожной поверхности используется теория одномерных случайных процессов. При этом микропрофиль представляется случайным центрированным процессом с нормальным законом распределения вероятностей высот неровностей, обладающим свойствами стационарности и эргодичности.

Представим поверхность дороги как случайную функцию только одного переменного x, тогда её статистической характеристикой будет корреляционная функция микропрофиля сечения вдоль дороги. Полученную по экспериментальным данным корреляционную функцию для расчётов обычно аппроксимируют соответствующим аналитическим выражением.

Для характеристики случайного микропрофиля дорог наиболее часто используют выражения корреляционных функций № 1—3 (табл. 1). Соответствующие им выражения для спектральных плотностей имеют вид № 4—6.

Числовые значения наиболее часто используемых параметров вышеприведённых корреляционных функций микропрофилей ряда дорог представлены в табл. 2 [1]. В литературе есть информация и по другим числовым значениям параметров дорог.

В технических приложениях спектральные плотности определяются только для положительных частот. Для их обозначения введём волнистую черту сверху. Тогда соответствующие выражения связаны по формуле № 7.

Соответствующий выражению спектральных плотностей массив ординат микропрофиля дорожной поверхности можно получить с помощью методов численного моделирования, которые подразделяются на точные (рекуррентные алгоритмы типа авторегрессии — скользящее среднее) и приближённые (метод формирующего фильтра, скользящего суммирования, канонических и неканонических представлений) [2]. Моделированию микропрофилей по выражениям № 4—6 посвящены многие работы, в частности [1, 3—9].

Однако имеющиеся в литературе методы моделирования не охватывают так называемые специальные дороги, широко используемые при проведении испытаний транспортных средств. В [5] приведена информация по микропрофилям трёх специальных дорог, а именно, бельгийской мостовой, булыжной профилированной и булыжной ровного замощения дорог. Математическое описание моделей корреляционных функций для всех трёх дорог имеет вид № 8. Числовые значения соответствующих параметров представлены в табл. 3.

Для упрощения перейдём к выражениям нормируемых корреляционных функций, отличающихся от выражения № 8 единичной дисперсией σ_q^2. Соответствующее выражение спектральных плотностей для положительных частот будет иметь вид № 9. Получим дифференциальные уравнения формирующего фильтра для компьютерного моделирования случайного микропрофиля, описываемого выражением спектральной плотности, состоящим из трёх слагаемых. Формирующим фильтром называют динамическую систему, преобразующую случайный процесс $q_0(t)$ вида белого шума в случайный процесс $q(t)$ с заданными статистическими характеристиками [2].

Для решения поставленной задачи рассмотрим систему, описываемую уравнением № 10 [10—12], где линейные дифференциальные операторы L_1 и L_2 определяются соотношениями № 11 и № 12. Спектральные плотности процессов $q(t)$ и $q_0(t)$ связаны соотношением № 13. Из него следует, что поставленная задача может быть решена соответствующим подбором коэффициентов a_i и b_j ($i = 0, 1, ..., n$; $j = 0, 1, ..., m$). Приравниваем правые части формул № 13 и № 9 с заменой θ на ω. В итоге получим выражение № 14.

Для белого шума $\tilde{S}_0(\omega) = 1/\pi$. Ввиду чрезвычайной громоздкости последующих выражений, перейдём к конкретным численным значениям. Для этого подставим в выражение № 14 значения параметров из табл. 3, например, для бельгийской мостовой. После преобразований получим выражение № 15 для числителей. Отсюда $m = 4$; $b_0 = \sqrt{1{,}239} = 1{,}1131$; $b_4 = \sqrt{0{,}18581} = 0{,}43106$. Для определения коэффициентов b_1, b_2, b_3 нужно решить систему уравнений № 16. В итоге $b_1 = 0{,}49417$; $b_2 = 5{,}73827$; $b_3 = 1{,}51623$.

Аналогично для знаменателей составляем выражение № 17. Отсюда $n = 5$; $a_0 = 1$; $a_5 = \sqrt{7{,}75346 \cdot 10^{-2}} = 0{,}27845$. Для определения коэффициентов a_1, a_2, a_3, a_4 нужно решить систему уравнений № 18. В итоге $a_1 = 1{,}04$; $a_2 = 5{,}30835$; $a_3 = 5{,}00378$; $a_4 = 1{,}07663$.

Согласно формулам № 11 и № 12, получаем выражения № 19 и № 20. Тогда уравнение № 10 примет вид № 21. Получили дифференциальное уравнение пятого порядка, из которого составляем систему диф-

Таблица 3

Испытательная дорога	Дисперсия ординат микропрофиля σ_q^2, мм^2	Параметры аналитической аппроксимации нормированной корреляционной функции							
		A_3	A_4	A_5	α_5, м$^{-1}$	α_6, м$^{-1}$	α_7, м$^{-1}$	β_3, м$^{-1}$	β_4, м$^{-1}$
Бельгийская мостовая	850	0,75	0,2	0,05	0,8	0,09	0,03	0,247	2,244
Булыжная профилированная	570	0,89	0,37	−0,26	0,59	0,05	0,38	0,766	0,924
Булыжная ровного замощения	258	0,25	0,35	0,4	0,79	0,05	0,29	0,449	1,076

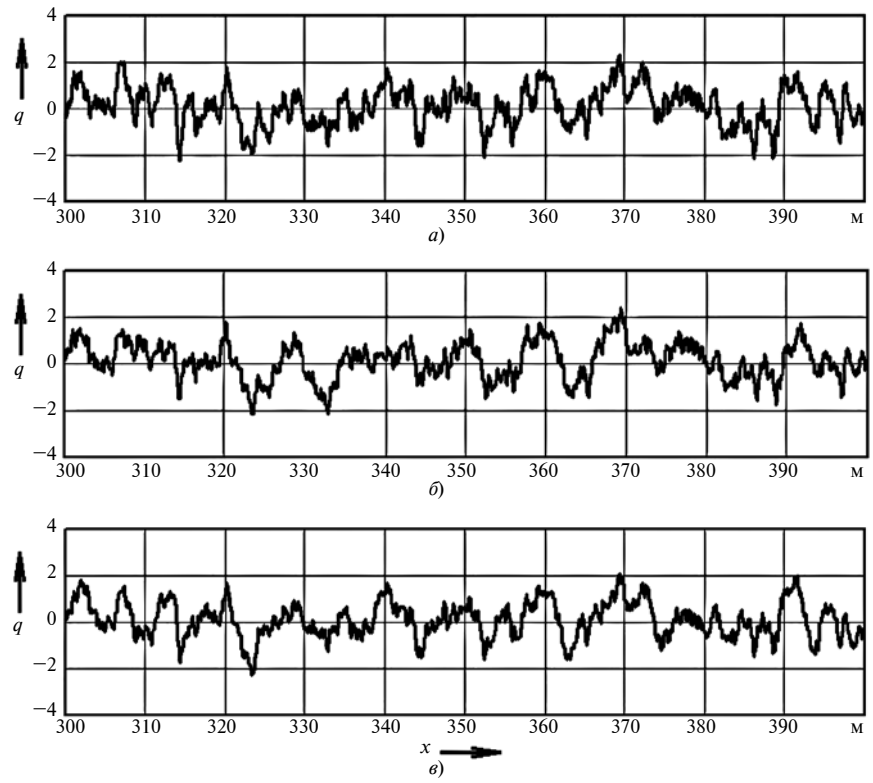


Рис. 1. Смоделированные микропрофили:

а — бельгийская мостовая; *б* — булыжная профилированная дорога; *в* — булыжная дорога ровного замощения

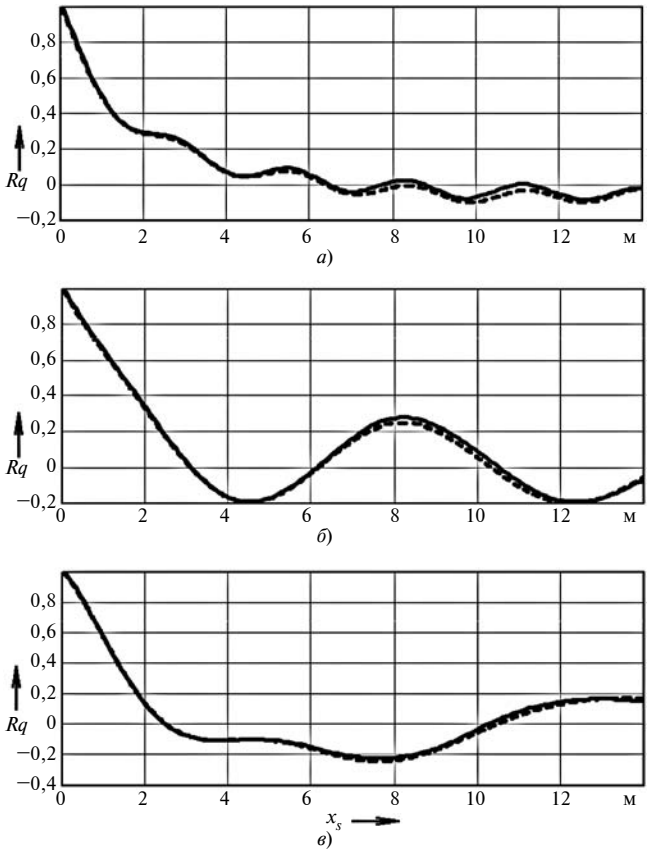


Рис. 2. Графики корреляционных функций:

а — бельгийская мостовая; *б* — булыжная профилированная дорога; *в* — булыжная дорога ровного замощения

ференциальных уравнений первого порядка № 22, — уравнений формирующего фильтра.

Построенный с помощью уравнений № 22 микропрофиль бельгийской мостовой при единичной дисперсии изображён на рис. 1, *а*. Для сравнения на рис. 2, *а* представлен график корреляционной функции, построенный по смоделированному микропрофилю (сплошная линия) и график исходной нормированной корреляционной функции (штриховая линия). Как видно из полученных результатов, графики практически совпадают друг с другом, что подтверждает адекватность разработанного метода моделирования.

Теперь рассмотрим булыжную профилированную дорогу. Подставляем в формулу № 14 значения соответствующих параметров из табл. 3. Так как для белого шума $\tilde{S}_0(\omega) = 1/\pi$, то после преобразований получим выражение № 23 для числителей. Отсюда $m = 4$; $b_0 = \sqrt{0{,}8896} = 0{,}94319$; $b_4 = \sqrt{0{,}34705} = 0{,}58911$. Для определения коэффициентов b_1, b_2, b_3 нужно решить систему уравнений № 24. В итоге $b_1 = 0{,}69886$; $b_2 = 1{,}72738$; $b_3 = 0{,}55391$.

Аналогично для знаменателей составляем выражение № 25. Отсюда $n = 5$; $a_0 = 1$; $a_5 = \sqrt{0{,}12043} = 0{,}34703$. Для определения коэффициентов a_1, a_2, a_3, a_4 решаем систему уравнений № 26. В итоге $a_1 = 1{,}45$; $a_2 = 2{,}17083$; $a_3 = 1{,}52908$; $a_4 = 0{,}9113$.

С учётом найденных коэффициентов a_i и b_j по уравнениям № 22 моделируем соответствующий микропрофиль. Он изображён на рис. 1, *б*. На рис. 2, *б* представлен график корреляционной функции, построенный по смоделированному микропрофилю (сплошная линия) и график исходной нормированной корреляционной функции (штриховая линия).

Переходим к булыжной дороге ровного замощения. Подставляем в формулу № 14 значения соответствующих параметров из табл. 3. Поскольку для белого шума $\tilde{S}_0(\omega) = 1/\pi$, то после преобразований получим выражение № 27 для числителей. Отсюда $m = 4$; $b_0 = \sqrt{0{,}662} = 0{,}81363$; $b_4 = \sqrt{3{,}97435 \cdot 10^{-2}} = 0{,}19936$.

Для определения коэффициентов b_1, b_2, b_3 нужно решить систему уравнений № 28. В итоге $b_1 = 1{,}2365$; $b_2 = 1{,}37658$; $b_3 = 0{,}50251$.

Аналогично для знаменателей составляем выражение № 29. Отсюда $n = 5$; $a_0 = 1$; $a_5 = \sqrt{4{,}0096 \cdot 10^{-2}} = 0{,}20024$. Для определения коэффициентов a_1, a_2, a_3, a_4 решаем систему уравнений № 30.

С учётом найденных коэффициентов a_i и b_j по уравнениям № 22 моделируем соответствующий микропрофиль. Он изображён на рис. 1, *в*. На рис. 2, *в*

представлен график корреляционной функции, построенный по смоделированному микропрофилю (сплошная линия) и график исходной нормированной корреляционной функции (штриховая линия).

Как видно из полученных результатов, графики на рис. 2 практически совпадают друг с другом, что подтверждает адекватность разработанного метода моделирования реальному микропрофилю, а следовательно, и правомерности использования полученных уравнений для формирования исходных данных кинематических воздействий при решении различных задач статистической динамики мобильных машин.

Литература

1. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: учебник для вузов / В.П. Тарасик. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с.
2. Шалыгин А.С. Прикладные методы статистического моделирования. / А.С. Шалыгин, Ю.И. Палагин. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1986. — 320 с.
3. Белецкий А.В., Рекунов С.С. Математическое и имитационное моделирование профиля дорожного покрытия. Интернет-журнал "Науковедение". 2014. № 5 (24). С. 55.
4. Моделирование микропрофиля дорожной неровности: Учебное пособие / В.П. Зюзликов, Б.Е. Синильщиков, В.Б. Синильщиков, С.М. Дудин; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2007. 28 с.
5. Рыков С.П. Основы теории и методы оценки поглощающей и сглаживающей способности пневматической шины для расчётов подвески, колебаний и плавности хода автомобиля: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2005. — 430 с.
6. Рыков С.П., Бекирова Р.С., Жук Д.Ю. Математическое моделирование случайного микропрофиля автомобильных дорог. Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2007. Т. 2. С. 150—157.
7. Рыков С.П., Бекирова Р.С., Коваль В.С. Моделирование случайного микропрофиля автомобильных дорог. Системы, методы, технологии. 2010. № 8. С. 33—37.
8. Чабунин И.С. Моделирование случайного микропрофиля дорожной поверхности методом формирующего фильтра // Извести МГТУ "МАМИ". 2013. № 1 (15). Т. 1. С. 218—225.
9. Чабунин И.С., Щербаков В.И. Применение метода спектральных представлений для решения задач статистической динамики автомобиля // Журнал Автомобильных инженеров, 2013. № 4 (81). С. 28—32.
10. Гусев А.С. Вероятностные методы в механике машин и конструкций. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 223 с.
11. Надёжность механических систем и конструкций при случайных воздействиях / А.С. Гусев, А.Л. Карунин, Н.А. Крамской, С.А. Стародубцева. Под ред. А.Л. Карунина. — МГТУ "МАМИ", 2001. — 284 с.
12. Щербаков В.И., Чабунин И.С. Избранные задачи по динамике механических систем и конструкций: Учебное пособие. 3-е издание, испр. и доп. — М.: МГТУ "МАМИ", 2011. — 289 с.

ИНФОРМАЦИЯ

Коротко о разном

Группа "CNH-Индастриал", в состав которой входит фирма ИВЕКО, подвела итоги деятельности бренда на российском рынке в 2016 году, поделилась планами и прогнозами развития на 2017-й год.

Финансовые показатели группы в мире, в том числе и для сегмента коммерческого транспорта таковы: выручка увеличилась с $9,542 млрд в 2015 году до $9,553 млрд в 2016-м, а операционная прибыль — с $283 млн до $333 млн соответственно. На российском рынке грузовых автомобилей отмечен положительный тренд, который стал возможен благодаря общей стабилизации экономики. В 2017 г. прогнозируется рост рынка ~10 %. А к 2020-му ожидают восстановления спроса на уровне 2014 г.

Особое внимание уделяется локализации производства. Так, завод в Набережных Челнах, где производится сельскохозяйственное оборудование, уже выполняет 10 из 15 необходимых индустриальных операций согласно постановлению Правительства РФ № 719, и в 2017 году данный список будет расширен. На совместном предприятии ИВЕКО-АМТ планируется наладить выпуск тяжёлой гаммы "ИВЕКО Астра", адаптированной для российских условий эксплуатации.

Доля ИВЕКО на рынке (в секторе автомобилей от 3,5 т) составляет 1,6 % (1611 единиц техники), в сегменте автобусов (свыше 6 т) — 6 % (644 ед.). Планируется сохранить долю на этом же уровне и в текущем году. Однако вполне возможно прогнозы будут пересмотрены, так как за первые два месяца 2017 г. рост рынка в актуальных сегментах составил около 35 %.

В ближайших планах компании — развитие и реформатирование дилерской сети. Так, в марте с.г. был открыт первый центр в новом формате — СИАС. На третий квартал 2017 года запланирован запуск в России программы "ОК Тракс", основная концепция которой заключается в предложении клиентам широкой линейки подержанных автомобилей, сертифицированных по стандартам качества ИВЕКО.

В начале лета компания представит обновлённую версию "ИВЕКО Дейли", новый "ИВЕКО Карго", а также новый "ИВЕКО Стралис NP", работающий на природном газе. При этом делается упор на такой важный показатель, как стоимость владения автомобилем. Сравнение "ИВЕКО Дейли" с аналогом фирмы-конкурента по цене машины, стоимости обслуживания и расходам на топливо показало, что для "Дейли" совокупная стоимость владения на 15—16 % ниже.

Корпорация "CNH-Индастриал" также сообщила о существенном улучшении сервиса по поставке запасных частей. Так, площадь распределительного центра в Подмосковье с постоянным наличием номенклатуры запасных частей более 30 тыс. артикулов увеличена на 1000 м^2. Теперь в более чем 91 % случаев при обращении клиентов запасные части и компоненты оказываются уже в наличии на центральном складе, а в любой уголок России, включая Дальний Восток и Крайний Север, их могут доставить в течение 24 часов.

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Козловский В.Н., Айдаров Д.В. — Разработка и реализация методики определения тревожных сигналов при проведении мониторинга качества автомобилей в эксплуатации 1

АСМ-факты 5

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Черняк Р.Е., Дунь С.В., Павленко А.В. — Повышение эксплуатационных характеристик автомобилей-самосвалов КрАЗ 6

Трембовельский Л.Г., Грифф М.И. — К выбору шасси-носителя при проектировании специализированного автотранспортного средства 13

Белоусов Б.Н., Гладов Г.И., Харитончик С.В., Острецов А.В., Шмелёв А.В., Петухов А.В. — Принципы построения системы автоматического управления движением автомобиля 15

Дубин А.Е., Нестеров В.Е. — Перспективные гибридные амфибии на воздушной подушке для Арктики. Особенности практического расчёта нагнетательного комплекса 28

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Васидов А.Х., Базаров Б.И., Калауов С.А. — Использование природного газа в качестве моторного топлива для механических транспортных средств. Проблемы и перспективы 32

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Чабунин И.С., Щербаков В.И. — Моделирование микропрофиля специальных дорог 34

ИНФОРМАЦИЯ

Коротко о разном 39

Главный редактор Н. А. ПУГИН

Зам. главного редактора Р.В. Козырев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Балабин И.В. — *д-р техн. наук, профессор Университета машиностроения (МАМИ)*
Бахмутов С.В. — *д-р техн. наук, зам. директора по научной работе ГНЦ "НАМИ"*
Гируцкий О.И. — *д-р техн. наук, профессор, зам. председателя Экспертного совета НАМИ*
Гладков В.И. — *канд. техн. наук, зам. генерального директора по научной работе ОАО "НИИТавтопром"*
Ковригин А.С. — *зам. генерального директора ОАО "АСМ-холдинг"*
Комаров В.В. — *канд. техн. наук, зам. генерального директора ОАО "НИИАТ" по научной работе*
Коровкин И.А. — *исполнительный директор НП "ОАР"*
Котиев Г.О. — *д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана*
Круглов С.М. — *зам. генерального директора ОАО "НИИТавтопром"*
Ксеневич Т.И. — *канд. физ.-мат. наук, МГТУ имени Н.Э. Баумана, НИЦ "Русаен"*
Мамити Г.И. — *д-р техн. наук, профессор Горского Агроуниверситета (Владикавказ)*
Марков В.А. — *д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана*
Николаенко А.В. — *д-р экон. наук, ректор Университета машиностроения (МАМИ)*
Сорокин Н.Т. — *д-р экон. наук, директор ФГБНУ ВНИМС ФАНО России*
Тер-Мкртичьян Г.Г. — *д-р техн. наук, ГНЦ "НАМИ"*
Титков А.И. — *канд. техн. наук, эксперт аналитического центра ОАО "АСМ-холдинг"*
Топалиди В.А. — *канд. техн. наук, ТАДИ*
Филимонов В.Н. — *ответственный секретарь "АП"*
Чернов А.В. — *зам. директора по научной работе НИИАЭ*

Белорусский редакционный совет:

Альгин В.Б. — *д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ОИМ НАН Беларуси*
Егоров А.Н. — *генеральный конструктор — начальник НТЦ ПО "БелАЗ"*
Захарик А.М. — *канд. техн. наук, технический директор РУП "МАЗ"*
Кухаренок Г.М. — *д-р техн. наук, профессор БНТУ*
Мариев П.Л. — *д-р техн. наук, директор НТЦ "Карьерная техника" ОИМ НАН Беларуси*
Николаев Ю.И. — *главный конструктор ОАО "МЗКТ"*
Сазонов И.С. — *д-р техн. наук, проф., ректор Болорусско-Российского университета (Могилёв)*
Харитончик С.В. — *д-р техн. наук, доцент БНТУ (Минск)*

Информационный партнёр АНО "НИЦ "Русаен"

Технический редактор *Шацкая Т.А.*
Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 11.05.2017. Подписано в печать 13.06.2017.
Формат 60×88 1/8. Усл. печ. л. 4,9. Бумага офсетная.
Отпечатано в ООО "Канцлер".
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**

ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"
Адрес издательства и редакции: 107076, Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2
Телефоны: (915) 412-52-56 и (499) 269-54-98; (495) 785-60-69 (реклама и реализация)
E-mail: avtoprom-atd@mail.ru
www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № 77-7184
Цена свободная.
Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней, в базу данных *"CHEMICAL ABSTRACTS"*.

За содержание рекламных объявлений ответственность несет рекламодатель.
Перепечатка материалов из журнала "Автомобильная промышленность" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией; ссылка — обязательна.