av618.fm Page 1 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

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

№ 6 • июнь • 2018

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.53

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

Д-р техн. наук **ФАСХИЕВ Х.А.**
Уфимский государственный авиационный технический университет,
Финансовый университет при Правительстве РФ
(faskhiev@mail.ru)

Обозначены проблемы и тенденции массового перевода автомобильной техники на электрическую тягу.

Ключевые слова: *автомобиль, автопоезд, электромобиль, аккумуляторная батарея, зарядка, эксплуатационные затраты, совокупная стоимость владения.*

Faskhiev Kh.A.

ECONOMIC EFFICIENCY OF CARGO CARS ON ELECTRIC TYPE

The problems and tendencies of the mass transfer of motor vehicles to electric traction are indicated.

Keywords: *car, road train, electric car, battery, charging, operating costs, total cost of ownership.*

В течение последних десятилетий автомобили совершенствовались эволюционно, без кардинальных инноваций, которые бы в корне изменили ситуацию на автомобильном транспорте. Конструкция подвижного состава развивалась в направлении повышения безопасности, экологичности, комфортабельности, внедрялись электронные системы контроля и управления и др. С усложнением конструкций росла и цена автомобилей (сегодня до 30 % её приходится на долю электронных устройств), повышалась стоимость технического обслуживания и ремонта подвижного состава, увеличивались амортизационные отчисления. С повышением удельной мощности транспортных средств и ростом цен на моторное топливо растут себестоимость перевозок и доля затрат на топливо.

Увеличение потребления топлива сопровождается усилением негативного воздействия на окружающую среду. В этом автотранспорт лидирует по всем видам воздействия: загрязнение воздуха — 95 %, шум — 49 %, воздействие на климат — 68 %. На долю автомобилей в выбросе антропогенных парниковых газов приходятся 14 %, и это самый высокий показатель среди всех видов транспорта. В мегаполисах более 80 % вредных выбросов приходится на долю автомобильного транспорта. Автомобиль потребляет в среднем 4 т кислорода в год, выбрасывая при этом с отработавшими газами около 800 кг монооксида углерода, 40 кг оксидов азота и почти 200 кг различных углеводородов. Автомобильный парк в мире в 2016 г. составил 1,4 млрд единиц, а потребление моторного топлива — 2,4 млрд т. Автотранспорт только одной России, насчитывающий 49,11 млн единиц техники, сжёг 65 млн т топлива. Из этого объёма 54 % приходится на долю коммерческого транспорта, хотя его доля в парке составляет всего 14 %. При сгорании нефтяного топлива в двигателях внутреннего сгорания образуются около 200 различных вредных веществ. В год российский автопарк выбрасывает в атмосферу только канцерогенных веществ: около 27 тыс. т бензола, 17,5 тыс. т формальдегида, 1,5 т бензапирена. Общее количество вредных веществ, выбрасываемых автомобилями за год, превышает 20 млн т, и ежегодно увеличивается в среднем на 3 %.

Противостоит этой тенденции последовательное ужесточение норм выбросов. Так, в ЕС с 2015 г. введены весьма жёсткие нормы Евро-6, близкие по своим требованиям к действующему с 2010 г. экологическому стандарту EPA10 в США и японскому "Post NLT". В России с 2018 г. вводятся в действие нормы Евро-5. Автопроизводители вынуждены совершенствовать выпускаемую технику соответственно ужесточающимся стандартам, выпускать всё более экономичные машины. Современные автомобили по сравнению с автомобилями 1980-х на один и тот же путь расходуют топлива на 50 % меньше, следовательно, вдвое меньше выбрасывают вредных веществ. Однако дальнейшее нормативное ужесточение предельных значений вред-

av618.fm Page 2 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

ных выбросов для производителей становится всё обременительнее.

Одним из направлений снижения вредных выбросов в атмосферу и повышения эффективности коммерческого транспорта является использование в качестве моторного топлива компримированного или сжатого газа. Газ примерно вдвое дешевле бензина, дизельного топлива и значительно экологичнее. Однако, при небольших годовых пробегах автомобиля, затраты на оснащение газовым оборудованием окупаются не ранее 4—5 лет. Снаряженная масса газового автомобиля, а следовательно и расход топлива больше, кпд двигателя — несколько ниже, чем у бензинового. Кроме того, из-за проблем развития сети заправочных станций такие автомобили не получили широкого распространения: их доля в мировом парке в 2016 г. не превышала 1,6 %.

Известны и другие варианты повышения экологичности автомобилей: применение гибридных силовых установок и использование в качестве топлива водорода. На данном этапе развития науки водородная технология вполне применима, но требует создания дорогостоящей инфраструктуры. Однако гибриды, газовые, водородные автомобили, на наш взгляд, — лишь промежуточный этап в развитии транспорта, тогда как будущее должно принадлежать "чистым" электромобилям, обладающим нулевыми выбросами вредных веществ. Помимо этого, электромобили почти бесшумны и гораздо более дёшевы в обслуживании. Электродвигатели по скоростно-силовым характеристикам идеально подходят на роль тягового органа транспортных средств, не требуют массивных, сложных трансмиссий, легко управляются.

Помимо перевода подвижного состава на электрическую тягу решению проблемы вредных выбросов поспособствует внедрение систем беспилотного управления. Эффект от новшеств будет максимальным, если они будут реализованы одновременно. Автопилот прежде всего, конечно, решает проблему безопасности. На коммерческом же транспорте он способен обеспечить круглосуточную, с перерывами лишь на заправку и обслуживание, работу АТС семь дней в неделю, что позволит сократить необходимое число единиц подвижного состава и затраты на перевозку. По экспертным оценкам автопилот позволит экономить 5—7 % топлива.

Замена двигателя внутреннего сгорания электродвигателем в корне решает проблему эмиссии вредных веществ в атмосферу самими автотранспортными средствами, но по некоторым расчётам электромобили косвенно загрязняют окружающую среду сильнее традиционных. Так, эксперты Фрейбургского экологического института в исследованиях по заказу Министерства окружающей среды Германии пришли к выводу, что бензиновые двигатели высоких экологических стандартов позволяют сократить выбросы парниковых газов на 25 %, в то время как электрические — лишь на 6 %! На зарядку электромобилей идёт энергия, около 60 % которой вырабатывается путём сжигания угля и мазута, т.е. "чистое" электричество получаем путём сжигания "грязного" топлива. Вредные

Рис. 1. Динамика продаж электромобилей и гибридов в мире [1]

выбросы таким образом не исчезнут, а будут локализовываться вокруг теплоэлектростанций, при том что в городах воздух будет чище.

Стратегическое направление решения экологических проблем на транспорте было обозначено на всемирной конференции по климату в Париже COP21, где прозвучало заявление о том, что Великобритания, Германия, Нидерланды и Норвегия, а также несколько американских штатов после 2050 г. намерены "запретить использование и продажи автомобилей на горючем топливе. Концерн "Вольво" намерен с 2019 года все легковые автомобили оснащать только электрическим двигателем. Аналогичные намерения имеют и другие автопроизводители. В Германии принята резолюция о запрете производства автомобилей с ДВС с 2030 года, и предполагается к 2050 г. полностью избавиться от автомобильных выхлопов. Германия призывает присоединиться к этой инициативе и другие страны ЕС. Если она будет принята, автомобильные компании получат новый стимул вкладываться в производство электрокаров, а бензоколонки — переформатировать модель бизнеса. Правительство Великобритании пошло ещё дальше, объявив, что к 2040 году в стране будут запрещены к продаже не только автомобили с ДВС, но и машины гибридные. Купить можно будет только электрокары.

В настоящее время автомобилестроение выпускает электромобили, заряжаемые двигателем внутреннего сгорания (*HEV*), гибридные с возможностью зарядки от сети (*PHEV*), на аккумуляторных батареях (*EV*) и автомобили на топливных элементах (*FCV*). Благодаря принятым в целом ряде государств мерам стимулирования производства и продажи "зелёных" транспортных средств начиная с 2010 г. в мире начался бурный рост рынка электромобилей (рис. 1). Парк электромобилей к 2016 г. достиг 2 млн шт. (0,14 % парка), из которых 1,2 млн "чистых" электромобилей и 0,8 млн подключаемых гибридов [1]. В настоящее время в мире выпускаются более 130 моделей легковых электромобилей, действует более 10 тыс. "быстрых" зарядных станций. Практически все автомобильные заводы в своей линейке имеют электромобили, причём из года в год очень интенсивно наращивают их объёмы выпуска (см. табл.). В 2010 г. продавалось около 7 тыс. электромобилей, а в 2016 г. — 753 тыс., т.е. больше чем в 100 раз! Причём 62,3 % из них пришлось на долю чисто электрических автомобилей.

Сейчас доля электромобилей в продажах составляет 1,7 %, и наблюдается интенсивный рост инвестиций на "зелёный" транспорт. В 2016 г. инвестиции в этот сегмент в мире составили $2 млрд, что в два раза больше, чем в 2015 году, и на $650 млн больше, чем за три предыдущих года вместе взятых. Это только те инвестиции в стартапы, которые связаны непосредственно с электромобилями (выпуск электромобилей, производство зарядных станций), не говоря уже о вложениях со стороны автопроизводителей и программах господдержки разных стран. Только один концерн "Даймлер" планирует потратить 10 млрд на создание 10 моделей электромобилей к 2025 году. Другой немецкий бренд, "Фольксваген" ставит перед собой более амбициозную задачу — создать к этому же сроку 30 новых электромобилей и довести уровень их продаж до 1 млн в год. В Китае за первое полугодие 2017 г. выдано 15 лицензий на организацию производства в совокупности 2,9 млн электромобилей. Объём заявленных инвестиций составил $14 млрд. По прогнозам Международного энергетического агентства в 2020 г. мировой парк электромобилей составит 20 млн единиц, а в 2040 г. увеличится до 226 млн (рис. 2). Согласно докладу Стенли Моргана к 2040 г. продажи электромобилей превысят продажи автомобилей с двигателями внутреннего сгорания и составят примерно 51 % от всех продаж, что приведёт к радикальным изменениям на нефтяных рынках.

В 2015 г. в мировые лидеры в производстве и продаже электромобилей вышел Китай. В 2016 г. 43,8 % общемировых продаж электромобилей принадлежит Китаю, где сейчас сосредоточена треть мирового парка транспорта на электрической тяге. В стране более 220 производителей занимаются производством электромобилей, на долю которых приходится около 40 % рынка. Из топ-30 моделей китайские бренды занимают 45 % объёма выпуска. В 2016 году в Китае было

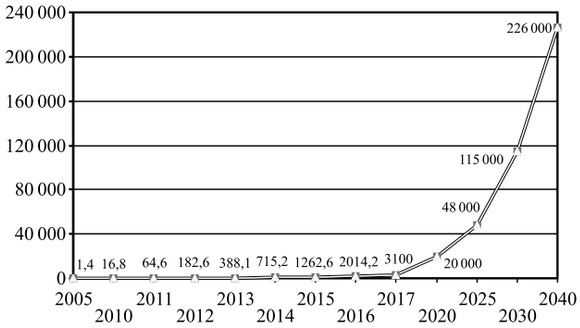


Рис. 2. Динамика мирового парка электромобилей, тыс. шт. [1]

продано более 336 тыс. "новых экологических автомобилей", в том числе электрокаров и гибридных авто, что на 62 % больше, чем в 2015 году.

В крупных китайских городах из-за крайне загрязнённого воздуха ограничена регистрация автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, поэтому для многих покупателей электромобили становятся хорошей альтернативой, тем более что государство предоставляет ещё и финансовые льготы. С 2010 г. производителям автомобилей новой энергетики введены субсидии до 50—60 % от розничной цены машины. Покупатели освобождены от десятипроцентного налога от покупки. Власти регионов дают дополнительные льготы покупателям, в частности освобождают от регистрационного сбора, облегчают доступ к инфраструктуре. Размер государственных и провинциальных субсидий покупателям "зелёных" автомобилей достигает до 50 тыс. юаней ($7700). Покупатель электромобиля получает компенсацию в размере около 35 % его розничной стоимости. Так, к концу 2015 г. объём субсидий превысил 800 млн долларов. Благодаря этому за 2016 год парк электромобилей в Китае удвоился (650 тыс. единиц). В Пекине все новые такси должны

Страна	*Объём продаж электромобилей по годам, тыс. шт.							
	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Канада	—	—	0,52	2,02	3,12	5,07	6,96	11,58
Китай	—	1,43	5,07	9,90	15,34	73,17	207,38	336
Франция	0,01	0,19	2,73	6,26	9,62	12,64	22,95	29,51
Германия	0,02	0,14	1,65	3,37	6,93	12,74	23,19	24,61
Индия	—	0,35	0,45	1,43	0,19	0,41	1,00	0,45
Япония	—	2,44	12,62	24,44	28,88	32,29	24,65	24,85
Южная Корея	—	0,06	0,27	0,51	0,60	1,31	3,19	5,26
Нидерланды	—	0,12	0,88	5,12	22,42	15,09	43,77	24,48
Норвегия	—	0,39	1,84	4,51	8,52	19,76	35,61	50,18
Швеция	—	—	0,18	0,93	1,55	4,67	8,59	13,42
Великобритания	0,22	0,28	1,22	2,69	3,75	14,74	29,34	37,91
США	1,12	1,19	17,73	53,24	96,70	118,78	113,87	159,62
Россия	—	н. д.	н. д.	н. д.	0,096	0,082	0,116	0,083
Другие	0,53	0,18	2,43	3,64	6,05	12,77	26,62	35,31
Итого	1,89	6,78	47,58	118,06	203,66	323,42	547,12	753,17

* По данным Международного энергетического агентства [https://itc.ua/blogs/obshhee-kolichestvo]

быть электрическими. В городе установлены 100 тыс. пунктов зарядки аккумуляторов [3].

Китай рассматривает вопрос об определении сроков запрета производства и продажи автомобилей с использованием традиционных видов топлива. Правда, в 2017 году Пекин по причине мошенничества с субсидиями отдельных производителей на 20 % сократил национальные субсидии и ограничил размер провинциальных субсидий до 50 % от размера сумм поощрения федерального правительства. В итоге субсидии на покупку типичного электромобиля снизились в среднем на 40 %. Рынок мгновенно среагировал на этот негатив — за первый квартал 2017 г. поставки электромобилей сократились на 4,4 % [3]. Ряд производителей сокращение государственных субсидий компенсировали за счёт собственных средств и по итогам первого полугодия рост рынка электромобилей составил 14 % (195 тыс. ед.) — при общем росте продаж автомобилей всего 1,6 %. К 2020 году здесь намерены довести объёмы продаж электромобилей до 2 млн единиц, что в 9 раз больше, чем 2016 году. Парк электромобилей при этом увеличится до 5 млн единиц.

С 2018 г. Китай вводит новый принудительный рычаг продвижения продаж электромобилей — обязательные квоты. Автопроизводители, согласно принятому в 2016 г. закону, обязаны набрать сумму очков (по калифорнийскому образцу углеродных кредитов), эквивалентную 8 % годовых продаж к 2018 году, 10 % к 2019 году и 12 % к 2020 году. Число очков для каждой модели автомобиля рассчитывается исходя из уровня вредных выбросов. Данная мера к 2025 г. должна обеспечить продажу 7 млн электромобилей в год (20 % продаж).

Ключевой проблемой массового перевода автомобилей на электротягу остаётся создание дешёвой и быстро заряжающейся аккумуляторной батареи ёмкостью, обеспечивающей пробег автомобилей на одной зарядке до 500—800 км. Пока же цена этого самого дорогостоящего компонента электромобиля остаётся достаточно высокой и прежде всего определяется его ёмкостью. Возможность создания электромобилей, пригодных для реальной эксплуатации, появилась в 1991 г., когда фирмой "Сони" были применены литий-ионные аккумуляторы, которые отличаются высокой удельной энергоёмкостью (до 300 Вт · ч/кг), возможностью быстрой зарядки (от 30 минут до 1 часа), большим ресурсом (число циклов зарядки/разрядки — до 2000), широким диапазоном рабочих температур и не требуют обслуживания. Правда, есть у них и недостатки: по мере эксплуатации снижается номинальная энергоёмкость, при зарядке их нельзя перегревать, а при отрицательных температурах окружающей среды ёмкость снижается на 30—40 %, поэтому для них необходима система термостатирования. Обеспечение постоянной температуры аккумулятора многократно увеличивает срок его службы.

По всему миру электрохимические лаборатории ведут интенсивные исследования и разработки, направленные на повышение удельной энергоёмкости и снижения цены аккумуляторных батарей. Уже имеются и существенные результаты. Так, аккумуляторы емкостью 250 кВт · ч полноприводного спорткара "Тесла Родстер" обеспечивают пробег на одной зарядке до 1000 км. Аккумулятор "Тесла" собран в модули из элементов типа 2170 (диаметр 21 мм, длина 70 мм), между рядами которых проложены пластины системы охлаждения. В аккумуляторе, объединив 16 модулей в корпус, сформированы блоки с напряжением 400 В, в которых 7000 элементов. В автомобиль можно установить несколько параллельно подключенных блоков, заряжаемых независимо друг от друга. Большое число элементов обеспечивает аккумулятору высокую надёжность, так как выход из строя отдельных элементов несущественно сказывается на его характеристиках. Сборка элементов в модуль — процесс трудоёмкий, выполняется вручную, поэтому объёмы выпуска сверхмощных аккумуляторов весьма ограничены, и они очень дорогие. Так, аккумулятор 36-тонного автопоезда "Тесла", имеющий ёмкость 1000 кВт · ч, весит около 3,5 т и оценивается в 125 тыс. долларов. С развитием конструкций, технологий сборки, масштабов производства цена их, конечно, снизится. Так, в 2010 г. удельная стоимость литий-ионных батарей составлял в среднем 750 $/кВт · ч, а в 2017 г. — 190 $/кВт · ч, т.е. снизилась в 4 раза. К 2018 г. "Тесла" намерена добиться результата 125 $/кВт · ч.

По прогнозам экспертов бизнес-школы "Сколково" рынок литий-ионных батарей к 2020 г. вырастет до $22 млрд, что в 14 раз больше, чем в 2012 году. В целом по миру ожидается рост мощностей по производству аккумуляторов до 273 ГВт · ч с сегодняшних 103 ГВт · ч. Причём 65 % батарей будет производиться в Китае, в котором сосредоточены основные мировые запасы лития. По планам правительства производственные мощности китайских заводов батарей к 2020 г. будут доведены до 160 ГВт · ч. При росте объёмов производства себестоимость неизбежно снижается. По данным агентства "Блумберг" за один 2016 г. цены тяговых батарей упали на 35 %. Если технико-экономические показатели аккумуляторов будут прогрессировать такими темпами, реализация обозначенных производителями амбициозных планов продаж электромобилей вполне достижима.

Массовое производство энергоёмких дешёвых аккумуляторов уже стало катализатором бурного роста производства легковых электромобилей и интереса к переводу на электрическую тягу грузового автотранспорта и автобусов.

Окончание следует.

Список литературы

1. Общее количество электромобилей в мире превысило отметку 2 млн экземпляров. https://itc.ua/blogs/obshhee-kolichestvo-elektromobiley-v-mire-prevyisilo-otmetku-2-mln-ekzemplyarov-iz-kotoryih-1-2-mln-chistyih-elektromobiley-i-0-8-mln-podklyuchaemyih-gibridov. (Дата обращения: 25.11.17 г.).
2. Кравцов Ю.И. Развитие рынка электромобилей: китайский опыт // Журнал ААИ. 2017. № 5. С. 5—11.
3. Ян Цзянь. Должен ли будет Пекин доплачивать упрямым потребителям, чтобы они покупали электромобили? // Automotive News, 12.05.2017. (Дата обращения: 22.12.17 г.).
4. Nikola One: первый в мире водородный грузовик из США. https://geektimes.ru/post/283306. (Дата обращения: 24.12.17 г.).

av618.fm Page 5 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

2018 АВТОМОБИЛЬ ГОДА

ЕЖЕГОДНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРЕМИЯ

В конце апреля в Московском дворце молодёжи состоялась церемония вручения ежегодной национальной премии ***"Автомобиль года в России — 2018"***. По результатам трёх месяцев голосования, в котором приняли участие более миллиона человек, определены лучшие автомобили в 23-х классах и четырёх специальных номинациях. Также на мероприятии состоялось вручение главного приза сезона — автомобиля "Лада Веста SW кросс". Ключи от него вместе с запасом моторного масла "Тотал Кварц" и комплектом премиальных шин "Континенталь" (с беспрокольной технологией "ContiSeal") достались Евгению Антоненко из Саратова.

С января по март россияне старше 18 лет выбирали лучшие автомобили в разных классах и претендентов четырёх специальных номинациях — "Новинка года", "Любимая марка в массовом сегменте", "Любимая марка в премиальном сегменте" и "Самый узнаваемый китайский бренд". Площадкой для голосования по традиции стал портал autogoda.ru. Своё мнение о лучших автомобилях года высказали 1 068 215 человек, среди которых оказалось 84 % мужчин и 16 % женщин. Анализ и обработку данных портрета участников голосования обеспечила исследовательская компания "Ipsos Comcon".

Торжественная церемония награждения стала кульминацией всего сезона. Претенденты на победу в Премии погрузились в атмосферу большого праздника, а после награждения под аккомпанементы живой музыки представители автомобильных брендов и хедлайнеры автоиндустрии в неформальной обстановке смогли обсудить выбор россиян и будущее автомобилестроения.

По итогам голосования титул ***"Автомобиль года в России — 2018"*** получили:

городской автомобиль — "Киа Пиканто";
в малом классе — "Лада Веста SW";
в малом среднем классе — "Форд Фокус";
в среднем классе — "Хёндэ Соната";
в бизнес-классе — БМВ 5-й серии;
в представительском классе — "Мерседес-Бенц S-класс";
в представительском премиум-классе — "Мерседес Майбах S-класс";
купе — "Шевроле Камаро";
купе "премиум" — "Ауди R8 купе";
грантурер — "Киа Стингер";
среди кабриолетов и родстеров — "Порше 718 Бокстер";
кабриолетов и родстеров "премиум" — "Мерседес-AMG GT родстер";
универсал повышенной проходимости — "Лада Веста SW кросс";
компактный внедорожник — "Субару XV";
лёгкий внедорожник — "Шкода Кодиак";
средний внедорожник — "Тойота Ленд Крузер Прадо";
тяжелый внедорожник — "Рейндж Ровер";
пикап — "Мицубиси L200";
компактвэн — "Фольксваген Кэдди";
минивэн — "Фольксваген Мультивэн";
мини-фургон — "Лада Ларгус фургон";
лёгкий фургон — "Форд Транзит Кастом";
фургон — "Фольксваген Крафтер".

Победители в специальных номинациях:

любимая марка в массовом сегменте — "Лада";
любимая марка в премиальном сегменте — "Мерседес-Бенц";
самый узнаваемый китайский бренд — "Чери";
новинка года — "Киа Стингер".

av618.fm Page 6 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.33

"КОЛЁСНЫЙ ХОД" ТРИАДЫ: ВОЗРОЖДЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ ТРАНСПОРТНОГО СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Канд. техн. наук **ПАДАЛКИН Б.В.**,
д-ра техн. наук **КОТИЕВ Г.О., ГОРЕЛОВ В.А.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана (499.263-63-91)

Рассмотрены достигнутые результаты и обозначены основные сдерживающие факторы в деле создания специальных колёсных шасси, используемых для монтажа вооружения и транспортировки военной техники, в Российской Федерации. Указаны некоторые конструктивные особенности шасси нового поколения, созданных в рамках НИР и ОКР ПАО "КамАЗ" в кооперации с ведущими отечественными предприятиями и научными центрами. Обозначены пути дальнейших исследований в целях создания энергоэффективной и безопасной наземной транспортной техники, в том числе и в целях обеспечения ядерной безопасности страны.

Ключевые слова: *специальные колёсные шасси, научно-исследовательские работы, высокотехнологичная продукция, вооружение и военная техника, подвижность, безопасность, энергоэффективность, бортовая информационная управляющая система, индивидуальный привод движителей, всеколёсное рулевое управление, имитационное математическое моделирование.*

Padalkin B.V., Kotiev G.O., Gorelov V.A.

"WHEELS" FOR THE TRIAD: THE REVIVAL OF THE DOMESTIC SPECIAL-PURPOSE TRANSPORTATION ENGINEERING

The authors observe recent advances and constraints in the development of the special-purposewheeled chassis used for weapon systems installation and military equipment transportation in Russian Federation. The article discloses some design features of the new-generation chassis designed during research and development works carried out by the KamAZ PTC in cooperation with the leading domestic manufacturers and research centers.The article shows possible directions of the further research aimed at the development of the effective and safe ground vehicles comprising the ones used for the national nuclear deterrence system.

Keywords: *special-purpose wheeled chassis, research work, advanced technology products, weapons and military equipment, mobility, safety, energy efficiency, onboard information and control system, individual wheel drive, all-wheel steering, mathematical simulation.*

Несколько десятилетий назад создание ряда крупногабаритных образцов вооружения — мобильных пусковых установок различного назначения, подвижных грунтовых ракетных комплексов (ПГРК), радиолокационных систем привело к появлению нового вида военной автомобильной техники — специальных колёсных шасси (рис. 1). Наряду с морским, воздушным и шахтным базированием размещение стратегических ракет в составе ПГРК — одна из важнейших составляющих "ядерного щита" Российской Федерации. Создание таких комплексов определяется географическими особенностями нашей страны, а их живучесть, обеспечивается неопределённостью (в отличие от стационарных ракетных комплексов) местоположения. В связи с этим *подвижность* ракетных комплексов, наряду с *защищённостью*, является важнейшим свойством комплекса, которое обеспечивается специальными колёсными шасси.

Самым большим по грузоподъёмности из существующих в настоящее время является шасси колёсной формулы 16×16 (рис. 2) производства Минского заво-

Рис. 1. Радиолокатор подсвета целей и наведения ракет 30Н6Е2 системы С-300ПМУ-2 на шасси МАЗ-543

Рис. 2. Шасси МЗКТ-79221

да колёсных тягачей. Создание таких машин в 60—70 гг. прошлого века было важным достижением. Конструктивные особенности и технологии производства минских шасси были в те годы передовыми: дизель с гидромеханической планетарной коробкой передач; механическая трансмиссия с раздаточными коробками, главными передачами, колёсными редукторами (при этом агрегаты соединяются между собой карданными валами); рулевое управление с гидроусилителем и механической обратной связью для поворота управляемых колёс передних и задних осей в противоположные стороны; пневмогидравлическая система подрессоривания; традиционные для автомобильной техники тормозная система и электрооборудование и др.

Для управления такими шасси, особенно с полезной нагрузкой, при отсутствии в конструкции систем обеспечения безопасности, несмотря на невысокую максимальную скорость (около 40 км/ч) требуется специально подготовленный экипаж. Движение осуществляется, как правило, по дорогам с бетонным покрытием, профилированным по кривизне, подъёмам (спускам) и уклонам. Осевая нагрузка порядка 15 т и габаритные размеры пусковой установки требуют специальной подготовки дорог на маршруте.

Эффективность существующих грунтовых комплексов и в настоящее время достаточно высока. Подтверждением тому служит информация о зарубежных разработках аналогичных систем. Так, в США компаниями "Боинг" и "Мартин-Мариэтта" были созданы опытные образцы защищённого подвижного комплекса HML (*hard mobile launcher*) в различном исполнении (рис. 3).

В 2017 году в США начались работы по созданию нового поколения ракетных комплексов, так называемых *Ground-Based Strategic Deterrent*. В рамках проекта фирмы "Нортруп Грумман" и "Боинг" получили заказы на НИОКР объёмом соответственно $328 млн и $349 млн; к 2020 году ими будут разработаны проекты новой системы, в том числе мобильного базирования. Подвижными комплексами на колёсных шасси располагают КНР (рис. 4), Индия и ряд других государств.

Поиск решений по совершенствованию конструкции специальных колёсных шасси в нашей стране ведётся непрерывно. Основное направление их развития связано, прежде всего, с повышением подвижности, которое характеризуется *проходимостью* (опорной, определяющей возможность движения по деформируемым основаниям, и профильной, связанной с возможностью преодоления геометрических препятствий и маневрирования); *быстроходностью*, где основной характеристикой является средняя скорость движения; *автономностью*, которая определяется запасом хода, и технической готовностью (надёжностью). Оставаясь в тех же массово-габаритных параметрах, не меняя колёсную формулу, подвижность шасси можно повышать кардинально изменяя подходы к обеспечению безопасности и энергоэффективности.

Переход на принципиально новый уровень безопасности и энергоэффективности движения связан с возможностью адаптивного к условиям движения оптимального управления системами специального колёсного шасси. По сравнению с достигнутым уровнем современных шасси на повышение *проходимости, быстроходности* и *автономности* существенным образом повлияет: управление распределением потоков мощности, подводимой к колёсам в зависимости от возможности реализации свободной тяги каждым колесом; изменение положения полюса поворота в зависимости от скорости выполняемого маневра и внешних условий; управление подрессориванием в целях минимизации отклика пусковой установки во время движения на кинематические и силовые возмущения от внешней среды; обеспечение работы энергетической установки в наиболее эффективных режимах, в том числе с точки зрения скрытности; управление тормозными моментами каждого из колёс в целях обеспечения требуемого замедления при сохранении управляемости; возможность рекуперации энергии торможения; обеспечение непрерывной диагностики всех систем; прогнозирование оптимальных режимов движения путём использования цифровой карты местности и систем позиционирования.

Рис. 3. HML-ETU для ракеты MGM-134A (США)

Рис. 4. Шасси для межконтинентальной баллистической ракеты DF-31AG (КНР)

Таким образом, **первым**, что необходимо реализовать в конструкции шасси, является современная бортовая информационная управляющая система (БИУС), т.е. "цифровой борт", где сбор информации и команды управления формируются распределённой системой контроллеров разного уровня. В противном случае согласованного управления разными системами не реализовать, не говоря уже об адаптивности и оптимальности управления.

Что касается всеколёсного рулевого управления и реализации независимого управления поворотом каждого колеса, управляемой системы подрессоривания, эффективного тормозного управления с реализаций антиблокировочной и противобуксовочной функций,

системы диагностирования технического состояния и кинематических параметров движения, системы предотвращения столкновений, то при наличии БИУС, эти системы можно создавать путём эволюционного совершенствования систем существующих шасси. В том числе это касается автоматического управления коробкой передач и другими агрегатами трансмиссии.

Как известно, назначение коробки передач состоит в согласовании характеристик двигателя с условиями движения и управляющими действиями водителя. Для специального колёсного шасси с механической трансмиссией применение гидромеханической многоступенчатой коробки с переключением передач без разрыва потока мощности и цифровой адаптивной системой управления на сегодняшний день наиболее рационально. Для автомобильной промышленности создание производства гидромеханических трансмиссий для таких машин — задача решаемая.

В отечественной практике планетарные многоступенчатые коробки передач начали использоваться в начале 1960-х гг. на танках, где успешно применяются до сих пор. В этих конструкциях: кинематическая схема с тремя степенями свободы, 7 передач, реализованные тремя планетарными механизмами. Достигнута возможность применения коробки с двигателем мощностью свыше 735 кВт (1000 л.с.); отработаны технологии проектирования и производства компонентов. Использование с планетарной коробкой передач комплексного блокируемого гидротрансформатора также не представляет особых проблем. В настоящее время отечественные планетарные гидромеханические передачи используются в конструкциях военных гусеничных машин промежуточной весовой категории производства Мытищинского машиностроительного завода и Курганского машиностроительного завода. Иначе обстоит дело с реализацией адаптивного к условиям движения подвода мощности к каждому колесу. В существующей механической трансмиссии даже при наличии "управляемых" дифференциалов реализовать необходимые законы управления потоками мощности практически невозможно. Например, трудно представить механическую реализацию распределения крутящих моментов на одной оси специального колёсного шасси пропорционально приходящимся на колёса вертикальным нагрузкам при необходимом вращении колёс с разной угловой скоростью в повороте. Кроме того, при использовании механической трансмиссии также проблематично накопить энергию и расходовать её для обеспечения работы двигателя в энергоэффективных режимах, сглаживая кратковременные "пики" потребления мощности. Так же остро стоит вопрос с прочностью элементов механической трансмиссии при движении в разнообразных дорожных условиях. Поэтому **второе** необходимое мероприятие при создании высокоподвижных специальных колёсных шасси — применение "гибкой" трансмиссии.

В ряде НИР, проведённых нашей промышленностью, для исследования возможности применения электротрансмиссии на шасси существующих многоосных колёсных машин сделан важнейший вывод о целесообразности использования на современном этапе электрической трансмиссии в конструкции специальных колёсных шасси (по крайней мере на образцах колёсной формулы 16×16) в целях накопления, передачи и распределения энергии на борту для эффективного и безопасного движения, несмотря на двойное преобразование энергии.

Известно, что по отличительным признакам, связанными с целями и результатами, и по очерёдности выполнения НИР можно разделить на *поисковые* и *прикладные*. Задачами первых является определение путей создания перспективной техники, оценки достижимости показателей эксплуатационных свойств, направления развития технологий и т.д. Вторые предшествуют ОКР с основной задачей формирования технического задания.

В настоящее время основным инструментом поисковых НИР является математическое моделирование рабочих процессов. В случае шасси 16×16 нового поколения это предполагает создание "виртуальной" многоосной колёсной машины, движение которой в ходе вычислительных экспериментов воспроизводится на компьютере. Математически описывается и моделируется не только динамика машины в статистически заданных условиях эксплуатации, но и работа всех систем с учётом внутренней динамики протекающих процессов различной физической природы (механических, гидравлических, термодинамических, электромагнитных, тепловых, дискретных электрических — цифровых).

Исследования виртуального шасси на совокупности внешних условий и режимов движения позволяют по полученным данным о нагруженности проектировать оптимальные конструкции, существенно сократить сроки и стоимость работ по созданию машин нового поколения, объёмы доводочных работ, испытаний. Кроме того, только математическим моделированием представляется возможным получить законы оптимального управления отдельными агрегатами и системами, обеспечив безопасность исследований. Трудно представить, например, экспериментальный поиск законов управления поворотом всех колёс при скоростном маневрировании на "миксте" реальной колёсной машины 16×16 массой порядка 100 т и более, длиной свыше 20 м, оптимального распределения мощности по колёсам или управления подвеской при преодолении многочисленных статистически заданных препятствий.

Интенсивное развитие теории движения колёсных машин, математических методов и возможностей вычислительной техники позволяет существенно сократить и время расчётов поведения виртуальной машины в различных условиях эксплуатации. Если 20 лет назад секунда реального движения с требуемой точностью вычислений воспроизводилась за несколько часов, то сегодня достаточно точные модели работы отдельных систем (например, подрессоривания) считаются быстрее реального времени протекающих процессов, причём на доступном каждому конструктору компьютере. Это позволяет создавать достаточно точные математические модели "реального времени", необходимые для определения программ управления

Рис. 5. Макетный образец, созданный ПАО "КамАЗ"

всеми объединёнными ботовыми системами перспективных машин.

Впервые собрать на единой платформе 8×8 все перспективные системы будущего специального колёсного шасси (дизель-генераторную энергоустановку, электрическую трансмиссию с индивидуальным приводом ведущих колёс, управляемую пневмогидравлическую систему подрессоривания, всеколёсное рулевое управление с изменяемым полюсом поворота, БИУС) удалось в ходе выполнения прикладной НИР, выполненной ПАО "КамАЗ" (рис. 5).

Выбор для решения государственной задачи именно КамАЗа (по результатам конкурсного отбора) хорошо обоснован. Во-первых, компания с пакетом акций, принадлежащих государству, входит в ГК "Ростехнологии", объединяющую десятки высокотехнологичных оборонных предприятий. Во-вторых, это крупнейший автопроизводитель страны, выпускающий многоосные грузовые автомобили, в том числе военного назначения, с высокой осевой нагрузкой. Наконец, КамАЗ — единственное предприятие страны с мощным профильным научно-техническим центром, обладающим опытным производством. Наряду с единичным производством специальных колёсных шасси нового поколения в последнее десятилетие здесь создано серийное производство семейства принципиально новых защищённых автомобилей с независимой пневмогидравлической подвеской, внедрены различные БИУС.

Что же удалось установить в ходе выполнения НИР? Основное, по нашему мнению, это возможность реализаций путей создания специальных колёсных шасси нового поколения, обоснованных в ходе проведённых ранее поисковых работ, и созданного научного задела. Кроме того, ряд показателей эксплуатационных свойств, хотя и был достигнут, но оказался на сегодняшний день не востребованным. Установлено также, что на тот момент промышленность, в том числе электротехническая, была не готова к производству ряда ключевых компонентов таких машин. Но самое главное, было сформулировано техническое задание на ОКР по созданию нового поколения шасси, определённых типажом военной автомобильной техники.

Известно, что создание перспективных систем вооружения требует усилий всех отраслей промышленности и науки. Очевидно, что только одному автомобильному заводу с задачей производства компонентов и собственно специальных колёсных шасси не справиться.

Что же было, а точнее, чего не было на момент окончания НИР и какие отечественные производства надо создавать? Это производства тягового электрооборудования, включая двигатели, генераторы, инверторы и т.д., пригодного для использования на специальных колёсных шасси, пневмогидравлических рессор высокого давления, шин и колёс для высоких нагрузок и скоростей движения, практически всех составляющих БИУС, электрических и гидравлических компонентов рулевого и тормозного управления, современных энергетических установок суммарной мощностью большей 1 МВт, накопителей электроэнергии и т.д. Фактически — от подшипников, уплотнений до микросхем и светотехники современного уровня. То есть назрела необходимость возрождения отечественной отрасли транспортного специального машиностроения.

Таким образом, возникла дилемма: развивать в стране производства отдельных компонентов, а потом приступать к созданию специальных колёсных шасси, или начать ОКР по разработке высокомобильных модульных платформ, параллельно создавая отрасль производства комплектующих, открывая профильные ОКР? Опуская исторически неприемлемые сослагательные наклонения, скажем, что было выбрано второе направление, а исполнителем работ определено ПАО "КамАЗ".

На момент подготовки материалов статьи ОКР находится на завершающей стадии, но предварительные итоги подвести уже можно. За время и в ходе выполнения работы созданы и испытаны опытные образцы специальных колёсных шасси с электрическими ("мотор-колесо"), электромеханическими ("мотор-ось") и механическими трансмиссиями (необходимость которых для машин 8×8 актуальна на сегодняшний день) разной грузоподъёмности и колёсных формул (рис. 6), в том числе для использования в составе автопоездов (рис. 7). Все машины семейства с полной нагрузкой прошли предписанный программой государственных

Рис. 6. ВМП колёсной формулы 12×12 и 16×16

Рис. 7. ВМП колёсной формулы 8×8 в составе автопоезда

испытаний пробег (более 30 000 км) по разным видам дорог и местности, преодолели требуемые подъёмы, брод (1,8 м) без замечаний. Развернуто мелкосерийное производство отечественных специальных колёсных шасси нового поколения и организована производственная кооперация. Подготовлен коллектив конструкторов и технологов. Для повышения эффективности разработок приобретено и введено в эксплуатацию уникальное стендовое оборудование для исследования и испытаний электрических трансмиссий, опорно-ходовых модулей, систем подрессоривания и машины в целом, измерительный комплекс с динамометрическими колёсами и др.

Минпромторгом РФ организованы работы по созданию производств соответствующих шин и колёс, систем подрессоривания, автоматических трансмиссий. На КамАЗе создано семейство новых рядных двигателей (следует отметить, что с учётом применения электротрансмиссии использование одного двигателя на борту необязательно, возможна установка нескольких источников электроэнергии). Не останавливались работы по наращиванию научного задела. Для этого к работе были привлечены научные организации МО РФ и отраслевые институты, вузы: МЭИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана с ведущими специалистами, принимавшими участие в ранее выполненных НИР по данному направлению. И это далеко не полный перечень созданного, фактически, для становления новой отрасли. Активное развитие автомобильного электрического транспорта, наземных транспортно-технологических средств с электроприводом в мире приведёт к появлению в ближайшее время в армиях передовых стран высокоподвижных наземных систем вооружения с электрическими трансмиссиями, в том числе роботизированных и безэкипажных.

Можно критически оценивать способы организации, выполнения и итоги работ, но полученные положительные результаты позволяют сделать вывод об обоснованности выбранного направления развития средств обеспечения подвижности наземных систем вооружения, необходимости продолжения этих работ и создания высокотехнологичных производств компонентов специальных колёсных шасси.

Всё это будет способствовать разработке на тех же принципах новых систем вооружения и военной техники, колёсных и гусеничных машин, существенно облегчит решение проблемы диверсификация оборонных предприятий, позволит перейти к производству комплектующих отечественных электромобилей, электромототехники, электробусов, транспортно-технологических машин для "точного" земледелия, роботизированных карьерных машин, тяжеловозных грузовых электроприводных платформ и всего, что сделает наземную технику безопасной и энергоэффективной.

УДК 621.868.238

НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Д-р техн. наук **ШИПИЛЕВСКИЙ Г.Б.**
НИИЦ АТ 3 ЦНИИ МО РФ (gbship@mail.ru)

Показана необходимость надёжного навигационного обеспечения беспилотного автотранспорта. Оно должно решать две задачи — определять отклонение машины от заданной траектории и вырабатывать управляющие воздействия для ликвидации этого отклонения.

Ключевые слова: *беспилотный автомобильный транспорт, навигационное обеспечение, отклонение.*

Shipilevskiy G.B.

NAVIGATION SUPPORT OF UNMANNED ROAD TRANSPORT

The need for reliable navigation support of unmanned vehicles is shown. It must solve two problems — to determine the deviation of the machine from the given trajectory and to develop control actions to eliminate this deviation.

Keywords: *unmanned vehicle transport, navigation software, deviation.*

Тема создания и развития беспилотного автомобильного транспорта в последнее время настойчиво муссируется в СМИ и технической периодике. Складывается впечатление, что это самая актуальная и даже первоочередная проблема всего мирового автопрома. В принципе большого вреда от этого нет, но есть один "нюанс", который, как правило, остаётся "за кадром" как не заслуживающий какого-либо внимания. Речь идёт о навигационном обеспечении такого транспорта, без чего все эти разговоры и намерения были бы лишены всякого смысла.

Под навигационным обеспечением предлагается понимать комплекс аппаратных, программных и инфраструктурных решений, обеспечивающих штатную работу рулевого управления машин. При этом меры безопасности, также действующие через рулевое управление, можно считать как отдельным вопросом, так и частью этого обеспечения. Так же можно относиться к действию ESP или включению указателей поворота.

Как ни странно, при всём обилии информации рекламного характера, практически полностью отсутствуют сведения об успешном прохождении испытаний в условиях, близких к эксплуатационным и о каких-то особенностях навигационного обеспечения. И если второе можно было бы считать обычным приёмом неразглашения своего "ноу-хау", то в сочетании с первым напрашивается мнение, что задача навигационного обеспечения с необходимой полнотой ни у кого из разработчиков в полной мере не решена. Косвенным дополнительным аргументом в пользу этого мнения можно считать также отсутствие публикаций теоретического характера, которые указывали бы на то, что такие разработки всё-таки ведутся.

Эта ситуация коренным образом отличается от той, которая была свойственна для конца 1960-х—начала 1970-х годов, когда широко велись разработки средств автоматического вождения сельскохозяйственных тракторов. В те времена автор, как сотрудник НАТИ, принимал непосредственное участие в работах этого

направления, что даёт ему право свидетельствовать о широком освещении в научно-технической периодике не только идей, но и результатов реальных испытаний многочисленных образцов, созданных на средствах навигации с разной физической основой. Да и позже по существу сложилась чёткая структура подходов к решению навигационных задач, основанная на двух базовых принципах — либо копирование, либо координатное программирование. И принципы эти актуальны до настоящего времени. Так, известная европейская фирма "Клаас" в 2013 году на выставке "Золотая осень" в Москве распространила буклет, в котором подробно описала реально предлагаемые средства: для операций сплошной обработки — координатное программирование на базе GPS с различными способами доступа в зависимости от требуемой точности, а для междурядной обработки — копирование междурядий на базе системы технического зрения с двумя видеокамерами.

Но то, что предназначено для сельскохозяйственного производства, для перевозок по дорогам и улицам в чистом виде, разумеется, непригодно. Так что можно предположить, судя по отсутствию готовых к применению беспилотных наземных транспортных систем, что задачи навигационного обеспечения пока ещё не получили надёжного и экономически оправданного решения. Поэтому автор счёл возможным предложить методические подходы, которые, по его мнению, могут помочь правильно решить эти задачи.

По существу навигационное обеспечение должно с приемлемой точностью решать две задачи. Первая — определять величины отклонений машины от положения, которое она должна занимать в данном месте дороги. При этом возникает необходимость учитывать два вида отклонений — по смещению и по курсу (необходимость этого будет объяснена ниже). И здесь сразу возникают особенности, вытекающие из общих принципов управляемого движения физических тел на поверхности.

Если отклонение по курсу можно определять как угол между проекцией продольной оси машины на опорную поверхность и усреднённым на некотором участке заданным направлением её движения, то со смещением всё несколько сложнее. Ведь машина, как физическое тело, состоит из неопределённого множества точек, так что по какой из них и от чего нужно определять отклонение — вопрос не праздный. Но к счастью, он имеет достаточно простое решение, имеющее даже более глубокий смысл. Приведённый рисунок показывает его существо.

Оно заключается в том, что отклонение от заданной траектории (на рисунке она совпадает с осью X) измеряется в некоторой точке, вынесенной вперёд на расстояние L от мгновенного центра вращения машины (МПВ), которым является проекция мгновенного центра скоростей на её продольную ось, так что вектор V скорости МПВ совпадает с ней. Как видно из рисунка, при отклонении МПВ от заданной траектории на величину y и при курсовой ошибке, равной φ, отклонение выбранной точки y_k (при условии, что оба отклонения относительно невелики) будет определяться суммой (см. схему) $y_k = y + L\varphi$.

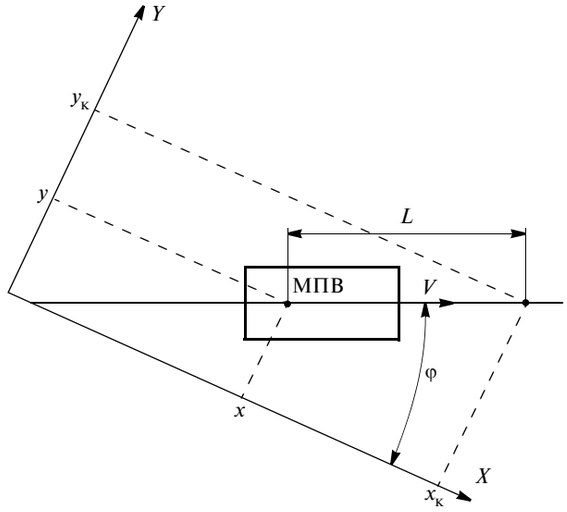


Схема формирования суммарной ошибки

Однако тут же возникают вопросы: а где на продольной оси машины расположен МПВ и как можно измерять реальную величину суммарной ошибки? Ответ на первый вопрос может быть дан достаточно быстро: с той точностью, с которой требуется знать величину y, на колёсной машине всё зависит от принятой схемы рулевого управления. Если рассматривается машина обычного вида с двумя осями и передними управляемыми колёсами, то местом МПВ можно считать середину заднего моста (разумеется, при наличии действующего дифференциала). Если же речь идёт о более сложной машине типа многоосного шасси большой грузоподъёмности, в которой поворот происходит с воздействием на ряд осей, нужно иметь в виду, что алгоритм управления таким поворотом предусматривает вполне определённое место МПВ, которое может изменяться в зависимости от условий движения по известным закономерностям (но похоже, что такие машины объектами беспилотного управления станут в последнюю очередь, если это когда-нибудь произойдёт вообще).

Гораздо сложнее ответить на второй вопрос. Реальный ответ он имеет только тогда, когда задание траектории движения происходит с помощью физического носителя любого из немногих известных видов, а ошибка определяется измерением расстояния между соответствующим приёмником (датчиком) и этим носителем, при этом приёмник (датчик) может быть установлен с выносом вперёд за продольный габарит машины. Примерами таких видов можно считать следующие (не только предлагавшиеся, но и реально испытанные): индукционные, основанные на измерении напряжённости магнитного поля, возникающего вокруг провода, по которому проходит переменный ток звуковой частоты; оптические, воспринимающие цветовые или яркостные контрасты (например, между обработанной и необработанной поверхностями); профильные, пригодные для механического копирования или ближней локации, например, ультразвуковой; про-

водниковые, обнаруживаемые средствами типа миноискателей.

Не исключено, что были и другие попытки, возможно, даже удачные, но скрытые по каким-либо причинам. Да и возможности для новых предложений также не исчерпаны. Но суть здесь заключается в том, что обеспечение беспилотных перевозок базируется на определённых вложениях в инфраструктуру в виде использования неких искусственных имитаторов. Разумеется, эти решения доступны только там, где беспилотные перевозки должны будут происходить на ограниченных площадях. Все возможные случаи такого применения перечислить трудно, но некоторые можно указать с достаточной уверенностью. Это внутрипроизводственные перевозки между цехами, прогулочные дорожки на заповедных территориях, выставки на открытом воздухе и т. п. Заодно здесь можно усилить меры безопасности, добавив к средствам, установленным на машинах, ещё какие-то стационарные устройства.

Если же навигационное обеспечение беспилотного транспорта предлагается осуществлять на такой базе, как спутниковые системы ГЛОНАСС или GPS, или на каких-то комбинациях инерционных систем с чем-то ещё, то здесь простого решения не существует. Можно теоретически предположить, что установленные средства навигации кроме координат объекта (какой-то его точки, скорее всего, места установки приёмной антенны или блока инерционных датчиков) задают направление траектории и определяют отклонение от неё оси объекта. Стоимость аппаратного и программного обеспечения при этом прогнозировать с достаточной точностью трудно.

Теперь следует объяснить, зачем нужно иметь в виду эти особенности. Здесь придётся обратиться к тому же опыту работ по автоматизации вождения тракторов и других самоходных сельскохозяйственных машин. В своё время наиболее продвинутыми были разработки по таким операциям, как отвальная пахота и уборка зерновых и других культур. При этом основным принципом действия было механическое копирование, а для пахоты ещё и оптоэлектроника по контрасту цвета между вспаханной и невспаханной поверхностями. При этом копирующие устройства устанавливались спереди машин с некоторым выносом за пределы колёсной базы, а оптоэлектроника просто осматривала участок поля на несколько метров перед трактором. Тем самым сразу определялась суммарная ошибка, и это просто принималось как факт, который учитывался в многочисленных теоретических работах того времени.

Ситуация изменилась, когда были начаты работы по применению средств радионавигации. Предлагались различные принципы действия систем, но в любом случае на машины требовалось устанавливать приёмопередающие антенны, в том числе направленного действия, но с учётом того, чтобы между ними и стационарными источниками или приёмниками сигналов никакая часть машины не создавала "радиотень". С этой точки зрения наиболее удобным местом становилась крыша кабины. Тогда отклонение от заданной траектории определялось для точки машины, слишком близкой к МПВ, и учёт курсовой ошибки практически не происходил.

Теоретический анализ сразу же показал, что система становится неустойчивой, т. е неработоспособной (смысл этого термина подробно и глубоко рассмотрен в теории автоматического управления, что позволяет здесь ограничиться кратким упоминанием). В линейных моделях систем этот факт проявлялся через критерии Рауса—Гурвица, и было показано, что единственным способом обеспечения устойчивости является именно учёт курсовой ошибки с достаточным весом в составе суммарного отклонения. Тогда же были найдены приёмы, позволяющие без усложнения аппаратных средств решить эту задачу программными средствами.

К сожалению, эти разработки несколько обогнали своё время, и их развитие остановилось, так как аппаратные и программные решения, необходимые для реализации предложенных способов управления, были еще недоступны. Когда же развитие аппаратно-элементной базы позволило вернуться к этой теме, приоритетным направлением стало использование спутниковых навигационных систем для более широкого применения, получившего название точного земледелия. Вот тогда и потребовались приёмы, найденные ранее, и их суть с достаточной полнотой была опубликована в [1].

По существу предложенные тогда приёмы вполне работоспособны и сейчас, если траектории движения беспилотного транспорта будут задаваться в программно-координатном формате. Однако нужно иметь в виду, что сельскохозяйственное производство предусматривает преимущественно прямолинейное движение по эквидистантным траекториям и с упорядоченным чередованием разворотов, а дороги и задаваемые по ним маршруты содержат повороты в разные стороны и с разной кривизной. Поэтому задание траектории должно содержать также и усреднённое значение направления в данном месте маршрута в той же системе координат. Тогда курсовая ошибка будет определяться как разность между значением, вычисленным по соотношению приращений фактических координат (как это описано в ссылке), и заданным направлением траектории в данном месте маршрута.

Сказанное выше можно резюмировать следующим образом: отклонения от заданной траектории по смещению и по курсу с необходимой полнотой определяются либо за счёт применения искусственных ориентиров, введённых в инфраструктуру ограниченной территории, либо с помощью ввода указаний о направлении заданной траектории в данном месте маршрута при использовании программно-координатных способов задания. Иные обстоятельства или способы задания маршрута заставят искать свою специфическую возможность определения курсовой ошибки.

Необходимо отметить, что эти соображения относятся к укрупнённому заданию маршрута типа от одного населённого пункта до другого или от одного почтового адреса до другого (такое задание предлагается считать "макроадресным"). Что же касается задания "микроадресного", в котором задаются непо-

средственные места погрузки, выгрузки или стоянки, то здесь предложить какие-либо конкретные решения трудно. Можно только предположить, что успешным решением будет комбинация средств, устанавливаемых как на местности, так и на борту машины.

Следующая задача навигационного обеспечения более проста по своему смыслу. Если мы владеем средствами, с необходимой точностью определяющими отклонение от заданной траектории в каждом месте маршрута, то должны иметь и средства, которые позволяют приложить к рулевому управлению именно такие управляющие воздействия, которые обеспечат движение с минимальными суммарными отклонениями на протяжении всего маршрута. По существу это типичная задача обеспечения требуемой точности при работе системы автоматического управления, которая должна отслеживать непрерывно поступающее задание. В классической постановке для её решения необходимо (кроме самого наличия соответствующих исполнительных устройств) иметь достаточно достоверную математическую модель объекта (самой машины и её исполнительного механизма) и сведения об интенсивности возмущающих воздействий, которые могут действовать на объект во время движения.

Что касается математической модели объекта, то за последние годы появилось столько исследований, содержащих необходимые для её составления сведения, что их можно не перечислять. Но важно, чтобы при составлении модели на основании этих сведений были учтены такие особенности объекта, как его управляемость (в смысле, предложенном в [2]) и динамика исполнительного механизма. Причём наиболее подходящие типы таких механизмов — электрические или электрогидравлические, обладающие ограниченным быстродействием.

Располагая такой моделью, можно и нужно решить уже конкретные частные задачи. Обычно первой решается задача проверки на "грубость", смысл которой заключается в том, что абсолютной адекватности не имеет никакая математическая модель любого реального технического объекта. Поэтому параметры модели варьируют в определённых пределах и наблюдают, как эти вариации сказываются на показателях качества работы системы (здесь — именно та самая точность). Чем "грубее" система, тем меньше отклонения этих показателей.

Затем можно решать задачу "чувствительность". В ней система из начального положения с нулевой ошибкой подвергается действию определённого возмущения. Здесь возможны варианты, когда возмущение имеет вид прямоугольного импульса или является скачком длительного действия. По определению системы такого вида являются астатическими, поэтому через некоторое время ошибка должна вернуться к нулевому значению.

Понятно, что такие задачи должны решаться на базе компьютерной реализации математической модели. Сейчас для этих целей существует множество программных продуктов, но наиболее подходящей с различных точек зрения можно считать среду *"Matlab Simulink"*.

Разумеется, каждый разработчик имеет право выбирать любую последовательность и содержательность действий, создавая свои решения. Однако длительность, трудоёмкость и стоимость испытаний, начиная от заводских доводочных и кончая приёмочными, однозначно подскажут, какие рекомендации не следует отвергать.

Литература

1. Шипилевский Г.Б. Особенности управления движением мобильных сельскохозяйственных агрегатов в системах точного земледелия // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве. Сб. докладов IX Международной научно-практической конференции 19—20 сент. 2006 г. г. Углич (часть 1). Москва 2006 г.
2. Шипилевский Г.Б. Универсальная оценка управляемости самоходных машин // Автомобильная промышленность. № 8. 2015.

УДК 629.365/367(075.8)
ББК 39.34 — 0.1 — н 73

БУКСОВАНИЕ ВЕДУЩИХ КОЛЁС ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ГРУНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Д-ра техн. наук **ГУСЬКОВ В.В., БОЙКОВ В.П., КАРПИЕВИЧ Ю.Д.; СУШНЁВ А.А.**
Белорусский НТУ (as.voshod@gmail.com)

Рассматриваются вопросы буксования колёсной машины при движении по грунтовой поверхности. В отличие от движения её по дорогам с твёрдым покрытием (асфальт, бетон, булыжник и т.д.), где сцепные качества определяются сцеплением опорной части колеса с искусственным покрытием и максимальная сила тяги определяется максимальным φ_{max} коэффициентом сцепления, движение по естественной поверхности грунта всегда сопровождается буксованием движителя и определяется процессами сжатия и сдвига грунта, возникающими в процессе движения.

Ключевые слова: *колёсный движитель, ведомые и ведущие колёса, законы сжатия и сдвига грунта, буксование, грунтовый кирпич.*

Guskov V.V., Boikov V.P., Karpievich Yu.D., Sushniov A.A.
SLIPPING OF DRIVING WHEELS WHEN DRIVING ON A GROUND SURFACE

The article deals with the issues of slippage of a wheeled vehicle when driving on a ground surface. Unlike her movement on the roads with hard surface (asphalt, concrete, cobblestones, etc.), where the coupling is determined by quality clutch bearing parts wheel with artificial turf and maximum traction force is determined by the maximum φ_{max} coefficient of adhesion, the movement of the natural soil surface is always accompanied by slippage mover and is determined by the processes of compression and shear the soil, emerging in the process of movement.

Keywords: *wheeled mover, slave and drive wheels, the laws of compression and shear the soil, slipping, soil brick.*

При движении по естественной поверхности грунта процесс взаимодействия движителя колёсной машины всегда сопровождается буксованием. Чтобы раскрыть природу буксования ведущего колеса, рассмотрим процесс взаимодействия его с грунтовой поверхностью.

av618.fm Page 14 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

Как известно, при движении колёсной машины возникают потери скорости за счёт буксования ведущих колёс. Существует несколько видений процесса буксования. Одно из них, наиболее реально отображающее процесс буксования ведущих колёс, состоит в том, что при взаимодействии ведущего колеса с грунтом действуют силы трения между опорной поверхностью шины и грунтом; силы, возникающие при упоре грунтозацепов шины в грунт; силы, возникающие при срезе грунтового кирпича боковыми гранями грунтозацепов. Если на дорогах с твёрдым покрытием основное значение имеют силы трения, то на рыхлых грунтах возрастает значение сил сдвига и среза, и во многих случаях это становится определяющим.

При движении ведущего колеса (рис. 1) его грунтозацепы сдвигают и срезают грунт в направлении, обратном движению. Упор грунтозацепов в грунт, сдвиг и срез грунтовых кирпичей, зажатых между ними, возможны только при полном использовании сил трения. Теоретически передача крутящего момента обязательно должна сопровождаться буксованием, в результате чего ось колеса как бы перемещается на соответствующее расстояние назад. В этом, главным образом, заключаются физическая сущность буксования ведущих колёс на деформируемой поверхности и причина снижения их поступательной скорости. Дополнительное незначительное снижение поступательной скорости ведущих колёс обусловливается тангенциальными деформациями шин. Благодаря эластичности в окружном направлении участки шины, приближающиеся

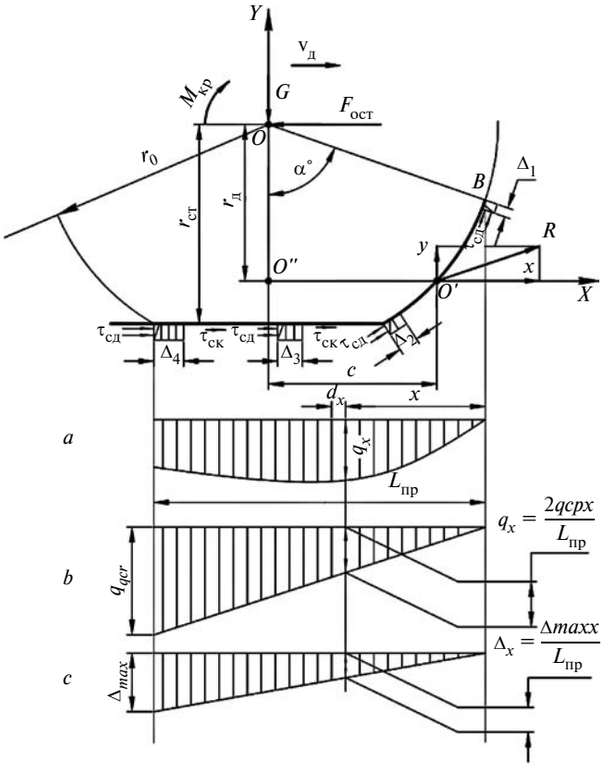


Рис. 1. Схема взаимодействия ведущего колеса с грунтовой поверхностью

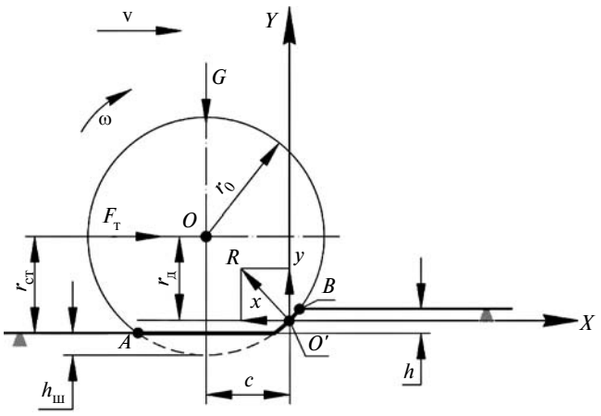


Рис. 2. Схема сил и моментов, приложенных к ведомому колесу, движущемуся по горизонтальной грунтовой поверхности в установившемся режиме

при качении колеса к площадке контакта шины с грунтом, под действием ведущего момента сжимаются, и путь, проходимый колесом за один оборот, уменьшается. Из сказанного выше следует, что сцепление опорной поверхности колеса с грунтом происходит одновременно за счёт сил трения, возникающих между шиной и грунтом, а также сил сдвига и среза грунтовых кирпичей, зажатых между грунтозацепами. При равномерном движении колеса (v = const) сдвиг и срез грунтовых кирпичей происходят в основном в период выхода последнего грунтозацепа опорной поверхности колеса из грунта. В этот момент нагрузка от вышедшего из зацепления грунтозацепа перераспределяется на остальные, находящиеся в зацеплении. Все грунтозацепы сдвигают и срезают грунт на одинаковую величину Δ_i, причём первый сдвигается на величину Δ_i, второй на величину $\Delta_i + \Delta_i = 2\Delta_i$ третий на $\Delta_i + \Delta_i + \Delta_i = 3\Delta_i$ и т.д. Поскольку первый грунтозацеп пройдёт все стадии зацепления от входа в грунт до выхода из него, наибольший сдвиг и срез грунта при выходе его из зацепления равен $\Delta_{max} = n\Delta_i$ (здесь n — число грунтозацепов в зацеплении опорной поверхности колеса с грунтом). С другой стороны, наибольший сдвиг и срез грунта можно представить как произведение коэффициента буксования δ на длину опорной поверхности колеса L, т.е. $\Delta_{max} = \delta L$.

Исследования [3, 4] показали, что распределение деформации сдвига и среза грунтовых кирпичей в контакте опорной поверхности колеса с грунтом можно представить в виде треугольника (см. рис. 1).

Напряжения сдвига $\tau_{сд\ i}$, возникающие в грунте при воздействии на него грунтозацепами, возрастают до определённого максимума, после чего они убывают и при полном срезе грунтового кирпича достигают постоянного значения $\tau_{сд.ск}$ (рис. 2). В то же время напряжение $\tau_{ср}$, возникающее при срезе грунтового кирпича боковыми гранями грунтозацепа с высотой $h_г$, можно в первом приближении считать не зависящим от деформации.

Коэффициенты трения f_n покоя и скольжения $f_{ск}$ зависят от давления q_x, причём чем больше давление,

тем меньше их величина. На рис. 3 показаны эти зависимости для двух категорий грунта: стерни суглинка и торфяника. Средние значения коэффициентов трения покоя и скольжения при q_x = 0,02...0,05 МПа (средние значения давления опорной поверхности колёс тракторов) для различных категорий грунтовой поверхности и фонов представлены в табл. 1 [1—4]. Здесь же представлены расчётные значения коэффициента K_τ деформации.

Таблица 1

Грунты (влажность, %)	Коэффициенты трения		
	скольжения $f_{ск}$	покоя $f_п$	деформации K
Супесь:			
целина (12—20)	—	—	—
стерня зерновых (12—20)	0,79	0,82	0,04
слежавшаяся пахота (12—20)	—	—	—
Суглинок лёгкий:			
целина (12—20)	0,76	0,78	0,03
стерня зерновых (15—17)	0,72	0,74	0,03
слежавшаяся пахота (11—19)	0,69	0,71	0,03
Суглинок тяжёлый:			
целина (15—20)	—	—	—
стерня зерновых (16—20)	0,76	0,79	0,04
слежавшаяся пахота (13—18)	—	—	—
Торфяник:			
целина (76—88)	—	—	—
стерня зерновых (70—76)	0,73	0,75	0,05
слежавшаяся пахота (80—84)	—	—	—
Переувлажнённый чернозём:			
рисовые чеки (48—56)	0,49	0,38	0,05

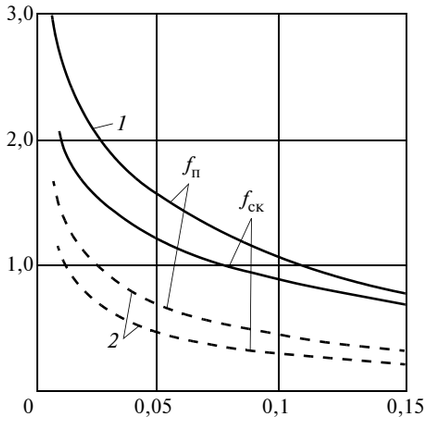


Рис. 3. Зависимость коэффициентов трения покоя $f_п$ и скольжения $f_{ск}$ от давления:

1 — суглинок, стерня (абсолютная влажность 14—16 %); *2* — торфяник, стерня (относительная влажность 70—76 %)

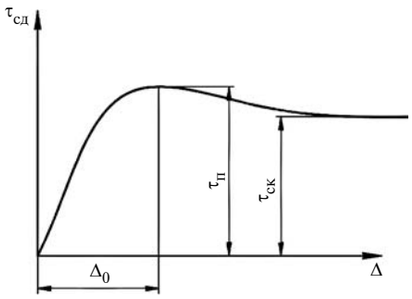


Рис. 4. Зависимость напряжений сдвига от деформации

Таблица 2

№	Формула	Примечания
1	$x = \int_0^{L_{пр}} bf_{ск}q_x\left(1 + \frac{f_п}{ch\frac{\Delta_x}{k_\tau}}\right)th\frac{\Delta_x}{k_\tau}dx$	x — деформация сдвига; q_x — нормальное давление
2	$q_x = \sum_0^{L_{пр}} q_{x_i}$	—
3	$\Delta x = \delta_x L$	δ_x — буксование на длине опорной поверхности x
4	$x = \int_0^{L_{пр}} bf_{ск}q_x\left(1 + \frac{f_п}{ch\frac{\delta_x L_{пр}}{k_\tau}}\right)th\frac{\delta_x L_{пр}}{k_\tau}dx$	$L_{пр}$ — приведённая длина опорной части колеса
5	$L_{пр} = r_0\mathrm{arctg}\sqrt{\frac{2r_0h - h^2}{r - h}} + \sqrt{2r_0h}$	—
6	$x = \int_0^{L_{пр}} \frac{2bf_{ск}q_{ср}X}{L_{пр}^2}\left(1 + \frac{f_п}{ch\frac{\delta_x L_{пр}}{k_\tau}}\right)th\frac{\delta_x L_{пр}}{k_\tau}dx$	—

Таким образом, движущая реакция x ведущего эластичного колеса, оборудованного грунтозацепами, равна сумме сил трения и реакций сдвига и среза на каждом грунтозацепе и имеет максимальное значение при некотором буксовании меньшем единицы (в пределах 25...45 % буксования в зависимости от категории грунта). Используем зависимость $\tau = f(\Delta)$ [2], предложенную профессором В.В. Кацыгиным для определения зависимости движущей реакции (силы) x от напряжений сдвига (рис. 3).

При приложении крутящего момента $M_к$ к оси ведущего колеса возникает реакция сдвига, направленная в сторону качения колеса (см. рис. 1), нормально к упорам грунтозацепа. В этом случае суммарная реакция сдвига x определяется формулой 1 (табл. 2), а входящее в неё нормальное давление q_x — по формуле 2. Зависимость напряжений сдвига от деформации представлена на рис. 4.

Поскольку, деформацию сдвига грунта грунтозацепами можно представить в виде треугольника, она вычисляется по формуле 3. Тогда уравнение 1 имеет вид 4, где $L_{пр}$ — приведённая длина (АВ на рис. 1) опорной

av618.fm Page 16 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

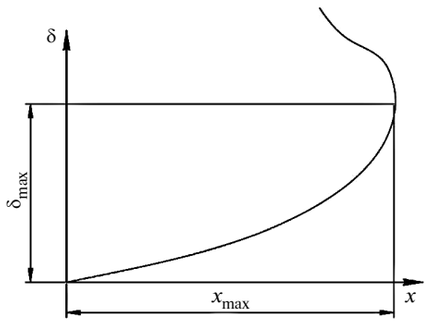


Рис. 5. Типовая зависимость движущей реакции от буксования

части колеса (формула 5). Отметим, что давление q_x опорной поверхности колеса распределено по длине $L_{пр}$ неравномерно.

Для упрощения расчётов [1—3] проводят замену сложной эпюры распределения давления по опорной поверхности колеса, в которой максимальное давление q_x достигает значения $q_{xmax} = 2q_{ср}$. Принимая эти допущения, можно определить зависимость движущей реакции x от буксования δ по формуле 6.

Типовая зависимость движущей реакции от буксования приведена на рис. 5. Как видим, движущая реакция грунта возрастает до определённой величины буксования, а затем, при дальнейшем увеличении, — снижается. Объясняется это тем, что при достижении буксования, равного δ_{max}, почвенные кирпичи, зажатые между грунтозацепами, срезаются и при дальнейшем увеличении буксования наступают процессы трения скольжения, т.е. образуется "земельное колесо" и движущая реакция уменьшается.

Литература

1. Агейкин Я.С. Проходимость автомобиля. — М.: Машиностроение, 1951. — 232 с.
2. Гуськов В.В. Тракторы. Теория / В.В. Гуськов и др.: Под общ. ред. проф. В.В. Гуськова. — М.: Машиностроение, 1988. — 376 с.
3. Литвинов А.С. Фаробин Я.Е. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. — М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.
4. Многоцелевые гусеничные и колёсные машины. Теория / Гуськов В.В. и др.: Под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора В.П. Бойкова. — Минск: Новое знание. М.: ИНФРА-М, 2012. — 543 с.
5. Пирковский Ю.В., Шухман С.Б. Теория движения полноприводного автомобиля. М.: ЮНИТИ, 2001. — 230 с.
6. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин. М.: Машиностроение, 1981. — 271 с.

УДК 629.113

ДИАГОНАЛЬНЫЕ И РАДИАЛЬНЫЕ ШИНЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ДОРОГАХ ПОВЫШЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ

Д-ра техн. наук **БАЛАБИН И.В.** и **СОКОЛОВ С.Л.**,
кандидаты техн. наук **БАЛАБИН О.И.** и **ЧАБУНИН И.С.**
МНТК производителей и потребителей колёсной
и шинной продукции,
ХК "Лойл Нефтехим", МВОКУ (tchabunin@rambler.ru)

Излагаются результаты компьютерных исследований взаимодействия шин радиальной и диагональной конструкции с опорным основанием, имеющим гладкую и шероховатую поверхности. Анализ результатов показал, что диагональные шины в силу их конструктивных особенностей и в первую очередь благодаря более эластичной беговой дорожке, обусловленной меньшим числом слоев брекера, имеют лучшую приспосабливаемость к шероховатой поверхности и способны в большей мере обеспечивать тягово-тормозную динамику автомобиля в экстремальных зимних условиях.

Ключевые слова: *диагональные шины, радиальные шины, неровности дорожной поверхности, площадь контакта шины с опорным основанием.*

Balabin I.V., Sokolov S.L., Balabin O.I., Chabunin I.S.
DIAGONAL AND RADIAL TIRES FOR USE ON ROADS INCREASED ROUGHNESS

The article presents the results of computer studies of the interaction of radial and diagonal tires with a platform having a smooth and a rough surface. Analysis of the results showed that cross-ply tires due to its design features and more supple treadmill with a smaller number of layers of the breaker, and have better conformability to the rough surface. They are able increasingly to provide traction and braking vehicle dynamics in extreme winter conditions.

Keywords: *diagonal tires, radial tires, bumps in the road surface, area of tire contact with the support base.*

В процессе эволюции автомобильных шин на смену диагональным, как известно, пришли более совершенные по большинству показателей радиальные, которые благодаря своей эффективности уже практически вытеснили с рынка прежнюю конструкцию в "легковом" секторе. В секторе же шин для грузовых автомобилей и автобусов этот процесс проходит не столь интенсивно в силу чрезвычайно разнообразных условий эксплуатации этих видов АТС, включая передвижение по дорогам второй и более низкой категории качества. При этом фактор надёжности работы шины превалирует над скоростными её свойствами. То есть диагональная конструкция по-прежнему имеет право на жизнь [1], а её свойства в сравнении с радиальной требуют более детального изучения, в том числе для легковых автомобилей.

В условиях дорог, отличающихся наличием неровностей, ощутимо воздействующих на колесо в радиальном и тем более в боковом направлении, создается угроза разрушения боковин радиальной шины, которые, как известно, имеют более тонкие стенки, к тому же не подкреплены окружными нитями корда, а потому оказываются тем более уязвимыми от внешнего воздействия и в тем большей степени, чем выше профиль. Потребовалось время, чтобы эти трудности были преодолены, чему также способствовал про-

цесс снижения высоты профиля, а также применение более прочных резин. Это, естественно, удорожало шину, но не могло помешать наступлению радиальных шин, особенно для автомобилей, эксплуатирующихся преимущественно на дорогах первой категории.

Несколько консервативным оставалось и остаётся направление замены диагональных шин на радиальные для автомобилей повышенной и высокой проходимости, хотя сейчас эти тенденции коснулись и этой категории грузовых автомобилей. Что же касается представительских автомобилей, особенно тех, маршрут движения которых наряду с асфальтированными дорогами может проходить по участкам, покрытым брусчаткой, диагональные шины здесь имеют несравненные преимущества перед радиальными, о чём мы указывали в упомянутой выше статье [1].

При эксплуатации в экстремальных осенне-зимних, зимних и ранневесенних условиях, характеризуемых наличием на дорогах слоя укатанного снега и ледяной корки, пребывающих в постоянном таянии и замерзании и создающих на дорожной поверхности микро- и макронеровности, действительная площадь контакта шины с опорным основанием может уменьшаться, что снижает степень потенциальной реализации тягово-тормозных возможностей. Жёсткий многослойный металлобрекер на гладкой поверхности дорог с асфальто-бетонным покрытием способствует более плотному контакту шины с дорогой, снижая проскальзывание в пятне контакта, повышая сцепные возможности, снижая сопротивление качению и улучшая практически все остальные показатели подвижного состава. При качении же по дороге с неровной поверхностью он препятствует плотному контакту и является причиной повышенных вибраций.

Таким образом, насколько хороши радиальные шины для дорог с чистой гладкой поверхностью, настолько же они плохи на снежно-ледяной корке. В этих условиях более эффективное взаимодействие способны обеспечить диагональные шины за счёт более эластичной и податливой коронной части.

Для подтверждения приведённых выше положений коллективом авторов проведено специальное компьютерное исследование взаимодействия радиальных и диагональных шин с опорным основанием, имеющим микронеровности размером 10 × 5 мм, расположенными в шахматном порядке по пяти направлениям в зоне контакта, имитирующими наличие на поверхности дороги снежно-ледяного слоя, характерного для дорог в зимнее время, и основанием, имеющим гладкую поверхность. Рисунок протектора шин моделировался в виде пяти продольных ребер.

Результаты исследования представлены на цветных рис. 1 и 2 (на 3-й странице обложки) в виде контактных схем, позволяющих определить суммарную площадь контакта шины с гладким опорным основанием, а также суммарную площадь контакта шины с опорным основанием, имеющим выступы высотой 2,5 мм, применительно к диагональной (6,45-13) и радиальной (175/70R13) конструкциям.

Анализ представленных диаграмм на основании подсчёта площадей контакта на гладкой и негладкой дорожных поверхностях показывает, что уменьшение площади контакта диагональной шины на неровной дорожной поверхности составляет около 18 %. Для радиальной шины это уменьшение контактной площади достигает порядка 25 %.

Таким образом, результаты проведённого компьютерного исследования показывают, что диагональные шины лучше приспосабливаются к неровной поверхности, что положительно отразится на реализации тяговой и тормозной динамики автомобиля, способствуя повышению эффективности и безопасности эксплуатации автомобильного транспорта в зимнее время. Это даёт основание рекомендовать диагональные шины как имеющие преимущества перед радиальными при зимней эксплуатации. Сравнивая диагональные шины с радиальными, необходимо учитывать и то обстоятельство, что боковины диагональных шин оказываются более стойкими к воздействию различного рода боковых сил, и с этой точки зрения очевидно их преимущество перед радиальными при эксплуатации в условиях реальных зимних дорог, для которых характерно наличие на проезжей части различного рода остатков таящего льда и укатанного слоя снега, которые способны также оказать серьёзное воздействие. Кроме того, будучи менее требовательными к применяемым резинокордным материалам, в производстве диагональные шины оказываются существенно дешевле радиальных.

В связи с изложенным, авторы настоятельно рекомендуют: не торопиться с переводом всех имеющихся мощностей производства на выпуск радиальных шин и приданием забвению диагональной конструкции, которая располагает немалыми резервами в экстремальных условиях эксплуатации, будучи к тому же более экономичной и не требующей дорогостоящих резино-кордных материалов. Кажущийся проигрыш в ходимости и топливной экономичности реально не являются столь значимыми, поскольку зимние шины по соображениям безопасности эксплуатируются при меньших скоростях движения, когда реальный расход топлива на диагональных и радиальных шинах предельно нивелируется, а ресурс зимних шин определяется не столько ходимостью протектора, сколько надёжностью работы шипов противоскольжения. Последние, как показывает практика эксплуатации, выдерживают не более трёх, в лучшем случае четырёх, сезонов при почти неизношенном протекторе. То есть измерять ресурс зимних шин интенсивностью износа беговой дорожки их протектора попросту не имеет смысла.

Литература

Балабин И.В., Балабин О.И., Чабунин И.С. Есть ли будущее у диагональных шин? //Автомобильная промышленность. —2018. — № 5.

av618.fm Page 18 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

УДК 629.113

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСНОВНОГО ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ — СИЛА В ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ И РАСЧЁТЕ МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЯ

Д-ра техн. наук **МАМИТИ Г.И., ЛЬЯНОВ М.С.** и **КИМ В.А.**
Горский ГАУ (8672.53-28-84), Белорусско-Российский университет

Динамика рассматривает законы движения тел и причины, вызывающие или изменяющие движение, которое происходит в результате взаимодействия, по меньшей мере, двух тел. Силой называется физическая величина, характеризующая взаимодействие тел, которая определяется точкой приложения, направлением и своей величиной. Недопонимание этого определения приводит к ошибкам при выводе уравнений движения и расчёте механизмов автомобиля.

Ключевые слова: *сила, точка приложения силы, направление силы, уравнение движения автомобиля, расчёт механизмов автомобиля.*

Mamiti G.I., Lyanov M.S., Kim V.A.

THE BASIC CONCEPTS OF MECHANICS — FORCE IN THE THEORY OF MOTION AND THE CALCULATION MECHANISMS OF THE CAR

Dynamics considers the laws of motion of bodies and the causes that cause or change this movement, which occurs as a result of the interaction of at least two bodies. A force is a physical quantity that characterizes the interaction of bodies, which is determined by the point of application, direction and size. A misunderstanding of this definition leads to errors in deriving the equations of motion and calculating the mechanisms of the car.

Keywords: *force, the point of application of force, the direction of force, the equation of the movement of the car, the calculation of the mechanisms of the car.*

Сила тяги

Основное понятие теории движения колёсной машины — сила тяги. Авторы учебников по теории движения автомобиля и трактора [1—11 и др.], начиная с её появления, называют силой тяги касательную (окружную, тангенциальную) реакцию опорной поверхности на ведущие колёса. Сила тяги возникает в плоскости контакта колёс с дорогой и действует в ней.

Наиболее чёткое определение силе тяги дал проф. Г.В. Зимелев [2]: "*Сила, движущая автомобиль, возникает в результате взаимодействия ведущих колёс с дорогой, обусловленного крутящим моментом, передаваемым от двигателя к ведущим колёсам. Если известны момент $M_к$, подводимый к ведущим колёсам, и радиус колёс r, то может быть найдена окружная сила $P_к$ на ведущих колёсах в точках соприкосновения шин с дорогой; окружная сила направлена в сторону, обратную направлению движения автомобиля, и представляет собой воздействие колёс на дорогу. Воздействие дороги на ведущие колёса — тангенциальная реакция T дороги направлена в сторону движения и является силой, движущей автомобиль. Эта сила носит название тяговой силы*" (с. 12—13).

Но встречаются и другие мнения. Так, автор работы [12] утверждает, *"что ложное представление о силе тяги ведущего колеса как силе, лежащей в плоскости соприкосновения ведущего колеса с дорогой, свойственны... многим... Это давнее и, к сожалению, глубоко укоренившееся не только в отечественной, но и зарубежной литературе, заблуждение"*. Вызывает удивление и другое схожее суждение — о том, что *"тяговая сила ведущего колеса приложена к его оси и компенсирует силу сопротивления корпуса автомобиля"* [13]. Автор последнего одновременно является автором ряда учебников, и в том числе [14] (для студентов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение"), который, по его мнению, "содержит новые разработки и методические подходы... выводы формул приведены в более строгое соответствие с законами и методами классической механики". В нём приводится следующее определение "Силу $\vec{F}_т$ называют силой тяги ведущего колеса. Она... приложена к центру колеса 0 и направлена в ту же сторону, что и вектор скорости $\vec{V}_k$..." [14, с. 35].

Но авторы всех учебников по теории движения автомобиля и трактора (кроме [14]) считают, что сила тяги возникает в пятнах контакта шин ведущих колёс с дорогой, приложена к ним и действует в направлении движения автомобиля и трактора в плоскости касания всех колёс с опорной поверхностью. Если автор [14 и др.] считает иначе, то ему следовало бы аргументированно показать, в чем же предшественники и современники ошибаются.

На наш взгляд, учебник должен быть кратким (немногословным), понятным, содержать основные достижения науки и последовательный вывод приводимых формул. В учебнике [14] выводу формулы для определения критической скорости по уводу автомобиля при прямолинейном движении с позиций общей теории устойчивости, разработанной А.М. Ляпуновым, уделено 4 станицы, тогда как имеется следующее простое решение в полстраницы.

Поскольку углы увода невелики (5°...10°), а углы поворота θ управляемых колёс при высоких скоростях движения, когда увод существенно влияет на управляемость и устойчивость автомобиля, также не являются большими, можно приближенно считать расстояние R от центра поворота до продольной оси автомобиля, равным

$$R = L/(\theta - \delta_1 + \delta_2), \qquad (1)$$

где L — база автомобиля; θ — средний угол поворота управляемых колёс; δ_1, δ_2 — углы бокового увода переднего и заднего мостов двухосного автомобиля.

Углы бокового увода определяются по выражениям

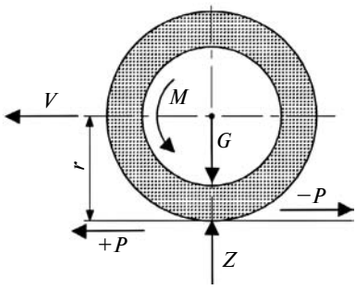
$$\delta_1 = \frac{bmV^2}{k_1 RL\cos\theta}; \quad \delta_2 = \frac{amV^2}{k_1 RL}, \qquad (2)$$

где a, b — расстояния от центра масс до передней и задней осей в плане; m, L — масса и база автомобиля, L = a + b; V — текущая скорость; k_1 и k_2 — суммарные коэффициенты сопротивления боковому уводу колёс передней и задней осей.

Тогда, с учётом равенств (2), критическая скорость по уводу автомобиля определится как

$$V_\delta = \sqrt{\frac{L}{m\left(\frac{a}{k_2} - \frac{b}{k_1}\right)}}.$$

Попробуем объяснить с помощью схемы (см. рисунок), что считают силой тяги в теории движения автомобиля.



Возникновение силы тяги в контакте колёс автомобиля с дорогой

Ведущие колёса, к которым подведён тяговый момент M, реализуют его в контакте колёс с дорогой, отталкиваясь от неё, с силой, направленной против движения, равной ($-P = M/r$), тогда как дорога создаёт противоположную реакцию ($+P = M/r$), совпадающую с направлением движения автомобиля. Эта окружная (касательная, тангенциальная) реакция дороги (опорной поверхности) на ведущие колёса автомобиля называется силой тяги.

Сила тяги возникает в плоскости контакта колёс с дорогой и действует в ней. При этом точки касания колёс с дорогой являются точками приложения сил тяжести G, приходящихся на оси автомобиля, в которых образуются нормальные реакции Z дороги, равные $Z = G$. Без реакций Z невозможно образование силы тяги, предельное значение которой ограничено сцеплением шин с дорогой. Вне контакта колёс (точек приложения сил) с опорной поверхностью, через которые передаётся сила тяжести автомобиля, невозможно возникновение силы тяги, которая затем передаётся на ось ведущих колёс.

Естественно поэтому при выводе уравнений ускоренного, равномерного и замедленного движения автомобиля приводить действующие на него силы к плоскости действия силы тяги, к контакту ведущих колёс с дорогой, благодаря которому обеспечивается подвижность автомобиля.

Таким образом, сила тяги возникает в контакте ведущих колёс с дорогой (точка приложения), действует в сторону движения колёсной машины (направление), её предельное значение ограничено силой сцепления шин с дорогой (величина).

Сила и её направление

Исследователи, занимающиеся расчётом тормозов, принимают, что в контакте барабана и накладок колодок действуют нормальные (радиальные) распределённые нагрузки и соответствующие им силы трения, возникающие при торможении. Практика показала, что расчёты, основанные на таком предположении не подтверждаются ни количественно, ни качественно.

Радиальное (нормальное) по направлению взаимодействие в контакте тормозного барабана и накладок колодок возможно только для абсолютно гладких поверхностей, то есть, когда отсутствуют силы трения, тогда как, функциональное назначение тормоза — силы трения создавать.

При изучении тормозных устройств, если нужны достоверные результаты, не учитывать шероховатость поверхностей трения, даже при желании невозможно, так как устройство с гладкими поверхностями не может создавать сил трения, а следовательно, нет и тормоза — предмета исследования.

Основываясь на понятиях классической механики, некоторые не могут представить не радиальное (нормальное) взаимодействие накладок колодок и тормозного барабана, полагая, что *"Такая расчётная схема приводит к появлению дополнительной тангенциальной составляющей... (кроме силы трения...) от силы взаимодействия накладки с барабаном... Цель данной статьи показать, что тангенциальная составляющая силы взаимодействия барабана и накладки может быть только силой трения"* [15].

Подскажем: дополнительные тангенциальные силы воспринимаются опорами колодок, естественно, не участвуя в создании момента трения.

Считая силы взаимодействия нормальными, получают до двух раз большие значения сил трения и, следовательно, момента трения барабанного тормоза. Чтобы согласовать этот результат с экспериментом, сторонники нормальной схемы нагружения придумали так называемый *"расчётный коэффициент трения"*, значительно меньший по сравнению с его реальной величиной.

Но так как активные силы, приложенные к барабану со стороны накладок колодок, не направлены по нормали к поверхности трения барабана, нормальные составляющие активных сил, которые создают тормозной момент, меньше нормальных сил взаимодействия абсолютно гладких поверхностей.

Даже неспециалисту понятно: кирпич на наклонной поверхности воздействует на неё силой (активной) тяжести G, которая уравновешивается реакцией опорной поверхности. И эта реакция, конечно же, не может быть вертикальной (нормальной). Ясно, что если активная сила направлена под углом α к поверхности, то сила трения скольжения будет создаваться не полной активной силой G, а её нормальной составляющей, которая будет тем меньше, чем больше угол α.

Этот простой пример показывает, что без учёта направления активной силы, расчёт барабанных тормозов приводит к значительным ошибкам.

Уравнение движения автомобиля

О нём в последнее время написано немало, но не упомянуть его нельзя.

Из принятых авторами учебников [2; 5; 16; 17 и др.] допущений вытекает, что уравнением движения называют уравнение прямолинейного движения автомобиля как твёрдого тела под действием плоской системы сил, направленных параллельно опорной поверхности в продольной (вертикальной) плоскости. Это уравнение считается основным в теории движения автомобиля.

Рассмотрение автомобиля как твёрдого тела с одной степенью свободы продуктивно, так как значительно упрощает вывод уравнения движения и используется всеми авторами учебников по теории движения автомобиля. Однако общепринятое в учебниках, у нас и за рубежом, уравнение движения имеет существенный изъян — в нём не учтены высоты точек приложения действующих на автомобиль сил. Ведь хорошо известно, что сила сама по себе, без точки приложения, не существует, она просто не возникнет. Для того, чтобы получить верное уравнение движения автомобиля, нужно все действующие на него силы привести при помощи те-

оремы Вариньона для плоской системы сил к плоскости контакта колёс с дорогой, в которой создаётся сила тяги.

В теории движения автомобиля рассматриваются три вида прямолинейного движения: ускоренное (при разгоне), замедленное (при торможении) и равномерное. Соответственно, для решения различных задач следует составить три новых уравнения прямолинейного движения, с учётом высот точек приложения действующих на автомобиль сил. Прямолинейного потому, что максимальные скорости ускоренного, равномерного и замедленного движений достигаются на прямолинейном горизонтальном участке дороги.

Новое уравнение *ускоренного* движения автомобиля при разгоне позволит определить влияние высот центров парусности, масс и радиуса ведущих колёс на скорость движения автомобиля. Для случая *равномерного* движения новое уравнение позволит определить реальную мощность сопротивлений движению и, тем самым, требуемую мощность двигателя, необходимую для их преодоления с максимальной скоростью. Уравнение для движения автомобиля *при торможении* с любой начальной скорости и соответствующая ему тормозная диаграмма позволят на стадии проектирования (впервые в мировой практике!) аналитически прогнозировать величину пути торможения. Отметим, что в настоящее время тормозной путь определяют во время дорожных испытаний и вносят в техническую характеристику автомобиля. Кроме того, уравнение движения, учитывающее высоты точек приложения сил, позволяет определить безопасную, исключающую поломки скорость автомобиля при преодолении порогов (вертикальных препятствий).

Рассмотрев приведённые выше примеры, хотелось бы ещё раз вернуться к понятию "сила", которая есть мера взаимодействия тел, характеризующаяся тремя компонентами: точкой приложения, направлением и величиной. Недопонимание этого определения, как видим, приводит к ошибкам при выводе уравнений движения, расчёте механизмов автомобиля и толковании автомобильных терминов.

Литература

1. Чудаков Е.А. Избранные труды. Т. 1. Теория автомобиля. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 464 с.
2. Зимелев Г.В. Теория автомобиля. — М.: Машгиз, 1959. — 240 с.
3. Фалькевич Б.С. Теория автомобиля. — М.: Машгиз, 1963. — 240 с.
4. Антонов А.С., Кононович Ю.А., Магидович Е.И., Прозоров В.С. Армейские автомобили. Теория. — М.: Воениздат, 1970. — 527 с.
5. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория. — Минск: Вышэйшая школа, 1986. — 208 с.
6. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. — М.: Машиностроение, 1989. — 237 с.
7. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. — М.: КолосС, 2004. — 504 с.
8. Вахламов В.К. Автомобили. Эксплуатационные свойства. — М.: ИЦ "Академия", 2006. — 240 с.
9. Скотников В.А., Мащенский А.А., Солонский А.С. Основы теории и расчёта трактора и автомобиля. Под ред. В.А. Скотникова. — М.: Агропромиздат, 1986. — 383 с.
10. Мамити Г.И. Теория движения двухосной колёсной машины. Механика эластичного колеса. Тяговая и тормозная динамика. Тяговый расчёт. Моделирование процесса торможения. Топливная экономичность, маневренность, проходимость и плавность хода: учебник для вузов — Владикавказ: Изд-во ФГБОУ ВПО "Горский госагроуниверситет", 2012. — 216 с.
11. Кравец В.Н. Теория автомобиля. — Нижний Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2013. — 413 с.
12. Копотилов В.И. Ещё раз о новой расчётной схеме и уравнении движения колёсной машины // Автомобильная промышленность, 2017, № 7. — С. 31—36.
13. Тарасик В.П. Математическое моделирование прямолинейного движения автомобиля // Автомобильная промышленность. 2017. № 9. — С. 17—22; № 10. — С. 19—23.
14. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с.
15. Автушко В.П., Имашева Н.П., Метлюк Н.Ф. К определению сил, действующих в системе тормозной барабан—накладка—колодка // Автотракторостроение. Выпуск 19. Теория и конструирование. — Минск: Вышэйшая школа, 1984. — С. 3—6. — 141 с.
16. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. — М.: Машиностроение, 1971. — 416 с.
17. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин. — М.: Машиностроение, 1990. — 352 с.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 629.113

СТЕНД ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВЕДУЩИХ МОСТОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Канд. техн. наук **БАЙБАКОВА А.А.**
Тихоокеанский ГУ (4212.37-51-99)

Разработаны конструкция и кинематическая схема стенда для обкатки ведущих мостов грузовых автомобилей. Стенд позволяет провести диагностику ведущих мостов грузовых автомобилей как в безнагрузочном, так и нагрузочном режимах. В процессе контролируется температурный режим с помощью датчиков, а также виброакустические характеристики.

Ключевые слова: *ведущий мост, нагрузочное устройство, приводное устройство, блокирующий вал, торсион.*

Baibakova A.A.

DEVELOPMENT OF TEST STAND FOR DIAGNOSTICS OF THE LEADING AXLE FOR TRUCKS

The construction and kinematic scheme of the stand for running-in of the leading axles of trucks are developed. The stand allows to carry out diagnostics of the leading bridges of trucks both in the loading and unloading modes. In the process, the temperature mode is monitored by sensors, as well as by acoustic characteristics.

Keywords: *drive axle, load device, drive device, blocking shaft — torsion.*

Анализ статистических данных показывает, что на отказы ведущих мостов приходится порядка 4,7 % общего числа неисправностей автомобиля. При этом ре-

av618.fm Page 21 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

монт и замена элементов моста или его полная замена достаточно трудоёмки и дорогостоящи, поэтому так важна своевременная и несложная диагностика.

Внешним признаком возникновения неисправности, как правило, служит повышенный уровень шума, проявляющийся на определённых скоростных и нагрузочных режимах, а также аномальный нагрев. Таким образом, диагностировать состояние мостов можно по тепловой напряжённости и виброакустическим показателям.

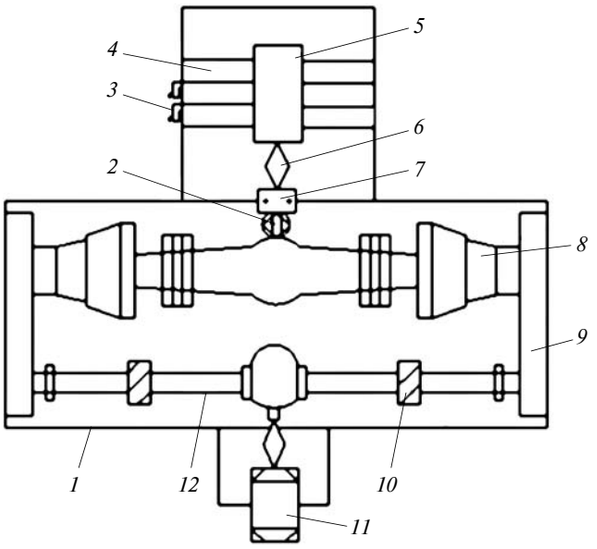
В стенде для обкатки ведущих мостов можно выделить 4 основных устройства: приводное, нагрузочное, блокирующий вал-торсион и испытуемый ведущий мост. Работает стенд по разомкнутый силовой схеме. К преимуществами этих схем относятся: достаточная простота и минимальная масса, так как отсутствуют замыкающие редукторы; лёгкость управления и программирования при ступенчатых нагрузках, возможность определения КПД и использования в процессе одного только испытуемого узла (без установки технологического). Недостаток подобных стендов связан с большим расходом энергии, что можно устранить возвратом энергии, затраченной на вращение узла.

Общая принципиальная схема стенда для испытания под нагрузкой ведущих мостов грузовых автомобилей представлена на рисунке. Основанием стенда служит Т-образная сварная рама *1*, выполненная из швеллера с опорными площадками для монтажа основных узлов стенда. Для уменьшения шума на нижней части рамы предусмотрены опоры с резиновыми прокладками.

Принцип работы заключается в том, что приводной двигатель *5* через муфту *6* приводит во вращение ведущую шестерню главной передачи заднего моста. Блокирующий вал *12* в сборе состоит из двух валов, соединённых между собой дифференциалом. Каждый вал устанавливается на двух неподвижно закреплённых на раме подшипниках. На концах валов закреплены звездочки цепной передачи *9*, натяжение которой производится перемещением блокирующего вала *12*. От последнего крутящий момент передаётся через зубчатые муфты *10* на редуктор, а затем на нагрузочный электродвигатель *11* (переменного тока).

Центральная опора *2* устроена по принципу домкрата и по своему назначению является фиксирующей базой. Плита опоры в определённом положении стопорится на раме стенда при помощи зажимов, рабочее положение которой зависит от марки испытываемого заднего моста. Механизм перемещения *3* представляет собой винтовое устройство для регулировки по высоте соосности между ведущим мостом и валом приводного электродвигателя. После регулировки винт и призма стопорятся.

Станина *4* приводного электродвигателя, представляет собой передвижную сварную конструкцию из швеллеров. Станина передвигается вдоль рамы на четырёх катках при помощи механизма перемещения. На станину устанавливается плита, которая может передвигаться в поперечном направлении для совмещения центров электродвигателя с осью ведущей шестерни главной передачи моста.



Общая принципиальная схема стенда для диагностики ведущих мостов грузовых автомобилей:

1 — рама; *2* — подвижная центральная опора; *3* — механизм перемещения; *4* — станина; *5* — приводной электродвигатель; *6* — муфта; *7* — промежуточная опора; *8* — ведущий мост; *9* — цепная передача; *10* — зубчатая муфта; *11* — нагрузочный электродвигатель; *12* — блокирующий вал

Торможение ведущего моста осуществляется нагрузочным электродвигателем *11* с фазовым ротором, который вращается с частотой выше синхронной. При работе электродвигателя в генераторном режиме в его статоре индуцируется ЭДС, превышающая напряжение сети и вызывающая торможение ротора и, следовательно, испытываемого механизма. Электроэнергия, выработанная электродвигателем в режиме генератора, учитывается ваттметром.

При включении приводного электродвигателя проводится обкатка испытуемого изделия в течение 10 минут при прямом вращении и 10 минут при реверсивном. Выполняется проверка моста на шум и нагрев в местах размещения подшипников. Затем на его левую и правую полуось с помощью нагрузочного электродвигателя *11* через цепные передачи *9*, подаётся нагрузка и проводится обкатка моста под нагрузкой. Зубчатые муфты *10* позволяют остановить одну полуось и вращать в то же время вторую, затем наоборот. Тем самым проверяется работа редуктора.

Стенд универсален, он позволяет испытывать ведущие мосты любых типов. Использование зубчатых муфт даёт возможность проверять дифференциал вращением одной полуоси при заторможенной второй. Техническое состояние ведущего моста контролируют цифровой термометр и шумомер.

Одно из приоритетных достоинств — возможность изготовления данного стенда силами предприятия без особых материальных затрат. Применение дешёвых, но в то же время отвечающих требованиям безопасности и надёжности материалов обеспечивает ему не-

высокую стоимость. Жёсткая станина не создаёт вибраций, и тем самым обеспечивает высокое качество испытаний. Применяемые в конструкции детали отвечают требованиям стандартизации, унификации, а также эргономики и эстетики. Стенд лёгок в управлении, прост конструктивно, а значит не требует трудоёмкого технического обслуживания.

Литература

1. Лукин П.П., Гаспарянц Г.А., Родионов В.Ф. Конструирование и расчёт автомобиля. — М., 1984. — 376 с.
2. Осепчугов В.В., Фрумкин А.К. Автомобиль. Анализ конструкций и элементы расчёта. — М., 1989. — 89 с.
3. Вахламов В.К., Автомобили: Конструкция и элементы расчёта. Учебник для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр "Академия", 2006. — 480 с.

УДК 656.1

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМ РАСХОДА ТОПЛИВА ГОРОДСКИМИ АВТОБУСАМИ С УЧЁТОМ СЛОЖНОСТИ МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ

Доктора техн. наук **БОЛДИН А.П., МАКСИМОВ В.А., ПОСТОЛИТ А.В., МИРОТИН Л.Б.;**
канд. техн. наук **ХАЗИЕВ А.А.**
МАДИ, НИИ прикладной телематики (madi-chim@mail.ru)

На примере современной обработки статистических данных обоснована упрощённая для использования на практике методика определения индивидуальных норм расхода топлива городскими автобусами в зависимости от сложности маршрута, а также с учётом социальной задачи стимулирования водителей экономному вождению.

Ключевые слова: *городской дизельный автобус, автобус ЛиАЗ-6212, оперативное нормирование расхода топлива, факторы, влияющие на маршрутный расход топлива городских автобусов в эксплуатации, модули программы "Statistica" 10-12 для среды WINDOWS, факторный анализ, ранжирование факторов влияния.*

Doldin A.P., Maksimov V.A., Postolit A.V., Mirotin L.B., Khaziev A.A.

METHODOLOGY OPERATIONAL DEFINITION NORMS OF FUEL CONSUMPTION URBAN BUSES, TAKING INTO ACCOUNT THE COMPLEXITY OF THE ROUTE

In this article, on the example of modern statistical data processing simplified justified for use in practice, the method of determining individual rates of fuel consumption by city buses depending on the complexity of the route, and taking into account the social objectives of encouraging drivers economical driving.

Keywords: *urban diesel bus, bus LiAZ-6212, operational rationing of fuel consumption, the factors influencing route fuel consumption of city buses in operation, modules of "Statistica" 10-12 for the WINDOWS environment, factor analysis, ranking of influencing factors.*

Согласно выполненным исследованиям, фактические показатели расхода топлива современными городскими автобусами большой и особо большой вместимости, работающими в условиях г. Москвы, существенно превышают нормы, установленные федеральными органами. То есть нормирование этого показателя для конкретных условий эксплуатации должно быть оперативным.

Исследования, выполненные в МАДИ [1, 4, 7, 8] и в Московском государственном индустриальном университете (МГИУ) [6, 9], показали, что наибольшая эффективность нормирования расхода топлива достигается только с учётом индивидуального учёта сложности маршрута по таким параметрам, как средняя скорость сообщения или средняя эксплуатационная скорость, удельное число поворотов (на 1 км пути), средняя длина перегона (расстояние между остановками), уровень наполняемости салона пассажирами, среднесуточный пробег автобуса и др. В частности, установлено, что для ЛиАЗ-6212 при совместном рассмотрении отмеченных факторов в конкретных исследованиях весовой вклад средней скорости сообщения составляет 34,6 %, средней длины перегона — 26,9 %, удельного числа поворотов — 15,4 %, среднесуточного пробега автобуса — 15,2 %, фактического наполнения салона автобуса на 1 м^2 площади пола — 7,9 % [4, 5]. Применительно к ЛиАЗ-5256.25 [9] влияющие факторы распределились несколько иначе (рис. 1).

Таким образом, заложена теоретическая и методическая основа индивидуального нормирования расхода топлива городскими автобусами в эксплуатации, суть которой представлена на рис. 2. Однако при практическом использовании указанных разработок в последующем возник ряд затруднений.

Прежде всего — это сложность получения исходных данных для расчётной модели маршрутного расхода топлива на основе линейной модели множественной регрессии [1], которая в дальнейшем должна корректироваться по принципам факторного анализа для исключения ошибок планирования ввиду неизбежных взаимосвязей между влияющими факторами. Подобный этап подготовки в условиях АТП может быть выполнен преимущественно по договору со сторонними научно-исследовательскими организациями, что затрудняет процесс внедрения. Кроме того, существенный недостаток полученных ранее моделей состоит в

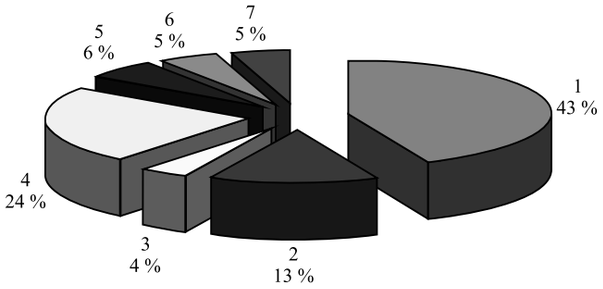


Рис. 1. Влияние факторов на маршрутный расход топлива городских автобусов ЛиАЗ-5256.25 в эксплуатации:

1 — конструкционные и технологические факторы; *2* — средняя эксплуатационная скорость; *3* — средняя длина перегона; *4* — коэффициент использования пассажировместимости; *5* — средняя плотность транспортного потока; *6* — пробег автобуса с начала эксплуатации; *7* — "возраст" автобуса

av618.fm Page 23 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

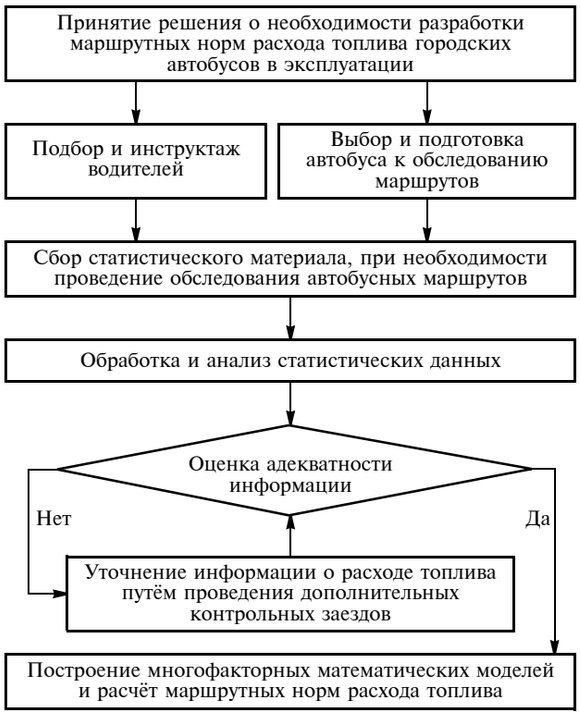


Рис. 2. Структурная схема методики нормирования маршрутного расхода топлива городских автобусов в эксплуатации

отсутствии верхних и нижних доверительных границ для индивидуальных средних значений расходов топлива, рассчитанных для конкретного маршрута.

Последнее затрудняет процессы стимулирования водителей путём выплаты премий за выполнение установленных норм и наложения штрафов за их превышение, т. е. имеет социальное значение. Очевидно, что автобусы с небольшим использованием ресурса, на которых, как правило, работают наиболее квалифицированные водители (1-го класса), и автобусы со значительным ресурсом, на которых, как правило, работают менее квалифицированные водители (второго и третьего классов), должны иметь различные нормативы расхода топлива, хотя средние оценки при статистическом анализе реально получить только по совокупности всех данных. И, наконец, целесообразно упростить модели, исключив статистически мало значимые, а также сложно оцениваемые в эксплуатации факторы. Это будет способствовать практическому применению, особенно, если выявится возможность универсализации модели и использования её в первом приближении для нормирования показателей по другим моделям автобусов и условиям эксплуатации.

По мнению авторов, отмеченные выше проблемы могут быть решены на основе более полного использования возможностей последних разработок программы *"Statistica"* (варианты 10—12) для среды *WINDOWS*, что подтверждается проведённым на ограниченном материале статистическим исследованием. Для этого использовались реальные экспериментальные данные по расходу топлива автобусами ЛиАЗ в летнее время на московских маршрутах, приведённые в двух кандидатских диссертациях, выполненных в МГИУ [6, 9], объединение которых позволило получить достаточно представительную статистику из 46 опытов (табл. 1). Проверка по широко используемому в статистике критерию Колмогорова—Смирнова

Таблица 1

Маршрутная норма расхода топлива (Q), л/100	Скорость сообщения ($V_с$), км/ч	Средняя длина перегона ($L_п$), км	Удельное число поворотов ($n_{пов}$), ед./км	Фактическое наполнение салона ($G_с$), пасс./м^2	Среднесуточный пробег ($L_{сс}$), км
62,25	15	0,38	0,5	5	207
59,64	19	0,476	0,66	4,8	250
1	2	3	4	5	6
61,9	18,3	0,35	0,75	6	258
59,83	16,3	0,417	0,4	5	245
63,06	17	0,324	0,7	6,6	210
58,72	32	0,335	0,84	4,9	176
57,29	23,6	0,67	0,95	6,5	220
61,6	14	0,48	0,67	6	244
59,31	19,6	0,732	1,02	4,9	210
60,15	12,7	0,786	0,87	4,9	223
60,67	16,3	0,56	0,75	4,9	234
60,53	26,8	0,25	0,86	6	254
62,73	16	0,573	0,83	6,2	120
62,41	20,2	0,322	0,83	6,5	224
55,35	27,2	0,417	1,03	5	507
57,36	23,6	0,67	0,950	6,5	220
57,74	24,7	0,67	0,950	6,0	250
58,12	25,8	0,67	0,950	5,5	279
58,43	23,0	0,50	0,889	6,0	270
58,74	20,2	0,32	0,828	6,5	261
58,30	20,2	0,32	0,828	6,5	242
57,86	20,2	0,32	0,828	6,5	224
57,68	18,9	0,32	0,828	6,3	200
57,51	17,6	0,32	0,828	6,0	176
59,23	20,0	0,39	0,557	6,0	176
60,95	22,4	0,45	0,286	6,0	176
59,96	22,4	0,45	0,286	6,0	176
58,96	22,4	0,45	0,286	6,0	176
58,34	17,6	0,45	0,286	6,2	157
57,72	12,8	0,45	0,286	6,4	137
60,53	17,1	0,39	0,480	6,0	137
63,34	21,4	0,33	0,673	5,5	136
60,17	21,4	0,33	0,673	5,5	183
56,99	21,4	0,33	0,673	5,5	230
56,66	21,4	0,33	0,673	5,5	225
56,33	21,4	0,33	0,673	5,5	220
59,68	17,7	0,30	0,912	6,0	229
63,02	14,0	0,27	1,118	6,5	238
61,34	19,1	0,34	0,710	5,8	238
59,66	24,2	0,40	0,300	5,1	238
58,71	24,2	0,40	0,300	5,1	238
57,75	24,2	0,40	0,300	5,1	238
57,59	25,0	0,40	0,300	5,1	259
57,43	25,8	0,40	0,300	5,0	279
58,74	25,8	0,48	0,379	5,3	279
60,04	25,8	0,56	0,457	5,5	279

av618.fm Page 24 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

Таблица 2

№	Формула	Примечания
1	$Q = 76{,}55 - 0{,}42V_с - 13{,}43l_п + 7{,}22n_{пов} - 0{,}33G_с - 0{,}017l_{сс} - 0{,}074t$	—
2	$Q = 67{,}028 - 0{,}17V_с - 2{,}33L_п + 0{,}89n_{пов} - 0{,}31G_с - 0{,}009L_{сс}$	—
3	$F_1 = 0{,}1859Z(V_с) + 0{,}0086Z(L_п) + 0{,}1437Z(n_{пов}) - 0{,}1536Z(G_с) + 0{,}9554Z(L_{сс})$	—
4	$Z = (X_i - X_{ср})/\sigma_x$	—
5	$Q = 59{,}35 - 0{,}58F_1 + 0{,}11F_2 + 0{,}25F_3 - 0{,}78F_4 - 0{,}05F_5$	—
6	$Q = 59{,}35 - 0{,}877Z(V_с) - 0{,}248Z(L_п) + 0{,}038Z(n_{пов}) + 0{,}274Z(G_с) - 0{,}702Z(L_{сс})$	—
7	$Q = 64{,}36 - 0{,}208V_с - 1{,}91L_п + 0{,}15n_{пов} + 0{,}477G_с - 0{,}012L_{сс}$	—
8	$Q = 64{,}36 - 0{,}208V_с - 0{,}012L_{сс} + 1{,}44 \cdot 1{,}78$	—
9	$Q = 64{,}36 - 0{,}208V_с - 0{,}012L_{сс} - 1{,}44 \cdot 1{,}78$	—
10	$Q_y = 64{,}36\eta - 0{,}208\eta V_с - 0{,}012\eta L_{сс} \pm 1{,}44 \cdot 1{,}78\eta$	$\eta = Q_{ЗИ}/Q_{ЛиАЗ\text{-}6212}$

на нормальность распределения показателей маршрутного расхода топлива Q подтвердила правомерность такого объединения (уровень значимости не превысил значения 0,2, достаточного для решения задач в области технической эксплуатации автомобилей [1]), и возможность дальнейшей статистической обработки. Здесь можно видеть широкий диапазон изменения маршрутного расхода топлива (порядка 10 %) в результате ещё большего относительного колебания значений влияющих факторов. Обработка подобного материала с использованием факторного анализа в работе [6] привела к получению модели 1 (табл. 2), из неё можно видеть логическое несоответствие коэффициента модели при факторе "фактическое наполнение салона" — $G_с$, который по логике должен иметь положительное значение.

Доработку модели целесообразно осуществить по схеме, приведённой в учебном пособии [2, стр. 41—58] по материалу приложения работы [6] (по 31 значениям статистики). Прежде всего необходимо получить простую линейную модель множественной регрессии, которая будет иметь вид формулы 2. Она по знакам влияния соответствует модели 1, однако по значениям коэффициентов имеет заметные различия, как в отношении свободного члена (меньше более чем на 10 %), так и в большей степени по влияющим факторам, хотя в целом будет незначительно отличаться от простой регрессионной модели, полученной по меньшему количеству исходных данных работы [6]. Таким образом, очевидна необходимость последующего проведения этапа факторного анализа с выделением независимых главных компонентов для уточнения параметров модели.

Рис. 3. График "Каменистой осыпи", отражающий степень объяснения общей дисперсии для максимально возможного количества главных компонент

При стандартном программном задании для модуля двух главных компонент без вращения и с минимальным собственным значением 1,0 программа *"Statistica"* (варианты 10 и 12) формирует два фактора, однако при этом охватывается всего 58 % общей дисперсии. В то же время автоматически отражаемый программой так называемый график "Каменистой осыпи" (рис. 3) показывает целесообразность использования до пяти главных компонент для увеличения доли охватываемой дисперсии ("крутизна осыпи" для всех главных компонент практически не меняется [1]).

Максимальная эффективность подбора главных компонент достигается при дополнительном использовании "вращения" координатных сеток на угол, при котором значения общей дисперсии для всех показателей, представляемых в нормализованном виде, достигает максимума. В табл. 3 приведены полученные при вращении осей по методу "*Varimax"* значения факторных нагрузок для всех пяти независимых факторов, практически равных между собой по охвату объяснённой доли общей дисперсии, достигающей 100 %. Отсюда значение первого общего фактора будет определяться формулой 3, где физические значения факторов влияния переведены в нормализированный вид по формуле 4. Значения средних для физических факторов влияния $X_{ср}$ и их стандартных (среднеквадратических) отклонений σ_x, автоматически вычисляемые программой *"Statistica"*, приведены в табл. 4.

Аналогично по данным табл. 3, можно определить нормализированные значения для остальных четырёх общих факторов. Вычисляемая программой *"Statistica"*

av618.fm Page 25 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

таблица парных корреляций подтвердила полную независимость подобранных факторов. Поэтому правомерно получить модель множественной регрессии для расчёта маршрутных значений расходов топлива по показателям нормализированных значений главных компонент (пяти основных факторов). В результате данного этапа модель имеет вид 5. После подстановки в неё значений факторных нагрузок вида 3 (из данных табл. 3) получим промежуточную модель на стандартизованных значениях влияющих факторов, выраженную формулой 6. Подставляя стандартизованные значения влияющих факторов (формула 4) в полученную промежуточную модель 6 для каждого физического параметра, окончательно получим выражение 7.

Анализ показывает, что данная модель существенно отличается от модели 2, вычисленной при непосредственном обобщении взаимосвязанных между собой физических показателей эксплуатационных факторов на основе применения модуля "Множественная регрессия". Она не противоречит физической логике процесса (повышение расхода топлива при увеличении загрузки салона) и даёт более точные для целей планирования оценки по пяти эксплуатационным факторам при определении маршрутных норм расхода топлива в эксплуатации. Однако в литературе рекомендуется дополнительно провести "ранжирование" указанных факторов [2], в процессе которого они могут быть сокращены. (Подобное ранжирование является обязательным этапом при проведении активных многофакторных экспериментов.) В данном случае наиболее простым способом будет выполнение анализа изменений расчётных значений расходов топлива, полученных для средних значений факторов, и при условии предельного значения (обычно в диапазоне ±2 стандартных отклонений от среднего). Полученную разницу рекомендуется представить в процентах в виде так называемых диаграмм Парето, из которых можно сделать заключения о целесообразности использования анализируемых факторов.

Таблица 3

Исходные факторы условий эксплуатации	Факторные нагрузки				
	F1	F2	F3	F4	F5
Средняя скорость сообщения ($V_с$)	0,1859	−0,3615	0,9751	0,9751	0,1154
Средняя длина перегона ($L_п$)	0,0086	0,0789	−0,9916	−0,0060	0,1016
Удельное число поворотов на маршруте ($n_{пов}$)	0,1437	0,9752	−0,0832	−0,0355	−0,1420
Фактическое наполнение салона автобуса по перегону ($G_с$)	−0,1536	0,1472	0,1109	−0,1197	−0,9634
Среднесуточный пробег автобуса ($L_{сс}$)	0,9554	0,1530	−0,0092	0,1976	0,1569
Доля общей дисперсии	0,1984	0,2007	0,2005	0,2011	0,1993

Таблица 4

Показатели	Значения средних и стандартных отклонений				
	$V_с$	$L_п$	$n_{пов}$	$G_с$	$L_{сс}$
$X_{ср}$	20,77	0,4307	0,6619	5,730	225,0
σ_x	4,208	0,1299	0,2525	0,5754	59,17

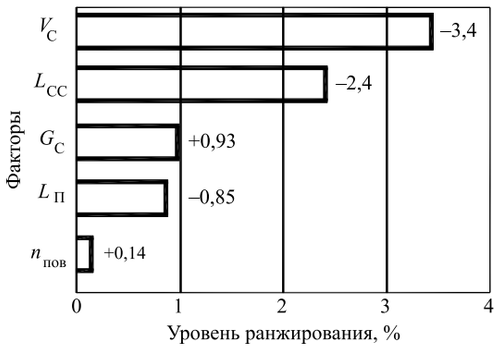


Рис. 4. Диаграммы Парето, отражающие ранжирование влияния эксплуатационных факторов на маршрутный расход топлива автобуса ЛиАЗ-6212

Результаты расчёта, основанные на данных табл. 4 и модели 7, представлены на рис. 4, из которого наглядно видно, что фактор $n_{пов}$ — число поворотов на 1 км пути — оказывает незначительное влияние на изменение расхода топлива, и на практике его можно исключить для упрощения методики. Кроме того, необходимо также учитывать, что конечные результаты расчёта маршрутных норм расхода топлива городских автобусов в эксплуатации должны проводиться с указанием верхних и нижних допустимых статистических границ, как это рекомендуется в технической эксплуатации при определении диагностических нормативов [3]. (На практике превышение маршрутной нормы расхода топлива обычно служит первым сигналом об ухудшении технического состояния автомобиля, т.е. считается одним из основных показателей его общего диагностирования.) Для рассматриваемого примера допустимые границы легко определяются с использованием стандартной ошибки оценки 1,78 л/100 км, автоматически вычисленной программой "*Statistica*". (Стандартная ошибка указывается в верхней части информационной панели при расчёте коэффициентов модели множественной регрессии, с оценкой уровня их значимости по критерию Стьюдента; там же приводится значение критерия Фишера, отражающего значимость регрессионной модели в целом.)

Из сравнения полученных значений можно видеть, что величина корректировки с учётом стандартной ошибки оценки почти в пять раз превышает предельные значения взаимно компенсирующих влияние друг друга двух факторов: загрузки салона и среднего расстояния между остановками, поэтому их также можно не учитывать при практических расчётах. Объективность последнего заключения подтверждается статистической незначимостью коэффициентов модели множественной регрессии для этих факторов.

Использование для расчётов только двух оставшихся факторов — средней скорости сообщения и среднесуточного пробега городского автобуса — на практике до предела упрощает методику оперативного нормирования, и с учётом стандартной ошибки оценки в первом приближении её можно применять для городских дизельных автобусов других моделей без проведения предварительных исследований. При этом значение критерия Фишера существенно возрастает (с 2,9 до 6,8), т.е. повышается значимость модели, одновременно со значимостью коэффициентов регрессии.

Сформулируем обобщённые рекомендации по оперативному нормированию расхода топлива по отдельным маршрутам, которые обуславливают целесообразность использования следующих подходов с учётом решения технических и социальных задач (эксплуатация автобусов разного технического состояния с водителями разной квалификации, "старение" подвижного состава и др.).

1. Норматив маршрутного расхода топлива по верхнему допустимому с 85%-ной двухсторонней доверительной вероятностью (для водителей более низкой квалификации и автобусов с длительными сроками службы с начала эксплуатации), определяется по выражению 8 (табл. 2).

2. Норматив маршрутного расхода топлива по нижнему допустимому с 85%-ной двухсторонней доверительной вероятностью (для водителей более высокой квалификации и автобусов с малыми сроками эксплуатации) определяется по выражению 9.

3. Поскольку расчёты по выражению 9 дают более "жёсткие" значения маршрутного расхода топлива (в среднем меньше порядка на 6 %), целесообразно дополнительно использовать промежуточный норматив, если сложно классифицировать комплексное понятие эксплуатационных факторов по техническому состоянию и квалификации водителя.

4. В первом приближении также можно считать, что полученные на основе статистических расчётов выражения (формулы 8 и 9) отражают общие закономерности изменения скоростных и нагрузочных режимов работы дизельного двигателя для автобусов других моделей (с большей или меньшей вместимостью и мощностью силового агрегата). Поэтому не будет большой ошибкой, используя принцип подобия, который в ТЭА используется при оценке показателей надёжности по ограниченному числу экспериментальных данных и в ряде других случаев [3], рекомендовать для повышения эффективности управления более универсальную формулу для расчёта удельных маршрутных норм расхода топлива для летних условий города Москвы (и возможно для других городов), по выражению 10. Здесь $\eta = Q_{ЗИ}/Q_{ЛиАЗ\text{-}6212}$ — коэффициент перевода показателей для другой модели, который представляет собой отношение контрольного расхода топлива автобусом, указанное изготовителем по результатам заводских испытаний, к такому же показателю для ЛиАЗ-6212 (38 л/100 км).

В дальнейшем, по мере накопления данных, можно провести последующие расчёты с использованием факторного анализа и уточнить предварительные нормы. Однако даже на основе их применения может быть получен определённый экономический эффект.

Как видим, углублённый статистический анализ, в целях установления совместного влияния пяти эксплуатационных факторов на расход топлива городскими автобусами в летних условиях города Москвы, показал возможность сокращения их числа до двух наиболее простых — средней скорости сообщения и среднесуточного пробега, за счёт введения верхних и нижних границ оценок норматива, способствующих развитию социального стимулирования водителей экономичному вождению. Рекомендуемый метод расчёта маршрутных норм расхода топлива городских автобусов в эксплуатации предельно прост для практического применения и в первом приближении может использоваться также для других моделей автобусов и условий крупных городов.

Литература

1. Болдин А.П. Основы научных исследований: учебник для студ. учреждений высш. образования / А.П. Болдин, В.А. Максимов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский центр "Академия", 2014. — 352 с. — (Сер. Бакалавриат).
2. Болдин А.П. Использование модулей программы "Statistica" и расчётных моделей для решения научных задач в области технической эксплуатации автомобилей: учебное пособие для студентов, магистрантов и аспирантов учреждений высшего образования / А.П. Болдин, В.Н. Богумил. — М.: Техполиграфцентр, 2016. — 154 с.
3. Болдин А.П., Сарбаев В.И. Надёжность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта. Теоретические основы / Учебное пособие. — М.: МАИИ, 2010. — 206 с.
4. Исмаилов Р.И. Совершенствование технической эксплуатации городских автобусов за счёт корректирования её основных нормативов и нормирования расхода топлива на основе статистической информации: дис. к.т.н. — М.: МАДИ, 2003. — 170 с.
5. Исполатов Б.Ю., Исмаилов Р.И., Максимов В.А. Методический подход к определению маршрутных норм расхода топлива для автобуса ЛиАЗ-6212 для летнего периода эксплуатации // Материалы X Международной научно-практической конференции / Под ред. И.Н. Аринина. — Владимир, ВГУ, 2004. С. 38—39.
6. Исполатов Б.Ю. Разработка методики нормирования маршрутного расхода топлива автобуса ЛиАЗ-6212 в эксплуатации: дис. ... к.т.н. — М.: МГИУ, 2005. — 176 с.
7. Максимов В.А. Научные основы повышения эффективности использования городских автобусов средствами инженерно-технической службы: дис. ... д.т.н. — М.: МАДИ, 2000. — 442 с.
8. Максимов В.А., Сарбаев В.И., Хазиев А.А. Техническая эксплуатация городских автобусов (особенности организации и управления): Учебное пособие / Под ред. д.т.н., профессора Максимова В.А. — М.: МГИУ, 2002. — 147 с.
9. Суматохин Д.Г. Повышение эффективности индивидуальных маршрутных норм расхода топлива для городских автобусов: дис. ... к.т.н. — М.: МГИУ, 2012. — 174 с.

av618.fm Page 27 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 669.753:54.116

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ ДИЗЕЛЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Доктора техн. наук **ГАДАЛОВ В.Н., ФИЛОНОВИЧ А.В.; ФИЛАТОВ Е.А., МАКАРОВА И.А., ЕРОХИН Р.Ю.**
Юго-Западный ГУ (don_filius@mail.ru)

Рассмотрены способы газотермического напыления. Дана оценка преимуществ и недостатков выбора того или иного способа напыления в зависимости от требования к материалу покрытия. Проведённые испытания на усталостную прочность в условиях знакопеременных нагрузок при деформациях ниже предела упругости показали, что аморфизированные газотермические покрытия в основном приводят к повышению долговечности материала основы.

Ключевые слова: *надёжность; работоспособность; многофункциональные покрытия; комбинированная обработка; жаропрочные стали; гильзы цилиндров, клапана газораспределения, выглаживание.*

Gadalov V.N., Filonovich A.V., Filatov E.A., Makarov I.A., Erokhin R.Yu.

THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF METHODS TO IMPROVE THE RELIABILITY AND PERFORMANCE OF PISTON GROUP PARTS OF DIESEL ENGINES MULTIFUNCTIONAL COATINGS

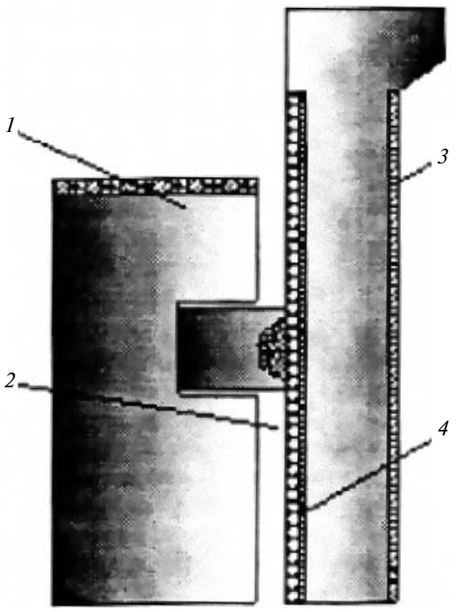
The methods of thermal spraying. Assess the advantages and disadvantages of choosing a particular method of spraying, depending on the requirements to the coating material. Tested for fatigue strength under alternating loads due to deformations below the elastic limit showed that amortiziruemye thermal spray coatings mainly lead to the increase of durability of the base material.

Keywords: *reliability; performance; multifunctional coating; combined treatment; high-temperature steel; cylinder liners, valve timing, smoothing.*

Наиболее значимым для надёжной работы дизеля узлом является, как известно, цилиндро-поршневая группа, и в первую очередь — материалы трущийся пары "гильза—кольцо". Поскольку допустимая величина износа рабочих поверхностей цилиндра и поршневого кольца составляет всего десятые доли миллиметра, то в последние годы активно развивается новый подход к их конструированию: на дешёвое и массивное основание наносить дорогое и эффективное покрытие. Накопленный опыт европейских, японских и американских компаний, а также авторов статьи показывает, что процесс плазменного напыления [1—14] — эффективный метод решения указанных проблем. Так, фирма "Зульцер Метро" на заводе "Фольксваген" в Германии ввела в эксплуатацию линию по производству дизеля V10 TDI (для моделей "Туарег" и "Фаэтон") с плазменным напылением на внутренних стенках цилиндра. Польза от реализации технологии заключается в повышении времени жизни и экономичности двигателя за счёт снижения износа, коэффициента трения и защиты от коррозии. Кроме того, весь блок цилиндров становится более дешёвым, компактным и лёгким за счёт замены стали на алюминиевые сплавы.

Плазменные защитные покрытия на деталях ЦПГ и элементах камеры сгорания (см. рисунок) позволяют в 3...4 раза уменьшить износ, увеличить время их жизни практически до выработки запаса усталостной прочности материала, улучшить технические характеристики двигателя (снизить расход топлива и масла, количество вредных выбросов, повысить мощность) и получить значительную экономию.

Плазменная технология хорошо вписывается в современные тенденции развития двигателестроения, связанные с ростом удельных мощностей дизелей за счёт повышения среднего эффективного давления в цилиндрах и направленные на повышение топливной экономичности двигателя. Как следствие, форсирование приводит к увеличению механической и тепловой напряжённости деталей дизеля. При этом вопросы



Плазменные защитные покрытия на деталях цилиндропоршневой группы:
1 — термобарьерное каталитическое покрытие поршня; *2* — износостойкое покрытие поршневого кольца; *3* — кавитационно-стойкое покрытие наружной поверхности гильзы цилиндра; *4* — износостойкое, задиростойкое, термобарьерное покрытие внутренней поверхности гильзы цилиндра

долговечности и надёжности дизеля, определяемые по отдельным его деталям и, в первую очередь, по работоспособности цилиндровой втулки, обостряются.

Гильза цилиндра локомотивного дизеля рассматривается практически всегда как монолитная деталь и изготавливается из одного материала, как правило, — из серого высокопрочного чугуна, легированного редкоземельными элементами. При этом внутренняя и наружная поверхности гильзы работают в совершенно разных условиях, и к ним предъявляются совершенно разные требования. Если наружная поверхность должна обладать, в первую очередь, высокой кавитационной и эрозионной стойкостью при сравнительно низких температурах, редко превышающих 100 °С, то внутренняя — износо- и задирокоррозионной стойкостью при высоких температурах. Сочетать такие свойства в одном материале достаточно сложно. Наиболее оптимальный путь — изготовлять внутреннюю и наружную поверхности гильзы из различных материалов. Часть же, служащая каркасом детали, должна обладать только необходимой механической прочностью, поэтому нет необходимости легировать эту область гильзы дорогостоящими редкоземельными элементами.

Таким образом, исходя из условий работы гильзы, её можно разбить на три основных зоны, к каждой из которых предъявляются свои требования. Первая — внутренний поверхностный слой гильзы, должна обладать низкой теплопроводностью, высокой износостойкостью, противозадирными свойствами, стойкостью к термическим циклам, низким коэффициентом трения в паре с поршневым кольцом; материал её должен иметь достаточную механическую и термическую прочность. Вторая — каркас, основная несущая часть втулки — должна иметь необходимую механическую прочность. Третья, примыкающая к наружной поверхности гильзы, должна обладать высокой кавитационной и эрозионной стойкостью.

В настоящее время применяемые материалы для изготовления цилиндровых втулок не могут оптимально удовлетворить все эти требования, в связи с чем наиболее целесообразно каждую зону детали формировать из материалов с заранее заданными свойствами, так чтобы во взаимосвязи между собой зоны представляли единое целое. Задача облегчена тем, что внутренняя и наружная зоны представляют собой поверхностные слои малой толщины, а значит их можно наносить на деталь именно в виде покрытий.

Покрытие внутренней поверхности нужно делать не только высокоизносостойким, но и создающим так называемый "тепловой барьер" для уменьшения термических напряжений и тепловых потерь через гильзу в охлаждающую дизель воду. Наносить его можно различными способами газотермического напыления: сверхзвуковым газопламенным, электродуговым и плазменным. Выбор наиболее рационального способа осуществляется исходя из двух принципиальных аспектов — это тепловая и кинетическая энергии напыляемых частиц. Наиболее высокие значения этих параметров достигаются при сверхзвуковом газопламенном и плазменном напылении. Однако для сверхзвукового газопламенного напыления необходима повышенная дистанция, её сокращение приведёт к недопустимому перегреву основы. Наиболее же приемлемым методом нанесения защитных покрытий на внутреннюю и внешнюю поверхности гильзы цилиндра является плазменное напыление, при котором нагрев, плавление, диспергирование и перенос напыляемого материала осуществляются плазменной струей продуктов сгорания углеводородного газа с воздухом, полученной в электрическом дуговом разряде.

Стенка цилиндра, поршневое кольцо и смазка взаимодействуют как трибологическая система с установившимся равновесием по скорости износа её компонентов и угару масла. Такой характер работы обусловливает следующие требования к материалу покрытия втулки: низкий коэффициент трения и низкий износ материала поршневого кольца в граничных условиях смазки; более низкий износ материала покрытия по сравнению с материалом кольца; высокое сопротивление термоударам; совместимость свойств покрытия с требованиями к финишной обработке зеркала цилиндровой втулки.

Благодаря тому, что для плазменного напыления используются порошки, материал покрытия выбирают в основном исходя из следующего: компоненты должны быть недефицитны и недороги; должны обеспечиваться требуемые износостойкость и коэффициент трения; в процессе эксплуатации должны сохраняться заданная пористость и маслоёмкость поверхности. Наиболее соответствуют указанным требованиям покрытия с аморфной структурой.

Впервые сплавы, которые объёмно аморфизуются при низких скоростях охлаждения (сто и меньше градусов за секунду) были получены в 1989 г. Оказалось, что для многокомпонентных сплавов, в состав которых входят металлы, образующие между собой несколько интерметаллических соединений, начинает работать принцип неопределённости. То есть конкуренция при зарождении соответствующей кристаллической фазы приводит к затратам энергии и росту времени на перестройку ближнего порядка жидкого состояния, что и позволяет достичь температуры стеклования сплава (температура, при которой вязкость достигает значений для твёрдого тела) при относительно низких скоростях охлаждения. Получение изделий из таких сплавов принципиально возможно обычными литейными методами, а толщина аморфного слоя при этом может быть больше 10 мм [15—20].

Для получения аморфизированных и наноструктурированных покрытий используют различные методы: плазменное нанесение покрытий, физическое осаждение из газовой фазы, магнетронное напыление, химическое осаждение из газовой фазы, электролитическое осаждение, локальное электроискровое нанесение покрытий (ЛЭНП) и электроакустическое нанесение покрытий (ЭЛАНП) [22—28].

Получение аморфно- и наноструктурированных материалов методом электроакустического напыления обусловлено совместным синхронным импульсным воздействием концентрированных потоков энергии

электрической искры и продольно-крутильных ультразвуковых колебаний [23—25].

В процессе ЭЛАНП осуществляется синхронное импульсное воздействие мощных продольно-крутильных ультразвуковых колебаний и низковольтного (10...40 В) электрического разряда на обрабатываемый материал. Известно [16], что ультразвуковые колебания могут создавать в зоне контакта локальные давления до 10 ГПа со скоростью приложения до 20 ГПа/с. В результате существенно возрастает вероятность появления двойников деформации, способствующих образованию ультрамелкодисперсной фрагментированной структуры.

При высоких скоростях охлаждения расплава (примерно (10^5~10^6) К/с и выше) образование и рост новых центров кристаллизации значительно замедляются, а при достижении некоторой критической скорости — прекращаются. При этом материал приобретает аморфную структуру. Если же скорость охлаждения достаточно высока, но не превышает критического значения, материал становится ультрамелкодисперсным. Высокие скорости охлаждения достигаются в результате высоких степеней переохлаждения, вызванного незначительностью объёма материала, расплавляемого и переносимого при единичном искровом разряде, по сравнению с объёмом подложки.

Таким образом, можно полагать, что высокая скорость охлаждения при практически одновременной интенсивной пластической деформации должна способствовать образованию ультрамелкодисперсной аморфно фрагментированной, а возможно, и нанокристаллической структуры материала.

В машиностроении создание новых аморфизированных и нанокристаллических материалов, покрытий, упрочняющих слоёв приводит к оптимизации конструкций, повышению их надёжности, энерго- и ресурсосбережению, улучшению трибологических, противоизносных и прочностных свойств изделий. Создание таких материалов с повышенными физико-механическими свойствами может в корне изменить понятие конструкционного материала во всех сферах в связи с уникальностью свойств. Важной отличительной особенностью аморфизированных газотермических и электроакустических покрытий является обнаруженный эффект сохранения уровня твёрдости в процессе их нагрева от 300 К до 1000 К, т.е. относительно высокий уровень HV, H_μ при температурах до 1000 К (практически на уровне этих значений при комнатной температуре (HV ~ 4500 МПа). В то время, как для кристаллических покрытий из промышленных сплавов, которые разработаны для эксплуатации в условиях трения при повышенных температурах ("Стеллит 31", Co—Cr—Ni—W—C, Т-800-Co—Cr—Mo—Si и др.), наблюдается резкое снижение HV с ~7500 МПа при комнатной температуре, до ~3000 МПа при нагреве выше 850...900 К.

В целом по уровню твёрдости в интервале температур 300...1000 К рассматриваемые покрытия с аморфной структурой превосходят кристаллические покрытия из описанных марок промышленных сплавов. Такую особенность можно объяснить упрочняющим эффектом вследствие образования микрокристаллических фаз при кристаллизации аморфной структуры покрытий в интервале температур 600...970 К, в зависимости от состава. Электронно-микроскопические исследования показывают, что размер кристаллических фаз, образующихся при нагреве до таких температур, обычно не превышает 0,1 мкм. При металлографическом анализе структурные изменения в таких случаях обычно не обнаруживаются.

Структура поверхностных слоёв деталей, в том числе и покрытий, их напряжённое состояние — один из основных факторов, который определяет сопротивление разрушению при циклических знакопеременных нагрузках. Аморфизированные газотермические покрытия повышают усталостную прочность основы в среднем на 10...40 %. Наиболее высокий уровень усталостной прочности наблюдается для покрытий нанесённых методом сверхзвукового напыления [2] благодаря более высокому уровню остаточных напряжений сжатия.

Так как фазовый состав в плазменных покрытиях толщиной 200 и 400 мкм практически не отличается, то установленное позитивное влияние аморфизированного покрытия на усталостную прочность объясняется особенностью напряжённого состояния композиции "основа—покрытие". Установлено, что на границе соединения "основа—покрытие", а также в слоях покрытия, которые прилегают к основе (глубиной до 50 мкм) действуют напряжения сжатия, максимальная величина которых достигает ~3 МПа. Очевидно, что такие напряжения служат причиной повышения усталостной прочности. С увеличением толщины покрытия постепенно уменьшаются напряжения сжатия в приграничных слоях, а на поверхности покрытий наблюдается их переход в растягивающие напряжения.

Таким образом, проведённые испытания на усталостную прочность в условиях знакопеременных нагрузок при деформациях ниже предела упругости показали, что аморфизированные газотермические покрытия в основном приводят к повышению долговечности материала основы. Такое влияние исследуемых покрытий с аморфной структурой обусловлено особенностями напряжённого состояния, а именно — формированием в них сжимающих остаточных напряжений, особенно в слоях, прилегающих к границе "покрытие—основа". Изменение уровня этих напряжений в зависимости от конструктивных параметров покрытий или разных технологических факторов определяет соответствующее влияние на усталостную прочность системы "основа—аморфизированное покрытие".

В условиях граничного трения аморфизированные покрытия характеризуются в 1,2...1,5 раза более высокой стойкостью к износу и на 50...80 % более низким коэффициентом трения. Вместе с тем покрытия, имеющие пористость выше 4,5...6,0 %, способствуют интенсивному изнашиванию контртела. При сравнении различных составов покрытий в условиях трения скольжения установлено, что лучшие триботех-

нические характеристики имеют аморфизированные газотермические покрытия из сплавов Fe—B, Ni—B, Fe—B—C—Si, Fe—Si—C, которые превосходят покрытия из более сложнолегированных сплавов систем Fe—Ni—B, Fe—Cr—B, Fe—Mo—Cr—Ni—B. Изучение коррозионных свойств аморфных металлических сплавов показало их высокую коррозионную стойкость, которая связана с системой легирования. В аморфизированных газотермических и электроакустических покрытиях в ряде случаев в аморфной матрице присутствуют нанокристаллические включения, пористость и т.п., которые в разной мере влияют на физико-химические свойства. Так, плазменные покрытия из сплава $Fe_{70}Cr_{11}P_{12}C_7$, содержащие кристаллические включения, по коррозионной стойкости сопоставимы с компактной аморфной лентой. Скорость коррозии такого композита на уровне близкого к скорости коррозии аморфной ленты, полученной методом "спиннингования" расплава.

Литература

1. Балдаев Л.Х. Современные тенденции получения газотермических покрытий / Л.Х. Балдаев, В.И. Калита // Технология металлов. 2003. № 2. С. 37—43; № 3. С. 31—35.
2. Балдаев Л.Х. Перспективы применения газотермического напыления при ремонте и производстве оборудования в промышленности / Л.Х. Балдаев // Компрессорная техника и пневматика. 2004. № 5. С. 33—34.
3. Балдаев Л.Х. Газотермическое напыление / Л.Х. Балдаев, В.Н. Борисов, В.А. Вахалин [и др.] // М.: Маркет ДС. 2007. 344 с.
4. Гордеев А.Ф. Технология газотермического напыления покрытий (ГТНП) / А.Ф. Гордеев, Р.В. Гордеева // Технология металлов. 2007. № 7. С. 48—53; № 9. С. 53—55; № 10. С. 51—55; № 11. С. 49—56.
5. Гордеев А.Ф. Материалы для газотермического напыления покрытий // А.Ф. Гордеев, Р.В. Гордеева // (ГТНП) Технология металлов. 2005. № 4. С. 51—55; № 5. С. 51—56; 2006. № 9. С. 43—56; № 10. С. 47—55; 2007. № 3. С. 48—54.
6. Мчедлов С.Г. Газотермическое покрытие и технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор) / С.Г. Мчедлов // Технология машиностроения. 2008. № 6. С. 35—46.
7. Гадалов В.Н. Изучение плазменных покрытий из порошковых многокомпонентных композиций на никелевой основе / В.Н. Гадалов, С.Г. Емельянов, С.Б. Григорьев // Материалы и упрочняющие технологии. Курск: КГТУ. 2009. Ч. 1. С. 12—27.
8. Григорьев С.Б. Нанесение защитных покрытий методом плазменного напыления / С.Б. Григорьев, А.Н. Гончаров, В.Н. Гадалов [и др.] // Материалы и упрочняющие технологии. Курск.: КГТУ 2009. Ч. 1. С. 59—66.
9. Григорьев С.Б. Участок по упрочнению и восстановлению деталей методом плазменного напыления / С.Б. Григорьев, В.Н. Гадалов, А.Н. Гончаров [и др.] // Материалы и упрочняющие технологии. Курск: КГТУ. 2009. Ч. 1. С. 66—69.
10. Гадалов В.Н. Нанесение покрытий методом плазменно-дугового напыления / В.Н. Гадалов, С.Б. Григорьев, Ю.Г. Алехин [и др.] // Материалы и упрочняющие технологии. Курск: КГТУ. 2009. Ч. 1. С. 173—179.
11. Гадалов В.Н. Повышение долговечности деталей газотермическим напылением / В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, Л.Г. Рагулина [и др.] // Химия твердого тела: наноматериалы, нанотехнологии. Ставрополь: Северо-Кавказский госуд. техн. ун-т. 2010. С. 283—285.
12. Гадалов В.Н. Нанесение износостойкого слоя плазменным напылением / В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, Т.Н. Розина [и др.] // Проектирование механизмов и машин. Воронеж. ВГУ. 2011. С. 65—82.
13. Гадалов В.Н. Изучение свойств плазменных покрытий из порошков на никель-алюминевой основе / В.Н. Гадалов, С.Г. Емельянов, Н.М. Игнатенко [и др.] // Известия ЮЗГУ. 2012. № 5 (44). Ч. 2. С. 107—112.
14. Петров С.В. Универсальные полуавтоматы для плазменного напыления композиционных защитных покрытий / С.В. Петров, В.Н. Коржик, Ю.А. Никитин // Материалы и упрочняющие технологии. Курск: ЮЗГУ. 2014. Ч. 1. С. 264—278.
15. Манохин А.И. Аморфные сплавы / А.И. Манохин, Б.С. Митин, В.А. Васильев [и др.]. УМ.: Металлургия. 1984. 106 с.
16. Панин В.Е. Новые материалы и технологии. Конструирование новых материалов и упрочняющих технологий / В.Е. Панин, Г.А. Клеменов, С.Г. Псахье [и др.] // Новосибирск: ВО "Наука", 1993. 151 с.
17. Ковнеристый Ю.К. Объёмно-аморфизирующие металлические сплавы / Ю.К. Ковнеристый // М.: Наука, 1999. 80 с.
18. Ковнеристый Ю.К. Объёмно-аморфизирующие металлические сплавы и наноструктурные материалы на их основе / Ю.К. Ковнеристый // МИТОМ. 2005. № 7 (601). С. 14—16.
19. Гадалов В.Н. Метастабильные металлические наносистемы / В.Н. Гадалов, И.С. Захаров // Материалы и упрочняющие технологии-2006: сб. матер. XIII Росс. НТК с междунар. участием. Курск, 2006. Ч. 1. С. 8—11.
20. Гадалов В.Н. Некоторые аспекты разработки наноматериалов и нанотехнологий / В.Н. Гадалов, С.Г. Емельянов // Материалы и упрочняющие технологии. Курск: Курс. гос. тех. ун-т. 2007. С. 4—7.
21. Гадалов В.Н. Применение аморфной матрицы в качестве основы композиционного материала (вопросы образования и его характеристики) / В.Н. Гадалов, С.В. Сафонов, Т.Н. Розина [и др.] // Техника и технологии: пути инновационного развития. Курск: Юго-Западный гос. ун-т. 2014. С. 70—73.
22. Гадалов В.Н. Упрочнение и восстановление деталей электроакустическим напылением самофлюсующимися сплавами на никелевой и железной основах / В.Н. Гадалов, В.Н. Бурмистров, О.А. Бредихина [и др.] // Материалы 8-й международной практической конференции — выставки "Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки (11—14 апреля 2006 г.)". СПб.: Изд-во С.-Петерб. гос. техн. ун-та, 2006. Ч. 2. С. 188—199.
23. Гадалов В.Н. Электроакустическое нанесение покрытий — прогрессивная технология для упрочнения и восстановления деталей машин и инструмента / В.Н. Гадалов, Р.Е. Абашкин, Е.Ф. Балабаева [и др.]. Материалы и упрочняющие технологии. Курск: Курск, госуд. техн. ун-т. 2008. С. 48—61.
24. Гадалов В.Н. Применение электроакустического напыления для упрочнения и восстановления деталей машин и инструмента. В.Н. Гадалов, С.Г. Емельянов, Д.Н. Романенко [и др.] // Сварщик. 2008. 1 (59). С. 26—29.
25. Гадалов В.Н. Упрочнение и восстановление деталей электроакустическим напылением самофлюсующимися сплавами на никелевой и железной основе / В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, Во Тхань Бак // Материалы и упрочняющие технологии. Курск: Юго-Западный гос. ун-т. 2011. С. 28—41.
26. Гадалов В.Н. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев [и др.] // Монография. М.: ИНФРА-М. 2011. 468 с. (Научная мысль).
27. Гадалов В.Н. Структурно-фазовое состояние, свойства электроакустического покрытия после выглаживания минералокерамикой / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Д.Н. Романенко [и др.] // Известия Юго-Запад. гос. ун-та. Курск. 2012. № 1 (40). Ч. 1. С. 107—113.
28. Гадалов В.Н. Повышение эффективности режущего инструмента из стали Р6М5Ф3 посредством нанесения электроакустических покрытий электродом Т15К6 / В.Н. Гадалов, В.В. Самойлов, О.В. Шеставина // Изв. Юго-Западн. гос. ун-та. Курск. 2012 (2). Ч. 3. С. 57—59.

av618.fm Page 31 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

ИНФОРМАЦИЯ

УДК 620:92; 629.33

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИННОВАЦИИ В АВТОМОБИЛЬНОЙ СФЕРЕ

Канд. техн. наук **ГРУШНИКОВ В.А.**
ВИНИТИ РАН (mach04@viniti.ru)

Многочисленные реализации инновационных разработок и продвижений передовых конструктивно-технологических мероприятий в области автомобилестроения и эксплуатации колёсных транспортных средств свидетельствуют о жёсткой конкуренции автопроизводителей и транспортников, эксплуатирующих эти массово использующиеся во всех отраслях экономики средств перевозки грузов и пассажиров.

Ключевые слова: *автомобилестроение, автомобильный транспорт, колёсные транспортные средства, конструкции, технологии, энергоэффективность, инновации.*

Grushnikov V.A.

PERSPECTIVE INNOVATIONS IN THE AUTOMOBILE SPHERE

Numerous realization of innovative developments and advances of the advanced constructive and technological actions in the field of automotive industry and operation of wheel vehicles testify about rigid the competition of the car makers and transport workers operating these in large quantities the economies of means of transportation of goods which are used in all branches and passengers.

Keywords: *automotive, road transport, wheeled vehicles, structures, technologies, energy efficiency, innovations.*

Коммерческая успешность продукции компаний-автопроизводителей определяется её энергоэффективностью и экологичностью, что в условиях жёсткой конкуренции требует не только отслеживания современных тенденций спроса, но и постоянного внедрения инновационных технологий.

Наглядный пример — новая концепция грузового автопоезда [1]. Экспериментально проработанная фирмами "Даймлер", МАН, "Вольво" и уже апробируемая в эксплуатации транспортным оператором "Джумбо" совместно компанией "ДАФ" новая концепция грузового автопоезда имеет своей целью повышение вместимости полуприцепа в пределах габаритной высоты 4 м при внутренней — 3 м. Реализована она автопоездом грузоподъёмностью 7,5...18 т в составе двухосного тягача с седельно-сцепным устройством на высоте 910 мм, на колёсах повышенной несущей способности посадочным диаметром 22,5 дюйма с шинами серии 45 или 50 шириной 315, 355 или 375 мм и полуприцепа на 19,5-дюймовых колёсах. Такая комбинация с увеличенными по размеру и нагрузкам колёсами автомобиля-тягача и уменьшенными по наружному диаметру и "расширенными" колёсами прицепного состава позволяет повысить вместимость такого грузового автопоезда на величину до 10 %.

Энергоэффективность колёсного транспортного средства определяется, как известно, совершенством термодинамического процесса и режимов эксплуатации двигателей внутреннего сгорания при традиционном приводе, теплового режима эксплуатации электродвигателя — в электромобиле и совместного — гибридном приводе с комбинированной энергетической установкой. Оно выражается в конкретных характеристиках потребления энергии. В рамках реализации экологической стратегии Евросоюза в тренде электромобилизации сотрудниками "Фольксвагена" в кооперации с университетом Касселя рассматриваются [2] современное состояние и перспективы совершенствования всего комплекса вопросов энергоэффективности электрических приводов колёсных транспортных средств. Особое внимание уделяется особенностям и тонкостям оценки кпд и отдельных конструктивных мероприятий, а также параметров реализации при испытаниях на барабанном стенде с выявлением потерь мощности на входе, выходе из трансмиссии и по комбинированному входному-выходному циклу. Первый метод позволяет оценить энергоэффективность бортового генератора энергии в виде мощности — будь то ДВС, электродвигатель или комбинированная энергетическая установка — на разных частотах вращения и нагрузочных характеристиках. Второй — паразитные потери циркулирующей в коробке передач трансмиссии мощности, отслеживая потоки крутящего момента. Третий на холистическом уровне позволяет оценить энергоэффективность силового агрегата в целом. И, хотя для отслеживания, регистрации и обработки большего массива исходной информации по контролируемым параметрам процессов сгорания топливовоздушной смеси в цилиндрах ДВС, преобразования тепловой энергии в механическую и её передачи трансмиссией от силового агрегата к ведущим колёсам требуется больше технических и информационно-вычислительных ресурсов, в этом случае появляется возможность оценки всей энергетической комбинированной синергетики. Это, в свою очередь, позволяет оптимизировать энергооснащённость транспортных средств с минимизацией ущерба, наносимого окружающей среде токсичными выбросами вредных веществ.

С этим неизбежным злом конструкторы и технологи автомобилестроения и автотранспортники с разной степенью успешности пытаются бороться различными способами — в том числе совершенствованием свойств автомобильного топлива с меньшей токсичностью продуктов его сгорания. Экспериментальные и подконтрольные эксплуатационные результаты использования их разных составов далеко не так однозначны, как предполагалось в самом начале их применения.

В свете постоянного ужесточения международных требований по среднему потреблению топлива (бензина — 4,1 л/100 км, дизтоплива — 3,6 л/100 км) и вы-

av618.fm Page 32 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

Рис. 1. Типичные повреждения поршня автомобильного дизеля при нарушении стандартного режима сгорания топливовоздушной смеси в цилиндре

бросов диоксида углерода системами выпуска ДВС легковых автомобилей (с 2020 г. — до 95 г/км против 130 г/км 2015 г.) моторостроители и автомобилестроители для решения этих непростых вызовов вынуждены применять всё более сложные и затратные технологии снижения токсичности отработавших газов. Сразу несколько направлений прорабатывается с этой целью. Одно из них — использование добавок к традиционному моторному топливу.

Смена эйфории по поводу массового применения в автомобильных дизелях биодизельного топлива (добавки к соляровому маслу растительных или биологических спиртов, либо смеси эфиров жирных кислот) настороженностью объясняется характерными системно зарегистрированными повреждениями компонентов цилиндро-поршневой группы ДВС (рис. 1). Многочисленными инспекциями и лабораторными исследованиями установлены [3] их причины: в отличие от нефтепродуктов ископаемого топлива, испаряющихся из смеси с маслом в контакте поршневых колец со стенками цилиндра, биодобавки и эфиры, в первую очередь, из-за высокой температуры кипения не удаляются, а напротив, образуют шламовые отложения, утоняющие, а затем и разрушающие масляную плёнку, вызывая задиры.

Химической основой этого негативного процесса является образование нерасщепляющихся и не испаряющихся возгонкой активных олефинов: олигомеров — звеньев из коротких молекул мономеров и полимеров, склонных к отложениям. Без полного отказа от использования биодизельных топлив, которые кроме всего прочего своими продуктами сгорания значительно сокращают долговечность сажевых фильтров, решить эту проблему можно реализовав механизм метатезиса — изменения местоположения компонентов химической реакции замещения в присутствии каталитически активных соединений — атомов рутения, например, — так называемых переходных материалов. Этот механизм описан ещё в 1971 г. Шовеном. В 1990 г. Шрок его реализовал каталитически, а в 1992 г. Граббс добился повышенной эффективности и устойчивости этого катализатора к воде и кислороду, за что в 2005 г. все трое были удостоены Нобелевской премии по химии.

В решении проблемы токсичности отработавших газов ДВС весьма осязаемые шансы у природного газа. Компримированный метан и сжиженный сопутствующий нефтяной газ могут сыграть [4] важную промежуточную роль на пути к перспективной цели — электромобилизации. Основное преимущество природного газа по сравнению с жидкими углеводородами заключается уже только в том, что в природном газе на 30 % меньше связанных атомами нейтрального водорода атомов углерода и азота, которые после сгорания топлива составляют токсичные монооксид углерода и оксиды азота. И это — несмотря на небольшую долю легковых автомобилей на газе (по данным официальной статистики Германии в 2014 г. в стране зарегистрировано всего 8194 ед. вновь допущенных к эксплуатации на компримированном природном газе и 6234 ед. на сжиженном сопутствующем нефтяном газе). Для эффективного использования этого экологичного топлива создаются новые ДВС с инновационными технологиями, основанными на применении улучшенных систем впуска топливно-воздушных смесей с изменённой геометрией воздуховодов, клапанов, коленвалов, увеличенными с 9,5 до 12,5 степенями сжатия и давлениями впрыска инновационными насос-форсунками. Эти конструкторско-технологические мероприятия успешно реализуются, в частности, концернами "Дельфи", "Бош" и "Мале", а также институтом автомобильных приводов и автомобильной техники Технического университета Вены. Отрабатываются они на лабораторных стендах и спортивных легковых автомобилях "Фольксваген", участвующих в ралли, гонках Формулы-3 и по Нюрнбургскому кольцу. На модели "Рэйс Туарег" в экспериментальном порядке успешно реализуется турбонаддувный ДВС рабочим объёмом 1,6 л удельной мощностью 110 кВт/л, а на автомобиле "Туран" — рабочим объёмом 1,2 л удельной мощностью 90 кВт/л.

Слабо пока раскрыт потенциал водорода в качестве моторного топлива, хотя такие известнейшие энергетические концерны — топливные операторы, как "Тоталь" и "H_2 Мобилити" основательно сориентировались [5] на массовое продвижение водородных топливных технологий (рис. 2). Уже десятая в начале сентября 2016 г. открытая в немецком Ростоке комбинированная топливозаправочная станция четвёртой в мире по объёмам добычи и продаж французской нефтегазодобывающей компании "Тоталь" пополнила сеть мультиэнергетических заправочных станций, эксплуатирующихся европейским альянсом "H_2 Мо-

Рис. 2. Топливозаправочная станция с водородным комплексом

билити" с активным участием в нём германских концернов "Даймлер", "Линде", OMV и британской фирмы "Шел".

Наряду с традиционными колонками заправки баков АТС бензином и дизтопливом, основную нагрузку по энергообеспечению подвижного состава на них несут установки электрозарядки аккумуляторов и заправки водородом резервуаров транспортных средств с топливными элементами, реализующими электрохимический процесс окисления водорода с получением полезной электроэнергии и воды в качестве выбросов. Перспективность автомобильной водородной топливной энергетической технологии объясняется плотностью её энергоносителя, обеспечивающей при современном уровне оснащения 500 км автономного запаса хода (при той же массе литий-ионные аккумуляторы электромобилей позволяют только в перспективе без подзарядки перемещаться на расстоянии до 200 км) и быстрой экспресс-заправкой баллонов с водородом за 3 мин, тогда как даже неполная зарядка аккумуляторов электромобиля требует не менее 30 мин. Расширение объёмов применения водородной топливной энергетики, начавшееся с июня 2012 г., привело к наличию в настоящий момент 50 станций с колонками заправки этим энергоёмким газовым топливом только в столичном регионе Германии и Северном транспортном коридоре. К 2023 г. ожидается увеличение их числа до 400.

В плане перспектив энергетической инфраструктуры автомобильного транспорта важную роль играет оптимальность выбора варианта топливозаправочной станции будущего. Так, например, в дипломных проектах студентов Высшей школы немецкого Гейдельберга в виде концепции комбинированных энергозаправочно-зарядных технологий реализованы [6] перспективные разработки, в пилотных вариантах уже апробируемые в компактных исполнениях топливозаправочной станции будущего, на которых энергоэффективно и оперативно немецким логистическим предпринимателем "Ликвис" в экспериментальном порядке предоставляются возможности заполнения топливных баков легковых и грузовых автомобилей с традиционными ДВС бензином и дизтопливом, баллонов АТС с газовыми двигателями — компримированным метаном, сжиженным бутан-пропаном, водородом — для топливных элементов, аккумуляторов электрифицированных транспортных средств — электричеством (на электрозарядных колонках с наиболее распространёнными в Евросоюзе вилочно-штеккерными разъёмами "Меннекес" и системы японского стандарта *CHAdeMO*. Такой широкий выбор энергоресурсов предоставляется на комбинированных станциях компании "Тоталь", активно сотрудничающей в Германии с такими энергологистическими предпринимателями, как "Раффинери Шведт" "Гааг", VNG, "Газпром", LEAG, RWE. В Берлине на газовое топливо переведены таксомоторы на базе шасси компании "Тойота". Вблизи Берлинского аэропорта подразделением "BER Тоталь" уже вырабатывается водород, который, кроме него (девять водородных топливозаправочных колонок), на 22 колонках, три из которых в Берлине, предлагается германским газовым концерном "Линде". В настоящее время "Тоталь" активно занимается решением актуальной проблемы устранения утечек жидкотекучего водорода, проникающего через поры металла автоцистерн его доставляющего.

В связи с тем, что генерируемая двигателями мощность привода колёсного транспортного средства воспринимается и передаётся ведущим колёсам трансмиссией, её энергоэффективности также уделяется большое внимание. В этом плане несомненный интерес представляет [7] революционная инновация немецкого концерна "ZF-Фридерсхаффен" в виде электронного управления механическим приводом трансмиссии, позволяющее снизить потребление топлива более чем на 10 %. Эта уже востребованная многими европейским автопроизводителями технология реализуется в автоматизированном варианте планетарной коробкой передач с ручным переключением, в двухпоточной трансмиссии и в автоматической коробке передач, в том числе с традиционным и мотор-колёсным приводом, с тепловым, гибридным и чисто электрическим приводом, в том числе на беспилотных АТС.

При этом, несмотря на вытеснение коробок с ручным переключением передач автоматическими в классе комфортабельных и не только легковых автомобилей, половина всех выпускаемых по всему миру автомобилей продолжает комплектоваться ручными механическими агрегатами трансмиссии, более конструктивно простыми, дешёвыми в изготовлении, эксплуатации, обслуживании, ремонтопригодными и долговечными. А соединение этих преимуществ с возможностями комбинированной энергетической установки, привода автоматического разобщения трансмиссии позволяет [8] экономить топливо при движении накатом и при остановке на светофоре (электронная система "старт-стоп") на первой ступени оптимизации, отказаться от использования или оптимизировать по усилию педаль сцепления на второй ступени и автоматизировать функции сцепления со снижением его износа и реализацией автоматической парковки на третьей ступени. Эти последовательности оптимизационной задачи начал решать немецкий поставщик автокомпонентов "Шейфлер", реализуя инновационную концепцию электронного сцепления ("Е-Клатч"). Принцип его действия основан на использовании, наряду с задающим перемещение штоком поршневого цилиндра, механически соединённым с педалью сцепления, приводимого электродвигателем параллельного ему и гидравлически сообщающегося с ним задающего поршневого цилиндра, механически последовательно соединённого с приёмным поршневым цилиндром перемещения выжимного подшипника корзины сцепления. Смысл инновации — в автоматическом разобщении фрикционных накладок дисков сцепления трансмиссии при снятии ноги с педали подачи топлива (акселератора) и их замыкании при касании рычага переключения передач рукой. Экспериментальная апробация такого электронного сцепления в базовой версии под обозначением "МТ плюс" на легковом автомобиле "Опель Корса" с мягким гибридным приводом (ДВС рабочим объёмом 1,2 л и электромашина мощностью 51 кВт) продемонстрировала

3%-ную экономию топлива при движении накатом и 8%-ную — в цикле городского движения.

При всём достоинстве инновационных продуктов различных концепций, назначений и уровня потребительских свойств редкий из них, особенно в условиях современного богатства предложений, сможет сразу же после анонсирования и начала серийного производства выйти на широкий рынок без серьёзной подготовки и поддержки. В рамках обычной свободной конкуренции речь идёт о рекламе и коммерческом продвижении товаров и услуг. Но в случае отстаивания общенациональных и транснациональных интересов, как при поиске способов противодействия пагубному для всего человечества процессу глобального потепления, без государственной и даже объединённой межгосударственной или транснациональной поддержки просто не обойтись! Проследим её эффективность в регионе Боденского озера.

По достоинству оценив положительный опыт электромобилизации Франции и Нидерландов (с долей электрифицированных колёсных транспортных средств среди вновь зарегистрированных в 2015 г. — 9,9 %, а в 2016 г. — 6 %) и, в особенности, Норвегии (22,5 % и 29 % соответственно) правительства Швейцарии, Австрии и Германии, граничащих друг с другом по Боденскому озеру, приняли решение о государственной поддержке [9] своих национальных программ электромобилизации. Действующий с мая 2016 г. экологический бонус, на финансирование которого только в Германии до 2020 г. сначала было выделено 1,2 млрд, а с весны 2017 г. — в общей сложности 5 млрд, составляет 4 тыс. за приобретение электромобиля и 3 тыс. — за гибридное транспортное средство. Это должно переломить застойную ситуацию (0,7 % электрифицированных транспортных средств в 2015 и 2016 гг.), сдерживающую реализацию намеченных правительством Германии планов появления на дорогах страны в 2020 г. не менее 1 млн экологически чистых колёсных транспортных средств. На конец 2016 г. их насчитывалось 77 тыс. ед. (37 тыс. электромобилей и 40 тыс. ед. гибридов).

И, наконец, после анализа сфер применения и области распространения инноваций перейдём к рассмотрению наиболее интересных концепций и конкретных реализаций, роль которых состоит в положительных изменениях в обществе, а значение определяется пользой, ему приносимой. Из выдающихся инноваций в виде прорывных технологий, способных принести мировой экономике выгоду до 2025 г. от $14 трлн до $33 трлн, выделенных авторитетнейшим в области прогнозирования технического прогресса, в частности, Глобальным институтом МакКинси (MGI), в нашем приложении особого внимания заслуживают "Автоматизация интеллектуального труда" ($5—6,7 трлн), "Продвинутая робототехника" ($1,6—4,5 трлн) и "Самоуправляемые автомобили" ($0,3—2 трлн). Они зародились в исследовательских лабораториях, доводятся в опытно-промышленных образцах и оцениваются в подконтрольных испытаниях.

Их эксплуатационная оптимизация строится на компромиссе разумных требований к качеству, производительности и стоимости на протяжении всего жизненного цикла продукции. Но начинается всё с проектирования. Наряду с такими классическими методами, как Интегрированная поставка проекта — *Integrated Projekt Delivery* (*IPD*), Параллельная инженерия — *Concurrent Engineering (CE)* и Одновременное проектирование — *Simultaneous Engineering (SE)*, для реинжиниринга существующих продуктов и их совершенствования в настоящее время по правилу ворот качества на принципах отрицательной обратной связи уже не первый год применяются [10] методы, основанные на использовании фрагментарной априорной и уточняющей привлечённой информации с её реактивным управлением. Гибкая методология разработки продукта на основе динамического проектирования (*DPD*) — инновационная концепция проектирования и продвижения продукта в более широком временном диапазоне заключительного этапа жизненного цикла предшественника и прогноза успешности прототипа. Обратная связь в *DPD* основана на использовании гибких алгоритмов управления в реальном времени качественной информацией, что облегчает контроль и снижает вероятности рисков нежелательных событий. Их низкий уровень поддерживается высокой частотой итерационных процедур верификации и валидации значений контролируемых параметров. Это подтверждается подобной практикой прототипирования образцов новой автомобильной техники, более двадцати пяти лет в постоянно совершенствуемых модификациях успешно применяемой японской автомобилестроительной компанией "Тойота".

Обоснованность, действенность и плодотворность этой концепции и разновидностей её различных успешных реализаций мировыми грандами автомобилестроения подтверждается многочисленными примерами совершенствования методов и способов автомобильного прототипирования. Так, например, сотрудниками кафедры электрических и электронных компонентов автомобилей Технического университета немецкого Ахена на примере разработки городского электромобильного таксомотора всесторонне оценены [11] преимущества цифрового прототипирования (рис. 3).

Рис. 3. Реализация методов цифрового прототипирования легкового автомобиля

Рис. 4. Испытательные эксперименты по оптимизации аэродинамического сопротивления легкового автомобиля

Реализованный в рамках исследовательского проекта *ACM2* программы *IKT* третьей стадии электромобилизации этот разработанный в Германском аэрокосмическом центре *DLR* инструмент проектирования позволил сократить временные и материальные затраты и с начала 2017 г. приступить к изготовлению в опытном производстве университета восьми пилотных электромобилей "Сити э Такси", предназначенных для проведения натурных подконтрольных эксплуатационных испытаний будущих серийных электрических таксомоторов, органично вписывающихся в Национальную программу электромобилизации Германии.

Совершенствование конструкции легкового автомобиля — процесс многогранный и взаимосвязанный, состоящий в нахождении оптимальных значений отдельных параметров и разумного компромисса между ними. Непоследнее место в нём занимает улучшение аэродинамики — снижение лобового сопротивления набегающему потоку воздуха (рис. 4) современных колёсных транспортных средств, способных развивать максимальную скорость до 200...300 км/ч. С учётом того, что его влияние на общие потери в виде сопротивления движению становится превалирующим начиная со 140 км/ч, понятно то внимание, которое уделяется этому показателю, определяющему уровень потребления энергии: топлива — при оснащении транспортного средства современным ДВС или электричества — в случае электромобиля и автомобиля с комбинированной энергетической установкой, а также выбросов в атмосферу с отработавшими газами вредных веществ.

На фоне постоянного ужесточения требований по охране окружающей среды (экологические нормы выбросов диоксида углерода и оксидов азота в Европе к 2020 г. по сравнению с 1995 г. законодательно снизятся вдвое) весьма логичными и просто объяснимым выглядит стремление абсолютно всех автопроизводителей ограничить выбросы токсичных продуктов сгорания топливо-воздушной смеси в цилиндрах автомобильных ДВС всеми возможными способами, в том числе самым эффективным — за счёт сокращения потребления углеводородного топлива. Самый же радикальный способ — полный отказ от ДВС и переход на чисто электрическую. В любом случае энергоэффективность транспортных средств нуждается в точной, адекватной и обоснованной оценке на основе стандартных процедур контроля потребления энергии. С учётом особенностей его замеров с переходом в 2018 г. с имитационного Нового Европейского ездового цикла (*NEFZ* — в немецкой аббревиатуре и *NEFD* — в английской) на всемирный цикл *WLTP* с другим набором и продолжительностью более скоростных режимов движения и расширяющимся процессом электромобилизации многими исследователями, в том числе с кафедры аэродинамики Технического университета Дармштадта и автомобилестроительного концерна БМВ оцениваются роль и перспективы совершенствования всех систем колёсного транспортного средства и, не в последнюю очередь, вызывающего потери реализуемой мощности — аэродинамического сопротивления легкового автомобиля. Значение коэффициента аэродинамического сопротивления на энергоэффективность уже теоретически определятся зависимостью от квадрата скорости движения и экспериментально установленной долей в общем сопротивлении, составляющей около 20 %, т.е. большей, чем сопротивление качению и преодоление инерционной массы подвижного состава с ДВС, а для электромобиля с рекуперацией энергии торможения — даже более 50 %! В ретроспективном анализе [12] отмечено снижение C_x с 0,5...1 в начале XX в. до 0,34 в 1990-х гг. и до 0,22...0,25 в настоящее время. На примере легкового автомобиля БМВ седьмой серии с C_x = 0,24 в 2015 г. рассматриваются способы доведения в перспективе этого показателя до целевой величины 0,185!

Поскольку эксплуатационные свойства колёсных транспортных средств определяются сначала совершенством конструктивно-технологических решений, заложенных в проекте, а затем — процессов изготовления деталей, агрегатов систем и их сборки на заводском конвейере, важнейшее значение принадлежит метрологическому обеспечению различных производственных циклов и каждого из их переделов. Не нуждающаяся в доказательствах роль измерительной техники в автомобилестроении в современных условиях широкого распространения роботизированных комплексов (рис. 5) многократно возрастает, обеспечивая недоступную ранее точность изготовления. Стремительный рост роли и значения измерительной техники в автомобилестроении демонстрируется [13], хотя бы глобальным объёмом заказанного на 2018 г. производителям контрольно-измерительного оборудования, в стоимостном выражении уже составившим $1,2 млрд. Переход от простого операторского измерения к роботизированному перед сборочным конвейером, на нём и на посту окончательного контроля знаменует собой слияние измерительного и сборочного процессов с нулевой ошибкой и непосредственным использованием результатов в системе индустрии четвёртого поколения. Преимущества такого симбиоза в полной мере реализуются комплексами с информационно-вычислительной системой и радиочастотным идентификатором с инновационным программным интерфейсом *"Sahhir QD"*, например, немецкой технологической фирмы "Шнейдер Месстехник".

Самыми достоверными мерилами оценки эффективности достигнутых мероприятий по оптимизации технико-эксплуатационных свойств спроектированных и изготовленных технических объектов, в том

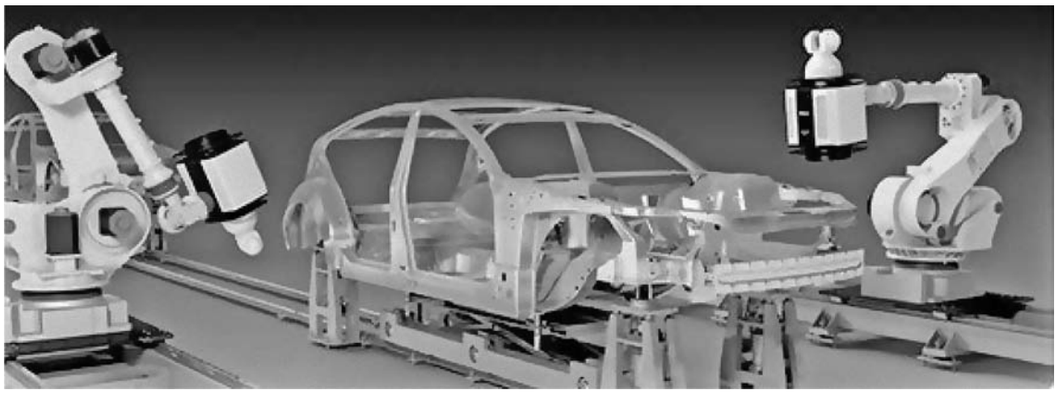


Рис. 5. Роботизированные комплексы в измерительном и сборочном процессах создания автомобилей

числе и в первую очередь, таких как колёсные ТС были и продолжают оставаться результаты стендовых и дорожных полигонных и эксплуатационных испытаний. Они используются для доводки прототипов и дальнейшего совершенствования серийных моделей с обновлением в модернизированных модификациях и версиях с улучшенными характеристиками, продлевающими жизненный цикл базовой модели — основы конструктивной серии.

Этот сквозной комплексный подход к оптимизации потребительских свойств колёсных транспортных средств можно проследить [14] на наглядном примере доводки и модернизации эксклюзивных и серийных дорожно-спортивных болидов. В полигонных и эксплуатационных испытаниях обновлённый итальянский заднеприводный легковой автомобиль "Феррари 488 Спайдер" габаритными размерами с длиной 4568 мм, шириной 1952 мм и высотой 1213 мм, колёсной базой 2650 мм с восьмицилиндровым V-образным бензиновым ДВС с непосредственным впрыском топлива рабочим объёмом 3902 см^3, номинальной мощностью 495 кВт (670 л. с.) при 8000 мин$^{-1}$, максимальным крутящим моментом 760 Н · м при 3000 мин$^{-1}$, степенью сжатия 9,4 и наддувом в 130 кПа с семиступенчатой двухпоточной коробкой передач показал разгон до 100 км/ч всего за 3,1 с, максимальную скорость 325 км/ч, торможение до полной остановки со скорости 100 км/ч на пути 31,4 м, дальность автономного хода 484 км, среднее потребление топлива 16,1 л/100 км в имитационном ездовом цикле *NEFZ*, отличную жёсткость кузова на виражах, комфортабельную подвеску, быстроту переключения передач трансмиссии, отличные тормозные свойства, хорошую эксплуатационную технологичность. Эти его преимущества, ставшие плодом кропотливого труда инженерно-технического состава известнейшего итальянского концерна — производителя эксклюзивных легковых автомобилей, будут использованы при производстве других дорожно-спортивных болидов.

Результаты лабораторно-дорожных исследований и испытаний по совершенствованию экологических свойств автомобилей служат объективным мерилом их оценки и позволяют на достоверной основе проводить сравнительные сопоставления и разрабатывать векторы стратегии оптимизации комплексных и дифференциальных параметров колёсных транспортных средств. Реалистичность такой оценки обусловлена целым рядом конкретных условий. В связи с этим на основе результатов проведённого компетентного ретроспективного аналитического исследования путей и способов решения проблемы токсичности систем выпуска легковых автомобилей, пассажирских и грузовых развозных фургонов с ужесточением экологических норм рассматриваются изменения составных элементов и продолжительности контрольного испытательного цикла [15]. Отслеживаемый по режимам движения и выбросам вредных веществ на барабанном стенде с регистрацией датчиками контролируемых скоростей и токсичности отработавших газов и на аттестованных дорогах автополигонов и общего пользования с лабораторным следящим комплексом действующий Новый Европейский ездовой цикл *NEFZ* со средней скоростью имитационного движения 34 км/ч и максимальной в 120 км/ч с сентября 2017 г. будет заменён циклом Всемирной гармонизированной испытательной процедуры *WLTP* с увеличенной до 131 км/ч скоростью и её колебаниями. В измерительной системе *RDE* будет использоваться процессор *PEMS* австрийской производственно-технологической компании AVL.

На ранних стадиях испытаний прототипов и доводки предсерийных образцов автомобильной техники очень информативными являются результаты имитационных модельных математических исследований и связанных с ними единой целью оптимизации параметров стендовых испытаний агрегатов, систем и полнокомплектных колёсных транспортных средств со стандартизованной критериальной оценкой степени совершенства дифференциальных и/или интегральных потребительских свойств. Проследим это на примере эффективности информационной поддержки электронной системы рулевого управления автомобиля.

Верифицированные и валидированные данными стендовых испытаний (рис. 6) результаты виртуальных и экспериментальных исследований [16] коллектива сотрудников института автомобильной техники Технического университета Брауншвейга и автомобилестроительного концерна "Фольксваген" по эффективности информационной поддержки системы рулевого управления позволили разработать методику её оценки с минимальной среднеквадратической ошибкой и

av618.fm Page 37 Thursday, May 24, 2018 12:05 PM

Рис. 6. Стендовые испытания легкового автомобиля

дисперсией отклонений прогнозных расчётных и реальных значений амплитудно-частотных характеристик контролируемых процессором значений датчиков виброперемещений и виброускорений разомкнутой импульсной системы рулевого управления легкового автомобиля с современной информационно-навигационной коммуникацией. Эти инновационные наработки легли в основу новой концепции, использованной в последней модификации легкового автомобиля "Фольксваген Гольф" четвёртого поколения.

Рассмотренные эксплуатационные и конструкторско-технологические инновационные решения в области использования, проектирования и изготовления колёсных транспортных средств — это только несколько примеров поиска и нахождения оптимизационных вариантов организации современных производственных процессов транспортной, автокомпонентной и автосборочной отраслях экономики, позволяющих повысить энергоэффективность таких сложных технических объектов, как колёсные транспортные средства, и улучшить экологическую ситуацию. Трендами этих оптимизационных инноваций, безусловно, являются электромобилизация и беспилотные автомобили.

Литература

1. Wildhage H.-J. Auf die Reifengröße kommt es an // DVZ: Dtsch. Verrehrs-Ztg. — 2016. — 70. — № 36. — С. 10.
2. Saß H. Entwicklungsumgebung zur Effizienzsteigerung von elektrischen Traktions maschinen // ATZ: Automobiltechn. Z. — 2016. — 118, № 12. — С. 62—68.
3. Saß H. Entwicklungsumgebung zur Effizienzsteigerung von elektrischen Traktions maschinen // ATZ: Automobiltechn. Z. — 2016. — 118, № 12. — С. 62—68.
4. Schröder O., Pabst C., Munack A., Krahl J. Absenkung der Siedelinie von Biodiesel mittels Metathese // MTZ: Motortechn. Z. — 2016. — 77. № 2. — С. 68—75.
5. Erdgas. Die greifbare Chance // MTZ: Motortechn. Z. — 77. — 2016, № 2. — С. 9—13.
6. Wasserstoff kommt. Warum Total gemeinsam mit Mobility auf die neue Technologie setzt // Brennstoffspiegel und Mineralölrdsch. — 2016, № 12. — С. 42—44.
7. Urbansky F. Wie die Tankstelle der Zukunft aussieht // Brennstoffspiegel und Mineralölrdsch. — 2017, № 1. — С. 16—17.
8. Buhl J., Hochrein M., Temp A. "By wire" bringt Effizienz ins Kupplungssystem // MTZ: Motortechn. Z. — 2016. — 77, № 2. — С. 40—45.
9. Mayer H.W. Handschaltgetriebe und Hybridantrieb miteinander vereint // VDI-Nachr.(ichten). — 2016, № 22. — С. 19.
10. Eine Empirische Untersuchung in der Bodenseeregion // ew: Elektrizitätswirt. — 2017. — 116, № 3. — С. 20—25.
11. Kampker A., Förstmann R., Ordung M., Haunreiter A. Prototypen im agiilen Entwicklungsmanagement // ATZ: Automobiltechn. Z. — 2016. — 118, № 7—8. — С. 72—77.
12. Schütz T., Klußmann S., Neuendorf R. Automobile Aerodynamik im Jahr 2020// ATZ: Automobiltechn. Z. — 2016. — 118, № 12. — С. 54—58.
13. Schnell U. Raus aus dem Messraum, Rein in die Fertigung // Maschinenmarkt. — 2016, Прил. Produkt-Guide. — С. 86—88.
14. Auf und davon // Auto, Mot. Und Sport. — 2016, № 22. — С. 38—40.
15. Wissmann M. Aus dem Labor direkt auf die Straße// AMZ: Auto, Mot., Zubehyr. — 2016. — 104, № 7—8. — С. 32—33.
16. Nippold C., Küükay F., Henze R. Prüfstandsbasierte Vorbedatung von Lenksystemen // ATZ: Automobiltechn. Z. — 2017. — 119, № 1. — С. 72—78.

Коротко о разном

Существенный рост объёма продаж магистральных тягачей MAH семейства TGX, наблюдавшийся в 2017 г., сохраняется и в первом полугодии 2018 года. По результатам первого квартала 2018 года компания получила заказы на 500 таких тягачей.

В апреле ООО "MAH Трак энд Бас РУС" отгрузило 78 автомобилей ООО "ИксПиО Лоджистик Фреш" (российскому филиалу международной логистической компании). В российском парке фирмы около 200 автопоездов и более 40 среднетоннажных грузовиков для дистрибуции. С брендом MAH отделение сотрудничает с 2007 года. Нынешняя поставка стала продолжением и развитием долговременного и эффективного сотрудничества. Все тягачи окрашены в фирменный белый цвет, а на кабину нанесены яркие логотипы, что делает грузовики узнаваемыми в транспортном потоке.

Все тягачи в этой партии — мод. TGX 18.400 4×2 BLS. На них используется кабина XLX с высокой крышей. Ширина кабины — 2440 мм, длина — 2280 мм, внутренняя высота над местом водителя и пассажира — 1940 мм. Предусмотрен аэродинамический "пакет": спойлер на крыше, боковые обтекатели и удлинители дверей, закрывающие ступени. Боковые обтекатели — подвижны. Это позволяет водителю при необходимости получить доступ к тормозным и электрическим соединениям тягача с полуприцепом с любой удобной или более безопасной стороны — например, с обочины дороги. Кабины оснащены автономным отопителем "Эберспехер D4S" и кондиционером, а также допол-

av618.fm Page 38 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

нительной термоизоляцей, благодаря которой ни тепло, ни прохлада не передаются на улицу, а значит меньше топлива затрачивается на поддержание заданной температуры. Предусмотрены две спальные полки.

●

По итогам 2017 финансового года "Ниссан Груп" реализовала в России 104 629 автомобиля трёх марок, добившись почти 12%-ного роста. Доля рынка компании на российском рынке составила 6,3 %. Наибольшего роста (13 %) добился бренд "Ниссан" — благодаря устойчивому спросу в стране на такие модели, как "Экс-Трейл", Кашкай", "Альмера" и "Террано" российской сборки. Результаты по всем брендам группы — см. в таблице.

Бренд	Объёмы продаж			Доля рынка, %	
	2017 г., шт.	2016 г., шт.	Прирост, %	2017 г.	2016 г.
"Ниссан"	76 486	67 635	13,09	4,6	4,7
"Инфинити"	4 669	4 829	−3,31	0,3	0,3
"Датсун"	23 474	20 966	11,96	1,4	1,5
"Тотал"	104 629	93 430	11,99	6,3	6,5

Вышли из печати

А.И. Рябчинский, В.В. Карпов

"БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ"

Фундаментальная проблема автомобильного транспорта — обеспечение безопасности дорожного движения, конечная цель которого в техническом плане состоит в создании и эксплуатации высокоэффективных транспортных средств при условии рационального использования в единой системе возможностей человека и техники. Поэтому Федеральным государственным образовательным стандартом в учебный план введена дисциплина "Безопасность автотранспортных средств", которая является одной их основных для профиля "Организация и безопасность движения".

Одноименный учебник для студентов учреждений высшего образования, выпущенный в 2017 году издательством "Академия", создан на базе многолетнего опыта преподавания данной дисциплины в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) и характеризуется комплексностью подхода к анализу проблемы повышения безопасности автомобиля.

Системный подход при изучении проблемы обеспечения безопасности автотранспортных средств опирается на анализ и обеспечение триады надёжности автомобиля: безопасность закладывается на стадии проектирования, реализуется на этапе производства и поддерживается при его эксплуатации. В учебнике приведена информация об актуальных Правилах ООН, регламентирующих требования к безопасности автотранспортных средств, а также рассмотрены основные аспекты организации деятельности по обеспечению такой безопасности, реализуемые, в том числе, на федеральном уровне. Основным содержанием учебника является глубокая проработка вопросов обеспечения активной, пассивной, функциональной и эксплуатационной безопасности автотранспортных средств и их взаимосвязи для повышения безопасности дорожного движения.

Отличительной особенностью при рассмотрении вопросов активной безопасности автомобилей является реализация целевого подхода, когда все показатели и характеристики различных эксплуатационных свойств автомобиля (информативность, тяговая и тормозная динамичность, управляемость и устойчивость) даются именно с позиции их влияния на общий уровень безопасности комплекса "человек—автомобиль—дорога—среда". При этом общие вопросы теории эксплуатационных свойств освещены в минимальном объеме, необходимом и достаточном для их дальнейшей привязки к решению задачи повышения безопасности дорожного движения. Большой интерес представляет также описанный подход для оценки роли активной безопасности автомобиля в обеспечении общего высокого уровня безопасности движения, а именно сопоставление модели поведения человека при управлении транспортным средством и модели решения водителем основной транспортной задачи. Данный подход в отечественной прикладной науке описан впервые и, описывая преимущественно поведенческие альтернативы водителя, тем не менее очень наглядно позволяет указать на роль элемента "автомобиль" в обеспечении безопасности всего комплекса.

В учебнике много внимания уделено освещению современных и перспективных методов повышения активной безопасности, основным из которых является применение новейших технических средств, приборов и систем. Значительная часть данной информации впервые сведена в единый формат и подтверждает общую новизну и актуальность данного учебного издания. При этом, если антиблокировочные и противобуксовочные системы в настоящее время достаточно широко освещены в профильной и учебной литературе, то современные системы, повышающие информативность автомобиля, представлены не достаточно широко.

При рассмотрении вопросов пассивной безопасности и её влияния на безопасность автотранспортных средств в учебнике обобщён весь огромный опыт, накопленный проф. А.И. Рябчинским в результате его непосредственного участия в работе профильного комитета КВТ ЕЭК ООН, и отражает все современные знания и тенденции в этом направлении. В частности, рассмотрены вопросы методологии оценки и обеспечения пассивной безопасности, системного биомеханического анализа различных видов ДТП, внутренней и внешней пассивной безопасности автомобиля. Отдельное внимание уделено описанию принципа действия, особенностей и преимуществ современных систем и средств пассивной безопасности автомобиля — ремням и подушкам безопасности, детским удерживающим устройствам и подголовникам. Также рассмотрены вопросы обеспечения послеаварийной безопасности, которые выходят на первый план в вопросах сохранения жизни и здоровья потерпевших после кульминационной фазы ДТП.

Вопросы эксплуатационной безопасности автотранспортных средств подготовлены при консультации специалистов Государственного научного центра РФ ФГУП "НАМИ" и отражают современное состояние проблемы обеспечения надлежащего качества и надёжности всех процессов в автомобиле, влияющих на его безопасность.

В учебнике также впервые введено понятие "нерегламентых методов" повышения безопасности автомобиля, к которым авторы относят страховую деятельность, налоговую и таможенную политику государства. Очевидно, что комплексный подход к обеспечению безопасности движения может и должен опираться не только на анализ каждого из его элементов и их взаимосвязь, но также и выходить за рамки комплекса и регламентных инструментов, которые определяют его функционирование. И если в части налоговой и таможенной политики спектр государственных инструментов достаточно ограничен и может быть направлен лишь для стимулирования обновления автопарка страны, то страховая отрасль обладает достаточно широким набором методов и способов влияния на безопасность автомобиля. К основным таким направлениям можно отнести участие страховых компаний в реализации государственной программы повышения безопасности дорожного движения в России, эффективное тарифообразование в добровольных и обязательных видах страхования, связанных с ответственностью автовладельца и имуществом автовладельца, а также широкое использование средств страховой телематики для обеспечения быстрого реагирования специальных служб на транспортные происшествия и повышение эффективности системы "Европротокол". Все указанные направления широко освещены в учебнике и, безусловно, придают ему дополнительную значимость в части актуальности и новизны представленного материала.

В целом представленный в учебнике материал будет полезен не только для студентов, но и для специалистов автомобильной промышленности и транспорта.

Доктора техн. наук
В.Ф. Кутенев,
О.И. Гируцкий

av618.fm Page 39 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Фасхиев Х.А. — Экономическая эффективность грузового автомобиля на электрической тяге 1

АСМ-факты 5

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Падалкин Б.В., Котиев Г.О., Горелов В.А. — "Колёсный ход" триады: возрождение отечественной отрасли транспортного специального машиностроения 6

Шипилевский Г.Б. — Навигационное обеспечение беспилотного автомобильного транспорта 10

Гуськов В.В., Бойков В.П., Карпиевич Ю.Д., Сушнёв А.А. — Буксование ведущих колёс при движении по грунтовой поверхности 13

Балабин И.В., Соколов С.Л., Балабин О.И., Чабунин И.С. — Диагональные и радиальные шины при эксплуатации на дорогах повышенной шероховатости 16

Мамити Г.И., Льянов М.С., Ким В.А. — Использование основного понятия механики — сила в теории движения и расчёте механизмов автомобиля 18

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Байбакова А.А. — Стенд для диагностики ведущих мостов грузовых автомобилей 20

Болдин А.П., Максимов В.А., Постолит А.В., Миротин Л.Б., Хазиев А.А. — Методика оперативного определения норм расхода топлива городскими автобусами с учётом сложности маршрута движения 22

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Гадалов В.Н., Филонович А.В., Филатов Е.А., Макарова И.А., Ерохин Р.Ю. — Исследование и разработка методов повышения надёжности и работоспособности деталей ЦПГ дизелей многофункциональными покрытиями 27

ИНФОРМАЦИЯ

Грушников В.А. — Перспективные инновации в автомобильной сфере 31

Коротко о разном 37

Вышли из печати 38

Некролог 40

Главный редактор Н.А. ПУГИН

Зам. главного редактора Р.В. Козырев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Балабин И.В. — *д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана*
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. — *канд. экон. наук, 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 имени Н.Э. Баумана*
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"*

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 27.04.2018. Подписано в печать 23.05.2018.
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 рекомендован ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней, входит в международную 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.

av618.fm Page 40 Thursday, May 24, 2018 11:58 AM

В.М. ШАРИПОВ
(1953—2018)

Ушёл из жизни Валерий Михайлович Шарипов, доктор технических наук, профессор кафедры "Наземные транспортные средства" Московского политехнического университета.

Родился Валерий Михайлович в Ухте, Коми АССР. В 1970 году он поступил в Московский автомеханический институт и в 1975 году с отличием окончил его, поступил в аспирантуру по кафедре "Тракторы". В 1978 году защитил кандидатскую диссертацию по специальности 05.05.03 "Колёсные и гусеничные машины". С 1979 по 1980 г. работал старшим научным сотрудником отдела агрегатов Подмосковного филиала НАТИ.

В сентябре 1980 года принят на работу в МАМИ сначала ассистентом, а затем — старшим преподавателем кафедры "Детали машин и ПТУ". В начале 1987 года переведён на кафедру "Тракторы", где работал в должностях доцента, профессора, а с сентября 1989 года — заведующим кафедрой (в 2009—2012 гг. она называлась "Колёсные и гусеничные машины", а затем — "Автомобили и тракторы"). С 2016 года и до конца своих дней исполнял обязанности советника ректора по научной работе. В 1989 г., в 36 лет, В.М. Шарипов защитил докторскую диссертацию по специальности 05.05.03 "Колёсные и гусеничные машины"; в 1991 г. ему присвоено учёное звание профессора.

Валерий Михайлович был одним из ведущих учёных страны в области конструирования и расчёта колёсных и гусеничных машин различного назначения. На его счету разработка нового научного направления "Теория и проектирование фрикционных узлов мобильных машин с заданной долговечностью при использовании потенциальных возможностей материалов пар трения". В рамках этого направления под его руководством и при непосредственном участии проведена модернизация фрикционных сцеплений тракторов Алтайского моторного завода, научно обоснованы параметры и разработаны принципиально новые конструкции фрикционных сцеплений для тракторов класса 3 и 4. Разработанные В.М. Шариповым фрикционные сцепления защищены авторскими свидетельствами и патентами на изобретения, демонстрировались на выставках в России и за рубежом, отмечены семью серебряными медалями ВДНХ. Его научные разработки внедрены на многих моделях тракторов на Харьковском тракторном заводе, Чебоксарском агрегатном заводе, Липецком тракторном заводе и НИИАТИ. Он является разработчиком отраслевой методики стендовых испытаний фрикционных сцеплений тракторов, самоходных энергетических средств и сельскохозяйственных машин.

На протяжении многих лет В.М. Шарипов сотрудничал с ведущими НИИ и заводами страны по созданию методов конструирования, расчёта и испытаний трансмиссий и ходовой части тракторов и быстроходных гусеничных машин. С 1991 года его научные интересы были связаны с совершенствованием ходовых систем колёсных и гусеничных машин различного назначения. Валерий Михайлович — один из разработчиков комплекса машин для поиска остатков падающих ракет для космодрома Плесецк. При его участии научно обоснованы параметры и проведена модернизация ходовой части двухзвенных гусеничных транспортёров ДТ-30П, исключающей повреждение тундрового покрова при транспортировке груза; обоснованы параметры и проведена модернизация ходовой части гусеничного транспортёра-тягача МТ-ЛБ (МТ-ЛБВ), который широко применяется в Российской армии под монтаж вооружения и военной техники. В.М. Шариповым выполнен комплекс работ по исследованию напряжённого и деформированного состояний упругого покрытия опорных катков быстроходных гусеничных машин.

Более 15 лет Валерий Михайлович посвятил разработке методов проектирования фрикционных сцеплений, работающих в масле, механизмов поворота гусеничных машин, планетарных коробок передач, двухпоточных трансмиссий и новых типов движителей. Разработанные им методы расчёта фрикционных сцеплений с принудительным жидкостным охлаждением используются в НАТИ, в НИИ "Стали" и на Волгоградском тракторном заводе при разработке новых перспективных колёсных и гусеничных тракторов.

Под его руководством научно обоснованы параметры и создан новый тип колёсного движителя перекатывающего типа, позволяющий транспортной машине форсировать труднопроходимые участки (грунты с малой несущей способностью, водные преграды, болотные топи). На базе этого движителя специалистами возглавляемой им кафедры совместно с Брянским автомобильным заводом создан макетный образец вездеходной машины, успешно прошедший испытания.

Предложены Валерием Михайловичем новые принципы создания и методы расчёта и конструирования трансмиссий гусеничных машин на основе серийно выпускаемых узлов и агрегатов автомобилей, позволившие разработать (совместно с ЗАО "Вегус") семейство гусеничных транспортёров-снегоболотоходов особо лёгкой категории и наладить их производство в Новосибирске. Разработаны им также новые методы оценки и выбора наиболее рациональных параметров двухпоточных гидромеханических и гидрообъёмно-механических трансмиссий и методы выбора наиболее рациональных схем планетарных коробок передач с присоединёнными планетарными рядами. Результаты этих исследований используются в НАТИ и 21НИИИ (АТ) МО РФ при разработке трансмиссий современных колёсных и гусеничных машин.

В.М. Шарипов — автор более трёхсот научных и учебно-методических работ, среди которых восемь монографий, две энциклопедии, девять учебников и два учебных пособия с Грифом Минобразования РФ, три учебника и 21 учебное пособие с Грифом УМО по автотракторному и дорожному образованию Минобразования РФ, пять межвузовских сборников научных трудов, 11 авторских свидетельств и 10 патентов на изобретения, девять патентов на полезную модель.

Валерием Михайловичем создана научная школа проектирования и исследования фрикционных сцеплений и тормозных механизмов. Под его руководством подготовлено 17 кандидатов технических наук. Он являлся научным консультантом трёх докторов технических наук.

Как высококвалифицированный педагог, он на высоком уровне вёл все виды преподавательской работы. Под руководством и при непосредственном участии В.М. Шарипова сотрудниками его кафедры разработаны типовые учебные планы для вузов России по специальностям "Автомобиле- и тракторостроение", "Наземные транспортно-технологические средства" (специализация "Автомобили и тракторы") и учебные программы по всем профилирующим дисциплинам этих специальностей. В МГТУ "МАМИ" в рамках специальности "Автомобиле- и тракторостроение" им была организована подготовка инженеров по двум новым специализациям: "Тяговые и транспортные машины" и "Гидропривод и гидропневмоавтоматика тракторов и тягачей". Для обеспечения подготовки кадров по этим специализациям под руководством и при непосредственном участии В.М. Шарипова разработаны учебные планы, учебные и рабочие программы по новым дисциплинам, создана необходимая материальная база, включающая специализированную учебную лабораторию "Быстроходные гусеничные машины".

Для обеспечения учебного процесса студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение", по дисциплинам "Конструкция автомобиля и трактора", "САПР в автомобиле- и тракторостроении" и "Основы эргономики и дизайна автомобилей и тракторов" при личном участии и под общей редакцией В.М. Шарипова изданы семь учебников. Ещё один учебник Валерий Михайлович написал по дисциплине "Конструирование и расчёт тракторов". Он используется не только в учебном процессе вузов, но и на заводах и в НИИ автотракторной отрасли при создании и модернизации колёсных и гусеничных машин различного назначения.

Под руководством и при непосредственном участии В.М. Шарипова для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение", разработаны и изданы в электронном виде CD и DVD-комплексы "Учебники, учебные пособия и методические указания", включающие соответственно 74 и 124 наименования учебной литературы по специальным и общепрофессиональным дисциплинам учебного плана. Они используются во всех вузах России, осуществляющих подготовку специалистов, бакалавров и магистров автомобильного и тракторного профилей.

Много лет Валерий Михайлович являлся главным редактором отраслевого журнала "Тракторы и сельхозмашины", научного рецензируемого журнала "Известия МГТУ "МАМИ", членом редколлегии журналов "Справочник. Инженерный журнал", "Журнал Автомобильных инженеров", "Известия Волгоградского государственного технического университета". Помимо научной и учебной работы В.М. Шарипов занимался научно-организационной деятельностью. Он был действительным членом Академии транспорта РФ и Академии проблем качества РФ, членом Международной ассоциации автомобильных инженеров (SAE).

За успехи в научно-производственной, педагогической и изобретательской деятельности В.М. Шарипов награждён медалью "В память 850-летия Москвы", знаком "Изобретатель СССР", нагрудным знаком "Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации" и многими другими наградами; удостоен почётного звания Заслуженный деятель науки РФ.

Валерий Михайлович был всесторонне развитым человеком. Любил путешествовать, "рукодельничал", занимался спортом — был Мастером спорта по вольной борьбе.

Память о Валерии Михайловиче навсегда останется в наших сердцах!