ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

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

№ 3 • март • 2019

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 629.113:339.137.2

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ КОРПОРАЦИЙ

Д-р техн. наук **КОЗЛОВСКИЙ В.Н.**, канд. техн. наук **АЙДАРОВ Д.В.**, **КЛЕЙМЕНОВ С.И.**, **ШАНИН С.А.**
Самарский ГТУ, КамАЗ (846.278-44-60)

Представлены результаты анализа наиболее актуальных в настоящее время вопросов стратегического менеджмента качества автомобильных корпораций.

Ключевые слова: *стратегический менеджмент, качество, автомобильная промышленность, мониторинг качества.*

Kozlovskiy V.N., Aydarov D.V., Kleimenov S.I., Shanin S.A.

CURRENT ISSUES OF STRATEGIC MANAGEMENT QUALITY AUTOMOTIVE CORPORATIONS

The article presents the results of the analysis of the most topical, at present, questions of the strategic quality management of automotive corporations.

Keywords: *strategic management, quality, automobile industry, quality monitoring.*

Конкурентоспособность продукции современного автомобилестроения, как показывает практика, в первую очередь зависит от показателей качества самого продукта и сопутствующих услуг. Именно в области качества в настоящее время идут основные баталии между производителями массовой высокотехнологичной продукции за сердца и лояльность потребителей. И в этом плане индексы потребительской оценки качества продукции наиболее остро, полно и точно реагируют на тренды изменений рынка покупателей.

В условиях конкуренции, перманентных экономических кризисов и связанных с этим ограничений ресурсов автопроизводители вынуждены решать сложные оптимизационные задачи внутри организаций, но при этом неустанно обеспечивают рост качества продукции без её удорожания. Получается, что обеспечение высокой конкурентоспособности автомобилей напрямую связано с решением задач по улучшению качества в трёх основных направлениях: базовое качество — по большей части определяется показателями надёжности и уровнем дефектности автомобилей в первые годы эксплуатации; качеством внешних факторов — шумы, вибрации, внешний вид автомобиля и т.д., а также организация сервисного обслуживания; эмоциональные факторы — удовлетворённость потребителей качеством продукции и услуг на эмоциональном уровне. Улучшение качества в выделенных направлениях обеспечивает рост брендовой оценки.

Управление качеством процессов, продукции и услуг во многом определяется эффективностью системы мониторинга качества автомобилей в эксплуатации, действующей на предприятии автопроизводителя. Именно поэтому задача анализа, связанная с исследованием лучших практик организации процесса мониторинга качества автомобилей в эксплуатации на автосборочных предприятиях, является важной и чрезвычайно актуальной задачей. И здесь, прежде чем перейти к анализу систем менеджмента качества, действующих на предприятиях — лидерах российской автомобильной промышленности, а также у мировых лидеров отрасли, в целях их сопоставления, необходимо провести исследование стратегических аспектов развития в области качества наиболее успешных автопроизводителей, поскольку во многом именно стратегическое видение развития качества и предопределяет соответствующее развитие системы менеджмента качества. И в первую очередь, проведём анализ стратегических аспектов развития в области качества

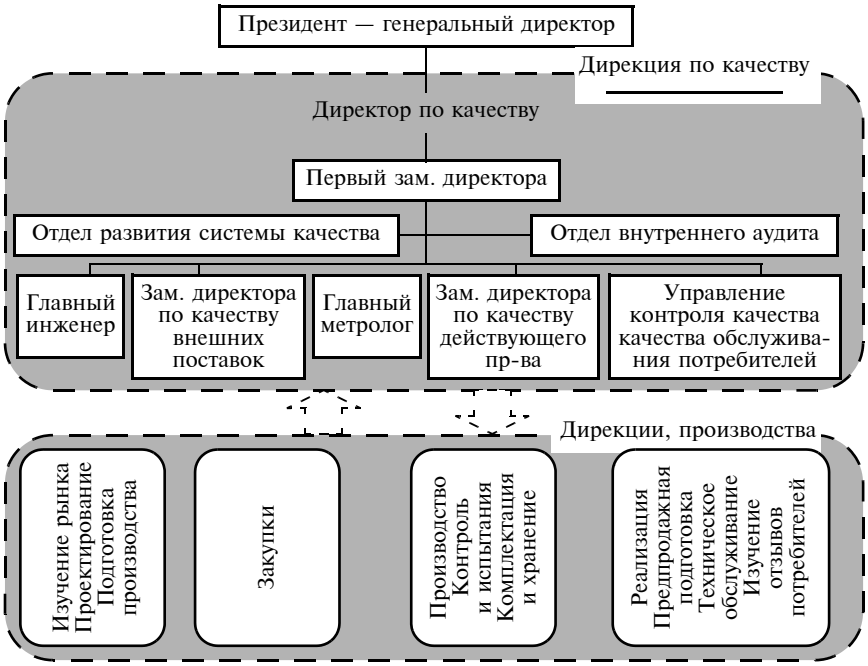


Рис. 1. Схема ответственности службы качества автосборочного предприятия

Рис. 2. Основные направления программы LQP

крупнейших российских автопроизводителей.

В первом случае рассматриваем один из крупнейших производителей легковых автомобилей РФ, который позиционирует себя в бюджетном сегменте (рис. 1). Прекрасной иллюстрацией процессов, связанных с разработкой и реализацией стратегии в области качества, в последние годы является комплексная программа улучшений бренда. По сути, именно эта программа, запущенная в 2009 г., и стала стартовой при реализации стратегических мероприятий, направленных на модернизацию системы управления качеством.

Основные стратегические положения программы во многом определяют сегодняшнее положение и вектор развития компании. В фундаменте программы заложены стратегические амбиции в области качества: значительно улучшить качество в целях достижения уровня, по крайней мере, выше среднего среди конкурентов в России; подготовить успешный запуск производства автомобиля класса *C*. Философия программы заложена в тезис: *"Качество должно стать рефлексом в компании"*. Динамика развития программы определяется формулой: *"Вовлечение и мотивация всего персонала"*.

Основные усилия комплексной программы улучшения направлены в восемь стратегических проектов (рис. 2), цель реализации которых состоит в повышении конкурентоспособности и качества автомобилей через индексы: сокращения гарантийных затрат; снижения уровня

Компания	Проблема качества	Предпринятые меры	Достигнутый эффект
1	Второе с конца место в ежегодном всемирном исследовании по качеству	Создана культура "одержимости качеством" Внедрены жёсткие техпроцессы	Второе место в ежегодном всемирном исследовании по качеству. Увеличение объёма продаж в США в три раза за 6 лет
2	Неутверждённая конструкция компонентов ведёт к новым и плохо понимаемым рискам цепи создания добавленной стоимости	Актуализация каталога утверждённых деталей, основанного на обзоре влияния и рисков изменения в конструкцию	30 % улучшений в конструкции утверждённых компонентов
3	Трудная ситуация в области качества с возникновением нескольких пиков в 2000 г.	PQR (План качества) и PER (План совершенствования)	Показатель ppm сократился в 5 раз в течение 6 лет, количество крупных неисправностей сократилось в 3 раза за 4 года, — 42 % гарантийных затрат за последние 3 года
4	Не всегда занимала место в первой тройке TOP3	NEP (Программа совершенствования компании)	−30 % дефектов в гарантийный период с момента запуска программы в 2007, ppm уменьшился в 10 раз

дефектов комплектующих от поставщиков; снижение внутреннего уровня доработок брака; повышение лояльности потребителей. Естественно, при разработке программы учитывался опыт реализации подобных проектов, в первую очередь на предприятиях автомобильной промышленности, имеющих успешный опыт развития. В основу программы были заложены основные идеи соответствующих комплексных проектов улучшений, реализованных в других компаниях (см. таблицу).

Проводя первичный анализ стратегического развития в области качества крупнейшего в России производителя легковых автомобилей требуется сразу же обозначить наиболее важный вывод, который определяет проблему развития системы управления в общем и системы управления качеством в частности, действующих на традиционных российских предприятиях. С этой проблемой в ходе работы при анализе систем, действующих на других российских предприятиях, будем сталкиваться не раз. И связана она с жёсткой функциональной системой работы подразделений, которая мешает эффективно решать проблемы качества как на уровне конструктивных элементов автомобилей, так и на стратегическом уровне управления компанией в целом. Именно поэтому деятельность в рамках комплексной программы должна пронизывать всю компанию (рис. 3) как ключевой элемент программы.

Определённый эффект от стратегической программы явно прослеживается, и связано это с реализацией ряда проектных работ в рамках межфункциональной деятельности в области качества, что привело к снижению дефектности автомобилей в эксплуатации. Также на предприятии удалось решить задачу, связанную с выпуском новых проектов автомобилей.

Переходим к анализу особенностей стратегического развития крупнейшего в России производителя грузовых автомобилей. Схема, определяющая уровни принятия решений в области качества продукции предприятия, представлена на рис. 4. Ключевым стратегическим инструментом управления качеством автопроизводителя сегодня служит реализация так называемой петли качества на этапах создания (развития) продукции. (Петли качества в производстве грузовых автомобилей схематично представлены на рис. 5.)

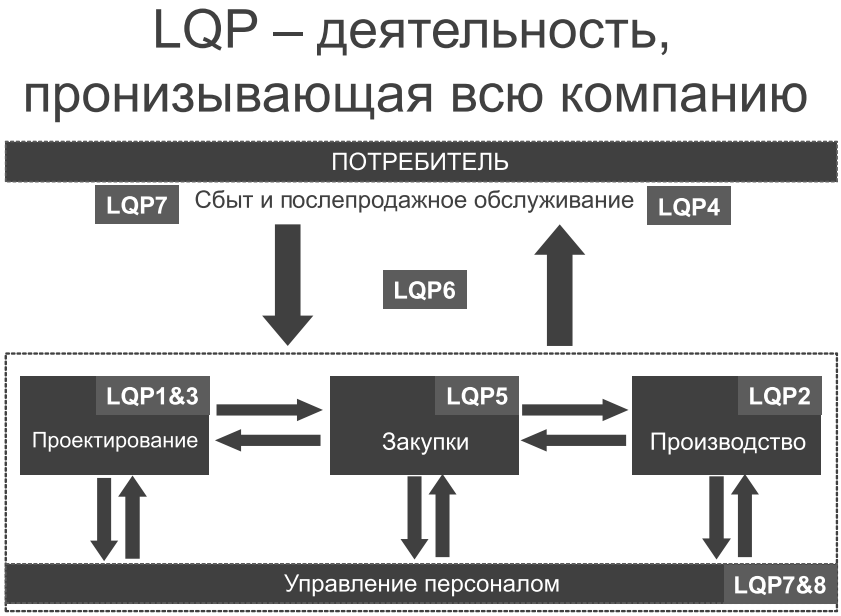


Рис. 3. Связи, действующие между проектами LQP

Рис. 4. Уровни принятия решений в области качества производителя грузовых автомобилей

Рис. 5. Петли качества в производстве продукции

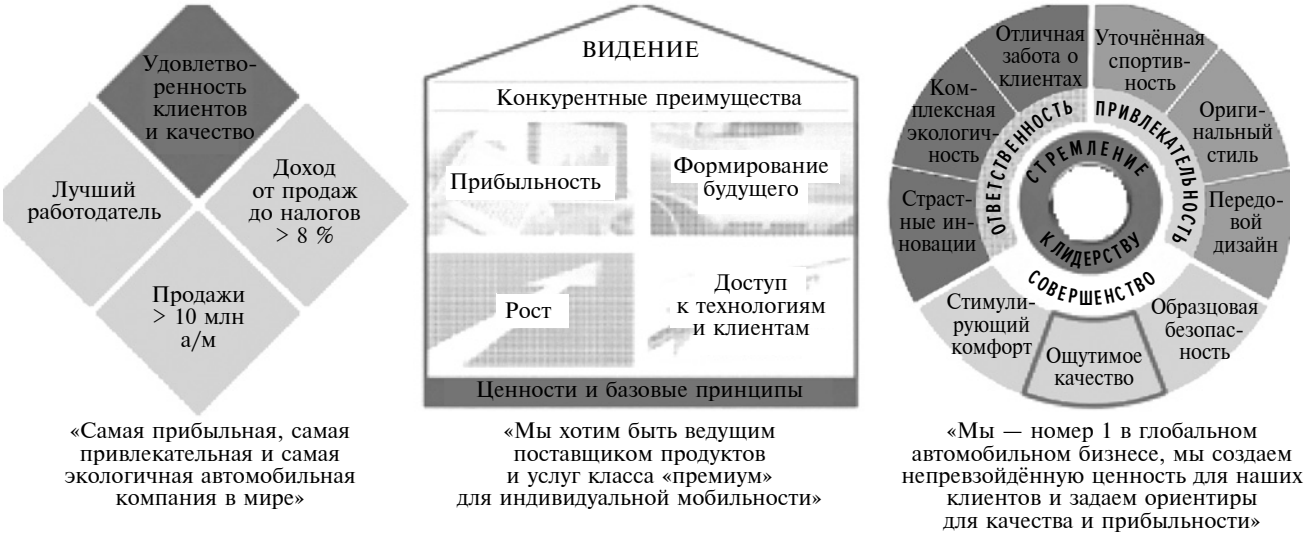


Рис. 6. Общекорпоративные стратегии лидеров немецкого автопрома

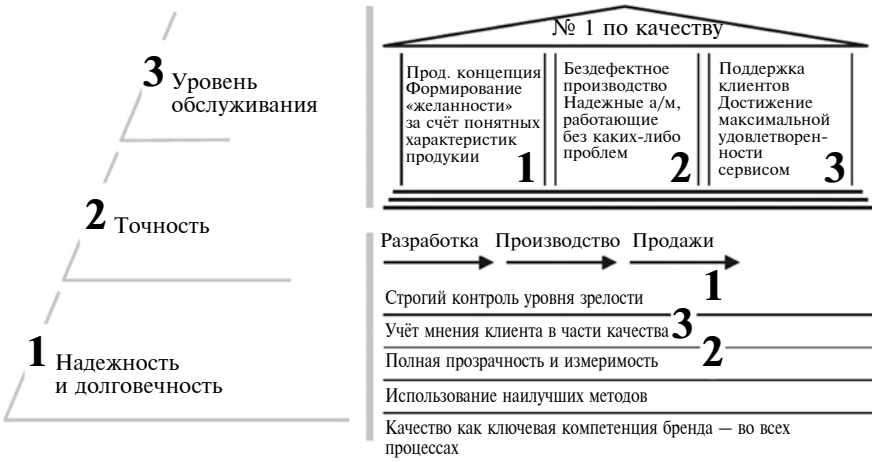


Рис. 7. Треугольник качества немецкого автопрома

Рассмотрим стратегические аспекты развития международных компаний автопроизводителей. На рис. 6 показаны основные элементы общекорпоративных стратегий компаний лидеров немецкого автомобилестроения. Во всех трёх случаях одними из ключевых элементов стратегии являются вопросы обеспечения качества продукции и удовлетворённости потребителей. Стратегия качества на корпоративном уровне охватывает три направления (рис. 7): надёжность и долговечность; точность; уровень обслуживания.

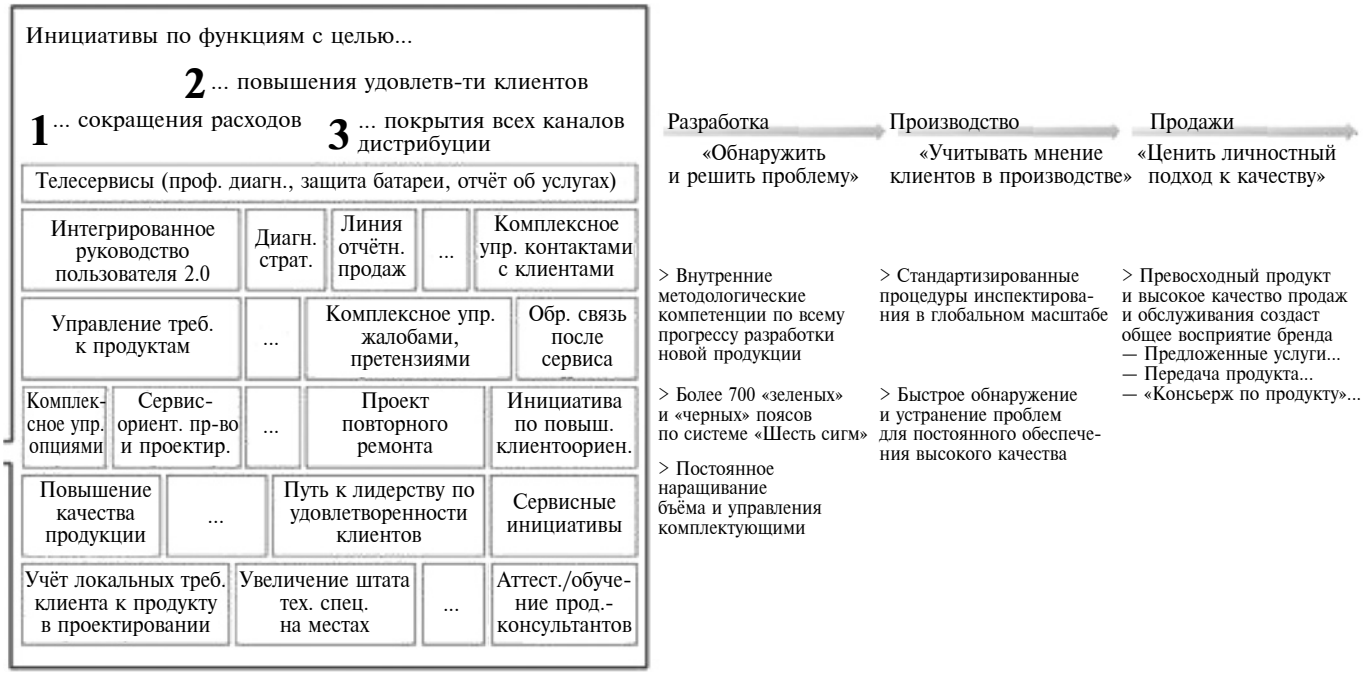


Рис. 8. Обобщение подходов по управлению качеством

Углубляясь в корпоративные стратегии, реализуемые в компаниях, можно отметить реализацию в них, на системном уровне вопросов, определяющих эффективность качества, а также комплексный подход к решению задач, использование концепции 6σ (рис. 8). И в случае комплексного подхода к решению задач в области качества, и в случае реализации концепции 6σ, фактически речь идёт об одном из ключевых аспектов повышения эффективности деятельности компаний, а именно о командной работе и вовлечении персонала, что как раз и определяет межфункциональный проектный подход к деятельности. Второй, не менее важный аспект рассмотренных выше корпоративных стратегий — реализация инструментов, повышающих скорость реакции автопроизводителей на запросы внешней среды, включающий: управление контактами с клиентами; управление жалобами и претензиями; учёт требований клиентов при проектировании продукции; внутренние методологические компетенции по всему процессу разработки новой продукции; быстрое обнаружение и устранение проблем для постоянного обеспечения высокого качества.

Рассмотрим стратегические аспекты развития, действующие на корпоративном уровне одного из крупнейших мировых автомобильных альянсов. Основные стратегические направления представлены на рис. 9. Как видим, качество рассматривается компанией как инструмент для улучшения имиджа бренда и связано с процессом непрерывного улучшения воспринимаемого потребителями качества — удовлетворённости потребителей. Ещё один важный элемент представленных инициатив — пункты об обеспечении баланса между качеством, стоимостью и сроками, а также оптимизация процедур. По сути, это не что иное, как повышение эффективности корпорации, в том числе через реализацию процессов ускорения реакции на потребительские запросы.

Стратегический менеджмент компании основывается на трёх основных направлениях деятельности

Рис. 9. Стратегические инициативы компании

Рис. 10. Элементы стратегического менеджмента компании

(рис. 10): собственно стратегии, определяющей необходимость быть лидером в области качества, в первую очередь с точки зрения потребительской удовлетворённости; единства и системности применения стандартов и процедур, применяемых корпорацией во всем мире; представительности департамента качества во всех операционных направлениях деятельности. Все три указанных компонента объединяются в единый тезис — *"Качество — основной инструмент для улучшения имиджа бренда"*.

На рис. 11 представлена структура организации деятельности компании в области качества, которую можно рассматривать и как схему ответственности, и как уровни принятия решений в области качества. Анализ рисунка показывает, что система управления качеством в компании не обладает такой функциональной жёсткостью, которая присуща отечественным предприятиям. Представленная структура — сложная.

Обращает на себя внимание то, что иерархические (вертикальные) связи действуют по направлениям: проекты — создание новых продуктов; страны, определяющие ключевые рынки с высоким потенциалом развития; сферы деятельности — направления работы, связанные с развитием методологии измерения качества, а также корпоративный уровень процессов мониторинга конкурентоспособности, качества и надёжности автомобилей. Функциональные (параллельные) связи действуют в подразделениях дирекций

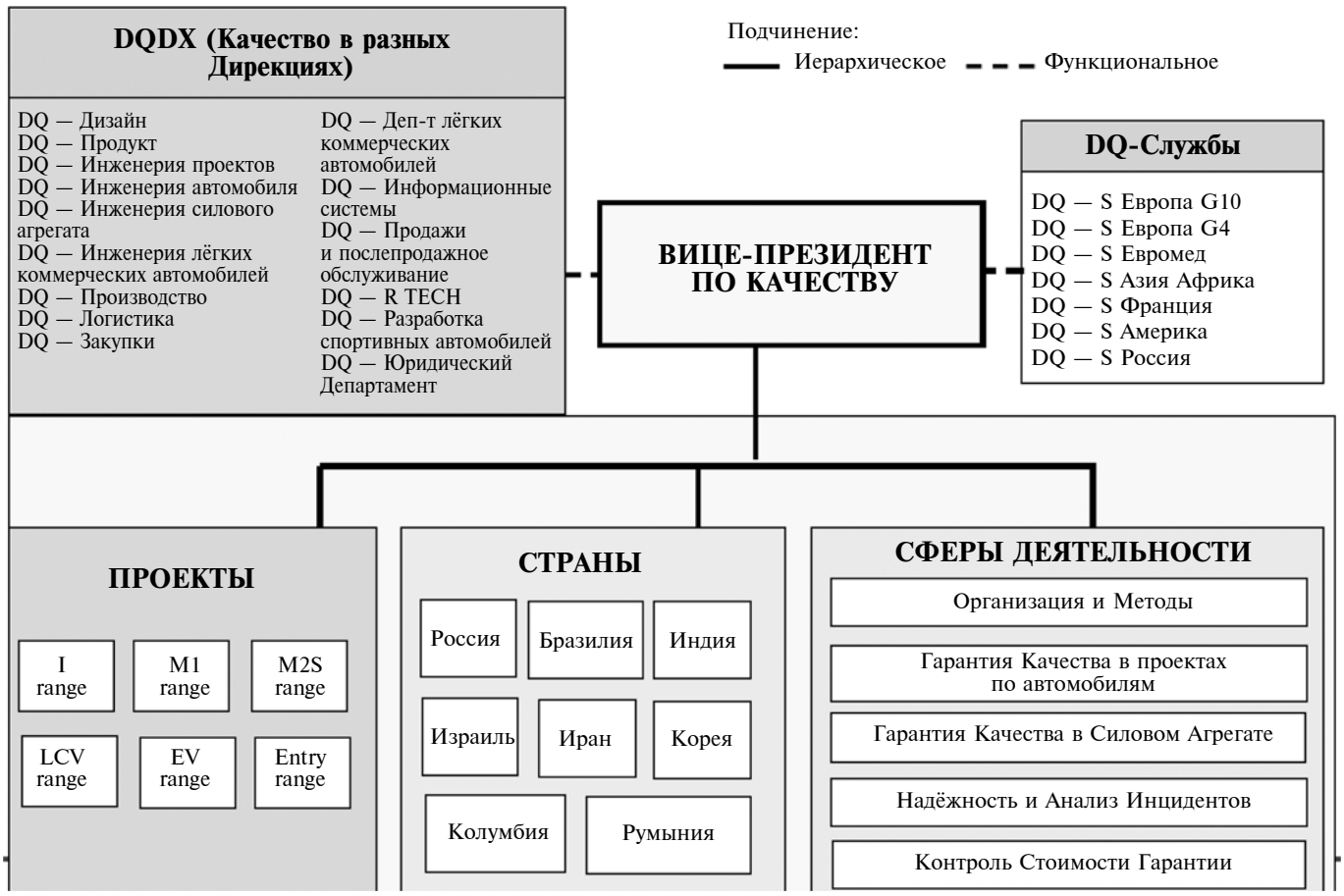


Рис. 11. Организация деятельности в области качества компании

по качеству на наиболее развитых рынках, а также на уровне представления интересов потребителей в основных процессах от создания до продажи и послепродажного обслуживания автотранспортных средств.

Стратегические аспекты развития не менее известной и успешной компании, входящей в вышеназванный альянс, представлены на рис. 12. Принцип улучшения качества — третий принцип бизнес-плана.

Углубляясь в ключевой принцип бизнес-плана — улучшение качества, рассмотрим процесс его конкретизации (рис. 13). Как видим, ключевыми индикаторами качества компании являются международные рейтинги и результаты бенчмаркинговых исследований удовлетворённости потребителей качеством и надёжностью автомобилей в эксплуатации *ADAC* и *JDP*. Интересным элементом корпоративной стратегии развития качества является блок *"Quality Image Breaker"*, определяемый как факторы, разрушающие представление о хорошем качестве. Здесь речь идёт о долгосрочном развитии бренда. Приведённый тезис, по сути, показывает, что в компании системно проводят анализ рисков несоответствующего потребностям потребителей качества, и реализуют программы прогнозов развития оценки бренда с учётом оценок измерения потребительской удовлетворённости. Направления деятельности компании, связанные с измерением обратной связи с потребителем, являются стратегически важными. Этот вывод можно сделать из анализа рис. 14.

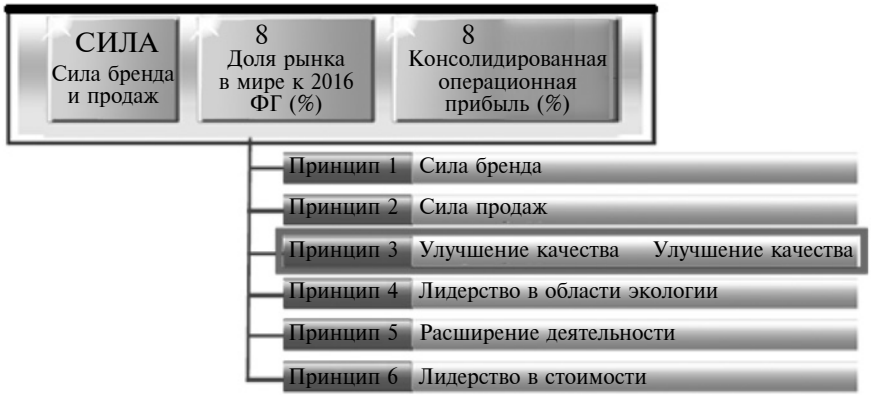


Рис. 12. Стратегические принципы управления компании

Обобщая результаты проведённого анализа стратегических аспектов развития российских и зарубежных автопроизводителей с точки зрения качества, можно сделать ряд важных выводов.

1. Потребительская удовлетворённость качеством продукции автомобильной промышленности про-

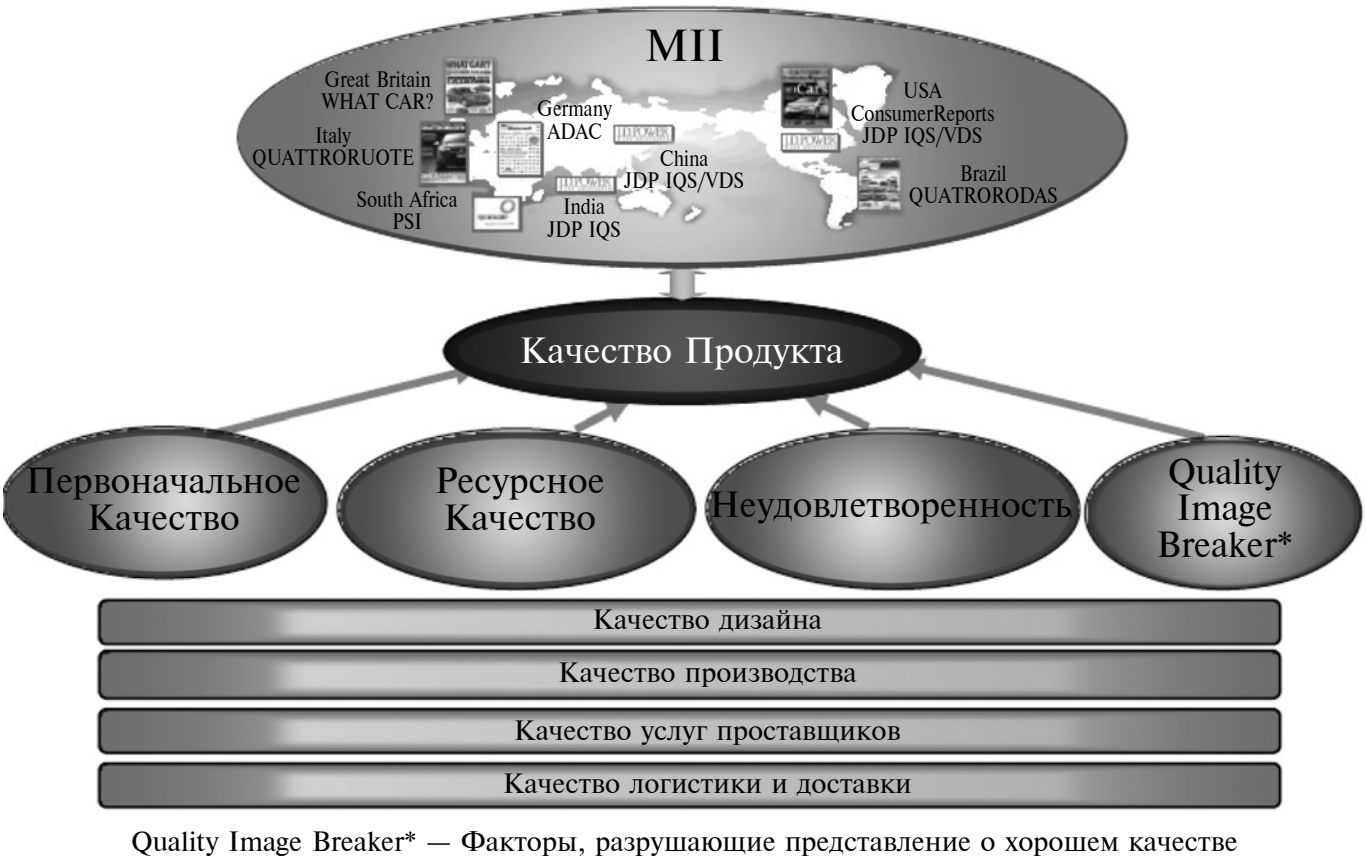


Рис. 13. Основные направления для улучшения качества продукции компании

слеживается во всех рассмотренных стратегических ориентирах компаний. Таким образом, ключевым индексом конкурентоспособности автомобильных предприятий на сегодняшний день является качество продукции и сопутствующих услуг.

2. Отличительной особенностью организационных аспектов управления качеством на российских предприятиях является жёсткая иерархия и функциональный подход.

3. Рядом особенностей в плане стратегического бизнес-управления зарубежных компаний являются: сложные вертикальные и горизонтальные связи, действующие на функциональном и иерархическом уровнях управления качеством; активное использование межфункционального проектного подхода в решении задач; активная работа над сокращением времени реакции на запросы потребительской среды в области улучшения качества продукции через создание и развитие эффективных измерительных систем, командной работы между подразделениями, системной оценки рисков и баланса интересов производителя и потребителя.

4. Практически во всех примерах стратегии развития лидеров отрасли просматривается мощная аналитическая составляющая, что говорит о том, что в крупных автомобильных корпорациях одну из главных ролей в вопросах управления имеют соответствующие службы, занимающиеся измерениями во внешней среде, анализом конкурентоспособности и качества, развитием методологии исследования качества.

Рис. 14. Система сбора информации от клиентов и её обработка в компании

АВТОМОБИЛЬНЫЙ РЫНОК РОССИИ В ЯНВАРЕ—ДЕКАБРЕ 2018 ГОДА

(*по информации ОАО "Автосельхозмаш-холдинг"*)

ЛЕГКОВЫЕ АВТОМОБИЛИ

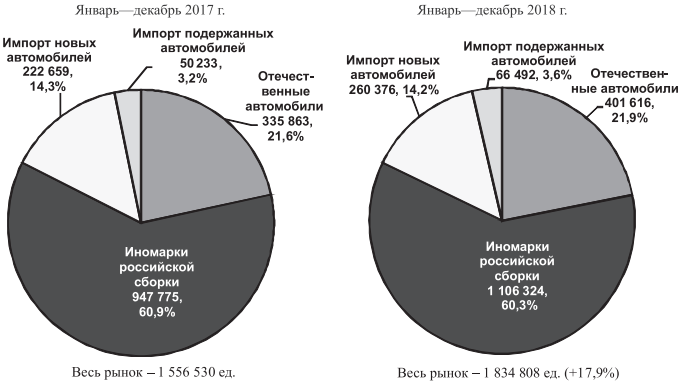
Продажи легковых автомобилей в январе—декабре 2018 г. выросли на 17,9 % по отношению к январю—декабрю 2017 г. и составили 1 834,8 тыс. единиц. Сравнение структуры рынка легковых автомобилей по их происхождению в январе—декабре 2018 и 2017 гг. выявляет рост абсолютных объёмов продаж во всех сегментах рынка. В отношении занимаемых долей рынка можно отметить незначительное снижение долей в сегментах иномарок российской сборки и новых иномарок при росте рыночных долей в остальных сегментах.

Продажи отечественных марок в январе—декабре 2018 г. выросли на 19,6 % (до 401,6 тыс. ед.), а их рыночная доля — до 21,9 %. Продажи автомобилей бренда "Лада" в январе—декабре 2018 г. выросли на 18,4 % (до 373,8 тыс. ед.), а их доля составила 20,4 %. Продажи моделей российской сборки занимают доминирующее положение на рынке легковых автомобилей, их продажи выросли на 16,7 % (до 1106,3 тыс. ед.), а их доля снизилась с 60,9 до 60,3 %. Совокупная доля продаж автомобилей, собранных в России (отечественных и зарубежных брендов), немного снизилась: с 82,5 до 82,2 % в январе—декабре 2018 года.

Импорт новых легковых автомобилей вырос на 16,9 % (до 260,4 тыс. ед.), а их доля на рынке составила — 14,2 % (с учётом импорта по ГТД и ТПО). Ввоз подержанных машин в январе—декабре вырос на 32,4 % и составил 66,5 тыс. ед., при этом импорт подержанных электромобилей (по ТПО) увеличился на 99,5 %: их ввезено 2203 ед. Новых электромобилей за год было ввезено 62 шт., против 3 шт. в 2017 г.

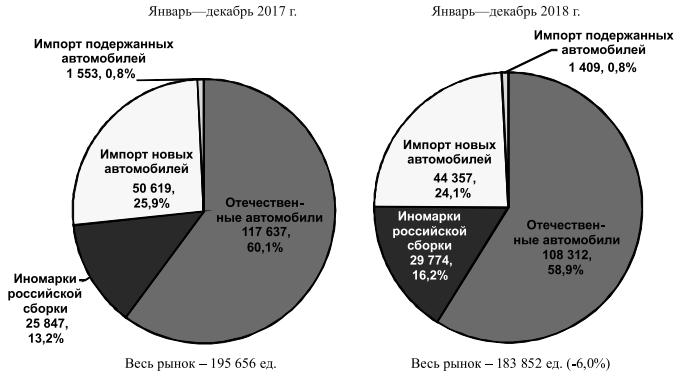
По данным Ассоциации Европейского Бизнеса, совокупный объём дилерских продаж новых легковых и лёгких коммерческих автомобилей в России в январе—декабре 2018 года составил 1 800 591 ед., что на 12,8 % больше, чем в январе—декабре 2017 года (1 595 737 ед.). Импорт легковых автомобилей по ТПО (включён в расчёт рынка), составил в январе—декабре 2018 года 54 277 ед. против 26 352 ед. годом ранее; из них на подержанные автомобили пришлось 48 968 ед. и 23 683 ед. соответственно.

СТРУКТУРА РОССИЙСКОГО РЫНКА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ



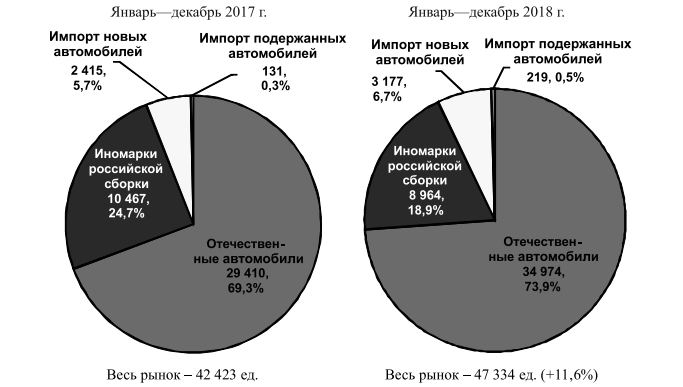
ГРУЗОВЫЕ АВТОМОБИЛИ (ВКЛЮЧАЯ МАЛОТОННАЖНЫЕ)

СТРУКТУРА РОССИЙСКОГО РЫНКА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ



АВТОБУСЫ И МИКРОАВТОБУСЫ

СТРУКТУРА РОССИЙСКОГО РЫНКА АВТОБУСОВ ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ



УДК 629.113

ПАРАДИГМА СОВРЕМЕННОГО АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ*

Д-р техн. наук **БЕЛОУСОВ Б.Н.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана (8.499.263-60-65; 263-65-05)

Рассматриваются основные положения парадигмы (концепции) развития мировой автомобильной промышленности и задачи прикладной науки — теории автомобиля, вытекающие из главных тенденций развития отрасли. Материал статьи отражает задачи, поставленные в "Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года", утверждённой Распоряжением от 28 апреля 2018 г. № 831-р Правительства РФ.

***Ключевые слова**: парадигма развития автомобильной промышленности, теория автомобиля, система автоматического управления автомобилем (САУД), автомобиль с "автономным" управлением, бортовая информационно-управляющая система (БИУС), интеллектуальная транспортная система (ИТС).*

Belousov B.N.
PARADIGM OF MODERN AUTOMOTIVE INDUSTRY

The article deals with the main provisions of the (concept) of the global automotive industry and the hall of applied science — the theory of the car, arising from the main trends in the development of the industry. The material of the article reflects the tasks set in the" Strategy of development of the automotive industry of the Russian Federation for the period up to 2025", approved by the Order of April 28, 2018 № 831-R of the Government of the Russian Federation.

***Keywords:** paradigm of development of the automotive industry, the theory of the car, the system of automatic control of the car (SAUD), the car with "Autonomous" management, onboard information and control system (BIUS), intelligent transport system (ITS).*

Системы автоматизированного управления движением автомобиля будущего будут уметь интерпретировать положение транспортного средства в более сложных ситуациях на дороге и иметь большую самостоятельность, чтобы вмешиваться в процесс вождения. Одна из концепций для достижения этой цели, основанная на оценке прогностических данных о дорогах, названа "электронным горизонтом", который является производным от цифровых дорожных карт вместе с текущей позицией транспортного средства и направлением движения. Кроме того, предполагается, что автомобили автоматически будут общаться друг с другом и объектами транспортной инфраструктуры.

В разрешении глобальной проблемы первостепенную роль играют достижения прикладной науки — теории автомобиля/трактора. Уже первые попытки использовать мехатронный подход показали, что внедрение мехатронных систем само по себе не даёт никакого преимущества, а только неоправданно усложняет и удорожает объект. Для эффективного функционирования необходимо алгоритмическое обеспечение работы систем и автомобиля в целом. Автомобиль/трактор — сложная система, работающая в абсолютно вероятностной, труднопредсказуемой среде. Поэтому необходима типизация условий движения на первом этапе и полнейшая автоматизация распознавания условий движения в дальнейшем.

Теория автомобиля как прикладная теория, обеспечивающая выполнение парадигмы автомобилестроения, эволюционировала вместе с развитием общества.

Развитие линейной теории автомобиля было завершено в большой степени в 1960—1970-х гг. Практически во всех исследованиях в последующие годы движение транспортных средств рассматривается в виде нелинейных многомассовых систем, функционирующих в стохастических условиях движения. К середине 1980-х был создан общепризнанный набор эксплуатационных свойств автомобиля и разработаны основы количественной оценки динамики различных транспортных средств. Теория давала представление в отдельности о тяговых и скоростных свойствах, энергоэффективности, поворачиваемости, устойчивости движения и управляемости, плавности хода, тормозных свойствах.

Прогресс нелинейной теории движения транспортного средства в значительной степени обеспечен достижениями в области компьютерного моделирования и симуляции. Использование аналоговых и цифровых ЭВМ для моделирования динамики транспортного средства впервые было применено научно-исследовательскими организациями и компаниями-производителями транспортных средств в период 1950-х и начала 1960-х гг. Эти расчёты были основаны на линейных и квазинелинейных уравнениях. Компьютерное моделирование вскоре стало естественным атрибутом практически всех научно-исследовательских центров транспортного машиностроения в 1970-х гг. Численные методы моделирования были специально разработаны для исследования динамики транспортных средств. Этот процесс продолжается и сегодня, и современные вычислительные методы применяются для моделирования динамики автомобиля. Вычислительные преимущества и новая методологическая основа моделирования, теория оптимизации и системного управления позволили развивать дальнейшие исследования динамики транспортного средства и его системного проектирования. Обоснован процесс активного внедрения в конструкцию транспортного средства

* Окончание. Начало — см. АП, 2019, № 1

электронных компонентов, электро- и гидропривода. В качестве первого продукта интеграции механических систем с системами управления и контроля можно считать антиблокировочные тормозные системы. Расширенный контроль курсовой устойчивости и появление новых методов управления динамикой автомобиля стали следующим этапом развития транспортных средств. Новые методы привели к конструкции полуактивных систем автомобиля.

Основой мехатронного модуля или системы служит система автоматического управления, работающая на базе программного и алгоритмического обеспечения, которое разрабатывается с использованием положений динамической теории наземных колёсных машин.

Классическая версия теории движения автомобиля описывает лишь статику процесса, в связи с чем её можно назвать статической. Если же автомобиль рассматривать с позиций объективной реальности, то это уже динамическая версия теории его движения. Причём особую роль в переходе к динамической версии должно сыграть понятие "автономное колесо" (термин введён проф. В.М. Семёновым, НАМИ). Колёсный движитель как система и энергоустановка колёсной машины — те два первичных входа, которые определяют все силовые и энергетические взаимодействия системы. В связи с этим понятие "автономное колесо" становится фундаментальным признаком динамической теории. "Автономное колесо" замыкает на себя динамический момент "своей" ветви привода от моторно-трансмиссионной установки, а с другой стороны "свою" опорную реакцию дороги, формируемую динамическими свойствами подвески.

Таким образом, есть все основания считать, что основой динамической модели наземных колёсных машин должна стать совместная динамическая модель моторно-трансмиссионной установки и колёсного движителя. Такова суть подхода, который, по мнению автора, можно взять за основу при развитии динамической теории (этот термин также впервые употребил профессор В.М. Семёнов, НАМИ) колёсных машин. В том числе и по основным свойствам, изучаемым теорией автомобиля, — его тяговой динамики, плавности хода, энергетики (топливной экономичности), тормозной динамики, управляемости, устойчивости и проходимости.

Успешное развитие теории в области динамики автомобиля и управления вылились в создание новой транспортной технологии — а именно, интеллектуальные или так называемые смарт-транспортные средства — которые обеспечивают эффективность и безопасность перевозок. Мехатронно-ориентированные подходы при моделировании систем транспортного средства, проектировании и управлении пришли на смену традиционным для мирового автомобилестроения подходам и являются важным методом при создании новой конструкции перспективного транспортного средства в последние годы. Новые подходы привели к созданию новых технологий и новых систем, которые не были известны раньше. Достаточно упомянуть управление тягой, электронные системы стабилизации курсовой устойчивости, системы активного распределения крутящего момента, различные виды активной подвески, активные стабилизаторы поперечной устойчивости, активное рулевое управление, системы активной безопасности, гибридно-электрические и полностью электрические транспортные средства и др. Все упомянутые системы по своей природе являются мехатронными. Они могут реагировать в пределах 100—120 мс и обеспечивают быстрое и точное взаимодействие с окружающей средой и водителем. Эти системы быстрых и точных взаимодействий можно назвать системами быстрого реагирования — с быстрой адаптацией. Модель прогнозирующего управления (*model predictive control, MPC*) становится одним из наиболее перспективных элементов управления в режиме реального времени с обратной связью и оптимизации. *MPC* нашла своё применение в активном рулевом управлении, антипробуксовочных системах и т. д. Много внимания уделяется развитию стохастической математической модели шин; моделированию динамического взаимодействия шина—дорога и трения в системе шина—дорога; новые темы появляются в анализе чувствительности динамических характеристик автомобиля и новой конструкции подвески и моделирования динамики транспортного средства в целом.

Методы проектирования систем автомобиля существенно изменилась в сторону развития систем с открытой архитектурой. Среда использования "автомобиль—дорога/местность" становится всё более сложной и разнообразной. Сегодня выдвигаются новые требования в отношении транспортного средства: повышение энергоэффективности, улучшение эксплуатационных свойств, безопасности и экологичности дорожного и внедорожного движения пилотируемых и беспилотных транспортных средств. Поэтому исследовательские работы, которые были проведены ранее, не могут обеспечить полномасштабного конструктивного решения транспортного средства. Новые решения требуют новых технологических концепций при расчёте динамики автомобиля в качестве теоретического фундамента проектирования и инжиниринга транспортного средства. Действительно, создание новых областей исследований в динамике автомобиля, т. е. новых технологических парадигм, может привести к принципиально новым конструкциям систем транспортных средств, а не просто обеспечивать приспосабливаемость ко всё более возрастающим требованиям к системам автомобиля.

Например, концептуально новое направление исследований на современном этапе — дальнейшее повышение адаптивности конструкций в динамике взаимодействия "шина—поверхность", которое может быть сформулировано как новая техническая парадигма — динамика быстро адаптивной ("умной") шины, ориентированная не только на чрезвычайную быстроту и точность, но также на определение 3D-параметров модели "автомобиль—шина—поверхность" (*3D-vehicle—tyre—surface*) и достижения скорости управления адаптацией системы "шина—почва" в пределах запаздывания реакции на 60—80 мс.

Это устраняет основную проблему в расчёте динамики колеса — оценку скольжения/буксования шин, чтобы свести к минимуму потери мощности в системе "шина—грунт", увеличить проходимость колеса и уменьшить износ шин, а также снизить повреждение почвы. Действительно, в отношении контроля проскальзывания шин динамика быстро адаптивной шины предоставляет достаточно времени для управления системой колеса, чтобы принять решение управления и активировать привод колеса, пока шина и почва приспосабливаются друг к другу.

Современные и перспективные мехатронные модули и системы, созданные на основе новинок технологий в области автомобилестроения, могут способствовать внедрению быстро адаптивных систем в конструкцию автомобиля. Это обеспечит более эффективную безопасность водителя и пассажиров, экономию энергии и повышение производительности системы "водитель—автомобиль—окружающая среда".

Таким образом, теория быстроадаптивных систем транспортного средства должна развиваться как ключевое направление на современном этапе её развития.

Ещё одна проблема в теории динамики автомобиля, складывающаяся сегодня, — это описание взаимозависимости и взаимовлияния мехатронных систем автомобиля и оценка их влияния на эксплуатационные и потребительские свойства транспортного средства — синхронность работы при выполнении главной целевой функции автомобиля. При этом необходимо учитывать развитие дорожной инфраструктуры (среды), средств связи и навигации и т.п.

Основы теории автомобиля были созданы на двух основных, но различных подходах для исследования динамики систем транспортного средства и проектирования систем автомобиля: (I) эксплуатационные свойства каждого транспортного средства изучаются с учётом отдельных и независимых воздействий различных систем на эти свойства; (II) динамика и конструкция транспортного средства изучаются с учётом комплексного влияния всех систем ТС на различные эксплуатационные свойства автомобиля.

Системы перспективных транспортных средств могут унаследовать существующие конфликты (противоречия) при функционировании различных конструкций, что существенно влияет на свойства автомобиля. При проектировании систем автомобиля инженеры обычно мало обеспокоены влиянием на динамику транспортного средства потенциального объединения действий различных систем. Связанные действия обычно остаются незамеченными в процессе проектирования.

Современное комплексное управление автомобилем может рассматриваться как техническое решение для согласования помех между системами (решения конфликтов "интересов"), что приводит к отрицательному влиянию на эксплуатационные свойства автомобиля. Однако, несмотря на улучшение динамики автомобиля, интегрированное управление не может по-настоящему решить технические проблемы и полностью исключить противоречивые действия систем (полностью исключить конфликт "интересов").

Таким образом, новые исследования динамики систем транспортного средства необходимы для того, чтобы основательно понять взаимозависимость и взаимовлияние систем автомобиля. Для этого нужен переход от технологии исследования связанной динамики систем транспортного средства (за рубежом — *coupled dynamics* — это когда в исследовании рассматриваются системы, влияющие друг на друга без всяких ограничений) к интерактивной технологии исследования (*interactive dynamics* — это когда целенаправленно пытаются осуществить сглаживание отрицательных действий систем друг на друга, которые заложены в конструкцию. Данные системы автомобиля не находятся под активным воздействием управления — исследователи "заставляют" их "дружить" друг с другом). В отличие от технологии связанной динамики, интерактивный (содержащий активное действие между чем-либо, кем-либо) процесс исследования разъединяет динамические эффекты системы и затем сознательно и намеренно направляет отдельные действия каждой системы во взаимодействие между собой для улучшения динамики автомобиля в целом, повышения его производительности, энергетической эффективности использования топлива и других потребительских свойств. Таким образом, создаются теоретические основы для последующего намеренного проектирования какой-то системы, которая работает не совсем в оптимальном режиме, но обеспечивает оптимальную работу других систем, определяющих выполнение главной целевой функции автомобиля.

Ещё одно направление — развитие возможности упреждающих быстрых откликов на потребность новых конструкций с новыми потребительскими свойствами автомобиля — динамика систем переменной массы и конфигурации. Наземные машины-роботы (например, динамика оборудования планетоходов и машин военного назначения), легковые машины (например, динамика реконструкции аварий), военные машины (например, восстановление требуемого движения в боевой обстановке и тяжёлых грунтовых условиях) — могут быть названы как потенциальные области применения этого направления.

Необходимо развивать новые исследовательские направления, которые относятся к кибербезопасности автомобиля, систем "автомобиль—автомобиль" и "автомобиль—дорожная инфраструктура". Эти новые технические проблемы стоят на повестке дня, поскольку конструкции мехатронных систем транспортного средства включают телеуправляемые системы, принадлежащие к кластеру киберфизических систем. Динамика этих систем, применяемых для пилотируемых и беспилотных наземных транспортных средств, должна быть обеспечена в сложной электронно-кибер- и электромагнитной среде.

Таким образом, современная динамика автомобиля приобретает следующие принципиально новые черты, которые могут привести к новым парадигмам в развитии будущей теории автомобиля: быстро адаптивные

(гибкие), работающие в реальном времени управляющие системы автомобиля; мультифизическая мехатронно/кибернетическая механика систем; связанная и интерактивная технологии исследования динамики систем транспортного средства.

Обобщая, можно сказать следующее.

Многие современные исследования и наиболее смелые концепт-кары выходят за рамки задач текущего времени. По мнению автора, уже в первой половине XXI века нас ожидает два качественно различающихся этапа развития средств управления автомобилями.

Так, основной отличительной чертой ближайшего этапа будет появление на дорогах общего пользования транспортных средств с частичным или полностью автоматическим управлением. Главными задачами теории автомобилей станут проблемы автономного управления и интегральной оптимизации конструкции и потребительских свойств разрабатываемых транспортных средств. Целевая функция при такой оптимизации потребует одновременного удовлетворения противоречивых и трудно сопоставимых требований для обеспечения экологичности, безопасности и комфортабельности автомобиля при минимизации потребительских расходов, повышении рентабельности разработки и производства. Предположительно, наилучшим образом удовлетворять подобному набору противоречивых требований будут массово выпускаемые модульные платформы базовой модификации автомобиля с развитыми возможностями приспособленности под запросы конкретного потребителя и прогнозируемые условия использования. Определение потребностей потребителя и прогноз специфики использования наряду с унификацией модулей платформы могут стать важными направлениями совершенствования теории наземных транспортных средств. Другим ключевым направлением будут исследования в области безопасности, необходимые для разработки алгоритмов управления в критических ситуациях, включая прогнозирование оценки вреда здоровью и ущерба имуществу при различных вариантах ДТП.

Главным же качественным отличием следующего этапа развития теории автомобиля, ожидаемого автором, будет переход от задач транспортно-индивидуальной оптимизации к задачам коллективной оптимизации транспортной среды. Вариантом целевой функции оптимизации может стать сокращение суммарных транспортных издержек всего сообщества при обеспечении безопасности движения, экологичности и индивидуальных потребностей человека в ходе выполнения транспортной задачи. В рамках исследовательских работ в этом направлении можно ожидать разработку коллективных систем синхронизированного управления транспортными потоками, алгоритмов раннего предсказания угроз безопасности движения, методик коллективного согласованного взаимодействия для предотвращения развития опасных ситуаций и максимизации пропускной способности автомагистралей. В период этого этапа возможно введение полного запрета на движение по дорогам общего пользования управляемых людьми транспортных средств. Большое количество современных исследований в области коллективного управления наземными транспортными средствами позволяет ожидать, что этот период развития может оказаться непродолжительным. Развитие научной мысли в области автономного управления транспортными средствами с самого начала идёт с учётом задач комплексной оптимизации транспортной среды, и различие между двумя этапами будет выражено преимущественно степенью допуска на дороги общего пользования автономных и управляемых людьми АТС.

Для обеспечения научно-технического задела последующих этапов в настоящее время, прежде всего, необходима разработка математического аппарата и технических систем высокоточного определения и надёжного предсказания положения автомобиля на дороге. Необходимый доверительный интервал погрешности местоопределения управляемого и соседних с ним автомобилей должен составлять не более 100—200 мм. Величина этого доверительного интервала должна включаться в качестве условного расширения габарита автомобиля при определении вероятности пересечения траекторий. Гипотеза о пересечениях траекторий должна разрешаться с уровнем доверия, гарантирующим отсутствие столкновения с вероятностью не ниже 0,9999. Требуемые параметры недостижимы для традиционных в настоящее время средств глобальных спутниковых навигационных систем (ГСНС).

Наиболее перспективным направлением для обеспечения надлежащих характеристик точности считается применение комплексированных систем, состоящих из модулей ГСНС, инерциальных навигационных систем (ИНС), магнитно-курсовых систем (МКС), кинематических навигационных систем (КНС) и оптических навигационных систем (ОНС). Необходимо разработать методики синтеза матриц эволюции, наблюдения, управления, ковариации для Калмановского фильтра, позволяющего сводить в единое навигационное решение потоки сигналов от этих систем с учётом изменяющихся характеристик их точности. Эффективность работы ОНС значительно улучшается в случае известной априорной оценки вектора ориентации транспортного средства (углы курса, крена и тангажа), поэтому требуется разработка "подсказывающих" математических моделей, которые будут уточнять и прогнозировать ориентацию транспортного средства на основе сигналов датчиков ИНС (гироскопы, акселерометры) и КНС (углы поворота и собственного вращения колёс). Это уточнение и прогноз должны учитывать динамику напряжённо-деформируемого состояния корпуса, шин и элементов подвески. Для повышения точности КНС потребуется разработка моделей расчёта в простейшем случае динамического радиуса качения, а в общем случае — деформированного состояния шины в зависимости от профиля дороги и характера нагрузки на колесо.

Требование надёжного среднесрочного предсказания будущих положений автомобиля сводится к реше-

нию типовой задачи интеллектуального управления о конусе возможных траекторий, с обязательным рассмотрением особых случаев движения, связанных с процессом скольжения колеса по опорной поверхности и возможным развитием процесса потери управляемости. Для решения задач выбора оптимальной траектории и динамики движения необходимы модели расхода ГСМ и изменения технического состояния механизмов автомобиля в зависимости от условий движения и рельефа опорной поверхности.

Особое место, на наш взгляд, следует уделить задачам обеспечения информационной безопасности и надёжности, т. е. верификации алгоритмов и систем управления. По мнению автора, широкий спектр условий движения, различных дорожных ситуаций и крайне высокие требования по надёжности обеспечения требований безопасности не позволят полагаться исключительно на результаты полигонных испытаний с приемлемой продолжительностью. Дело в том, что после внесения в конструкцию или алгоритм управления любого изменения, в том числе после любого исправления выявленных ошибок, такие испытания придётся повторять заново. Кроме того, условия любого самого совершенного полигона не могут учесть многообразия различных возможных дорожных ситуаций. Поэтому становится актуальной задача создания математической модели движения транспортного средства, применимой для проведения верификации программного обеспечения методами вычислительного эксперимента. После решения такой задачи процесс испытаний будет сводиться к автоматическому исполнению набора ситуационных тестов на ЭВМ, перечень которых будет расширяться по мере выявления недостаточно протестированных случаев. Именно такой способ верификации используется для систем автоматического управления в ракетно-космической технике.

В случае, когда необходимо проверить работу не только программ, но и электронных модулей, модельная динамика транспортного средства должна имитироваться (симулироваться) при помощи специальных вычислителей, работающих в режиме реального времени. Такие вычислители могут сопрягаться по физическому интерфейсу с испытываемым электронным модулем, выдавая сигналы, полностью аналогичные сигналам датчиков, установленных на разрабатываемом АТС. Следует отметить, что современное развитие компьютерных технологий позволяет имитировать не только сигналы датчиков, но и более сложную информацию, например, видеоизображения. Для синтеза имитационного видеопотока используются данные о местах установки и ориентации видеокамер на автомобиле, об использованной в видеокамере оптической системе, а также результаты моделирования в части мгновенного положения и ориентации моделируемого транспортного средства.

Имитационный видеопоток должен создаваться с использованием трёхмерной модели местности, это может быть реальный участок дороги или специально подготовленный виртуальный тестовый участок. Формируемые видеокадры должны включать фотореалистические изображения не только самой дороги, зданий, сооружений, растений, но также и изображения виртуальных движущихся автомобилей, пешеходов, прочих возможных препятствий или предпосылок развития опасной ситуации. Такой подход позволяет воспроизводить различные дорожные ситуации в различных климатических и погодных условиях. Определение критических режимов, "провоцирующих" маневров смежных и встречных автомобилей, после которых испытуемая система с большой вероятностью может выйти из режима нормального функционирования, также необходимо отнести к одной из перспективных задач теории движения машин.

Для ситуаций, в которых ДТП избежать невозможно, система управления должна выбрать такую траекторию автомобиля, при которой при любом поведении других участников дорожного движения будут минимизированы следующие три ранга угроз: во-первых, угроза жизни, во-вторых, оценка угрозы вреда здоровью, в-третьих, угроза имуществу и окружающей среде. Разработка моделей оценки таких угроз в зависимости от условий ДТП является актуальной темой научных исследований на стыке теории движения транспортного средства, медицины и экономики.

И, наконец, задачи обеспечения удобства пользования, как совокупности антропометрической, сенсомоторной, энергетической и психофизиологической совместимости конструируемых моделей с людьми, должны разрабатываться с использованием системоцентрического подхода эргономики, науки о методах оценки параметров качества и оптимизации человекомашинных систем.

Кроме того, автор представляет, что развитие теории автомобиля невозможно без учёта политических (координация законодательства, техническое регулирование, создание единого экономического пространства и т.д.), экономических (топливный резерв и инфраструктура его использования, уровень благосостояния, степень урбанизации и субурбанизации, соотношение эффективность/стоимость и т.п.) и социальных (модели поведения людей и способы проведения досуга, общественные нормы к транспортным средствам, стоимость машин и топлива, проблемы окружающей среды и др.) факторов. Перспективы развития прикладной науки в России — теории автомобиля или теории движения наземных транспортных средств определены в последней "Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года", утверждённой Распоряжением от 28 апреля 2018 г. № 831-р Правительства РФ.

Таков, по мнению автора, далеко не полный перечень направлений исследований в области теории автомобиля, необходимых для создания транспортных средств будущего — как мобильного робота различного назначения. Конструктивная реализация этого процесса невозможна без развития теории автомобиля/трактора и интеграции соответствующих областей науки и техники.

УДК 621.436.1

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ДВС, РАБОТАЮЩИХ ПО ЦИКЛУ ДИЗЕЛЯ

Канд. техн. наук **ИВАНОВ А.Е., ИВАНОВ С.А.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана (anatolyxt@yandex.ru)

Описан способ повышения эффективности и экологичности дизелей с использованием электрического поля коронного разряда.

Ключевые слова: *дизель, экологичность, экономичность, коронный разряд.*

Ivanov A.E., Ivanov C.A.

METHOD OF INCREASING THE ECOLOGICAL AND ECONOMICITY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES OPERATING A DIESEL CYCLE

The article describes a way to improve the efficiency and environmental friendliness of diesels using the electric field of the corona discharge.

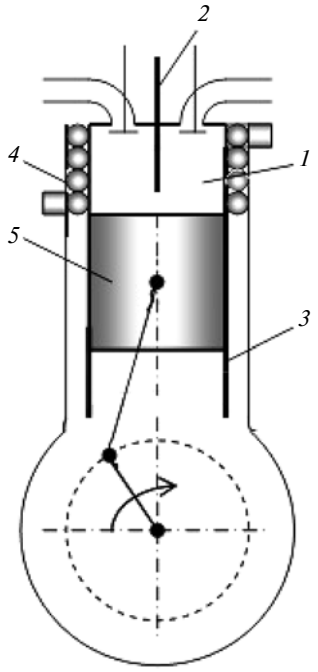
Keywords: *diesel, environmental friendliness, economy, corona discharge.*

Результатом экспериментальных исследований [1] и [2] было повышение температуры самовоспламенения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей с помощью электрического поля коронного разряда, для чего газовоздушная смесь подвергалась обработке электрическим полем путём введения в неё электрода в виде тонкого металлического стержня (проволоки), на который подавали положительный потенциал от 3,8 до 6,8 кВ (отрицательным полюсом служит заземлённый корпус камеры сгорания). Электрическое поле коронного разряда повышает температуру самовоспламенения горючих газопаровоздушных смесей, в частности, дизельного топлива на 53 °С и ионизирует газопаровоздушную смесь, придавая скорость хемоионам.

Поэтому предлагается одновременно подвергать газопаровоздушную смесь обработке магнитным полем размещённого вокруг камеры сгорания соленоида, по которому проходит электрический ток (пат. № 2371600. 2008 г.), либо магнита. При этом векторы электрического $\vec{E}$ и магнитного $\vec{H}$ полей не должны быть коллинеарны (лучше всего перпендикулярны).

Электрическое поле коронного разряда, источником которого является металлический стержень, ионизирует газопаровоздушную смесь и придаёт хемоионам скорость $v = \frac{Eq}{m}t$, где E — напряженность электрического поля; q — заряд хемоиона; m — масса хемоиона. Магнитное поле, источником которого является соленоид или магнит, действует на движущиеся в нём хемоионы с силой Лоренца, равной $\vec{f}_л = q(\vec{v} \times \vec{B})$, где $\vec{B}$ — индукция магнитного поля. Модуль этой силы $f_л = qvB\sin\alpha$, где угол $\alpha = \alpha(\vec{v} \wedge \vec{B})$.

Сила Лоренца направлена перпендикулярно к плоскости, в которой находятся векторы $\vec{v}$ и $\vec{B}$. Если заряд положителен, направление силы Лоренца совпадает с направлением вектора $\vec{v} \times \vec{B}$, в случае отрицательного заряда направления векторов $\vec{f}_л$ и $\vec{v} \times \vec{B}$ противоположны. Поскольку эта сила всегда направлена перпендикулярно скорости, она обусловливает появление центростремительного ускорения, в результате чего хемоионы разных знаков (горючего и окислителя) движутся навстречу дуг другу по окружности (при $\alpha = 90°$) или по винтовым линиям [3] навстречу друг другу, что способствует смешиванию и турбулизации компонентов топлива и окислителя. При этом векторы напряженности электрического $\vec{E}$ и магнитного $\vec{H}$ полей не должны быть коллинеарны.



Таким образом, в результате обработки газовоздушной смеси в камере сгорания дизеля электрическим полем коронного разряда повышается температура самовоспламенения, в результате чего повышается степень сжатия и, следовательно, КПД, который для дизеля определяется формулой $\eta = 1 - (1/\varepsilon)^{k-1}$, где ε — степень сжатия; $k = C_p/C_v$ — показатель адиабаты; C_p, C_v — удельные теплоёмкости соответственно при постоянных давлении и объёме. Кроме того, воздействием на процесс горения магнитным полем гомогенизируются, турбулизируются и перемешиваются положительные и отрицательные хемоионы горючего и окислителя, что обеспечивает повышение полноты сгорания топлива, также повышающее КПД и снижающее выбросы токсичных веществ с отработавшими газами.

Схема устройства представлена на рисунке. Поле коронного разряда в камере сгорания *1* дизеля создаёт помещённый над поршнем *5* по оси цилиндра тонкий металлический стержень (тонкая проволока) *2*, являющийся положительным электродом (анодом) с напряжением 5,5...6,8 кВ. Роль противоположного электрода играет заземлённый цилиндр *3*. Магнитное поле создаётся соленоидом *4*, навитым на цилиндр.

Данный способ можно применять и для бензиновых двигателей, однако в этом случае повышение КПД происходит лишь за счёт полноты сжигания топлива, т.е. в меньшей степени, чем на дизелях.

Литература

1. Верещагин С.Н., Гуляев Г.А., Попков Г.А., Шебеко Ю.Н., Иванов А.Е., Поляков Ю.А. Авторское свидетельство на изобретение № 1282849 "Способ предотвращения самовоспламенения горючих газопаровоздушных смесей", 1986.
2. Верещагин С.Н., Иванов А.Е., Поляков Ю.А., Шевцов Э.Н. Влияние электрических полей на температуру самовоспламенения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Химическая физика. АН СССР, 1986. 5 с.
3. Иванов А.Е. Электродинамика. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008, с. 403.

УДК 621.43.06

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТВЁРДЫХ ЧАСТИЦ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОБУСОВ

Канд. биол. наук **ЧЕРНЫШЁВ В.В.**, канд. хим. наук **ЗАХАРЕНКО А.М.**, канд. техн. наук **УГАЙ С.М.**, **ХИЕН Т.Ч.**, **ХАИ Л.Х.**, канд. физ.-мат. наук **АНИСИМОВ Н.Ю.**, д-р биол. наук **ГОЛОХВАСТ К.С.**
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток
(golokhvast.ks@dvfu.ru)

Выполнено исследование качественного состава твёрдых частиц отработавших газов автобусов, эксплуатируемых на дорогах Владивостока. Изучена суспензия отработавших газов 20 автобусов. Обнаружено, что большинство автобусов являются источниками больших частиц с размером более 400 микрометров, на которые приходится более 80 % всех частиц. Элементный состав установил, что отработанные газы автобусов содержат Al, Cd, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb, Zn. Обнаружено, что содержание цинка в исследуемых образцах на два-три порядка превышает содержание других представленных элементов во всех исследуемых образцах.

Ключевые слова: *автобусы, выхлопные газы, твёрдые частицы, загрязнение атмосферы.*

Твёрдые частицы выхлопных газов дизелей, как известно, представляют собой сложную смесь летучих материалов (органика, сульфаты, нитраты) и нелетучих материалов (сажа, зола) [15, 16], состав которой зависит от режима работы двигателя, состава топлива, моторного масла, средств очистки отработавших газов [4]. Сажа образуется при недостаточных условиях горения в двигателе (недостаток воздуха, плохое смешивание воздуха и газов, низкая температура горения), при которых углеводородные фрагменты имеют большую вероятность столкновения между собой, вместо их полного окисления до CO, H_2, CO_2 и H_2O происходит их коагуляция и агломерация [16—18]. Вещества, включая углеводороды и их легкоиспаряющиеся производные, называются летучими органическими соединениями. Несгоревшие углеводороды присутствуют в городском воздухе в результате неполного сгорания в цилиндрах двигателей топлива и масла [19]. Основными компонентами и наиболее реактивными летучими органическими соединениями являются бензол, толуол, этилбензол и ксилол (*BTEX*), и они могут конденсироваться на твёрдых частицах отработавших газов ДВС [19, 20, 21].

Кроме органических соединений и сажи, частицы выбросов ДВС содержат различные химические элементы, в том числе тяжёлые металлы, которые находятся как в свободном виде, так и в сорбированном на поверхности сажевых и пепловых частиц. В отработавших газах автобусов были обнаружены V, Cr, Al, P, Mn, Ni, K, Sr, Cd, Cu, Fe, Zn, Na, Ba и Zr [3, 4, 12]. Из этих металлов были найдены наибольшие концентрации для K, за которыми следуют Zn, Na, Fe и P [12].

Наличие частиц металлов в отработавших газах является результатом: механического износа агрегатов и двигателя; химических процессов, протекающих при работе двигателя; попадания в топливо и смазочные масла продуктов износа; наличия примесей в воздухе, подаваемом в камеру сгорания.

Во время работы двигателя, под действием механического трения, химического износа, образуются разнообразные продукты износа в виде мельчайших металлических частиц. Эти металлические частицы вместе со смазочным маслом поступают в камеру сгорания двигателя и выводятся через систему выпуска в атмосферу. Также металлические частицы могут быть отделены от элементов самого выпускного тракта. В результате двигатель и система выпуска являются наиболее важным источником металлических частиц.

Ряд соединений металлов содержат моторные масла и топлива. Например, модификаторы трения, антифрикционные и антидетонационные присадки — $Mn(CO)_3(C_5H_5)$, $Ni(CO)(C_5H_5)$b, $Fe(C_5H_5)_2$ и др. Во время работы двигателя металлы или ионы металлов из масла топлива и различных присадок смешиваются с отработавшими газами и также попадают в атмосферу.

Наконец, сам атмосферный воздух, потребляемый при работе двигателя, уже содержит ионы металлов, металлические частицы и другие вещества, что также способствует образованию твёрдых частиц в выхлопных газах двигателя. Уровень проникновения твёрдых частиц в двигатель сильно зависит от состава атмосферного воздуха, а также от качества воздушного фильтра двигателя.

Исследования показали, что твёрдые частицы отработавших газов влияют на здоровье человека. Они способны вызывать респираторные и сердечно-сосудистые заболевания, изменения в иммунной системе человека, повреждения лёгочной ткани и канцерогенез, что приводит к преждевременной смерти [5]. ВОЗ (2012) сообщает, что хроническое воздействие загрязнителей воздуха, включая твёрдые частицы, приводит к гибели 7 млн человек, что представляет собой самый важный экологический риск для здоровья в мире [6]. Но именно мелкие частицы, имеющие размерность до 10 мкм включительно, представляют наибольшую угрозу для здоровья человека. Существует широкое эпидемиологическое доказательство того, что частицы размером менее 2,5 мкм увеличивают смертность уже при умеренных массовых концентрациях. Ультратонкие частицы размером менее 100 нм имеют большую площадь поверхности на единицу массы, и они могут проникать глубже в лёгкие при вдыхании. Как правило, они не вносят существенного вклада в общую массу испускаемых частиц, но могут быть значительными с точки зрения концентрации количества [7].

Экспозиции высокими концентрациями твёрдых частиц пассажиры подвергаются, как правило, в течение всего маршрута следования [9]. Отработавшие газы проникают в кабину и салон автобуса во время его стоянки, нахождении в заторах и во время следования по маршруту через имеющиеся неплотности, двери и окна. Это так называемое "самозагрязнение" значительно увеличивает экспозицию пассажиров твёрдыми частицами. Исследование [10] показало, что до 0,3 % воздуха в салоне составляют его собственные отработавшие газы. Разумеется, попада-

ют твёрдые частицы в салон автобусов с отработавшими газами соседних транспортных средств. Высокий уровень загрязнений наблюдался в салоне автобусов на конечных остановках и в местах длительной стоянки, где многие автобусы одновременно работали на холостом ходу [11]. Было показано, что уровень частиц PM 2.5 в местах стоянки автобусов выше уровня окружающей среды в городах и составлял в среднем 32 мг/м^3 (диапазон: 22...52 мг/м^3) [3].

Для проведения экспериментов, согласно классификации ОН 025270 66 [4] и Классификации Европейской экономической комиссии, были выбраны наиболее значимые с точки зрения экологии (по выбросам) и широко представленные во Владивостоке типы автобусов, представленные в табл. 1. Методика проведения замеров запатентована (Голохваст и др., 2014). В качестве объекта исследования нами была выбрана суспензия выхлопных газов, для получения которой и проведения замеров нами были использованы: пластиковая тара ёмкостью 20 л, шланг из поливинилхлорида (длиной 1 м и диаметром 50 мм для каждого замера), вода дистиллированная (объём 10 л на каждый замер). Отработавшие газы пропускались через воду в целях охлаждения и улавливания большей части (до 80 %) содержащихся в них твёрдых частиц. Перед замером ёмкость и шланг промывали деионизированной водой, полученной на установке по получению ультрачистой воды фирмы "Сименс" (*SGWASSER Ultra Clear TWF/EL-ION UVplus TM*).

Таблица 1

Код транспортного средства	Рабочий объём двигателя, л	Год выпуска
DBS106	11	1993
DBS106	11	1995
DBS106	12	2005
DBS106	12	2006
DBS106	11	2010
HAT	6,7	1998
HAT	7,5	1999
HC	4	2003
HC	4	2009
DBH115	11	2003
G1614	2	2002
FT	2,2	2012
HAQ	16	1996
HAS	11	1993
HAS	12	1994
HAS	12	1995
HSAS	11	1993
HSAS	11	2010
KG	12	2011
KLXMQ6127c	8,9	2014
HU	9	2013

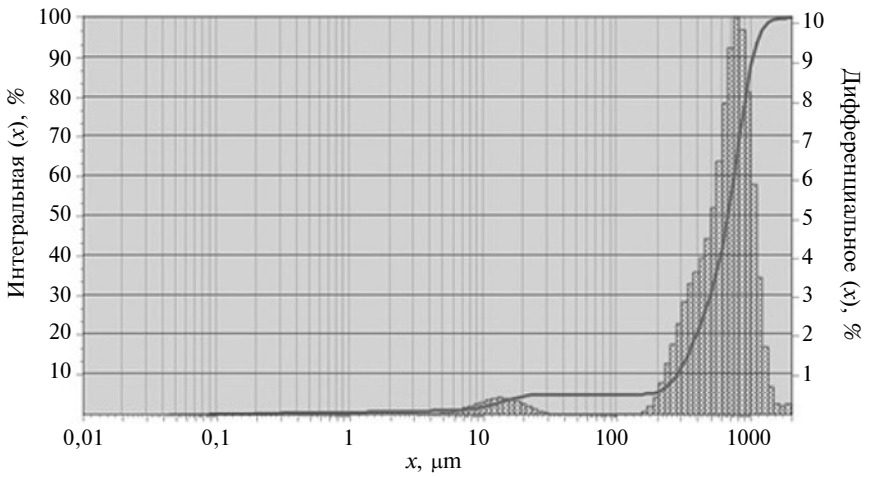


Рис. 1. Диаграмма размера частиц выхлопных газов в образце "Киа Грандбирд", измеренных с помощью лазерной гранулометрии

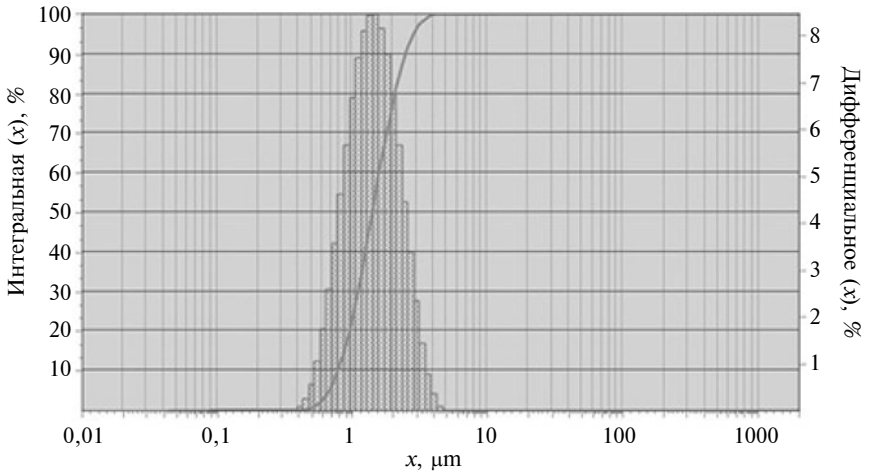


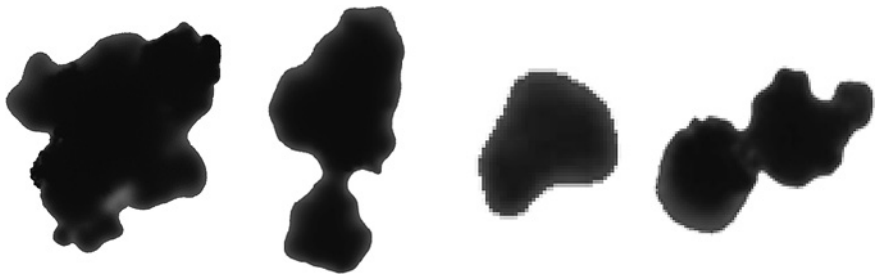
Рис. 2. Диаграмма размера частиц выхлопных газов в образце "Дэу BH115", измеренных с помощью лазерной гранулометрии

Гранулометрический анализ полученной суспензии проводили на лазерном анализаторе частиц фирмы "Фритц" (*"Analysette 22 NanoTec"*) согласно рекомендациям разработчика, с использованием стандартного программного обеспечения. Измерения проводили в режиме *nanotec* с установками *carbon/water* 20 °С с тремя повторами. Элементный анализ образцов был выполнен на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) фирмы "Шимадзу" (ICPE-9000). Путём статического выпаривания получен сухой остаток, который был исследован на оптическом микроскопе, совмещённом с *RAMAN*-спектроскопией марки (*Morphologi G3-ID*).

Результаты экспериментов представлены в табл. 2. Как видим, подавляющее большинство из исследованных автобусов выбрасывают в атмосферу преимущественно крупные частицы (рис. 1). Лишь в трёх случаях из 21 доля частиц с потенциально опасного размерного класса (менее 10 мкм) превышает 27 % (рис. 2). Обусловлено это большим объёмом двигателей автобусов (от 4 до 16 л) и типом топлива — большинство автобусов — дизельные.

Исследование сухого остатка суспензии выхлопных газов позволило установить, что в большинстве своём крупные частицы представляют

собой неправильной формы углеродистый агломерат. Наиболее типовые формы частиц из отработавших газов автобусов приведены на рис. 3. Твёрдые частицы, имеющие среднеарифмитический диаметр ≥5 мкм, как видим, представляют собой совокупность нескольких более мелких частиц, которые в результате изменения температуры и давления в выпускной системе агломерируются в более крупные частицы.



а) *б*) *в*) *г*)

Рис. 3. Наиболее типовые формы твёрдых частиц выхлопных газов автобусов (увеличение ×50):
а — среднеарифметический диаметр частицы — D_{mean} = 79 мкм, удельная площадь поверхности — S_{mean} = 4912 мкм^2; *б* — D_{mean} = 54,93 мкм, S_{mean} = 2370,2 мкм^2; *в* — D_{mean} = 11,5 мкм, S_{mean} = 103,8 мкм^2; *г* — D_{mean} = 2,21 мкм, S_{mean} = 3,85 мкм^2

Данный факт был отмечен нами и при исследовании твёрдых частиц легковых автомобилей, что позволяет сказать о том, что нет возможности верифицировать частицы от различных типов транспортных средств по их геометрическим размерам и формам. На процессы коагуляции и дальнейшей агломерации оказывают одновременное влияние очень много переменных факторов, таких как режим работы и состояние ДВС, системы выпуска, температура окружающего воздуха и др. Элементный состав суспензии выхлопных газов автобусов приведён в табл. 3.

Проведённый анализ качественного состава твёрдых частиц выхлопных газов автобусов показал, что твёрдые частицы, попадающие в атмосферу, представлены преимущественно углеродными (пепловыми и сажевыми) агломератами, имеющими различную геометрическую форму, среднеарифмитический размер и удельную площадь поверхности. Если рассматривать данные гранулометрического анализа, то стоит отметить, что с ростом объёма ДВС возрастает и среднеарифметический диаметр частиц. Данный факт был отмечен нами и при исследовании легкового транспорта. Возможно, это объясняется тем, что при большем объёме в двигателе меняются условия сгорания углеводородов в камере сгорания, а также их дальнейшим поведением в выпускном коллекторе.

Таблица 2

Код транспортного средства	Гранулометрический анализ суспензии отработавших газов. Фракции, мкм							
	менее 1	1...10	10...50	50...100	100...400	400...700	700 и более	Среднеарифметический диаметр
DBS106	6,7	20,3				2,5	70,4	749,04
DBS106		0,1	0,3		10	33,1	56,4	736,4
DBS106						5,1	94,9	997,85
DBS106					12,4	38,2	49,4	700,13
DBS106	3,9	8,1	2,8	0,1	4,6	7	73,5	784,97
HAT	0,1		0,3		21,5	42,8	35,3	614,12
HAT	4,1	8,3				7,9	79,7	833,43
HC	0,1	0,1	0,3		19,6	40,2	39,7	642,67
HC					6,1	35,3	58,6	768,43
DBH115	22,7	77,3						1,55
G1614	0,5	1,3				2,5	95,7	1033,75
FT		0,1	0,2		13,4	42	44,3	671,48
HAQ		0,1	0,4		18,2	41,3	40	643,59
HAS	0,4	1,4	1,1		15,4	37,3	44,4	663,44
HAS	7	25,6	4,7		18,8	15,9	28	410,87
HAS	0,1		0,2		11	35,6	53,1	714,87
HSAS		0,1	0,4		19,3	42,5	37,7	631,61
HSAS	0,2	4,1	4,8		18,3	40,4	32,2	564,28
KG	0,4	1,5	3,1		15,6	32,3	47,1	667,18
KLXMQ6127c	0,4	3,3	15,1		7,5	16,7	57	670,6
HU			0,3	13,4		38,4	47,9	685,69

Проведённый элементный анализ суспензии показал, что с выхлопными газами автобусов в атмосферу, как в свободном виде, так и в сорбированном, попадают ионы металлов, в том числе таких как Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Sn, Zn. Полученные низкие концентрации отдельных элементов объясняются высоким порогом чувствительности анализатора, однако содержание такого элемента, как оказалось, на два, а то и три порядка выше, чем содержание остальных элементов в тех же пробах. Повышенное содержание цинка наблюдалась так же и при анализе выхлопных газов легковых автомобилей и мотоциклов [21]. Цинк, как элемент широко представлен в различных сплавах и покрытиях деталей и элементов двигателя и выпускной системы. Под воздействием механического и химического износов происходит его активный выброс с продуктами выхлопных газов в атмосферу.

Результаты экспериментов в табл. 2 показывают, что распределение размера частиц в большинстве исследовательских транспортных средств делится на две отдельные группы (бимодальные), которые согласуются с предыдущими исследованиями [13, 14]. Первая группа состоит из частиц размером менее 50 мкм. Вторая группа состоит из частиц с размером от 100 до 1000 мкм. Большинство экспериментальных транспортных средств (15/21), выбрасывающие частицы 2-й группы,

Таблица 3

Проба №	Микроэлементный анализ суспензии отработавших газов											
	Al, мг/дм^3	Cd, мг/дм^3	Co, мг/дм^3	Cr, мг/дм^3	Cu, мг/дм^3	Fe, мг/дм^3	Mg, мг/дм^3	Mn, мг/дм^3	Ni, мг/дм^3	Pb, мг/дм^3	Sn, мг/дм^3	Zn, мг/дм^3
1	0,033	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0031	0,0062	0,0041	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,676
2	0,0329	<0,0001	<0,0001	0,0018	0,0029	0,0103	0,0499	<0,0001	0,0008	<0,0001	<0,0001	0,137
3	0,0922	0,0022	0,0092	0,0157	0,0238	0,0129	0,0192	0,0004	0,0106	0,0002	<0,0001	4,62
4	0,0776	0,0027	0,0075	0,0131	0,0212	0,013	0,17	0,0005	0,0105	<0,0001	<0,0001	2,05
5	0,0467	0,0001	0,0022	0,005	0,0114	0,0081	0,0291	<0,0001	0,0033	<0,0001	<0,0001	3,29
6	0,0495	0,0017	0,0034	0,0068	0,0124	0,0084	0,0134	<0,0001	0,0054	0,0019	<0,0001	3,86
7	0,0491	0,001	0,0031	0,0069	0,0171	0,0167	0,0084	<0,0001	0,0064	<0,0001	<0,0001	1,78
8	0,0468	0,0019	0,0033	0,007	0,0129	0,0088	0,0057	<0,0001	0,0052	<0,0001	<0,0001	0,0817
9	0,0389	0,0014	0,0021	0,0048	0,0127	0,0103	0,0125	<0,0001	0,0045	0,005	<0,0001	8,32
10	0,0419	0,0006	0,0024	0,0053	0,0111	0,0321	0,0061	<0,0001	0,0046	<0,0001	<0,0001	14,3
11	0,0413	0,0016	0,0026	0,0055	0,0116	0,013	0,0035	<0,0001	0,0064	0,0019	<0,0001	2,13
12	0,0416	0,0003	0,001	0,004	0,0101	0,0529	0,0116	<0,0001	0,004	0,004	<0,0001	12,4
13	0,0348	0,0008	0,0012	0,0036	0,0077	0,0099	0,004	<0,0001	0,0038	0,003	<0,0001	0,205
14	0,0284	<0,0001	0,0001	0,0018	0,0078	0,0094	0,009	<0,0001	0,0012	0,0024	<0,0001	15,6
15	0,0333	<0,0001	0,0011	0,003	0,0157	0,0153	0,0078	<0,0001	0,0021	<0,0001	<0,0001	1,25
16	0,0387	0,0004	0,0011	0,0037	0,011	0,0536	0,0024	<0,0001	0,0043	0,0015	<0,0001	0,148
17	0,038	0,0012	0,0025	0,0052	0,0115	0,008	0,0019	<0,0001	0,004	0,0017	<0,0001	2,33
18	0,0385	0,0006	0,0022	0,0047	0,0109	0,0094	<0,0001	<0,0001	0,0036	0,0031	<0,0001	2,36
19	0,0278	<0,0001	0,0001	0,002	0,0096	0,0062	0,0071	<0,0001	0,0019	<0,0001	<0,0001	5,17
20	0,0612	0,0004	0,0026	0,0552	0,0115	0,0155	0,38	0,0067	0,0109	<0,0001	<0,0001	4,67

составляет более 80 % от общего количества испущенных частиц. Это показывает, что автобусы, работающие на дизельном топливе, являются источником выбросов больших частиц. Однако три из 21 автомобиля (DBS1061993, DBH115; HAS 1994) излучают потенциально опасный размерный класс (менее 10 мкм, частиц, которые отрицательно влияют на здоровье человека) при высоких концентрациях 27, 100, 32,6 % соответственно.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (№ 15-14-20032).

Литература

1. Голохваст К.С., Гульков А.Н., Паничев А.М., Чайка В.В., Чернышев В.В. Патент № 2525051. Способ замера параметров выхлопных газов ДВС. Опубликовано 10.08.2014. Бюл. 22.
2. Nanaki E.A., Koroneos C.J., Xydis G.A., Rovas D. Comparative environmental assessment of Athens urban buses—Diesel, CNG and biofuel powered. Transport Policy 35 (2014). 311—318.
3. M. Cristina Fondelli, Elisabetta Chellini, Tarja Yli-Tuomi, Isabella Cenni, Antonio Gasparrini, Silvia Nava, Isabel Garcia-Orellana, Andrea Lupi, Daniele Grechi, Sandra Mallone, Matti Jantunen. Fine particle concentrations in buses and taxis in Florence, Italy. Atmospheric Environment 42 (2008) 8185—8193.
4. Голохваст К.С., Чернышёв В.В., Угай С.М. Выбросы автотранспорта и экология человека. Обзор литературы.
5. William J. Shaughnessy, Mohan M. Venigalla, David Trump. Health effects of ambient levels of respirable particulate matter (PM) on healthy, young-adult population. Atmospheric Environment 123 (2015) 102—111.
6. Beatriz S. Sosa, Andres Porta, Jorge Esteban Colman Lerner, Roxana Banda Noriega, Laura Massolo. Human health risk due to variations in PM10-PM2.5 and associated PAHs levels. Atmospheric Environment 160 (2017) 27—35.
7. Jenni Alanen, Erkka Saukko, Kati Lehtoranta, Timo Murtonen, Hilkka Timonen, Risto Hillamo, Panu Karjalainen, Heino Kuuluvainen, Juha Harra, Jorma Keskinen, Topi Rцnkkц. The formation and physical properties of the particle emissions from a natural gas engine.Fuel 162 (2015) 155—161.
8. Mathilde Pascal, Gregoire Falq, Ver ene Wagner, Edouard Chatignoux, Magali Corso, Myriam Blanchard, Sabine Host, Laurence Pascal, Sophie Larrieu. Short-term impacts of particulate matter (PM10, PM10e2.5, PM2.5) on mortality in nine French cities. Atmospheric Environment 95 (2014) 175—184.
9. Qunfang Zhang, Heidi J. Fischer, Robert E. Weiss, Yifang Zhu. Ultrafine particle concentrations in and around idling school buses. Atmospheric Environment 69 (2013) 65—75.
10. Eduardo Behrentz, Lisa D. Sabin, Arthur M. Winer, Dennis R. Fitz, David V. Pankratz, Steven D. Colome & Scott A. Fruin. Relative Importance of School Bus-Related Microenvironments to Children's Pollutant Exposure. Journal of the Air & Waste Management Association.
11. Qunfang Zhang and Yifang Zhu. Performance of School Bus Retrofit Systems: Ultrafine Particles and Other Vehicular Pollutants.
12. Saarikoski S., Timonen H., Carbone S., Kuuluvainen H., Niemi J.V., Kousa A., Rönkkö T., Worsnop D., Hillamo R. & Pirjola L. (2017). Investigating the chemical species in submicron particles emitted by city buses, Aerosol Science and Technology, 51:3, 317—329.
13. Tero Lahde, Topi Ronkko, Annele virtanen, Tanja J. Schuck, Liisa Pirjola, Kaarle Hameri, Markku Kulmala, Frank Arnold, Dieter Rothe, Jorma Keskinen. Heavy Duty Diesel Engine Exhaust Aerosol Particle and Ion Measurements. *Environ. Sci. Technol.* 2009, 43, 163—168.
14. O. Armas, A. Gymez, C. Mata, A. Ramos. Particle size distributions from a city bus fuelled with ethanol—biodiesel—diesel fuel blends. Fuel 111 (2013) 393—400.
15. Myung C.L., Ko A. and Park S. Review on characterization of nano-particle emission and PM morphology from internal combustion engines: part 1, International Journal of Automotive Technology. Vol. 15. No. 2. P. 203—218 (2014).
16. Peter Eastwood. Particulate Emissions from Vehicles, Ford Motor Company, Ltd.
17. Edward K.Y. Yapp, Markus Kraft1 (2013). Modelling Soot Formation: Model of Particle Formation. ISSN 1473 — 4273.
18. Kittelson D.B. (1998). Engines and Nanoparticles: A Review. J. Aerosol. Sci. 29: 575—588.
19. Cha-Lee Myung, Kwanhee Choi, Juwon Kim, Yunsung Lim, Jongtae Lee, Simsoo Park. Comparative study of regulated and unregulated toxic emissions characteristics from a spark ignition direct injection light-duty vehicle fueled with gasoline and liquid phase LPG (liquefied petroleum gas), Energy 44 (2012) 189—196.
20. Wan-Kuen Jo, Ki-Berm Song. Exposure to volatile organic compounds for individuals with occupations associated with potential exposure to motor vehicle exhaust andor gasoline vapor emissions. The Science of the Total Environment 269 2001 25. 37.
21. Бакута Е.Ю., Чернышёв В.В., Захаренко А.М., Угай С.М., Хиен Т.Ч., Хаи Л.Х., Анисимов Н.Ю., Голохваст К.С. Морфологический и химический состава твёрдых частиц выхлопных газов мотоциклов // Автомобильная промышленность, 2018. № 2. С. 6—11.

УДК 629.1

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПОВОРОТЕ АВТОМОБИЛЯ

Д-р техн. наук **ГЛАДОВ Г.И.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана (499.263-63-91)

Рассматриваются вопросы, касающиеся управляемости автомобилей с использованием характеристик переходного процесса при повороте, на основе представленной математической модели. Приведена блок-схема математической модели и основные расчётные зависимости.

Ключевые слова: *автомобиль, управляемость, поворот, переходный процесс, характеристика, математическая модель.*

Gladov G.I.

CHARACTERISTICS OF THE TRANSITION PROCESS WHEN TURNING THE CAR

The article deals with the issues concerning the controllability of cars using the characteristics of the transition process when turning, based on the presented mathematical model. The block diagram of the mathematical model and the main calculated dependences are given.

Keyword: *car, truck, controllability, turn, transient, characteristic, mathematical model*

Характеристики неустановившегося движения транспортного средства после резкого единичного поворота рулевого колеса обычно используются при оценке управляемости легковых и грузовых автомобилей в соответствии с нормативными требованиями. Схема математической модели, применяемой при расчётах управляемого движения транспортных средств, представлена на рис. 1 (Ω — угол поворота рулевого колеса; R — радиус кривизны траектории; W_y — абсолютное боковое ускорение; ψ_x — поперечный крен подрессоренной массы; δ_i — угол увода i-й оси; θ_1 — угол поворота управляемых колёс; V_y — боковая скорость; a_i — расстояние от i-й оси автомобиля до центра масс; V — абсолютная скорость центра масс автомобиля; J_z — момент инерции автомобиля относительно оси z; δ — угол увода центра масс автомобиля; ω — угловая скорость поворота автомобиля относительно оси z; P_{y_i} — боковая сила i-й оси автомобиля; P_z — проекция внешних сил на ось z; M_z — момент внешних сил относительно оси z; индекс j — правое или левое колесо).

Основным блоком здесь является блок 2, в котором решаются дифференциальные уравнения движения автомобиля. По результатам расчёта на каждом шаге в блоке поперечных кренов определяется поперечный крен подрессоренной массы ψ_x, а в блоке бокового увода определяются углы увода каждой оси автомобиля. Расчёт боковой силы на каждой оси производится в блоке 6. Исходными данными для расчёта боковых сил являются значения вертикальных реакций на каждом колесе, получаемые с учётом крена подрессоренной массы и угла увода каждой оси. В случае если моделируется ускоренное движение или движение с торможением, в блоке 6 вводятся значения продольных реакций на каждом колесе.

Рассмотрим движение трёхосного автомобиля на плоскости (рис. 2) со скоростью V при повороте с угловой скоростью ω вокруг мгновенного центра масс. При этом вектор абсолютной скорости в центре масс составляет с продольной осью некоторый угол δ, являющийся углом увода автомобиля, и, таким образом, центр масс имеет продольную скорость V и боковую скорость V_y.

Уравнение плоского движения автомобиля запишем в виде системы 1 (в таблице). Если выразить боковую силу на каждой оси в функции угла увода, то можно записать формулу 2, где $A_i = A_i(P_{z_i}, \delta_i, P_{x_i})$ — переменные коэффициенты. Углы увода δ_1, δ_2, δ_3 можно выразить через угол увода центра масс $\delta = V_y/V$ формулами 3.

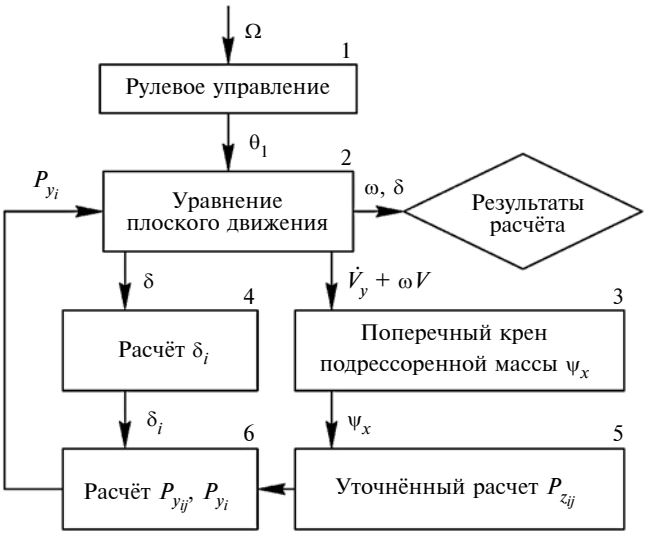


Рис. 1. Блок-схема расчёта характеристик переходного процесса

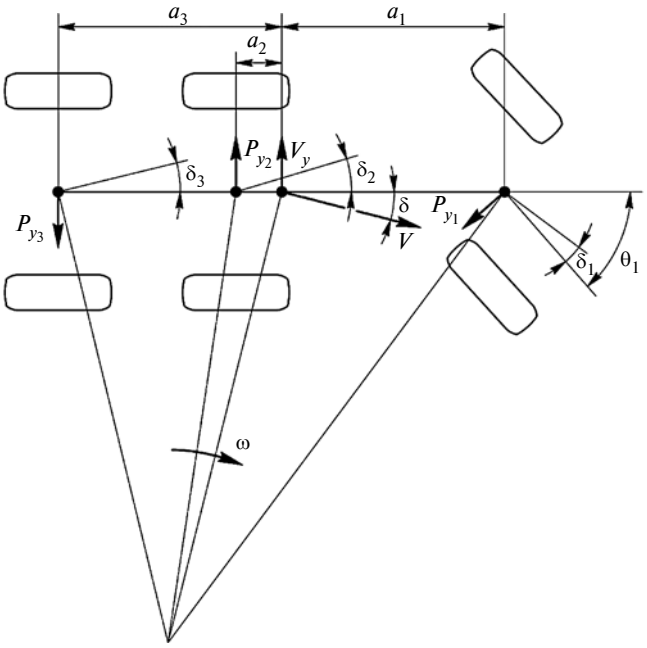


Рис. 2. Расчётная схема для вывода уравнений движения автомобиля

Если ведётся расчёт движения близкого к установившемуся по величине продольной составляющей скорости, то влиянием продольных реакций на боковой увод можно пренебречь. Если отсутствуют данные, характеризующие динамику рулевого управления (устойчивость, апериодичность, люфты), отсутствуют упругие характеристики подвески, данные по кинематике подвески и полные характеристики бокового увода шин, то в связи этим блок 1 отпадает, а блок 6 формируется исходя из предположения о линейности характеристики боковой силы по углу увода. Если принять допущение о линейности боковой силы при определённых углах увода от вертикальной реакции, то отпадает необходимость в блоках 3 и 5, так как перераспределение вертикальных реакций по колёсам каждой оси не влияет на суммарную боковую силу.

Тогда уравнения 1 после подстановки 2 и 3 и преобразований примут вид системы 4. Боковая скорость $V_y = \delta V$, тогда справедлива формула 5, с учётом которой система 4 принимает вид 6.

Для задач, не связанных с процессом разгона или торможения в повороте, обычно принимают, что в процессе входа в поворот или выхода из поворота скорость V меняется незначительно. Тогда уравнения 6 можно переписать в виде системы 7.

В случае движения автомобиля под действием тяговых или тормозных реакций к уравнениям 6 следует добавить уравнение равновесия сил, действующих по его продольной оси (формула 8), выразив P_{x_i} через соответствующие зависимости, характеризующие системы и механизмы автомобиля.

№	Формула	Примечания
1	$\left.\begin{aligned} m(\dot V_y + \omega V) &= \Sigma P_{y_i} \\ J_z\dot\omega &= \Sigma M_{z_i} \end{aligned}\right\}$	V_y — боковая скорость; ω — угловая скорость поворота автомобиля относительно оси z; V — абсолютная скорость центра масс автомобиля; P_{y_i} — боковая сила i-й оси автомобиля; J_z — момент инерции автомобиля относительно оси z
2	$P_{y_i} = A_i\delta_i$	$A_i = A_i(P_{z_i}, \delta_i, P_{x_i})$ — переменные коэффициенты; δ_i — угол увода i-й оси
3	$\delta_1 = \delta + \frac{a_1\omega}{V} - \theta_1$; $\delta_2 = \delta + \frac{a_2\omega}{V}$; $\delta_3 = \delta + \frac{a_3\omega}{V}$	a_i — расстояние от i-й оси автомобиля до центра масс; θ_1 — угол поворота управляемых колёс
4	$\left.\begin{aligned} m(\dot V_y + \omega V) &= \delta\Sigma A_i + \frac{\omega}{V}\Sigma a_iA_i - A_1\theta_1 \\ Jz\dot\omega &= \delta\Sigma a_iA_i + \frac{\omega}{V}\Sigma a_i^2A_i - a_1A_1\theta_1 \end{aligned}\right\}$	—
5	$\dot V_y = \dot V\delta + V\dot\delta$	—
6	$\left.\begin{aligned} &\dot\delta\, mV + \delta(m\dot V - \Sigma A_i) + \omega\left(mV - \frac{1}{V}\Sigma a_iA_i\right) - A_1\theta_1 = 0 \\ &\dot\omega\, J_z = \frac{\omega}{V}\Sigma a_i^2A_i - \delta\Sigma a_iA_i + a_1A_1\theta_1 = 0 \end{aligned}\right\}$	—
7	$\left.\begin{aligned} &\dot\delta\, mV - \delta\Sigma A_i + \omega\left(mV - \frac{1}{V}\Sigma a_iA_i\right) - A_1\theta_1 = 0 \\ &\dot\omega\, J_z = \frac{\omega}{V}\Sigma a_i^2A_i - \delta\Sigma a_iA_i + a_1A_1\theta_1 = 0 \end{aligned}\right\}$	—
8	$m\dot V = \Sigma P_{x_i}$	—
9	$\left.\begin{aligned} \dot Y_1 &= k_{11}Y_1 + k_{12}Y_2 + k_{13}\theta_1 \\ \dot Y_2 &= k_{21}Y_1 + k_{22}Y_2 + k_{23}\theta_1 \end{aligned}\right\}$	$Y_1 = \delta$; $Y_2 = \omega$; k_{ij} — переменные коэффициенты
10	$\ddot Y_1 = k_{11}\dot Y_1 + k_{12}(k_{21}Y_1 + k_{22}Y_2 + k_{23}\theta_1) + k_{13}\theta_1$	—
11	$Y_2 = (\dot Y_1 - k_{11}Y_1 - k_{13}Y_3)\frac{1}{k_{12}}$	—
12	$k_0\ddot Y_1 + k_1\dot Y_1 + k_2Y_1 = kZ(t)$	$k_0 = 1$, $k_1 = k_{11} + k_{22}$, $k_2 = k_{21} - \frac{k_{13}}{k_{12}}$
13	$kZ(t) = -k_{13}\dot\theta_1 + \theta\left(\frac{k_{13}}{k_{12}} - k_{23}\right)$	—

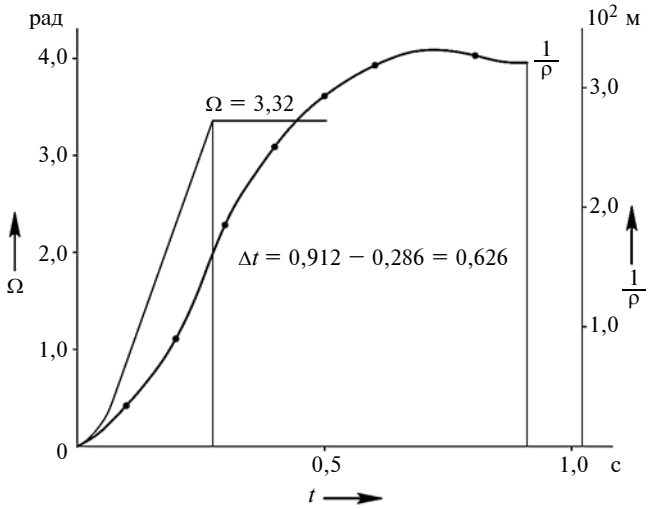


Рис. 3. Характеристика переходного процесса при повороте автомобиля КамАЗ-5320

Вводя новые переменные и обозначения коэффициентов при неизвестных, можно записать уравнения 7 в виде системы 9, в которой $Y_1 = \delta$, $Y_2 = \omega$, а k_{ij} — переменные коэффициенты. Система уравнений 9 может быть сведена к дифференциальному уравнению второго порядка. Продифференцировав первое уравнение из системы по t, получим формулу 10. Из первого же уравнения системы (9) можно выразить Y_2 (формула 11). Подставляя 11 в 10, получим формулу 12. И в итоге получим уравнение 13 движения автомобиля с выходной координатой Y_1 и законом управления $Z(t)$.

Разбивая любой входной сигнал на конечное число единичных, можно получить характеристику переходного процесса как сумму реакций на n единичных воздействий. Нелинейность объекта, выраженную в нелинейности коэффициентов A_i, можно учитывать, определяя передаточную функцию перед каждой итерацией заново с учётом параметров движения системы.

На рис. 3 представлена характеристика переходного процесса, рассчитанная для автомобиля КамАЗ-5320 по результатам моделирования входа в круг после резкого поворота рулевого колеса на угол 3,32 рад. Общая длительность переходного процесса составила 0,912 с, а время реакции на управляющее воздействие после окончания поворота руля −0,626 с, что является хорошим показателем для данного класса автомобилей. Переходный процесс носит слабо выраженный колебательный характер и нарастание кривизны происходит с небольшим перерегулированием, что, вероятно, является следствием падающей характеристики запаса статической устойчивости, присущей данному автомобилю.

УДК 629.3.027.484

РАДИОЧАСТОТНАЯ МЕТКА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛЁС

Кандидаты техн. наук **БОГДАНОВ В.Н., БЛУДОВ Д.А., ВИХЛЯНЦЕВ П.С., СЕРДЮКОВ Н.Н.**
АО "ЦентрИнформ" (p.vikhliantcev@center-inform.ru)

Предложена радиочастотная метка для маркировки колёс (дисков). Представлена конструкция метки и способ её закрепления.

Ключевые слова: *RFID, радиочастотная идентификация, радиочастотные метки, колёсные диски, маркировка, прослеживание.*

Bogdanov V.N., Bludov D.A., Vikhliantsev P.S., Serdyukov N.N.

RADIO FREQUENCY LABEL FOR WHEEL RIMS

A radio frequency label for marking wheel rims is proposed. The design of label and the way of its fixing on rims are presented.

Keywords: *RFID, radio frequency identification, radio frequency tags, wheel rims, labeling, goods tracking.*

В перечень товаров, подлежащих обязательной маркировке в целях противодействия незаконному обороту промышленной продукции, предлагается включить товары, влияющие на безопасность эксплуатации колёсного транспорта, в частности автомобильные колёса.

Во внедряемой в РФ системе прослеживания на средство идентификации возлагается функция информационного носителя сведений о маркированном колесе. Требуется надёжная защитная маркировка дисков с идентификационной информацией, доступной для дистанционного считывания на всех этапах жизненного цикла диска — от изготовления до вывода из эксплуатации.

Этим требованиям не соответствуют такие общеизвестные средства идентификации, наносимые на поверхность колеса, как наклеиваемые этикетки или легкосъёмные навесные бирки с алфавитно-цифровой информацией (кодами), либо самоклеящейся этикетки со штриховым кодом. Данные маркировки пригодны как "свидетели" подлинности только до момента поступления колёс в торговый оборот или в авторемонтные мастерские.

Более устойчива маркировка зажимными пломбами, которые механически присоединяют к колёсам, и на внешние поверхности которых наносят (как правило, кодированные) идентификаторы. Такие пломбы трудно подменить, а их отсутствие само по себе может свидетельствовать о незаконных манипуляциях с колесом.

Ещё более устойчивы маркировочные надписи непосредственно на колёсах, выполненные лазерной гравировкой или ударным клеймением. Однако искажение таких записей затиранием или перебивкой практически исключает надёжную идентификацию и выявление поддельных колёс. Есть у таких маркировок и другие недостатки: невозможность одновременной идентификации нескольких колёс; невозможность считывания маркировки в движении, в темноте или в условиях загрязнённости; подверженность механическому повреждению в процессе эксплуатации.

Указанных недостатков лишена технология радиочастотной (*RFID*) идентификации, основанная на маркировке объектов радиочастотными метками с записанными в них сведениями. Радиочастотные метки могут работать в нескольких частотных диапазонах в пределах от 125 кГц до 5,8 ГГц и состоят из микрочипа и антенны.

Особое внимание специалистов по борьбе с контрафактом и подделками к технологии радиочастотной идентификации обусловлено рядом преимуществ и полезных свойств *RFID*-меток, к которым следует отнести следующие: возможность группового считывания (записи) меток; возможность считывания радиочастотных маркировок при отсутствии прямой видимости; наличие в памяти микрочипа неизменяемого уникального идентификатора (*TID — tag ID*), записываемого при изготовлении микрочипа и защищающего его от подделки; возможность применения радиочастотных маркировок в автоматизации логистических операций и для автоматизированного учёта и контроля продукции в системах прослеживания товаров.

Активируясь радиосигналом, *RFID*-метки передают данные на считывающее устройство (ридер), которое осуществляет их приём и обработку. В зависимости от частотного диапазона, конструкции метки, а также мощности и чувствительности ридера дальность считывания пассивных меток может составлять от 5...10 см до 15...20 м.

Микрочипы позволяют надежно защитить память различными способами, в том числе с использованием криптографических средств защиты информации. К их числу можно отнести микрочипы стандарта *EPC Class1 Gen2*, обеспечивающие шифрование интерфейса по протоколу *AES-128*, например, микрочипы *UCODE DNA, UCODE DNA "City", UCODE DNA "Track"* с объёмом пользовательской памяти 3 кбит, 1 кбит и 256 бит соответственно. Структура, форматы хранимых данных, протоколы обмена и области применения *RFID*-меток стандартизированы международными организациями (*ISO, EPCglobal, ANSI*).

Для маркировки изделий из металла *RFID*-метки обычно размещают в радиопрозрачных корпусах (фиксаторах), изолирующих микрочип и антенну от токопроводящей поверхности объекта маркировки. А чтобы не нарушать целостность колеса, навесную *RFID*-метку целесообразно закрепить с помощью полосы из гибкого полимера, аналогично электронным пломбам, которые используют для дистанционного автоматизированного учёта различных изделий и предотвращения их хищений или подделок.

Полосу из гибкого полимера крепят к корпусу через сквозное отверстие с помощью храпового затвора, включающего несколько храповых зубьев на указанной полосе и неподвижную храповую собачку, роль которой играет одно из рёбер на стыке стенок корпуса и сквозного отверстия.

Радиочастотную метку предпочтительно закрепить с помощью петли гибкой полосы вокруг внутренней поверхности колеса, защищённой от неблагоприятных воздействий резиновым слоем покрышки.

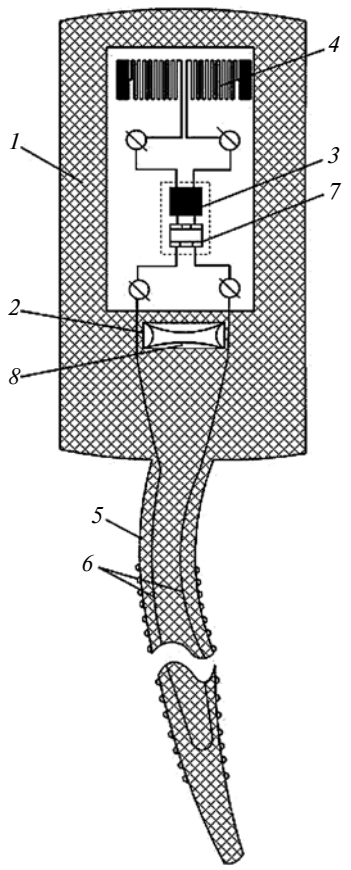


Рис. 1

В техническом решении АО "ЦентрИнформ" по заявке на полезную модель № 2018122528 предложена радиочастотная метка, содержащая (рис. 1): радиопрозрачный корпус *1*, изготовленный из упругого электроизоляционного полимера типа высокопрочного полиэтилена или полипропилена и имеющий сквозное отверстие *2*; размещённые в корпусе *1* микрочип *3* и электрически связанную с ним антенну *4*; фиксатор RFID-метки на колёсном диске в виде гибкой упругой полосы *5*, один конец которой жёстко связан с корпусом *1* (в частности, запрессован в него или является его продолжением), а второй конец в рабочем положении защемлён в сквозном отверстии *2*, и встроенную в полосу *5* линию *6* передачи сигнала, которая подключена к микрочипу *3* через триггер-защёлку *7*.

Триггер-защёлка способна однократно изменять исходное информационное состояние на противоположное (например, единицу на ноль, или наоборот) при воздействии на вход сигнала. Использование триггер-защёлки в составе радиочастотной метки придаёт такому триггеру функцию индикатора целостности, который позволяет выявить незаконное (повторное) использование метки и при этом сохранить доступность идентификационной записи для считывания.

Триггер-защёлка *7* является частью современных микрочипов, например, типа *"UCode G2iL+"* или *"G2iM+"*, которые серийно поставляет компания "NXP

Семикондакторс" (Нидерланды). Функцию указанных микрочипов, реализующую работу триггера-защелки, в иностранной литературе именуют функцией *"tamper-proof"*.

Как видно из рис. 1, антенна *4* связана с микрочипом *3* независимо от линии *6* передачи сигнала. Это позволяет сохранить работоспособность RFID-метки и получать сигнал о случайном или преднамеренном разрыве линии передачи при считывании метки. Для защемления пломбы на колёсном диске полоса *5* может быть оснащена несколькими храповыми зубьями и имеет шероховатую поверхность, а в сквозном отверстии *2* корпуса *1* одна из внутренних стенок имеет упругий выступ *8*. В рабочем положении (рис. 2) выступ *8* служит тормозом, который затрудняет извлечение полосы *5* из отверстия *2* и обеспечивает разрыв линии *6* передачи сигнала при попытке снятия метки.

Радиочастотная метка работает следующим образом.

Маркируемое колесо охватывают полосой *5*, продевают её концевую часть в отверстие *2* корпуса *1* и затягивают до упора, как это показано на рис. 3. В таком виде маркированные колёсные диски передают в торговую сеть. На этапе эксплуатации диска после окончательного монтажа колеса *RFID*-метка оказывается внутри полости бескамерной шины либо зажимается между поверхностью обода и камерой и в таком виде сохраняется до окончания эксплуатации колеса.

Идентификационную информацию и данные об исходном состоянии триггера-защёлки *7* записывают с помощью ридера в память микрочипа *3* либо перед установкой, либо сразу после установки *RFID*-метки на диск. Часть такой информации (наименование изготовителя дисков, номер партии, номер диска в партии, дата выпуска, товарный знак изготовителя и/или знак обслуживания уполномоченного учреждения-контролёра) может быть продублирована (желательно в штриховом коде или в ином закодированном виде) на корпусе *1*.

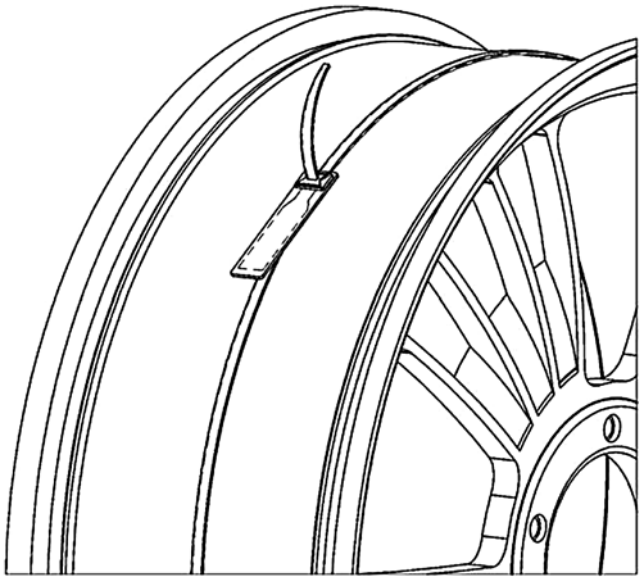


Рис. 3

В ходе контроля идентификационную информацию считывают *RFID*-ридером, определяют фактическое состояние триггера-защёлки *7* и сравнивают его с исходным состоянием. Если целостность пломбы не была нарушена, то при считывании фактическое и исходное состояния триггера-защёлки *7* совпадают, и диск допускается к продаже или монтажу (эксплуатации).

Если целостность пломбы была нарушена с разрывом линии *6* передачи сигнала, то значение бита триггера-защёлки *7* в начале опроса необратимо изменяется с "1" на "0" (или наоборот) и не может быть возвращено в исходное состояние даже при восстановлении линии *6*. При этом радиочастотная метка сохраняет работоспособность и при считывании RFID-чип *3* передаёт через антенну *4* сигнал тревоги (*tag tamper alarm*). Считывание идентификационной информации возможно как индивидуально с каждой отдельной *RFID*-метки, так и одновременно с нескольких таких меток.

Размеры корпуса *1* определяются габаритными размерами антенны *4* и могут составлять 40...50 мм в длину и 17...25 мм в ширину. Длину полосы *5* со встроенной линией *6* передачи сигнала подбирают по размерам колёс.

Предложенная *RFID*-метка может быть массово изготовлена из доступных материалов и комплектующих и широко использована для маркировки колёс разнообразных автотранспортных средств.

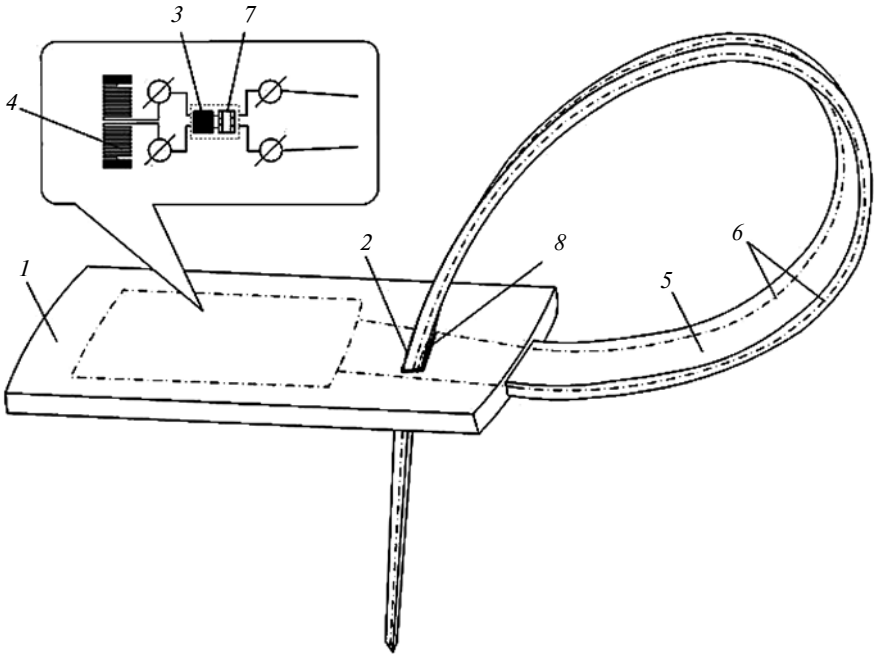


Рис. 2

УДК 656.1

ВЫБОР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ПАССАЖИРОВ В ГОРОДАХ

Д-ра техн. наук **САФРОНОВ К.Э., САФРОНОВ Э.А.**
СибАДИ (8.3812. 65-03-22)

Рассмотрены типы доступного подвижного состава, их особенности и время обслуживания пассажиров с инвалидностью.

Ключевые слова: *инвалиды; доступность, безопасность перевозок, автобусы; городской транспорт; качество транспортных услуг.*

Safronov K.E., Safronov E.A.

SELECTING BUSES FOR MAINTENANCE OF PEOPLE WITH DISABILITIES IN CITIES

Types of available buses, their features and service time for passengers with disabilities are considered.

Keywords: *disabled persons; accessibility, transport safety, bus; urban transport; quality of transport services.*

По данным Росстата, в России в 2017 году проживало 12,2 млн людей с инвалидностью, из которых 2,0 млн (16,9 %) — работающие [1]. Среди инвалидов трудоспособного возраста доля работающих составила 31,8 %, что ниже аналогичного показателя в европейских странах (около 40 %). В Швейцарии, например, инвалидам бесплатно предоставляется сопровождающий или персональный ассистент. Минтруд России также предпринимает меры по трудоустройству желающих трудиться инвалидов, при этом особое внимание будет уделяться выстраиванию трудового маршрута инвалида и оказанию ситуационной помощи в преодолении барьеров. Из 100 % инвалидов 70,6 % пользуются общественным транспортом. На муниципальный приходится 48,9 %, на коммерческий — 33,9 %. Доля же доступных им пассажирских автобусов в 2017 году в РФ составила 12,1 %, трамваев — 12,8 %, троллейбусов — 29,9 %. В Транспортной стратегии РФ поставлена цель — обеспечить доступность городского пассажирского транспорта для инвалидов к 2030 году на уровне 55 %. Основной задачей при этом является выбор оптимальных видов транспорта для конкретного города, обоснование необходимого уровня доступности системы городского пассажирского транспорта, выбор подвижного состава, организация системы управления перевозками маломобильных пассажиров. Инструментами при этом могут стать маршрутно-ориентированный подход к обеспечению доступности и проектный метод его реализации.

Подвижной состав городского пассажирского транспорта служит в среднем 10—15 лет. Поэтому важно в программу обновления заложить необходимую долю доступного подвижного состава. В то же время необходимо проводить адаптацию маршрутной сети к его обслуживанию. Это значит, что остановки, подходы к ним, переходы и система информации должны быть доступны для инвалидов всех категорий.

На первом этапе в городе необходимо организовать транспортное обслуживание инвалидов с помощью одного или нескольких доступных маршрутов. Это могут быть автобусы, троллейбусы, трамваи. Как правило, траектории таких маршрутов охватывают весь город и формируются на основе анкетирования членов общественных инвалидных организаций. Подвижной состав должен быть доступен инвалидам, но в то же время нецелесообразно исключать других пассажиров, иначе маршруты окажутся нерентабельными. По мере насыщения всего парка доступным подвижным составом потребность в данных маршрутах отпадает. В г. Омске подобный маршрут № 1И, протяжённостью 31 км, был открыт в 2010 году, с четырьмя автобусами с подъёмниками он проработал два года, пока не были приобретены и расставлены на 53 маршрута 140 полунизкопольных автобусов. Распределение на маршрутах доступного подвижного состава осуществлялось также путём анкетирования членов инвалидных организаций и ранжирования номеров маршрутов по частоте упоминания.

Для навигации и построения маршрутов в настоящее время используются геоинформационные системы, в г. Омске, например, это сайт "Мой маршрут", где в режиме реального времени отображается подвижной состав городского транспорта, в том числе доступный для инвалидов [2]. Сложнее организовать взаимодействие подвижного состава с маршрутной сетью, доступность которой никак не обозначена.

Людям с нарушением опорно-двигательного аппарата, зрения и слуха навигация необходима. Анализ зарубежных исследований, имеющих отношение к доступным транспортным средствам и технологиям, показал активное использование интеллектуальных транспортных систем и беспроводных технологий [3]. Системы геопозиционирования (GPS, ГЛОНАС) помогают людям ориентироваться в пространстве, находить маршрут и осуществлять пересадку между видами транспорта [4]. Для людей с инвалидностью такие системы включают *RFID*-метки и *Bluetooth*-маяки, размещённые на остановках и в подвижном составе общественного транспорта. В результате идентификатор может кодировать маршрут и текущую позицию транспортного средства [5]. Однако действие таких систем ограничено числом маяков и радиусом их действия.

Решить проблему навигации можно используя цифровые показатели доступности, где каждому элементу

на основе обследования или экспертной оценки может быть присвоен коэффициент доступности от 1 до 3. С помощью системы нечёткой логики лингвистические характеристики переводятся в цифровые: 1 — недоступно, 2 — доступно с посторонней помощью, 3 — доступно самостоятельно. Построение маршрута может осуществляться с заданным уровнем мобильности с использованием маркированных элементов маршрутной сети и подвижного состава. Обследование осуществляется по разработанному в СибАДИ алгоритму оценки доступности системы городского пассажирского транспорта.

Подвижной состав для обслуживания инвалидов и других маломобильных групп населения выпускается с учетом требований ГОСТ Р 51090—97. На сегодняшний день известны два основных типа доступного подвижного состава — высокопольные модели, оборудованные подъёмниками, и низкопольные (полунизкопольные), оснащённые откидной или выдвижной рампой.

Подъёмник в автобусе сложен в устройстве и обслуживании, медленно функционирует, если бордюрный камень выступает над посадочной площадкой, то подъёмник может зависнуть и не раскрыться. Подъёмник перекрывает одну из дверей салона, что мешает другим пассажирам и может быть опасно при ДТП. Для управления подъёмником водитель вынужден выходить из кабины, расчехлять его, подключать пульт и т.д. Данные автобусы больше подходят для коллективного обслуживания членов инвалидных организаций, например, посещения культурных мероприятий, выезд на природу и т.д.

Низкопольные автобусы отличаются тесной и шумной задней площадкой из-за бокового расположения двигателя. Полунизкопольные (с переменным уровнем пола) автобусы идентичны высокопольными по расположению двигателя, но имеют низкий пол только в передней и средней части салона. Рампа низкопольных и полунизкопольных автобусов чаще всего располагается в проёме средней двери, как правило, у неё отсутствуют бортики, ручка рампы неудобна, устроена в потай и зимой покрывается льдом, крепления рампы слабые. Часто кондукторы не могут справиться с рампой, а водители не хотят это делать, и в результате инвалиды не получают необходимых услуг.

Более удобна посадка в салон через переднюю дверь, где водитель осуществляет посадку инвалидов-колясочников, не выходя из кабины, используя выдвижную аппарель и систему "приседания" подвески. Современные модели также позволяют приближаться к посадочной площадке за счёт бокового смещения.

Основным критерием при выборе подвижного состава является время обслуживания пассажиров на остановках, особенно инвалидов-колясочников. Сравнительная характеристика, ранжированная по критерию времени, представлена в табл. 1.

Выбор моделей подвижного состава в настоящее время достаточно широк. В табл. 2 представлены характеристики наиболее распространённых моделей автобусов. Следует заметить, что повышенная стоимость новых автобусов связана не только с их доступностью, но и с наличием дополнительных функций.

Таблица 1

Конструкция подвижного состава ГПТ	Время посадки/высадки одного пассажира, с	Время, затрачиваемое на каждого последующего пассажира, с
Низкопольный автобус с откидной рампой в проёме передней двери	35	11
Низкопольный автобус с выдвижной рампой в проёме передней двери	40	11
Низкопольный автобус с откидной рампой в проёме средней двери	45	10
Низкопольный автобус с выдвижной рампой в проёме средней двери	51	10
Высокопольный автобус с электромеханическим подъёмником в проёме средней двери	123	46
Высокопольный автобус с электромеханическим подъёмником с отдельным входом	170	90

Таблица 2

Класс вместимости	Модель автобуса	Конструкция салона*	Полная масса, т	Номинальная вместимость (общ./сид.), мест	Стоимость, тыс. руб.**
Особо большой	ЛиАЗ-6212	ВП СЧ	27,5	178/34	6193,0
	ЛиАЗ-6213	НП СЧ	26,0	153/34	9601,0
	МАЗ-107	НП	23,6	145/25	5512,4
	МАЗ-205	НП СЧ	28,0	175/39	7447,6
	"Волжанин-6270"	НП	25,0	160/35	7399,0
	ГолАЗ-6228	НП	24,0	142/38	6005,0
Большой	ЛиАЗ-5293	ПНП	18,0	100/25	4981,0
	ЛиАЗ-525653	ВП	16,6	110/23	4402,0
	НефАЗ-5299	ПЛН	18,0	112/23	4700,5
	НефАЗ-5299	ВП	18,0	112/23	4451,7
	МАЗ-103	НП	18,0	100/27	4104,7
	"Волжанин-5270"	ВП	18,5	110/24	3699,0
Средний	КАвЗ-4239	НП	15,0	89/23	2996,0
	ПАЗ-4234	ВП	9,9	50/31	1536,0
Малый	ПАЗ-320308	ВП	8,5	39/21	1285,0
	ПАЗ-3237	НП	10,2	54/16	1816,0
Особо малый	ГАЗ-32213	ВП	3,5	13	700,0

* ВП — высокопольный; СЧ — сочленённый; НП — низкопольный; ПНП — полунизкопольный.
** По состоянию на 2014 г.

Автобусы имеют улучшенные габаритные размеры и вместимость, увеличенный срок службы, соответствуют экологическому стандарту, улучшены характеристики по мощности и ресурсу двигателя, расходу топлива, кондиционированию, требованиям безопасности.

Важным вопросом при организации транспортного обслуживания является организация обучения и инструктирования персонала по оказанию ситуационной помощи инвалидам в пользовании общественным транспортом. Сюда входит изучение этики общения с инвалидами разных категорий, формирование навыков взаимодействия с ними, знание технических устройств, соблюдение требований безопасности и т.д.

Организационные мероприятия включают разработку порядка и правил оказания инвалидам услуг на городском транспорте, инструкций для кондукторов, водителей и пассажиров с инвалидностью, обозначение на остановках мест посадки, маркировка подвижного состава, мест крепления колясок в салоне и т.д. Для определения последовательности выработки управляющих решений органом управления при поступлении запроса на транспортное обслуживание пассажиров из числа инвалидов разработан алгоритм управления работой городского пассажирского транспорта при обслуживании инвалидов.

Особого внимания требуют показатели качества доступности обслуживания. В 2018 году в социальном стандарте транспортного обслуживания населения уточнены требования к доступности транспортных средств для маломобильных групп населения. Во всех транспортных средствах перевозчиком должна обеспечиваться посадка и высадка (в том числе с использованием специальных подъёмных устройств) пассажиров из числа инвалидов, не способных передвигаться самостоятельно.

Однако в стандарте предусмотрено всего два состояния — "доступно" и "недоступно", чего явно недостаточно, учитывая многообразия форм оказываемых в нашей стране транспортных услуг. Разработанные коэффициенты доступности целесообразно использовать для определения и обоснования уровня доступности маршрутной сети и подвижного состава.

В условиях дефицита улично-дорожной сети большинства российских городов роль общественного транспорта ещё долгое время будет оставаться значимой. При этом привлечение дополнительных пассажиров может быть достигнуто за счёт обеспечения доступности подвижного состава, это особенно актуально при повышении возраста трудоспособных граждан. Эффект от доступности городского пассажирского транспорта заключается в снижении использования личного автотранспорта, разгрузке дорог, сокращении ДТП, улучшении экологии городов и исключении дискриминации пассажиров по признаку инвалидности в транспортном обслуживании.

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru.
2. Мой маршрут. Сайт. URL: http://bus.admomsk.ru/.
3. Joseph A.G. & Aaron S. & Ermine T. & M. Bernardine D. & Zachary R. *Accessible Transportation Technologies Research Initiative (ATTRI):* Assessment of Relevant Research. Pittsburgh, Pennsylvania: The Robotics Institute Carnegie Mellon University. 2017, 73 p.
4. Montello D.R., & Sas C. Human Factors of Wayfinding in Navigation. In International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors (W. Karwowski, ed). CRC Press/Taylor & Francis, Ltd. 2006. P. 2003—2008.
5. Thatcher R., Ferris C., Chia D., Purdy J., Ellis B., Hamby B., Quan J., and Golden M. Strategy Guide to Enable and Promote the Use of Fixed-Route Transit by People with Disabilities, TCRP Report 163, Washington, D.C.: Transportation Research Board. 2013. URL: http://www.trb.org/Main/Blurbs/170626.aspx.

УДК 62-1/-9

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МНОГОРЫЧАЖНОЙ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

РАЗГОВОРОВ К.И.

Бюро независимых автотехнических экспертиз (razgovorov@rambler.ru)

Рассмотрены особенности эксплуатации многорычажной пневмогидравлической подвески легковых автомобилей по результатам исследований в рамках независимых автотехнических экспертиз.

Ключевые слова: *многорычажная пневмогидравлическая подвеска легковых автомобилей, причины отказов и неисправностей, автотехническая экспертиза.*

Razgovorov K.I.

INVESTIGATION OF OPERATING PNEUMO-HYDRAULIC MULTI-CONTROL SUSPENSION FOR PASSENGER CARS

Consider the features of the fluid operation of a multi-link suspension of passenger cars by the results of research within the framework of independent auto-technical expertise.

Keywords: *multi-link pneumohydraulic suspension of cars, causes of failures and malfunctions, auto-technical expertise.*

Многорычажная подвеска, или "Мультилинк", — это результат усовершенствования двухрычажной независимой подвески легкового автомобиля. В отличие от стандартного исполнения, направляющие элементы представляют собой не единые V-образные рычаги, а отдельные независимые друг от друга детали. Их число обычно варьируется от трёх до пяти. При изготовлении учитываются особенности конструкции остальных элементов подвески и их взаимодействие. Благодаря такой схеме ступичный узел получает дополнительные точки крепления и повышенную подвижность, что значительно улучшает ходовые качества и общую управляемость автомобиля.

Задняя подвеска "Мультилинк" (рис. 1) состоит из рычагов, реактивных тяг, стабилизатора поперечной устойчивости, пружин и амортизаторов (либо пневматических стоек вместо двух последних). Поперечные рычаги обеспечивают вертикальные перемещения колеса и изменение угла наклона ступичного узла в горизонтальной плоскости, однако в зависимости от схемы рас-

положения, они могут также ограничивать и продольные перемещения.

Роль базового элемента в многорычажной задней подвеске играет подрамник, к которому крепятся поперечно расположенные рычаги, соединенные, в свою очередь, с опорой ступицы (поворотным кулаком). Такой вариант подвески сможет состоять из трёх или пяти рычагов. Наличие шаровых опор в креплениях рычагов и кулака позволяет последнему поворачиваться вместе с колесом. Верхние рычаги нередко делаются регулируемыми по длине, что даёт расширенные возможности для настройки параметров углов установки колёс.

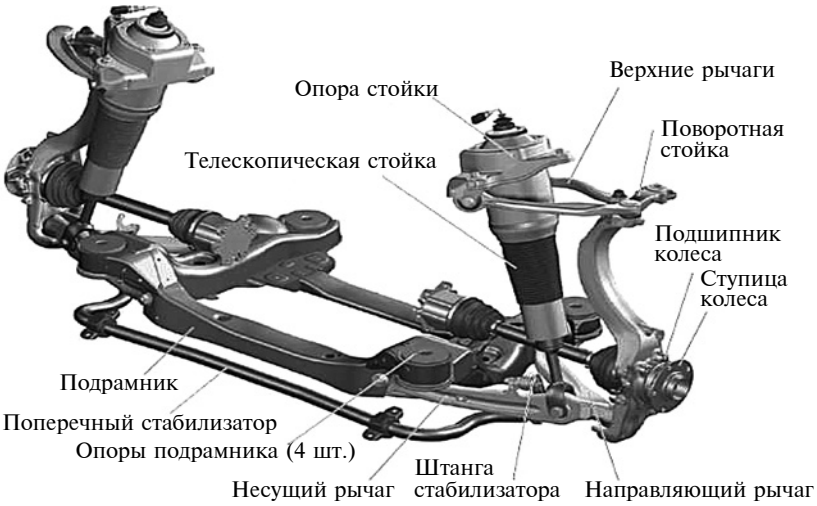


Рис. 1. Многорычажная задняя подвеска

Задняя многорычажная подвеска предназначена для минимизации динамических нагрузок, а также способствует равномерному распределению таких нагрузок на все опорные элементы во время движения автомобиля. Поперечные рычаги фиксируются со ступицей колеса, в поперечной плоскости обеспечивают её устойчивое положение. Задача верхнего рычага — передавать поперечные нагрузки. Передний нижний рычаг отвечает за схождение колёс автомобиля. Задний нижний рычаг принимает на себя груз кузова автомобиля. Продольный рычаг фиксирует колёса в направлении продольной оси. Крепление к кузову в данном случае осуществляется с помощью опоры. Другой конец рычага крепится к поворотному кулаку. В данном узле находятся ступичные подшипники, крепление колёс и другие необходимые детали. Как правило, амортизаторы и пружины устанавливаются отдельно друг от друга. Снизить крен автомобиля во время прохождения поворотов помогает стабилизатор поперечной устойчивости. Крепится он посредством помощью резиновых подушек.

Данная конструкция подвески — результат долгих лет усовершенствований и исследований. Она позволяет избежать аварийных ситуаций, удержать автомобиль в вертикальном положении на поворотах. Процесс конструирования такого узла отличается большой сложностью, и на современном этапе немыслим без помощи компьютерного моделирования. Каждый рычаг в этой системе отвечает за определённый момент в поведении колеса — изменение поперечного перемещения или развала. Как правило, конструкторами предусмотрена независимая работа каждого звена в таком механизме, и нередко рычагам придается строго определённая форма, которая необходима для создания кузова задуманной формы. Особенность работы данной подвески заключается в том, что ступица колеса способна изменять положение в горизонтальной плоскости. По сравнению с двухрычажной конструкцией, многорычажная подвеска обеспечивает лучшую устойчивость автомобиля и плавность хода, чёткое прохождение поворотов, а также независимые поперечные и продольные регулировки углов установки колёс. Присущи ей и недостатки: громоздкость; сложность и высокая стоимость изготовления; более низкая надёжность. Последнее приводит к необходимости проводить регулярные осмотры и ремонты.

Главный фактор успешного ремонта — вовремя замеченная неисправность. Первые признаки износа узла можно заметить после прохождения автомобилем 40...80 тыс. км. Может появиться стук, скрип. Звуки усиливаются в момент пересечения препятствий, ям на дороге или "лежачих полицейских". Причины могут быть различные: от необходимости заменить небольшую деталь, защищающую то или иное сочленение с последующей чисткой этого узла, до проведения комплексного ремонта. При оценке работоспособности подвески в эксплуатации учитывают её потребительские свойства: устойчивость автомобиля на дороге, лёгкость управления и комфортность.

В пневматической подвеске положение каждого отдельного колеса определяется не с помощью пружин, а посредством сжатого воздуха, необходимое количество которого оперативно подводится или отводится через электромагнитные клапаны к имеющим особую конструкцию амортизаторам. Узлы и механизмы подвески соединены друг с другом воздушными магистралями и подключены в электрическую систему автомобиля с помощью многофункциональной шины электронной передачи данных CAN. Подвеска автоматически активизируется, как только открывается дверь автомобиля. Таким образом, ещё до начала движения корректируются клиренс и упругость пневматических амортизаторов.

Индивидуальное регулирование жёсткости амортизаторов на каждом колесе по отдельности позволяет учитывать крен кузова и скорость, с которой автомобиль входит в поворот, оценивать угол поворота и скорость, с которой водитель поворачивает руль. Тем самым жёсткость амортизационных стоек может автоматически изменяться в движении так, что будет найден самый оптимальный и эффективный режим работы подвески, адекватно отвечающий конкретным дорожным условиям, как с точки зрения безопасности, так и комфортности. Например, при торможении пере-

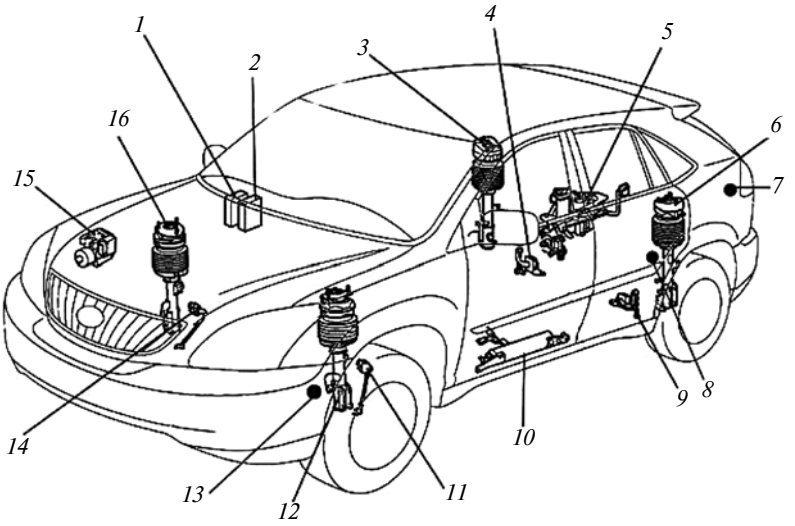


Рис. 2. Схема пневматической подвески:
1 — блок управления подвеской; *2* — блок управления двигателем; *3, 6* — задняя стойка с пневмоэлементом; *4* — правый задний датчик положения кузова; *5* — компрессор пневмоподвески; *7* — датчик ускорения кузова; *8, 13* — датчик ускорения колеса; *9* — левый задний датчик положения кузова; *10* — ресивер; *11* — левый передний датчик положения кузова; *12, 16* — передняя стойка с пневмоэлементом; *14* — правый передний датчик положения кузова; *15* — блок управления АБС

дние колёса будут подрессориваться более жёстко, чем задние, а при ускорении — наоборот, но это в обоих случаях позволит избежать неприятного продольного "клевка" кузова. Пневматическая подвеска автоматически приспосабливается к различной загрузке автомобиля и способна выбирать величину дорожного просвета, ориентируясь на дорожные условия.

Номинальный уровень дорожного просвета устанавливается и автоматически поддерживается постоянным при движении со скоростью 80 км/ч и выше, а также во время быстрого разгона до скорости 120 км/ч. Автоматическое снижение уровня дорожного просвета до номинального (NN) на 25 мм при повышенном уровне HN происходит при скоростях более 120 км/ч. Если уровень был номинальным (NN), снижение уровня дорожного просвета до пониженного (TN) на 15 мм ниже номинального происходит через 30 с после превышения скорости 140 км/ч или менее чем через 30 с, если скорость достигнет 180 км/час. Понижение центра тяжести делает автомобиль более устойчивым, а также одновременно улучшает аэродинамические характеристики, что в свою очередь значительно снижает расход топлива (рис. 3).

Автоматическое повышение уровня дорожного просвета от пониженного (TN) до номинального (NN) происходит через 60 с после снижения скорости до 100 км/ч или менее чем через 60 с, если скорость станет менее 80 км/час. Чтобы выбрать уровень дорожного просвета кузова, следует нажать предназначенную для этого клавишу и на дисплей выводится изображение, соответствующее выбранному уровню кузова (повышенный HN или номинальный NN). Номинальный дорожный просвет устанавливается по умолчанию.

Уровень дорожного просвета кузова определяется четырьмя датчиками уровня кузова, установленными между подрамниками и нижними рычагами подвески. Результаты измерений сравниваются с заданными величинами, сохраняемыми в памяти блока управления. Заданные величины вводятся в память для каждого автомобиля индивидуально.

Воздух, необходимый для регулирования подвески, обычно подается компрессором под давлением до 16 кгс/см^2. Компрессор обеспечивает регулирование уровня кузова при скоростях автомобиля свыше 35 км/ч. При необходимости сжатый воздух подаётся также в ресивер. При скоростях ниже 35 км/ч регулирование уровня кузова осуществляется за счёт подачи воздуха из ресивера.

Если дорожный просвет автомобиля изменяется в результате его загрузки или разгрузки, блок управления включает систему регулирования, возвращающую кузов на первоначально заданный уровень. При этом подача воздуха из упругих элементов производится через соответствующие им электромагнитные клапаны, а выпуск из них осуществляется через выпускной клапан.

Основной составляющей пневматической подвески является **пневматический упругий элемент** (рис. 4), который состоит из корпуса с наружной направляющей, манжеты, поршня (являющегося нижней частью корпуса элемента), дополнительного пневмоаккумулятора (в некоторых конструкциях), встроенного амортизатора.

Манжета пневматического упругого элемента изготовляется из специального многослойного высококачественного эластомера, армированного полиамидной кордовой

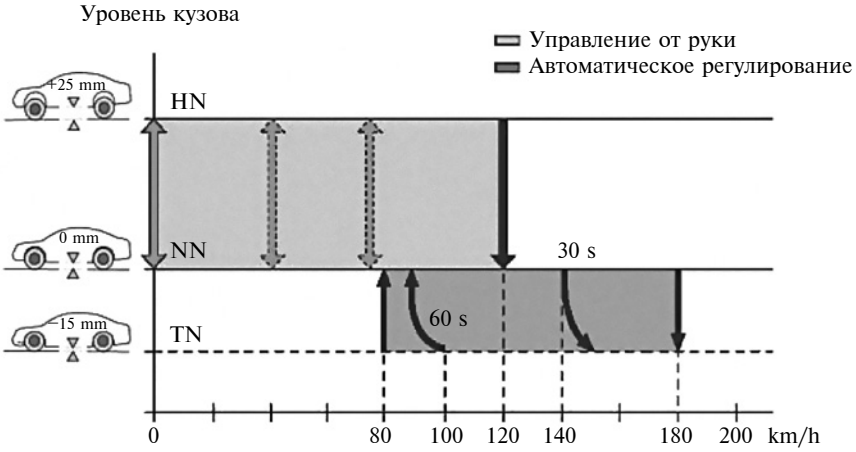


Рис. 3. Последовательность процессов автоматического повышения и снижения уровня кузова:
HN — повышенный уровень; NN — номинальный уровень; TN — пониженный уровень

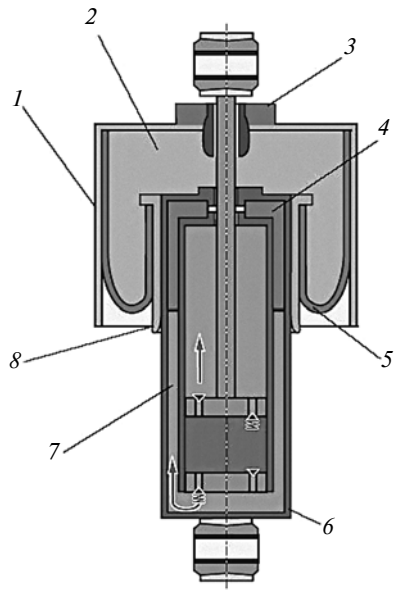


Рис. 4. Пневматический упругий элемент:
1 — наружная направляющая манжеты; *2* — воздушная полость; *3* — верхняя часть корпуса; *4* — газовая полость амортизатора; *5* — манжета; *6* — двухтрубный гидравлический амортизатор; *7* — компенсационная полость амортизатора; *8* — поршень

тканью, которая придаёт ему необходимую прочность. Корд воспринимает усилия, передаваемые на упругий элемент. Изнутри манжета покрыта защитным слоем, обеспечивающим её герметичность. Комбинацией слоёв корда достигаются необходимая гибкость манжеты при её перекатывании и высокая чувствительность упругого элемента к изменению нагрузки.

Блок управления оснащён двумя дублирующими друг друга процессорами, из которых один в первую очередь отрабатывает алгоритм управления пневматическими элементами, а другой регулирует сопротивление амортизаторов.

Система регулирования сопротивления амортизаторов обрабатывает сигналы четырёх датчиков ускорений колёс и трёх датчиков ускорений кузова и оценивает по результатам этой обработки состояние дороги и движения автомобиля. В результате производится изменение характеристик каждого из амортизаторов в соответствии с рассчитанной интенсивностью гашения колебаний. При этом амортизаторы работают на ходах сжатия и отдачи как полуактивные компоненты. Бесступенчатое регулирование демпфирования производится благодаря применению амортизаторов, характеристики которых изменяются посредством электрических исполнительных устройств. Эти амортизаторы встроены в стойки с пневматическими упругими элементами. Силы сопротивления амортизатора регулируются посредством встроенного в него пропорционально действующего (электромагнитного) клапана. Регулирование производится по многопараметровой характеристике. Изменение сопротивления амортизаторов в зависимости от характера движения автомобиля и состояния дороги производится в течение нескольких миллисекунд.

Принципиально изменение сопротивления амортизаторов производится в соответствии с так называемой "стратегией подвески к небу". Регулирование амортизаторов происходит в зависимости от вертикальных ускорений колёс и кузова автомобиля. В идеальном случае — таким образом, как будто кузов автомобиля подвешен на крюке к небу и плывёт над дорогой, практически не повторяя неровностей дороги. Так достигается максимальная комфортабельность автомобиля.

Двухтрубный газонаполненный **амортизатор типа CDC** (амортизатор с гидравлическим демпфированием) оснащён встроенным в поршень или установленным снаружи амортизатора электромагнитным клапаном, который позволяет изменять степень демпфирования амортизатора. Изменением тока, проходящего по обмотке электромагнитного клапана, можно в течение нескольких миллисекунд изменить его проходное сечение и, следовательно, сопротивление амортизатора в соответствии с текущей потребностью (рис. 5).

Расчёт потребного сопротивления амортизаторов при данных условиях движения автомобиля производится на основании сигналов датчиков всех ускорений колёс автомобиля, установленных на каждом из амортизаторов, и датчиков ускорений кузова. Благодаря высокой скорости распознавания и регулирования процессов демпфирования при ходе сжатия и отдачи обеспечивается установка характеристики сопротивления амортизатора строго в соответствии с моментальным состоянием движения автомобиля.

Многопараметровые зависимости сопротивления амортизаторов от условий движения автомобиля записаны в памяти блока управления уровнем кузова. Чтобы выбрать настройку амортизаторов, следует нажать предназначенную для этого клавишу. Вращая поворотно-нажимную ручку, можно выбрать один из четырёх вариантов настройки амортизаторов: "Комфорт"; базовый (устанавливается по умолчанию); спортивный.

Сжатие воздуха производится в одноступенчатом поршневом **компрессоре** со встроенным осушителем воздуха. Чтобы предотвратить загрязнение манжет упругих элементов и осушителя воздуха, компрессор приспособлен для работы без смазки его цилиндра. Необходимый срок службы компрессора обеспечивается применением одноразовой смазки подшипников и фторопластового поршневого кольца (рис. 6).

В корпусе осушителя расположены выпускной трёхходовой, двухпозиционный клапан *1*, пневматический выпускной клапан *2* с ограничительным клапаном и три об-

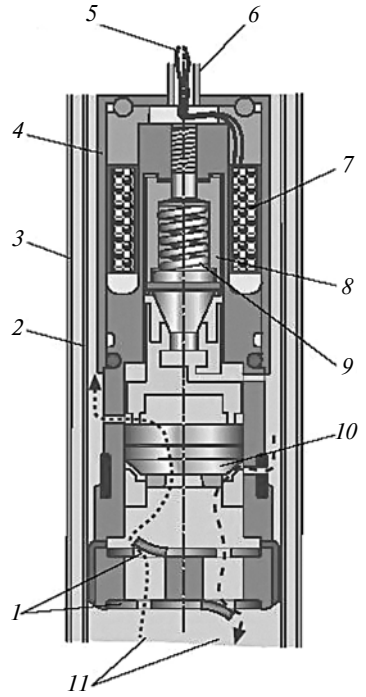


Рис. 5. Амортизатор с регулируемым сопротивлением перетекания жидкости:
1 — дополнительные клапана; *2* — цилиндр амортизатора; *3* — корпус амортизатора; *4* — корпус клапана; *5* — кабель подвода тока; *6* — полый шток поршня; *7* — обмотка электромагнитного клапана; *8* — якорь; *9* — пружина клапана; *10* — главный клапан амортизатора; *11* — потоки рабочей жидкости

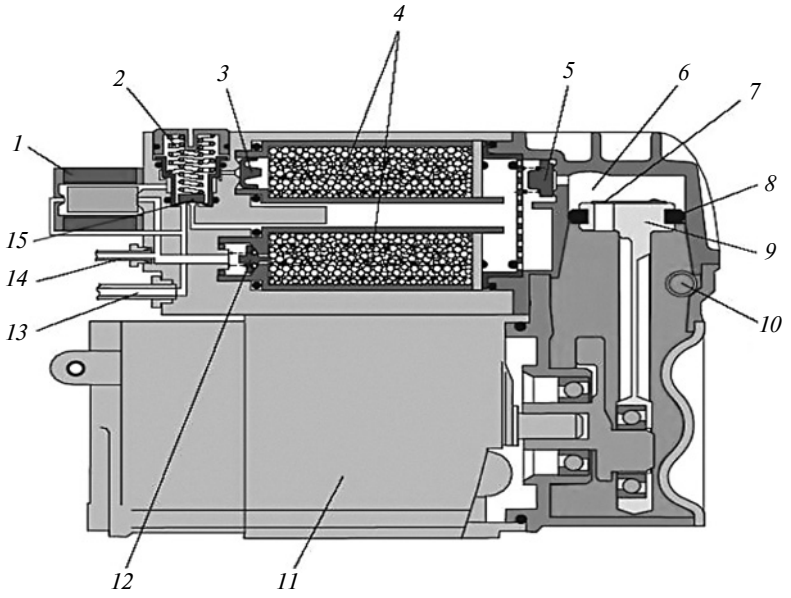


Рис. 6. Компрессор:

1 — выпускной клапан; *2* — пневматический выпускной клапан; *3, 5, 12* — обратные клапана; *4* — осушитель воздуха; *6* — цилиндр; *7* — мембранный клапан (в закрытом положении); *8* — поршневое кольцо; *9* — поршень; *10* — впускной штуцер; *11* — электродвигатель; *13* — выпускной штуцер; *14* — нагнетательный штуцер; *15* — ограничительный клапан

ратных клапана. Выпускной клапан в обесточенном состоянии закрыт. Пневматический выпускной клапан ограничивает давление в системе и поддерживает остаточное давление в ней. Перегрев компрессора предотвращается выключением электродвигателя при превышении предельного значения температуры.

При ходе поршня к ВМТ воздух всасывается в картер через глушитель шума всасывания с фильтром и впускной штуцер *10*. Воздух, находящийся в цилиндре над поршнем, сжимается и перепускается через обратный клапан *5* в осушитель. Сжатый и осушенный воздух направляется через обратный клапан *12* и нагнетательный штуцер *14* к распределительным клапанам и к ресиверу. При движении поршня к НМТ поступивший в картер воздух перепускается через мембранный клапан *7* в цилиндр компрессора.

Для подкачки подвески и подъёма кузова блок управления одновременно переключает реле компрессора и клапанов пневматических упругих элементов. Воздух при этом через выпускной штуцер *13* поступает через клапана упругих элементов в воздушную полость упругого элемента.

Для выпуска воздуха из подвески производится открытие клапанов пневматических элементов и выпускного клапана *1*, в обмотку которого подаётся напряжение. При этом воздух из упругих элементов поступает к пневматическому выпускному клапану *2* и направляется далее через осушитель, ограничительный клапан *15* и глушитель шума всасывания с фильтром в нишу багажника автомобиля, предназначенную для размещения запасного колеса.

Поступающий в систему сжатый воздух должен быть обезвожен, так как конденсат вызывает коррозию и образование ледяных пробок. Обезвоживание воздуха производится в **осушителе**, работающем в режиме регенерации: воздух, нагнетаемый в систему регулирования уровня кузова, осушается в результате пропуска его через гранулированный силикат, который способен поглощать влагу в количествах, превышающих 20 % собственной массы (в зависимости от температуры). Когда же в процессе эксплуатации (например, при снижении уровня кузова) происходит выпуск сухого воздуха из системы, он также пропускается через гранулят и отбирает накопленную в нём влагу. Благодаря такому режиму регенерации осушитель не нуждается в обслуживании и не подлежит также замене в процессе эксплуатации.

Благодаря отбору сжатого воздуха из ресивера обеспечивается быстрый подъём кузова автомобиля при минимальном уровне шума. Ресивер заполняется только при движении автомобиля, благодаря чему шум компрессора практически не прослушивается. При достаточно большом давлении в ресивере повышение уровня кузова может осуществляться и без компрессора. Под достаточным подразумевается такой уровень давления, при котором обеспечивается его перепад между ресивером и пневматическими упругими элементами не менее 3 кгс/см^2. При скоростях автомобиля до 35 км/ч подача воздуха в систему производится в первую очередь из ресивера (пока давление в нём достаточно велико). При скоростях более 35 км/ч воздух в систему подаётся непосредственно компрессором. Такая система подачи способствует снижению шума при эксплуатации и защищает аккумуляторную батарею от чрезмерного разряда.

Датчики уровня кузова относятся к измерителям угла поворота. Кинематика соединительных штанг позволяет преобразовать изменения уровня кузова в угловые перемещения рычагов датчиков. В датчике угловых перемещений данного типа используется закон электромагнитной индукции. На выводах датчика создаётся сигнал (широтно-импульсной модуляции), который пропорционален углу поворота его оси.

Важнейшие детали датчика — статор и ротор (рис. 7). Статор об-

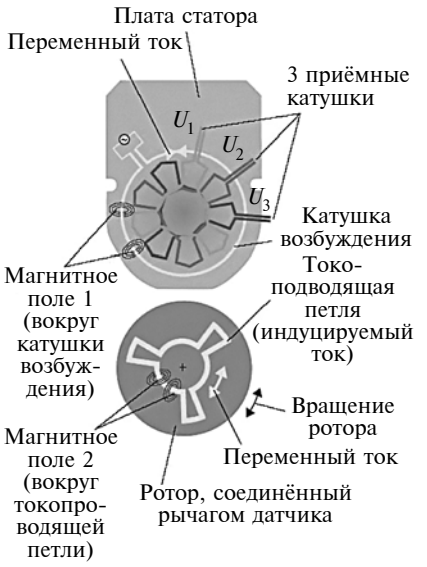


Рис. 7. Принцип действия датчика уровня кузова

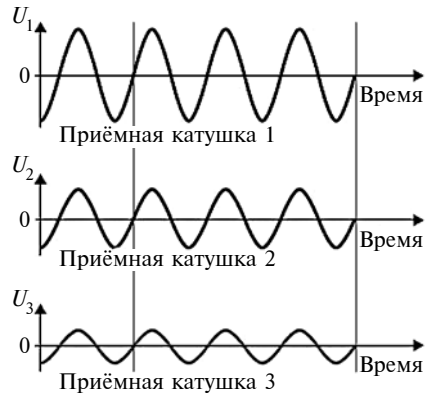


Рис. 8. Амплитуды напряжений на выводах приёмных катушек в зависимости от положения ротора

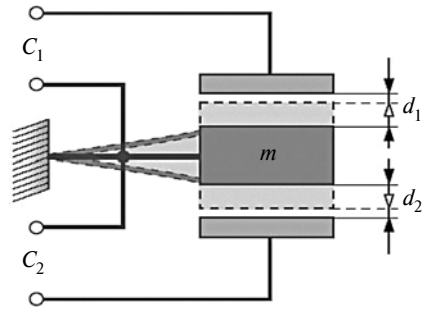


Рис. 9. Ёмкостной датчик для измерения ускорений

разован многослойной платой, содержащей катушку возбуждения, три приёмные катушки, а также блок управления и обработки результатов измерений. Три приёмные катушки смещены относительно друг друга, образуя звезду. Катушка возбуждения перекрывает приёмные катушки с обратной стороны платы. Ротор жестко соединён с рычагом датчика. На роторе выполнена замкнутая токопроводящая петля. Форма этой петли соответствует форме трёх приёмных катушек.

Через катушку возбуждения проходит переменный ток, который создаёт вокруг неё переменное электромагнитное поле (*поле 1*). Это поле пронизывает токопроводящую петлю ротора. Индуцируемый в токопроводящей петле ротора ток также создаёт вокруг неё переменное электромагнитное поле (*поле 2*). Переменные поля, создаваемые катушкой возбуждения и ротором, действуют на три приёмные катушки и индуцируют в них переменные напряжения, величина которых зависит от взаимного положения катушек и ротора. Индуцируемый в роторе ток не зависит от его углового положения, а индуцируемое в приёмных катушках напряжение изменяется в зависимости от их положения относительно ротора. Таким образом, это напряжение определяется угловым положением ротора. Так как ротор при повороте в разной степени перекрывает приёмные катушки, амплитуды индуцируемых в них напряжений зависят от угла его поворота (рис. 8).

В электронном блоке производится выпрямление и усиление индуцируемых в приёмных катушках напряжений, величины которых затем сопоставляются друг с другом. Результаты этого сопоставления преобразуются в выходные сигналы чувствительного элемента датчика уровня кузова, которые направляются для дальнейшей обработки блоками управления подвески.

Датчики ускорения. Датчики ускорений кузова и колёс имеют аналогичную конструкцию. Принцип действия датчиков ускорений основан на измерении электрических ёмкостей. Между пластинами конденсатора колеблется упруго подвешенная масса *m*, выполняющая функции центрального электрода. Ёмкости конденсаторов *C1* и *C2* изменяются синхронно с колебаниями массы. Расстояние *d1* между пластинами одного конденсатора увеличивается настолько, насколько уменьшается расстояние *d2* другого конденсатора. В результате изменяются ёмкости обоих конденсаторов. После электронной обработки данных измерений на блок управления уровнем кузова подаётся напряжение в качестве аналогового сигнала (рис. 9).

Кроме амортизаторов с гидравлическим демпфированием на легковых автомобилях применяются **амортизаторы PDC** (*pneumatic damping conrol*) с пневматическим демпфированием (рис. 10). Усилие демпфирования может варьироваться в зависимости от давления в пневмобаллоне при помощи отдельного узла PDC *2*, встраиваемого в амортизатор. Узел соединён шлангом с пневматическим упругим элементом. Пропорциональное нагрузке давление в пневматическом упругом элементе передвигает клапан *11*, соединённый с поршнем *10*, изменяя гидравлическое сопротивление между первой и второй рабочими камерами, т. е. усилие демпфирования при отбое и сжатии. Чтобы сгладить скачки давления в пневматическом упругом элементе (при сжатии и отбое), во входной воздушный канал клапана PDC встроен дроссель *3*. Первая рабочая камера с помощью отверстий *7* соединена с узлом PDC. При низком давлении в пневматическом упругом элементе (условия нагрузки — снаряженный или имеющий небольшую частичную нагрузку автомобиль) клапан PDC имеет малое гидравлическое сопротивление, благодаря чему часть масла на-

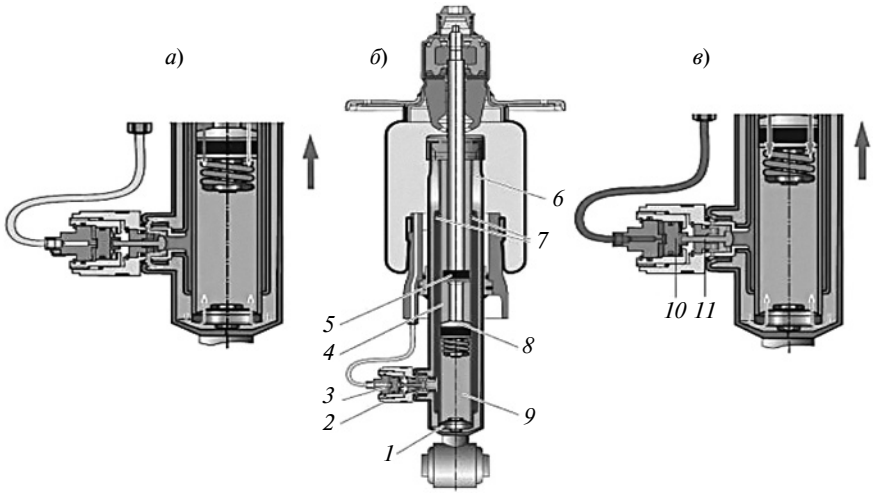


Рис. 10. Амортизатор с пневматическим регулированием демпфирования:

1 — донный клапанный узел; *2* — узел PDC; *3* — дроссель в воздушном канале; *4* — первая рабочая камера; *5* — упорный буфер; *6* — газ; *7* — отверстия; *8* — поршневой клапанный узел с уплотнительной манжетой; *9* — вторая рабочая камера; *10* — поршень PDC; *11* — клапан PDC; *а* — клапан открыт; *б* — общий вид; *в* — клапан закрыт

правляется в обход соответствующего демпфирующего клапана, уменьшая усилие демпфирования.

При ходе отбоя и низком давлении в пневматическом упругом элементе поршень идёт вверх, часть масла дросселируется через клапана поршня амортизатора, другая часть перетекает через отверстия в первой рабочей камере к клапану PDC. Если управляющее давление (давление в пневматическом упругом элементе) и, следовательно, гидравлическое сопротивление клапана PDC малы, то усилие демпфирования уменьшается. При ходе отбоя и высоком давлении в пневматическом упругом элементе управляющее давление закрывает клапан *11* полностью или частично, следовательно, гидравлическое сопротивление повышается. Большая часть масла (в зависимости от величины управляющего давления) должна дросселироваться через клапана поршня амортизатора, частично перетекая или совсем не перетекая через отверстия в первой рабочей камере к клапану PDC, усилие демпфирования при этом повышается. Аналогично амортизатор с пневматическим регулированием демпфирования работает и при ходе сжатия.

Испытания подвески покажем на примере автомобиля "Мерседес-Бенц AMG S 63 4matic" на стенде фирмы "Maxa". Согласно полученным диагностическим данным по эффективности передних и задних подвесок автомобиль имеет низкие показатели демфирования амортизационных стоек (рис. 11). Кодов неисправностей в ЭБУ не обнаружено. Данный стенд позволяет специалистам за минимальное время получить график работы амортизаторов, сверить с заводским и произвести оценку их работоспособности.

Кривые рабочих диаграмм должны быть плавными, без отклонений, свидетельствующих о недостаточном или избыточном количестве жидкости, её низком качестве, а также о неправильной сборке или наличии дефектов деталей клапанной системы. Сопротивление хода сжатия и отбоя определяют по наибольшим силам сопротивления (А и В), полученным при снятии диаграммы. Требуемые значения сил сопротивления приведены в техни-

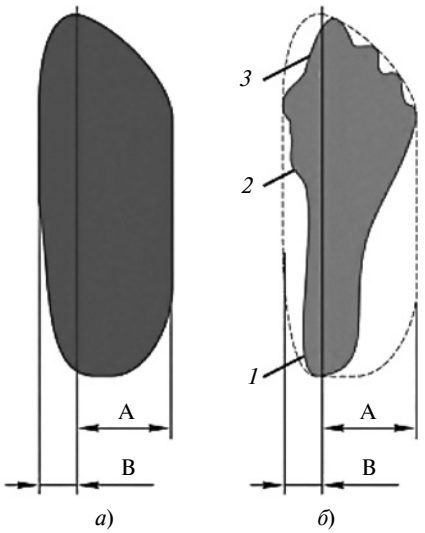


Рис. 11. Примерная форма диаграмм при проверке амортизаторных стоек и амортизаторов на стенде:

а — диаграмма исправного амортизаторного элемента; *б* — диаграмма неисправного амортизаторного элемента; *1* — избыток жидкости ("подпор"); *2* — эмульсионная (вспененная) жидкость; *3* — недостаток жидкости ("провал")

ческой характеристике амортизаторной стойки и амортизатора. Сбои в работе амортизаторов происходят по причине наших суровых климатических условий — гидрожидкость в амортизаторе в мороз густеет, что приводит к её затруднённой циркуляции через клапанную систему. В результате пневмобаллон получает дополнительную динамическую нагрузку, зачастую превышающую его проектные показатели, его износ ускоряется. Итог всем известен: как правило, это взрыв в самое неподходящее время в самом неподходящем месте.

Вертикальная упругая характеристика подвески выражает зависимость между вертикальной нагрузкой на подвеску и её вертикальной деформацией, измеряемой, обычно, над осью колеса. Выбором параметров вертикальной упругой характеристики подвески (в сочетании с надлежащей характеристикой амортизатора) необходимо обеспечить: колебания кузова автомобиля с заданными ускорениями; отсутствие пробоев подвески, т. е. ударов в ограничители хода и отсутствие отрывов колёс от дорожного полотна. Выполнение этих условий связано с обеспечением максимально высоких скоростей движения автомобиля в заданных дорожных условиях.

Значение статического прогиба принимаем из ряда рекомендованных значений, учитывая рекомендованную частоту собственных колебаний (1,2...1,9 Гц). Указанные значения статических прогибов относятся только к упругому элементу подвески. Резинометаллические шарниры увеличивают жёсткость подвески на 15...30 %, в зависимости от схемы подвески и числа шарниров. Для устранения эффекта галлопирования жёсткость передней подвески обычно делают равной 0,8...0,9 жёсткости задней подвески (с поправкой на влияние резинометаллических шарниров).

Дорожные испытания задней многорычажной пневмогидравлической подвески проводились при переезде через препятствия ("лежачий полицейский") — выявила стук в задних амортизаторах. Природа проявившегося стука очевидна — пробой амортизаторов. Такие дефекты часто возникают в подвеске при эксплуатации автомобилей из-за "мягкой" работы амортизаторов. Как показали исследования, внешних признаков неисправностей амортизаторы не имеют. Однако пробой подвески очевиден, это некорректная работа всей системы, т.е. конструктивный дефект всей конструкции (электроника — пневматика — гидравлика). Влияние эксплуатационных факторов на образование пробоев в амортизаторах подвески стоит исключить, ввиду отсутствия повреждений элементов подвески.

Вероятнее всего, гидроэлектронный блок (*гидротроник*) не обеспечивает необходимое количество и давление рабочей жидкости в гидравлической системе подвески. Применение дополнительных упругих элементов в исследуемом типе подвески значительно расширит параметры регулирования её жёсткости. Возможно, в мягком режиме подвески регулятор жёсткости не объединяет все гидропневматические упругие элементы между собой, при котором — не достигается максимальный объём газа. Возможны сбои системы при подаче напряжения на электромагнитный клапан, не включается жёсткий режим подвески, при котором стойки, задние цилиндры и дополнительные сферы

Признаки неисправности	Причина
Автомобиль недостаточно устойчив при движении по неровной дороге (имеет боковые сносы), склонен к продольному раскачиванию	Амортизаторные стойки или амортизаторы не развивают нормальное усилие сопротивления
Частые пробои подвесок автомобиля	Амортизаторные стойки и амортизаторы имеют уменьшенное усилие сжатия

не изолируются друг от друга. Также система управления гидропневматической подвески не всегда включает входные устройства, электронный блок управления и исполнительные устройства. К входным устройствам относятся входные датчики и переключатель режимов работы. Входные датчики не преобразуют соответствующие характеристики в электрические сигналы. Возможно, электронный блок управления не принимает сигналы от входных устройств, не обрабатывает их в соответствии с заложенной программой и не формирует управляющие воздействия на исполнительные устройства. Таким образом, гидропневматическая подвеска не обеспечивает: автоматическое регулирование жёсткости; принудительное изменение дорожного просвета и жёсткости. Автоматическое регулирование дорожного просвета не осуществляется в зависимости от скорости движения автомобиля, качества дорожного покрытия и стиля вождения конкретного человека. При трудных дорожных условиях и скорости ниже 60 км/ч клиренс автоматически не увеличивается. В автомобиле автоматически не поддерживается определённая высота кузова независимо от нагрузки (загрузки). Объём жидкости недостаточно дозируется регулятором положения кузова. Работа гидропневматической подвески не обеспечивает сохранение заданного уровня пола кузова при перемещении колёс по неровному дорожному покрытию. Изменение режимов жёсткости не производится в зависимости от характера движения (ускорение, торможение, движение по прямой, в поворотах). В зависимости от условий система не воздействует на электромагнитный клапан регулятора жёсткости и не приводит подвеску в жёсткий режим. Изменение жёсткости не осуществляется как для отдельного упругого элемента (при повороте автомобиля), так и всей системы (при прямолинейном движении). Требуется доработка конструкции системы и её дальнейшие испытания в Российских условиях эксплуатации.

Анализ информации по исследуемому дефекту в задней многорычажной подвеске позволил выявить проблему в работе системы подвески на автомобилях семейства "Мерседес". Дефект возник из-за конструктивных просчётов при моделировании системы, а именно — не производилась апробация работы системы в Российских условиях эксплуатации. Соответственно, ни климатические условия, ни состояние и тип дорог, ни снаряженная масса автомобиля не учитывались при проектировании даннной подвески на исследуемом автомобиле.

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.9.02

РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ ЛЕГКОВОГО ПРИЦЕПА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ В РЕЖИМАХ ТРОГАНИЯ С МЕСТА И ПОВОРОТА

Кандидаты техн. наук **МИТИН Э.В., СУЛЬДИН С.П., КАЛЯКУЛИН С.Ю.**
Мордовский ГУ имени Н.П. Огарёва
(rimstanok@yandex.ru)

Приводится расчёт на прочность конечно-элементных моделей прицепа общего назначения при загрузке прицепа штабельным грузом с использованием компьютерных программных средств проектирования "SolidWorks/Simulation".

Ключевые слова: *легковой прицеп, борта, груз, SolidWorks форма, деформация, конструкция, материалы, надёжность, долговечность.*

Mitin E.V., Sul'din S.P., Kalyakulin S.Yu.

CALCULATING THE STRENGTH OF A MULTI-PURPOSE TRAILER OF GENERAL PURPOSE OF WORKING IN TREADING MODES FROM PLACE AND TURNING

The article calculates the strength of finite-element models of a general purpose trailer when loading a trailer with a stacked cargo using computer software tools for designing SolidWorks/Simulation.

Keywords: *passenger trailer, bead, cargo, SolidWorks shape, deformation, construction, materials, reliability, durability.*

Прицепы к легковым автомобилям, предназначенные для перевозки различных грузов, давно и прочно вошли в нашу жизнь. Спроектировано и изготовлено огромное количество их разновидностей. В настоящее время, в зависимости от вида перевозимого груза, легковые прицепы имеют разные варианты компоновки и особенности конструкции. В частности специалисты предприятия "СаранскСпецТехника" условно выде-

ляют три основных вида: прицепы общего назначения, коммерческие прицепы и специальные прицепы (в частности, для водной техники). Легковые прицепы общего назначения, производимые данной компанией, имеют традиционную бортовую платформу с откидными бортами и комплектуются тентами.

Прицепы общего назначения используют для перевозки разнообразных грузов, не требующих каких-

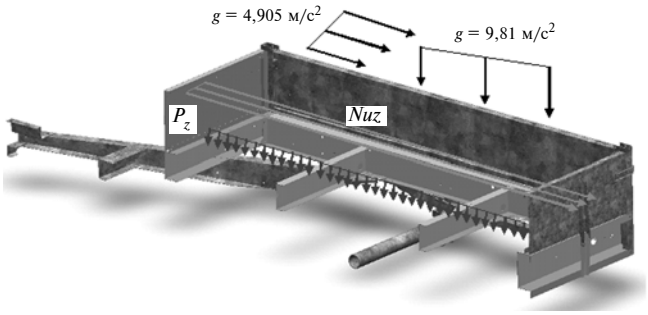


Рис. 1. Схема нагружения прицепа при трогании с места

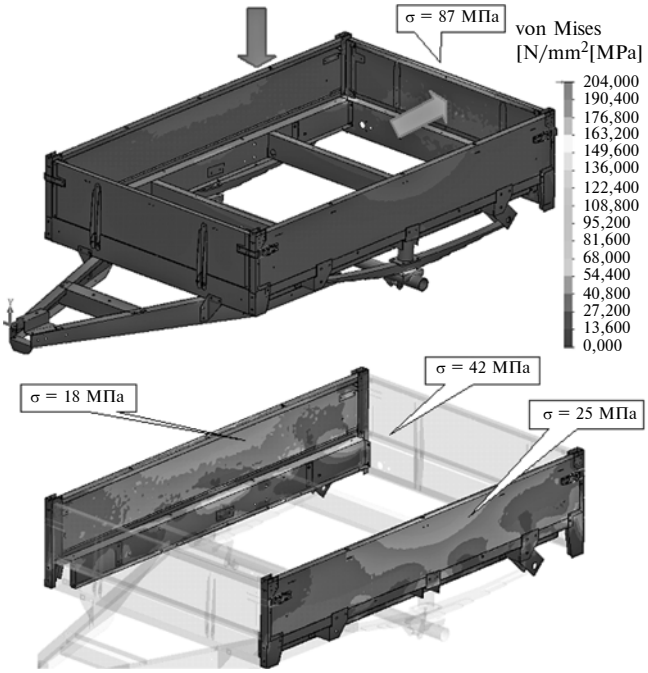


Рис. 2. Распределение напряжений по боковым бортам прицепа при трогании с места

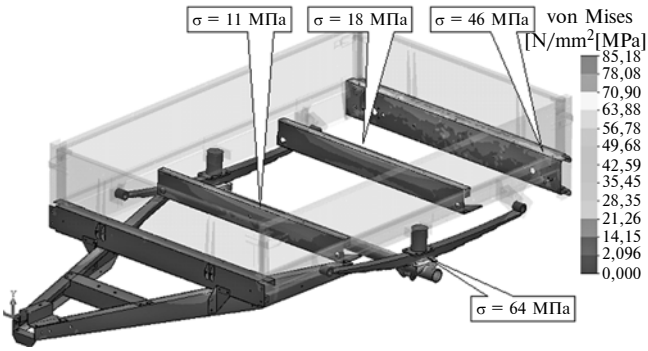


Рис. 3. Распределение напряжений по несущей части прицепа при трогании с места

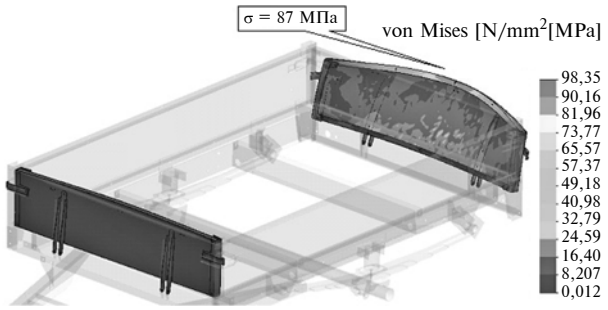


Рис. 4. Распределение напряжений по торцевым бортам прицепа при трогании с места

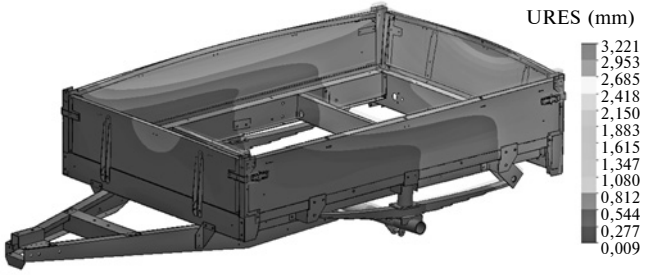


Рис. 5. Распределение статических перемещений по конструкции прицепа при трогании с места

либо особых условий при транспортировке. К таким грузам относятся строительные материалы, мебель, бытовые приборы, инструменты, малогабаритная техника и др., что помещается в прицеп по размерам и не превышает своей массой его грузоподъёмности.

Надёжность изделия определяется тем, насколько элементы его конструкции способны выдерживать напряжения, возникающие под действием нагрузок на различных режимах эксплуатации. Причём в большей степени далеко не экстремальных, а вполне тривиальных, на первый взгляд, встречающихся в ежедневной практике: трогание с места и прохождение поворота.

В данной статье рассмотрим расчёт на прочность с использованием компьютерных программных средств проектирования *"SolidWorks/Simulation"* конечно-элементных моделей прицепа общего назначения при загрузке его штабельным грузом.

Программные средства *"Simulation"* требуют соблюдения базовой канвы алгоритма метода конечных элементов, предоставляя внутри каждого этапа определённую свободу в последовательности шагов подготовки модели и рассмотрения результатов. Для расчёта в упругой постановке предполагаемая цепочка событий будет следующей.

1. Создание анализа определённого типа и определение его настроек. Последние могут быть изменены в любой момент перед выполнением расчёта.

2. Заполнение, если необходимо, таблицы параметров, определяющей набор величин, которые могут изменяться (конкретно — для которых могут назначаться списки значений) в ходе расчёта.

3. Подготовка исходных данных внутри заданного анализа: назначение материала детали или деталям;

назначение кинематических граничных условий; назначение статических граничных условий; создание сетки.

4. Выполнение расчёта.

5. Обработка результатов: создание необходимых диаграмм; анализ диаграмм; экспорт результатов.

Схемы нагружения модели для случая "трогание автопоезда с места" показаны на рис. 1. В результате расчёта получены распределения напряжений по всей конструкции прицепа (рис. 2—4), а также распределения статических перемещений и относительной деформации по конструкции прицепа при трогании с места (рис. 5—6). Результаты расчёта представлены в виде эквивалентных напряжений по Мизесу. Эпюра напряжений изображена с увеличением перемещений

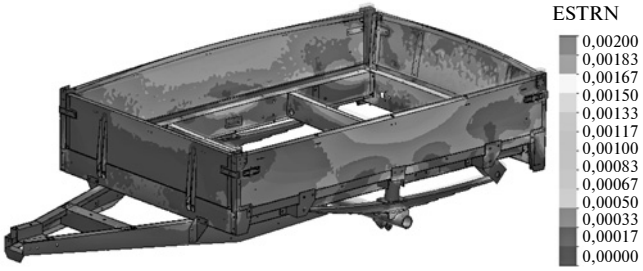


Рис. 6. Распределение относительной деформации по конструкции прицепа при трогании с места

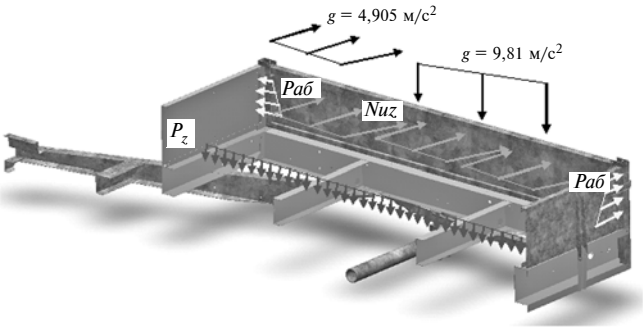


Рис. 7. Схема нагружения прицепа при повороте

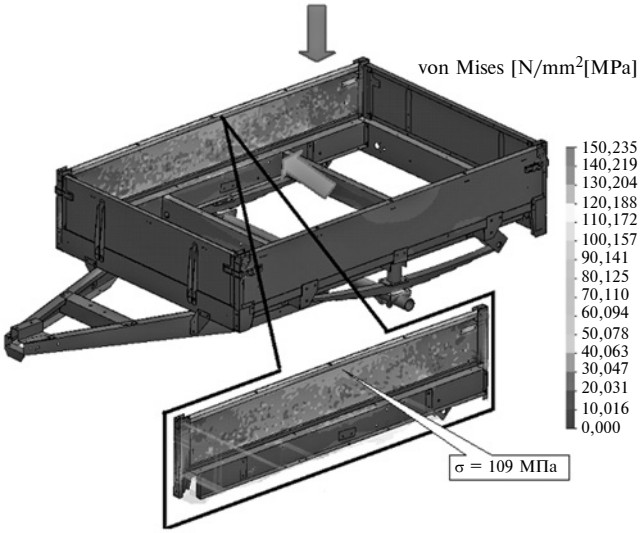


Рис. 8. Распределение напряжений по боковым бортам прицепа при повороте

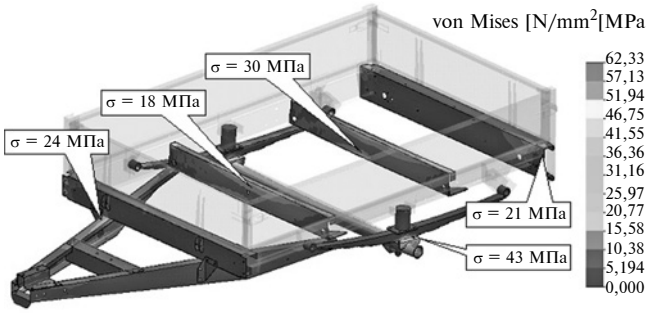


Рис. 9. Распределение напряжений по несущей части прицепа при повороте

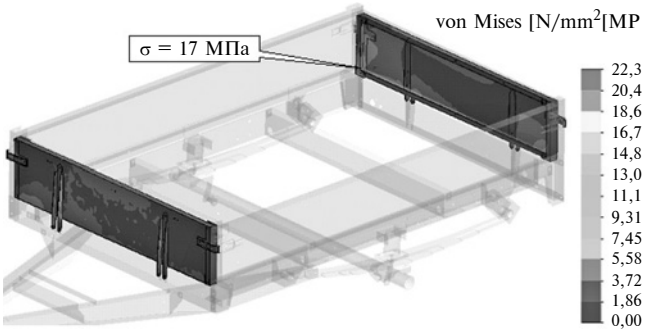


Рис. 10. Распределение напряжений по торцевым бортам прицепа при повороте

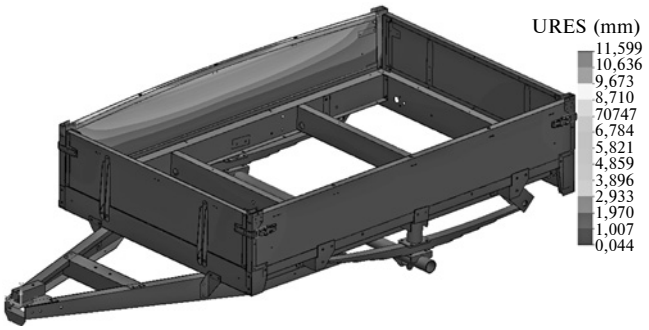


Рис. 11. Распределение статических перемещений по конструкции прицепа при повороте

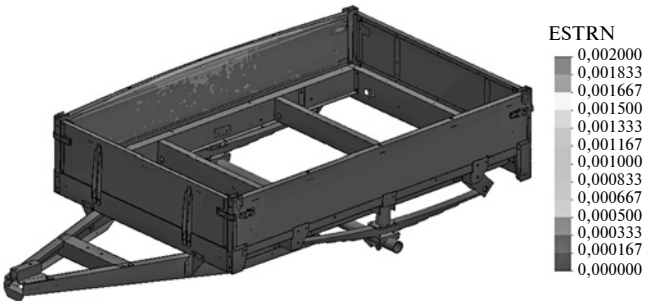


Рис. 12. Распределение относительной деформации по конструкции прицепа при повороте

для облегчения восприятия результатов. (Некоторые рисунки статьи для наглядности продублированы в цвете на 3-й стр. обложки.)

Рассмотрим вариант приложения нагрузок при повороте. Схемы нагружения модели для данного режима отображены на рис. 7. По результатам расчёта конструкции прицепа при повороте получены распределения напряжений по всей конструкции прицепа

(рис. 8—10) и распределения статических перемещений и относительной деформации по конструкции прицепа при повороте (рис. 11—12). Здесь результаты расчёта также представлены в виде эквивалентных напряжений по Мизесу, а эпюра напряжений — с увеличением перемещений для наглядности.

Полученные результаты расчёта на прочность конечно-элементных моделей прицепа общего назначения при загрузке прицепа штабельным грузом при трогании и повороте показали, что при заявленных схемах загрузки максимальные суммарные напряжения не превышают допускаемого напряжения по пределу текучести $\sigma_т$ = 204 МПа, что в свою очередь позволяет говорить о высоком качестве конструкции легковых прицепов общего назначения, производимых данным изготовителем.

ИНФОРМАЦИЯ

АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ КИТАЯ: НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Канд. экон. наук **САЗОНОВ С.Л., ЧЭНЬ СЯО**
Институт Дальнего Востока РАН (sazonovch@mail.ru)

Стремительное экономическое развитие Китая в течение трёх последних десятилетий привело к многократному увеличению потребления энергетических ресурсов и, в первую очередь, нефти. Значительный рост доходов населения страны стимулировал резкий рост объёмов производства и продаж автомобилей, особенно в крупных городах. Причём сегодня руководство КНР признаёт, что эра автомобилей с двигателем внутреннего сгорания подходит к концу. Эти факторы обусловили не только сильную зависимость страны от импорта нефтепродуктов, но и обострили экологическую ситуацию в мегаполисах. Осознавая глобальные вызовы, правительство страны разработало программу развития автомобилестроения на основе энергосбережения и новой энергетики, направленную на создание инновационного транспортного парка и соответствующей инфраструктуры нового поколения.

Ключевые слова: *Китай, энергетическая безопасность, загрязнение окружающей среды, энергосбережение, новая энергетика, альтернативная энергетика, гибридные автомобили, электромобили, совершенствование технологий, налоговые льготы, транспортная инфраструктура, дотация.*

Sazonov S.L., Chen Xiao
CHINESE AUTOMOTIVE INDUSTRY: NEW ENERGY SOURCES

Chinese rapid economic development during the previous 30 years led to the iterative increase of energy resources' consumption, crude oil in the first hand. Considerable growth of population's income stimulated sharp increase both of production' and sales' volume, particularly in the Chinese big cities. These factors stipulated not only for the strong dependence on oil import, but also sharpened the ecological situation in the Chinese megapolicies. Furthermore today the leaders of Chinese government recognize that the era of cars with internal combustion engine comes to an end. Realizing global negative global consequences the government elaborated the programme of automobile industry development, based on power economy and new power engineering aimed at the creation of innovative motor vehicles' fleet and transport infrastructure of a new generation.

Keywords: *China, energy safety, environmental pollution, power economy, new energy, alternative energy, hybrid motor car, electric vehicle, technology perfection, tax remission, transport infrastructure, subsidy.*

Согласно оценкам Министерства промышленности и информации КНР, в 2017 г. около 60 % всего объёма производимого в стране бензина и дизельного топлива использовалось в сфере автомобильного транспорта. В условиях постоянного роста производства автомобилей с двигателями внутреннего сгорания это приведёт к тому, что в 2020 г. их парк превысит 210 млн единиц. Столь быстрый прирост числа автомобилей приводит к усилению зависимости КНР от импорта сырой нефти. В начале XXI века эта зависимость составляла лишь 10 % от всего объёма добываемой в Китае нефти, но стремительно возросла до 67 % в 2017 г., а в 2020 г., по оценкам экспертов, достигнет 70 % (по зависимости от иностранных поставок нефтепродуктов страна уже сегодня бесспорный лидер). В 2017 г. атмосфера в 170 крупнейших городах Китая не соответствовала экологическим нормам, а основным источником (до 85 %) загрязнения воздушной среды явились именно автомобили с ДВС, чьи выбросы в атмосферу соединений углерода, свинца, фтора, серы и азота вдвое превышали объёмы подобных выбросов промышленными предприятиями. Всё это негативно сказывается на людях: сегодня жители Пекина и других крупных мегаполисов проводят целые дни в респираторных масках, если им приходится находиться на улицах, а бывают дни, когда ничего не видно на расстоянии вытянутой руки. В целях спасения экологии страны, снижения степени зависимости Китая от внешних поставок нефтепродуктов Государственный совет КНР 2016 г. принял "Программу по развитию энергетики и сокращению выбросов соединений углерода на период 2016—2020 гг.", которая ставила главной целью резко увеличить долю использования возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе страны (до 20 % в 2020 г. и до 35...40 % — в 2050-м). Объём выбросов углекислого газа на единицу ВВП в 2030 г. должен уменьшиться на 60...65 % по сравнению с показателем 2005 г. [1].

Сегодня в Китае работа по защите экологии, окружающей среды и ликвидации негативного ущерба от антропогенных загрязнений, вызванных выбросами из автомобилей с ДВС, набирает обороты, что было отмечено в конце декабря 2017 г. во время работы Центральной конференции по экономической работе в Пекине. В ноябре 2017 г. правительство КНР ограничило на 10 % продажи дизельных автомобилей с высокими объёмами выбросов серы, в начале декабря 2017 г. правительство страны заявило, что в стране вводятся более строгие ограничения по вредным антропогенным выбросам у автомобилей с ДВС, с 1 января 2018 г. китайский автопром прекратил производство 553 моделей автомобилей из-за введения стандарта на соответствие стандартам по экологии транспортных средств, а уже в январе 2018 г. Министерство по вопросам экологии КНР наложило штраф в размере 31,7 млн юаней (4,9 млн долл.) на двух китайских автомобильных производителей в провинции Шань-

дун за производство 318 дизельных грузовиков, чьи выбросы не соответствовали экологическим стандартам.

В начале 13-й пятилетки руководство КНР стало ясно отдавать себе отчёт в том, что предыдущая эра использования автомобилей с ДВС подходит к концу. Во-первых, многие страны в 2017 г. выступили с заявлением, что в период с 2025 по 2040 г. они прекращают производство автомобилей, использующих двигатели внутреннего сгорания, и переходят на выпуск экологически чистых автомобилей, работающих на альтернативных (не загрязняющих окружающую среду) источниках энергии. Некоторые страны Европы, например Норвегия и Нидерланды, намерены уже в 2025 г. отказаться от производства автомобилей с дизельными и газовыми двигателями, Германия и Индия намерены это сделать в 2030 г., а Великобритания и Франция готовы отказаться от производства автомобилей с ДВС в 2040 г. [2]. В 2015 г. обнародованный Государственным советом КНР план "Сделано в Китае 2025", ставит главной целью превращение КНР в современную инновационную державу, а средством достижения этой цели станет развитие стратегических отраслей промышленности, отличающихся высоким уровнем инновационных разработок и передовыми высокотехнологическими разработками, в число которых входит и такая отрасль, как производство автомобилей, использующих *альтернативные источники энергии* (АИЭ). Китайское руководство, понимая, что в наши дни практически нет технологического отставания КНР от развитых стран в области разработки двигателей, использующих альтернативные источники энергии, и аккумуляторных батарей, также решило установить срок прекращения производства автомобилей с ДВС и ускорить НИОКР в области производства нового поколения АИЭ, и в сентябре 2017 г. Министерство промышленности и информационных технологий КНР объявило, что правительство страны рассматривает вопрос о планируемой дате прекращения производства автомобилей с ДВС. Выступая в 2017 г. на Международном автосалоне во Франкфурте, председатель правления корпорации Great Wall Motor Co. Вэй Цзяньцзюнь заявил, что "уже к 2040 г. Китай может прекратить производство автомобилей, использующих традиционные виды топлива".

Выступая в конце января 2018 г. на совещании по ежегодному докладу о работе правительства, премьер Госсовета КНР Ли Кэцян подчеркнул, что следует всемерно развивать политику открытости и реформ и формировать более конкурентоспособную и инновационную экономику, важнейшим драйвером которой является разработка и производство высокотехнологичных автомобилей, использующих альтернативные источники энергии (АИЭ). *Главная цель прекращения производства автомобилей с ДВС и ускоренного развития инновационных технологий для создания лучших образцов АИЭ состоит в том, чтобы, обойдя западных конкурентов в разработке и производстве автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, занять на мировом рынке значительную долю продаж высокотехнологичных транспортных средств с высокой добавленной стоимостью (до 50 %) — это является экономической сутью новой политики Китая в области развития новой национальной отрасли производства инновационных автомобилей.* Огромные объёмы инвестиций, направляемые Китаем в разработку АИЭ, наличие значительной производственной автомобилестроительной базы, ёмкого внутреннего рынка уже позволили Китаю занять одно из первых мест в гонке за лидерством в области производства "экологичных автомобилей": в январе 2018 г. парк китайских автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, уже составлял 1,72 млн единиц (из них около 1,5 млн электромобилей, которые используются в более чем 130 городах 16 провинций Китая), т.е. более 50 % от общего числа АИЭ в мире. Кроме того, Китай является бесспорным мировым лидером как по объёмам производства, так и продаж этого типа автомобилей, а также по количеству электрозарядных станций, установленных по всей стране. Китайская корпорация БИД три года подряд возглавляет список крупнейших производителей автомобилей, использующих альтернативные источники энергии: в 2014 г. объёмы продаж АИЭ компании составили 67,1 тыс. единиц, в 2015 г. — 114,3 тыс. и в 2016 г. — 243,5 тыс. единиц АИЭ соответственно, причём "экологичные автомобили" корпорации уже сегодня способны преодолевать расстояние в 200—400 км на одной зарядке. В 2020 г. БИД намерена реализовать около 500 тыс. этих автомобилей. Корпорация поставляет свои АИЭ в 50 стран мира, уже построила производственные мощности в США, Бразилии, Венгрии и Франции. Цель стратегии руководства КНР по развитию АИЭ на среднесрочную и долгосрочную перспективу определяется положением современного Китая в мировой экономике, характеризуемым достигнутым в предыдущие годы уровнем развития инноваций и конкурентоспособности, являющимися главным фактором глобальной эффективности китайских производителей автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, как на национальном, так и международных автомобильных рынках.

Ещё с 2009 г. Правительство КНР приступило к разработке планов развития производства автомобилей, использующих альтернативные источники энергии. Планы создания новой отрасли по производству АИЭ были конкретизированы и получили правительственную поддержку в мае 2011 г., когда Государственный совет КНР принял "Программу развития автомобилестроения на основе новой энергетики энергосбережения на период 2011—2020 гг.", которая была дополнена решением Госсовета КНР от 17 июня 2013 г. "О плане развития производства автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, на период 2013—2020 гг.". Программа и план были нацелены на создание производственной площадки для разработки и последующего производства АИЭ на базе нескольких ведущих автомобильных концернов, которые смогут к 2020 г. обеспечить ежегодный выпуск 1 млн "экологичных автомобилей". Кроме этого, было запланировано развить мощности ещё двух-трёх средних автомобильных компаний с ежегодным объёмом производства по 300—500 тыс. шт. АИЭ, с тем чтобы в 2020 г. объём производства и продаж китайских автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, мог бы приблизится к отметке в 2 млн единиц (причём доля электромобилей в этом парке была определена в 70—80 %, доля продаж АИЭ должна составить в 2020 г. около 5 % от общего объёма продаж автомобилей на внутреннем рынке Китая), а размер парка АИЭ должен составить 5 млн единиц [3]. В 2025 г. объём производства АИЭ должен составить 15—20 % общего объёма продаж автомобилей в КНР и в 2030 г. от 40 до 50 % соответственно. 27 декабря 2017 г. ГКРР приняло постановление "Об ускорении развития 9 ключевых отраслей промышленности на период 2018—2020 гг., обеспечивающих превращение Китая в мировую инновационную державу". Одной из ведущих отраслей промышленности должно стать автомобилестроение, производственные мощности которого позволят обеспечивать выпуск инновационных АИЭ.

В период 10-й и 11-й пятилеток КНР инвестировал более 900 млрд юаней в разработку энергосберегающих автомобилей, китайские специалисты получили около 600 патентов на свои разработки в области разработки автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, аккумуляторных батарей и электрозарядных станций. В 2016 г. Государственный совет КНР своим решением "О стимулировании инновационных разработок на крупных государственных предприятиях" обязал выделять до 1,4 % от общего объёма прибыли госпредприятий на финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. В период 2015—2018 гг. объёмы инвестиций, направленных на НИОКР в области АИЭ, резко возросли и

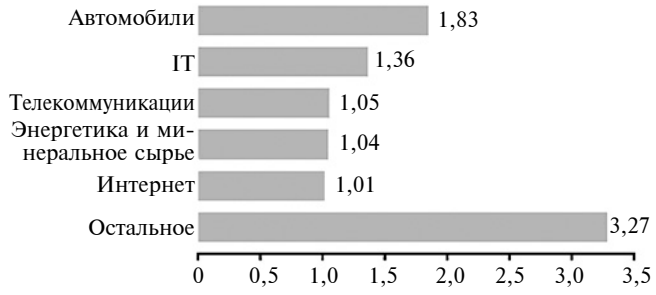


Рис. 1. Пять отраслей экономики Китая с наибольшими объёмами инвестиций частных компаний и венчурных фондов в 2017 г. (млрд долл.)

превысили сумму в 1 трлн юаней (150 млрд долл.) и более 130 млрд юаней были инвестированы в рамках НИОКР по тематике производства инновационных аккумуляторных батарей нового поколения. Правительство Китая стремится диверсифицировать источники финансирования новой отрасли производства АИЭ, в первую очередь, за счёт привлечения зарубежных инвестиций и создания благоприятных условий для участия частного капитала. В целях стимулирования притока прямых иностранных и частных инвестиций (в виде модели государственно-частного партнёрства) в разработку и производство инновационной продукции китайские власти создают льготные преференциальные условия для прихода зарубежного и частного капитала в современные отрасли промышленности, создающие инновационную продукцию.

Сегодня Китай активно расширяет производство электромобилей, автомобилей на водородном топливе и автомобилей гибридных, а также разрабатывает технологию производства автомобилей, использующих солнечную энергию, этанол, метанол, биотопливо и др. Программа амбициозна по своим целям: к 2020 г. Китай должен стать мировым лидером по объёмам производства и продаж АИЭ и довести до 30 % китайскую долю производства инновационных АИЭ в общем объёме мирового производства. 27 декабря 2017 г. ГКРР приняло постановление "Об ускорении развития 9 ключевых отраслей промышленности на период 2018—2020 гг., обеспечивающих превращение Китая в мировую инновационную страну". Среди перечня ведущих отраслей промышленности были отмечены автомобилестроение, производственные мощности которого позволят обеспечивать выпуск АИЭ, и производство инновационных аккумуляторных батарей. Согласно докладу Китайской ассоциации автопроизводителей (КААП), в 2015 г. около 70 китайских автомобильных производителей было занято в сфере разработки и производства АИЭ, а в 2017 г. это количество возросло до 200.

С 2009 г. китайское правительство запустило программу финансирования производства и продажи автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, определив размер субсидий для разных категорий электромобилей и гибридных автомобилей. (Программа определяла следующие размеры дотаций: на легковые автомобили и минифургоны — по 3 тыс. юаней (440 долл.) на каждый Вт-час аккумуляторной батареи, но не более 50 тыс. юаней (7 тыс. долл.) на каждый гибридный автомобиль; не более 120 тыс. юаней — электромобиль. На электромобили с топливными элементами — 360 тыс. юаней. На городские автобусы длиной от 10 метров и больше — максимум 80 тыс. юаней (12 тыс. долл.). На каждый гибридный автобус, оборудованный свинцово-кислотными аккумуляторами, — максимум 420 тыс. юаней (62 тыс. долл.). Гибридный автобус с никель-металл-гидридными (*NiMH*) и литий-ионными (*Li-ion*) аккумуляторными батареями — максимум 450 тыс. юаней (73 тыс. долл.). Для автобуса на полной электрической тяге — максимум 500 тыс. юаней. Правительство зарезервировало право снижать размеры дотаций автомобильным производителям — как объём продаж новых моделей превысит 50 тыс. ед.) С 2012 г. муниципальным властям было предоставлено право оказывать дотации покупателям гибридных автомобилей в размере до 40 тыс. юаней, а электромобилям до 60 тыс. юаней из средств местных бюджетов. В 2013 г. эта программа, срок действия которой был определён до 2018 г., была распространена на 50 городов Китая, а дотации теперь стали предоставляться не только покупателям, но и компаниям, занимающимся производством автомобилей, использующим альтернативные источники энергии. В итоге в период с 2009 до 2014 г. общие расходы на дотирование продавцов и покупателей этого типа автомобилей составили 33,4 млрд юаней. В начале 2014 г. решением Государственного совета КНР местные власти были наделены правом освобождать автовладельцев АИЭ от выплаты 50 % суммы налога с продаж на транспортные средства и в 2014 г. около 43 тыс. покупателей таких машин воспользовались освобождением от уплаты этого налога с продаж. В начале 2015 г. все АИЭ решением Министерства финансов КНР были освобождены от уплаты транспортного налога в полном объёме, а с июля 2015 г. все покупатели ЭМ полностью освобождались от налога с продаж, а покупатели ГА оплачивали лишь 50 % этого налога вплоть до конца 2017 г., но в декабре 2017 г. по инициативе Министерства финансов КНР эта налоговая скидка была продлена до конца 2020 г. Обе категории покупателей были освобождены от оплаты муниципальных парковок. С 2015 г. дополнительные дотации поступали и от местных властей, а их размеры варьировались от 10 до 60 тыс. юаней, однако в конце 2017 г. Министерство финансов КНР своим решением отменило эти местные доплаты, поскольку перешло к системе дотационного финансирования из средств Госбюджета. Также в конце 2014 г. Госсовет КНР принял решение о постепенном снижении дотаций производителям АИЭ на 15 % в 2015 г., на 10 % в 2016 г. и на 10 % в 2017 г. и далее по 5 % ежегодно вплоть до 2020 г. Первоначально максимальный размер дотаций в денежном выражении при покупке ЭМ равнялся 120 тыс. юаней, затем этот размер в 2016 г. был сокращён до 90 тыс. юаней, а в 2017 г. составлял 60 тыс. юаней. В одном только 2015 г. общие расходы на дотационное стимулирование производства автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, подскочили до 59 млрд юаней, в 2016 г. выросли до 83 млрд юаней и составили около 86 млрд юаней в 2017 г. (Столь значительные расходы государственного бюджета КНР на стимулирование покупок АИЭ объясняются тем фактом, что по данным аналитической компании LMC Automotive Shanghai, по меньшей мере, 70 % от общего количества новых автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, продавались по цене около 50 тыс. юаней, что гораздо ниже стоимости автомобилей с ДВС.) В 2020 г. китайское правительство запланировало полную отмену этих субсидий, однако будут оставаться преференции (в виде льгот) для владельцев АИЭ при проезде по платным автомобильным магистралям, при пользовании муниципальными парковочными местами и стоянками, при оплате налогов платежей, а также в виде снижения ввозных пошлин и субсидирование автомобильного кредитования. Например, в сентябре 2017 г. центральные банки Китая объявили о новой кредитной политике, которая позволяет покупателям АИЭ беспрепятственно брать кредит в любом банке на максимальную сумму, покрывающую до 85 % стоимости автомобиля, использующего альтернативные источники энергии (и кредит, покрывающий до 80 % стоимости автомобиля с ДВС), а при покупке коммерческих автомобилей максимальный размер кредита был определён в 75 % и 70 % от стоимости соот-

ветственно. Для обеспечения роста объёмов продаж автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, 27 июля 2015 г. Государственный совет КНР принял закон, обязывающий органы государственной и исполнительной власти, муниципалитеты городов и общественные организации при заключении контрактов на приобретение автомобилей для служебного пользования в общем объёме закупок автотранспортных средств предусматривать 30 %-ную квоту на электромобили, а в августе 2016 г. поднял размер квоты для электромобилей до размера в 60 % от всего объёма вновь закупаемого автотранспорта. Начиная с 2010 г. в целях привлечения на китайский рынок современного технологичного оборудования для производства АИЭ правительство КНР обнулило ставки импортных пошлин на оборудование, которые действовали на протяжении последних 8 лет, и позволили за это время производителям "зелёных автомобилей" сэкономить более 32 млрд юаней, а с конца 2017 г. Министерство финансов КНР дополнило эту льготу, освободив импортёров инновационного оборудования для производства АИЭ от уплаты налога на добавленную стоимость, что, по мнению специалистов, позволит китайским производителям автомобилей на новых источниках энергии дополнительно получить 2,3 млрд юаней (350 млн долл.) для развития технологических разработок.

С 2015 г. правительство Китая ввело дополнительные меры по поддержке производства АИЭ, которые были привязаны к величине пробега нового автомобиля на одной заправке. Производители АИЭ, чьи автомобили могли совершить пробег от 100 до 150 км, от 150 до 250 км и свыше 350 км без перезарядки, получали субсидии от государства в размере 20 тыс. юаней, 36 тыс. и 44 тыс. юаней соответственно. Однако в конце 2017 г. Министерство финансов КНР пересмотрело эти нормативы и учредило новую систему субсидирования производства автомобилей, использующих альтернативные источники энергии. С 2018 г. новые автомобили с пробегом на одной зарядке на расстояние 100—150 км лишаются государственного субсидирования, для машин с пробегом 150—250 км государственные дотации сокращаются на 40 %, до размера в 20 тыс. юаней, и в то же время государственные субсидии были увеличены с 44 тыс. до 50 тыс. юаней для производителей новых АИЭ с пробегом на одной зарядке свыше 350 км. Кроме того, правительство КНР с 2018 г. отменило все дотации, предоставляемые провинциальными (местными) властями производителям АИЭ, объём которых доходил до 50 % от всего объёма государственного (центрального) субсидирования.

В сентябре 2017 г. Министерство промышленности и информационных технологий КНР обнародовало распоряжение, которое с 1 апреля 2018 г. определяло минимальный уровень объёма продаж АИЭ в качестве выполнения главной задачи руководства КНР о сокращении объёмов выброса вредных веществ автомобилями с ДВС. Китайские автопроизводители, чей годовой объём продажа автомобилей с ДВС на внутреннем рынке составлял более 30 тыс. автомобилей (либо объём импорта превышал 30 тыс. таких автомобилей), в 2019 г. должны обеспечивать объём своих продаж АИЭ в объёме не менее 10 % от общего объёма проданных автомобилей (либо общего объёма импортируемых автомобилей), а в 2020 г. этот показатель был увеличен до 12 % соответственно. Первоначально в проекте распоряжения Министерства промышленности и информационных технологий КНР исходной базой был объём производства в 50 тыс. автомобилей с ДВС, однако в целях расширения охвата китайских автопроизводителей и побуждения их большего числа для увеличения объёма продаж АИЭ базовый показатель объёма производства автомобилей с ДВС был снижен до 30 тыс. единиц и из проекта был изъят показатель в 8 % на 2018 г. Производители, которые не смогут обеспечить выполнение перечисленных показателей, должны приобретать соответствующие квоты у других китайских автопроизводителей АИЭ, в противном случае правительство будет налагать на них штрафные санкции.

18 января 2018 г. Министерство финансов КНР и Министерство промышленности и информатизации Китая в совместном заявлении указали, что субсидии для автомобилей, работающих на новых источниках энергии, будут сокращаться, прежде чем они окончательно будут отменены к концу 2020 г. Министерства пришли к единому мнению относительно окончательного проекта плана и 18 января 2018 г. представили его на окончательное одобрение Госсовета КНР (этот план должен был быть обнародован в конце 2017 г., однако был отложен на определённое время из-за возникших некоторых разногласий). Проект плана не содержит конкретных цифр и показателей о величине планирующихся сокращений дотаций, но в нём отмечается, что срок действия права на получение субсидий для АИЭ, которые обладали правом на дотации в 2017 г., будет продлён на срок около полугода в период в 2018 г. В плане отмечается, что сокращение субсидий приведёт к более быстрому исчезновению небольших и неконкурентоспособных компаний отрасли производства АИЭ, однако не окажет значительного влияния на крупные отраслевые автосборочные предприятия. Некоторые китайские аналитики в рассуждениях о сроках окончания государственной поддержки промышленности АИЭ полагают, что лишь при достижении показателя минимальных объёмов продаж АИЭ в размере 30 % от всего объёма продаж автомобилей в КНР можно постепенно отменять государственную систему субсидирования производства и продаж автомобилей, использующих альтернативные источники энергии. Причём переход китайской промышленности к полному производству автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, не будет происходить в один момент и не будет означать отказ от использования автомобилей с ДВС. Скорее всего, резкое сокращение традиционных бензиновых автомобилей будет наблюдаться в крупных китайских мегаполисах, однако в средних и малых городах, в сельской местности процесс, где не вводились меры ограничительного характера на покупки автомобилей с ДВС, внедрения экологически чистого автомобильного транспорта, будет достаточно продолжительным. По мнению специалистов Китайской ассоциации автомобильных производителей, сельские жители и жители небольших городов в ближайшие 5—10 лет станут основными потребителями традиционных автомобилей с бензиновыми и дизельными моторами и, тем самым, будут поддерживать развитие традиционного китайского автопрома. Однако, когда весь парк автомобилей с ДВС (а это более 350—400 млн единиц через 15—20 лет) будет заменен на АИЭ, это позволит Китаю сэкономить до 500 млрд литров бензина и дизельного топлива, резко снизить зависимость страны от импорта углеводородного сырья и кардинально улучшить экологическую обстановку в крупных городах КНР.

(*Продолжение следует*)

Литература

1. China's endeavor to build clean, beautiful country contributes to global ecological development. URL: http://www.chinadaily.com.cn/a/201712/17/WS5a365d8ba3108bc8c67351df.html.
2. Wu Yiyao (China Daily). E-car segment revs up to push throttle full forward. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-10/09/content_33013486.htm.
3. Чжоу Чэнси. Синьнэнюань цичэ тупо фачжань (Чжоу Чэнси. Прорыв в развитии новых энергетических транспортных средств) (周谦新能源汽车突破发展) // Цичэ юньшу (ежемесячный журнал Министерства транспорта КНР "Автомобильный транспорт"). Пекин. 2018, № 3. С. 38—44.
4. New sectors accelerate China's industrial growth in 2017. URL: http://www.china.org.cn/ business/2018-01/18/content_50241745.htm.

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Козловский В.Н., Айдаров Д.В., Клейменов С.И., Шанин С.А. — Актуальные вопросы стратегического менеджмента качества автомобильных корпораций 1

АСМ-факты 8

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Белоусов Б.Н. — Парадигма современного автомобилестроения 9

Иванов А.Е., Иванов С.А. — Способ повышения экологичности и экономичности ДВС, работающих по циклу дизеля 14

Чернышёв В.В., Захаренко А.М., Угай С.М., Хиен Т.Ч., Хаи Л.Х., Анисимов Н.Ю., Голохваст К.С. — Морфологический и химический состав твёрдых частиц отработавших газов автобусов 15

Гладов Г.И. — Характеристика переходного процесса при повороте автомобиля 19

Богданов В.Н., Блудов Д.А., Вихлянцев П.С., Сердюков Н.Н. — Радиочастотная метка для автомобильных колёс 21

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Сафронов К.Э., Сафронов Э.А. — Выбор подвижного состава для обслуживания маломобильных пассажиров в городах 24

Разговоров К.И. — Исследование особенностей эксплуатации пневмогидравлической многорычажной подвески легковых автомобилей 26

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Митин Э.В., Сульдин С.П., Калякулин С.Ю. — Расчёт на прочность легкового прицепа общего назначения в режимах трогания с места и поворота 33

ИНФОРМАЦИЯ

Сазонов С.Л., Чэнь Сяо — Автомобилестроение Китая: новые источники энергии 36

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 Белорусско-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 09.01.2019. Подписано в печать 04.03.2019.
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.