ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

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

№ 11 • ноябрь • 2019

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 338.242

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЛИЗИНГОВЫХ СДЕЛОК В РФ

Канд. экон. наук **ЧИРИКАНОВА Е.А.**
МАДИ (499. 155-07-90)

Рассматриваются различия оперативного и финансового лизинга, механизм функционирования, отличительные особенности этих видов и их специфика. Рассмотрена доля оперативного и финансового лизинга, сложившаяся в настоящее время на рынке лизинговых услуг в Российской Федерации. Обозначены преимущества различных форм лизинга для лизингодателя и лизингополучателя.

Ключевые слова: *лизинг, транспорт, тенденции, оперативный, финансовый.*

Chirikanova E.A.

DEVELOPMENT TRENDS IN LEASING TRANSACTIONS IN THE RUSSIAN FEDERATION

The differences between operational and financial leasing, the mechanism of operation, the distinctive features of these types and their specificity are considered. The share of operational and financial leasing that is currently formed on the leasing services market in the Russian Federation is considered. The advantages of various forms of leasing for the lessor and the lessee are indicated.

Keywords: *leasing, transport, trends, operational, financial.*

Эффективность экономической деятельности предприятия во многом зависит от его оснащённости современной техникой. При этом приобретение основных средств, особенно на первоначальной стадии, дело весьма затратное. Одним из финансовых инструментов, позволяющих избежать неподъёмных единовременных затрат, является, как известно, лизинг: заёмщик приобретает право временного владения и пользования имуществом с возможностью последующего выкупа.

Базой мировой практики лизинговых операций служит Конвенция УНИДРУА "О международном финансовом лизинге" [1], в которой Россия участвует с 1999 года. В РФ согласно Федеральному закону "О финансовой аренде (лизинге)" в редакции Закона от 03 июля 2016 г. № 360-ФЗ лизинг определён как совокупность экономических и правовых отношений, возникающих в связи с реализацией договора лизинга, в том числе приобретением предмета лизинга.

Различают два вида лизинга — *оперативный* и *финансовый*.

Под оперативный лизинг попадают обычно краткосрочные (до 3 лет) сделки, которые по времени намного короче, чем жизненный цикл передаваемого имущества. Как правило, оборудование сдаётся в лизинг многократно и на короткие сроки, следовательно, в течение срока одного лизингового договора, оно может амортизироваться не полностью. К тому же обязанности по техническому обслуживанию имущества возлагаются полностью на лизингодателя [2]. Фактически данный вид лизинга является арендой, но с некоторыми отличительными особенностями. То есть оперативный лизинг можно расположить между обычной арендной сделкой и сделкой финансового лизинга.

К отличительным особенностям оперативного лизинга можно отнести следующие: в большинстве случаев имущество не выкупается лизингополучателем, а переходит обратно лизингодателю; сравнительно большие размеры текущих платежей, это связано с тем, что при данном виде лизингодатель учитывает больше рисков; лизингополучатель заранее не заказывает имущество, а привлекает уже имеющееся в собственности у лизингодателя, отсюда вытекает одно из главных требований для него — хорошо знать рынок и потребности потенциальных клиентов; лизингополучатель вправе аннулировать лизинговый договор по причине непригодности имущества.

Необходимость заключения договора лизинга именно оперативного вида может возникнуть у лизингополучателя в следующих случаях: когда передаваемое в лизинг имущество нуждается в специализированном техническом обслуживании, которое обязан, в данном случае, проводить лизингодатель; когда цена приобретения нового оборудования или транспорта за полную стоимость не окупается в дальнейшем доходами от его использования; когда передаваемое в лизинг оборудование должно быть использовано в короткие сроки [3]. Как только срок лизингового договора подходит к концу, у лизингополучателя в данном случае

есть право поступить одним из следующих способов: передать имущество обратно лизингодателю; продолжать пользоваться оборудованием, подписав новый лизинговый договор; выкупить имущество у лизингодателя по остаточной или рыночной цене, если такие условия предусмотрены договором.

Учитывая приведённые выше ситуации, когда необходим оперативный лизинг, можно сказать, что универсальным средством инвестирования данный вид лизинга не является. Передавать лизингополучателю абсолютно любое имущество нецелесообразно. Особенности оперативного лизинга необходимо учитывать перед тем, как привлекать какое-либо оборудование или транспорт [4]. Лизингополучатель получает от оперативного лизинга множество выгод, а значит не имеет смысла привлекать дорогостоящее оборудование, расходы на пусконаладочные работы которого значительно превышают эти выгоды.

Благодаря своим преимуществам оперативный лизинг нашёл применение в таких отраслях экономики, как: сельское хозяйство (когда речь идёт о сезонных работах); строительство при выполнении краткосрочных работ, требующих специального типа оборудования; автомобильный бизнес (при создании или обновлении парка транспортных средств). Также целесообразно применение оперативного лизинга в тех случаях, когда речь идёт о привлечении быстро морально устаревающего оборудования.

Если оперативный лизинг является по сути особой формой аренды, то лизинг финансовый, в свою очередь, схож с кредитованием. К основным особенностям финансового лизинга можно отнести следующие: договор по финансовому лизингу, как правило, заключается на очень длительный срок, т. е. этот срок сопоставим с жизненным циклом оборудования или не должен его превышать; оборудование полностью амортизируется в течение действия одного лизингового договора, т. е. закупочную стоимость имущества лизингополучатель лизингодателю со временем компенсирует полностью; при выполнении всех условий договора имущество переходит в собственность лизингополучателю; в отличие от оперативного, при финансовом лизинге лизингополучатель не приобретает у лизингодателя уже имеющееся оборудование, а заказывает ему приобретение необходимого у изготовителя (поставщика).

Как видим, данный вид лизинга по существу является долгосрочным кредитованием, но имеющим одну отличительную особенность: передаваемое в лизинг оборудование или транспорт на время действия договора остаётся в собственности лизингодателя. Отсюда вытекает основное преимущество для лизингополучателя, позволяющее ему существенно экономить, когда речь идёт о налоге на прибыль или о налоге на имущество [5]. Однако это не всегда так: по соглашению сторон в условиях договора может быть указано, что имущество учитывается на балансе лизингополучателя.

Существует три вида платежа, которыми лизингополучатель погашает свою задолженность перед лизингодателем: аванс (первоначальный взнос), текущие платежи и окончательная стоимость имущества для выкупа. Обязательными являются только текущие платежи, так как первоначальный авансовый платёж может не требоваться по условиям лизингового договора, а выкупная стоимость может и вовсе отсутствовать, если за время действия договора лизинга была полностью выплачена его стоимость.

Лизинговые компании от своей инвестиционной деятельности получают более высокую прибыль на единицу капитала [6]. Лизингодатель имеет льготное налогообложение не только по уплате налога на прибыль, полученную им от реализации договора лизинга, но и по НДС. Наличие амортизационных и налоговых льгот стимулирует заключение взаимовыгодных лизинговых договоров, что уменьшает размер лизинговых платежей [7]. Для лизингополучателя, согласно ст. 259.3 НК РФ в отношении амортизируемых основных средств, являющихся предметом договора финансовой аренды, возможно применение к основной норме амортизации специального коэффициента (но не выше 3). Статья 257 НК РФ устанавливает, что первоначальной стоимостью имущества, являющегося предметом лизинга, признаётся сумма расходов лизингодателя на его приобретение, сооружение, доставку, изготовление и доведение до состояния, в котором оно пригодно для использования, за исключением сумм налогов, подлежащих вычету или учитываемых в составе расходов в соответствии с Налоговым Кодексом [8].

Оперативный лизинг не нашёл широкого применения и остаётся интересным для узкоспециализированного лизингополучателя, в то время как финансовый лизинг применяется в большинстве лизинговых сделок. По данным рейтингового агентства "Эксперт РА", в 2018 году доля оперативного лизинга не превышает 9,5 % (табл.1).

При этом мы видим, что за последние 6 лет доля финансового лизинга сохранялась в диапазоне 80—90 %. Лизинг является важным инструментом поддержки малого бизнеса. В мировой практике в решении проблем инвестиционного обеспечения малого предпринимательства лизинг занимает важное место: именно малые и средние предприятия являются основными клиентами лизинговых компаний. Во многих случаях лизинг для субъекта малого предпринимательства становится единственной возможностью приобрести новое высокоэффективное оборудование для производства конкурентоспособной продукции. В настоящее время на транспортные сегменты приходится до 80 % всего лизингового портфеля в стране (табл. 2) [9].

Как мы видим, наибольшая доля лизинговых сделок происходит в сегменте железнодорожного транспорта. За последний год она существенно не измени-

Таблица 1

Год	Доля видов лизинга в новом бизнесе, %	
	финансовый	оперативный
2013	90,0	10,0
2014	90,8	9,2
2015	88,5	11,5
2016	85,6	14,4
2017	79,0	21,0
2018	90,5	9,5

Таблица 2

Сегмент лизингового портфеля, %	По состоянию на		
	01.01.2017	01.01.2018	01.01.2019
Легковые автомобили	6,8	6,4	6,5
Суда (морские и речные)	4,9	4,9	7,0
Грузовой транспорт	7,1	9,6	9,1
Авиационный транспорт	21,6	20,0	21,3
Железнодорожный транспорт	40,8	39,0	41,0
Машиностроительное оборудование	3,7	3,1	1,4

лась (увеличение на 2 %). Заметный рост произошёл в сегменте морских и речных судов. В то же время в таких сегментах, как грузовой транспорт и машиностроительное оборудование, наблюдается снижение доли лизинговых сделок.

Между тем лизинг остаётся гибким и перспективным экономическим инструментом, который способен привлечь инвестиции в жизненно важные отрасли экономики страны, оказать существенную поддержку малому бизнесу. К сожалению, в России, несмотря на актуальность проблемы модернизации и инновационного развития, лизинг не играет такой роли, как в других странах (например, Германии или США). Это связано с тем, что на перспективу развития лизинга во многом влияют внешние и внутренние факторы. В частности такие, как ставка рефинансирования ЦБ РФ, налоговая нагрузка, санкции. При этом необходимо отметить, что лизинговый рынок — один из индикаторов инвестиционной активности в экономике. Поддержка рынка лизинговых услуг со стороны государства окажет позитивное влияние как на компании, занимающиеся предоставлением таких услуг, так и на лизингополучателя.

Литература

1. Конвенция УНИДРУА "О международном финансовом лизинге" https://www.inventech.ru/lib/right/right-0317/ (дата обращения 15.04.2019)
2. Чириканова Е.А. Экономические изменения налогообложения транспортных средств в Российской Федерации / Е.А. Чириканова // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. — 2017. — № 3. — С. 111—119.
3. Чириканова Е.А., Гаранин С.М. Программы государственной поддержки автомобильной промышленности с использованием механизма лизинга // Автомобильная промышленность. — 2017. — № 8. — С. 1—3.
4. Подхалюзина В.А., Дрейцен М.А., Шуба Н.А. Разработка экономической модели автомобильного рынка России // Автомобильная промышленность. — 2016. — № 6. — С. 1—6.
5. Горностаев И.А., Улицкий М.П. Пути снижения инвестиционного риска транспортной организации. Экспертный анализ рисков // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2017. — № 1 (11). — С. 12.
6. Телушкина Е.К., Телушкин А.А. Опыт словацких автопроизводителей по преодолению негативных последствий мирового финансового кризиса 2008—2009 гг. // Горизонты экономики. — 2015. — № 1 (20). — С. 73—77.
7. Чириканова Е.А. Государственная поддержка автомобильного рынка России в условиях спада объёмов продаж // Автомобильная промышленность. — 2015. — № 7. — С. 1—2.
8. Улицкая Н.М. Город и транспорт: современные аспекты развития // В сборнике: Национальные и международные финансово-экономические проблемы автомобильного транспорта. Сборник научных трудов. Москва. — 2017. — С. 3—7.
9. Сайт рейтингового агентства "Эксперт РА" https://raexpert.ru/researches/leasing/2018/att1 (дата обращения 15.04.2019).

АСМ-факты

ВАЗ запускает в производство модификацию автомобиля "Лада Веста" с бесступенчатой автоматической трансмиссией японской марки "Ятко" (Jatco), которая уже широко применяется на автомобилях альянса "Рено-Ниссан", а с июля 2019 года — и на автомобиле "Лада Икскрей кросс". Основная особенность данной трансмиссии в том, что, помимо клиноременной передачи с мощным стальным ремнём, здесь работает двухступенчатый редукторный сектор. Это решение позволило сделать агрегат компактнее и на 13 % легче, чем предыдущие образцы. Такая конструкция повышает тяговые характеристики и при этом не боится морозов, пробуксовок и тяжёлых нагрузок, а кроме того, при уверенном ускорении обеспечивает высокий акустический комфорт и топливную экономичность.

Совместно с автоматической трансмиссией на "Весте" впервые установлен 113-сильный двигатель HR-16. В процессе адаптации трансмиссии были разработаны новые калибровки силового агрегата, применена оригинальная система выпуска, новые привода колёс, модернизированные опоры силового агрегата. Комплекс инженерных решений позволил сохранить массу автомобиля и дорожный просвет: 178 мм у базовых версий и 203 мм у модификаций "кросс". Модели семейства "Веста" с новой трансмиссией прошли полный цикл испытаний: 39 автомобилей приняли участие в дорожных тестах в суммарном объёме 1 млн километров, а также в лабораторных и климатических испытаниях — в Сургуте при температуре −47 °С и в Тамани при +40.

Новую коробку передач, существенно повышающую комфорт вождения, получат следующие автомобили семейства: седан и седан "кросс", SW и "SW-кросс". С выходом новой модели в цветовой гамме "Весты" появится новый синий цвет, названный "Дайвинг".

●

Свой автомобиль с автоматической трансмиссией выводит на рынок УАЗ. Здесь для семейства "Патриот" использована шестидиапазонная автоматическая коробка "Пух Пауэрглайд 6L50" французского производства с электронным управлением и режимом принудительного переключения передач, обладающая внушительным запасом прочности: пик по мощности и крутящему моменту составляет 320 л. с. и 500 Н·м соответственно. Коробка работает в паре с обновлённым двигателем "ЗМЗ Про", развивающим 149,6 л. с. мощности и 235 Н·м крутящего момента. Модернизированный 2,7-литровый бензиновый агрегат получил улучшенную систему охлаждения, а также новые опоры, заметно снижающие уровень шумов и вибраций. Версия с автоматической трансмиссией более экономична. Так, при движении по шоссе с постоянной скоростью 90 км/ч расход топлива удалось снизить на 2 л/100 км.

Старту серийного производства модели предшествовал полноценный цикл ресурсных испытаний в реальных условиях. На финальном этапе в тестах приняли участие представители СМИ, блогеры и потенциальные клиенты во многих городах России. Обновлённый автомобиль доступен по цене от 1 034 000 р. в четырёх вариантах оснащения — "оптимум", "премиум", "статус" и "Эдишн I". Базовая комплектация включает две подушки безопасности, АБС с электронной системой распределения тормозных усилий, рулевую колонку с регулировкой по вылету и углу наклона, кондиционер, охлаждаемый перчаточный ящик, подогрев зеркал заднего вида и дополнительный отопитель салона. Версию "премиум" (за 1 180 000 р.) отличают электронные системы стабилизации курсовой устойчивости, контроля торможения в повороте, помощи при старте на подъеме, климат- и круиз-контроля; сигнализация с дистанционным управлением центральным замком. Более высокий уровень ездового комфорта обеспечивают регулировка водительского сиденья по высоте, атермальное остекление, подогревы ветрового стекла, передних и задних кресел, а также мультифункционального рулевого колеса с кожаной отделкой. Мультимедийный комплекс с семидюймовым сенсорным дисплеем, навигацией и 6 динамиками работает под управлением операционной системы "Андроид".

Комплектация "статус" (1 268 000 р.) подразумевает кожаную отделку сидений, задний подлокотник с подстаканниками, регулировку поясничного подпора водительского кресла, камеру заднего вида с динамической разметкой, передние и задние парковочные датчики, 18-дюймовые легкосплавные колёсные диски оригинального дизайна и рейлинги на крыше. Топовую позицию в прайс-листе (1 298 000 рублей) занимает флагманский вариант исполнения "Эдишн I". Имиджевую составляющую внедорожника подчеркивают эксклюзивный цвет кузова "Серый Титан", передние кресла новой конструкции с выраженной боковой поддержкой, отделкой чёрной или коричневой перфорированной кожей и эффектным тиснением на спинках, а также текстильные салонные коврики с логотипом специальной серии. "УАЗ Патриот Эдишн I" выпущен ограниченным тиражом в 300 автомобилей, каждый из которых имеет уникальный порядковый номер на хромированной табличке возле селектора "автомата". На все автомобили распространяется официальная гарантия производителя — три года или 100 тыс. км пробега.

●

Ярославский моторный завод выпустил 100-тысячный двигатель ЯМЗ-530. Юбилейным мотором, сошедшим с конвейера ЯМЗ, стал четырёхцилиндровый газовый двигатель экологического класса "Евро-5", предназначенный для комплектации среднетоннажного автомобиля "ГАЗон Некст".

Производство средних рядных 4- и 6-цилиндровых двигателей семейства ЯМЗ-530 мощностью от 120 до 330 л. с. — ведущий инвестиционный проект "Автодизеля". Начавшее работу в 2012 году производство данного семейства стало значимым проектом импортозамещения в российской автомобилестроительной отрасли. Новый завод оснащён самым современным технологическим и инженерным оборудованием. Уровень автоматизации производственного комплекса ЯМЗ-530 достигает 90 %. Производство сертифицировано в соответствии с требованиями международной системы качества IATF 16949. Инвестиции "Группы ГАЗ" в проект составили свыше 11 млрд рублей.

Торжественный пуск производства нового продукта — газовых двигателей ЯМЗ-530 состоялся на этой площадке в 2016 году. Конструкция мотора содержит современную систему питания газом, включая многоточечную подачу газа с микропроцессорным управлением. В 2017 году специалисты ЯМЗ разработали прототип дизельного двигателя ЯМЗ-530 экологического стандарта "Евро-6", который впервые был продемонстрирован в 2018 году на выставке коммерческого транспорта в Германии. В 2018 году на "Автодизеле" началось создание нового экспериментального центра для проведения стендовых испытаний двигателей экологического стандарта "Евро-6".

Производство двигателей ЯМЗ-530 постоянно растёт. За пять лет работы производственной площадки объём выпуска увеличился более чем в три раза: с 7 тыс. двигателей в 2013 году до 24 тыс. двигателей в 2018 году. "Автодизель" модернизирует и расширяет производство для увеличения выпуска двигателей семейства ЯМЗ-530 — введены в эксплуатацию новые станки для механической обработки базовых деталей. Сегодня инвестиции "Автодизеля" направлены на расширение мощностей производственного комплекса по выпуску моторов ЯМЗ-530.

●

МАЗ-МАН освоил выпуск машин для противообледенительной обработки воздушных судов ("деайсер"). Новинка призвана решить проблему оснащения аэропортов техникой, необходимой для соблюдения норм безопасности полётов в холодное время года. Машина с индексом МП11А24-СВВ появилась в результате совместной работы с белорусской компанией "ТехПро инжиниринг" и её партнёром из США. В СП ЗАО "МАЗ-МАН" было изготовлено по индивидуальному заказу шасси МАЗ-МАН 632056, которое затем было отправлено в США, где на нём установлено специальное оборудование. Второй экземпляр машины планируется полностью собрать в Минске, о чём есть договорённости с американским партнёром. По словам представителя СП, шасси для него уже изготовлено.

Шасси для этой специальной машины имеет ряд особенностей. Колёсная формула — 6×4, однако на нём установлен двигатель МАН D0836LFL65 мощностью 250 кВт (340 л. с.), соответствующий экологическим нормам "Евро-5". (Обычно на шасси 6×4 используются моторы большей мощности.) Пожалуй, впервые шасси МАЗ-МАН оснащено автоматической коробкой передач "Аллисон 3000" с гидротрансформатором. Имеется система ограничения и поддержания заданной скорости "Темпомат". Отличительной особенностью машины является возможность управления движением автомобиля прямо из "корзины" — кабины оператора установки.

На машине установлены три термоизолированных бака для воды (6800 л), антиобледенительной жидкости (Тип-1) — 2300 л, противообледенительной жидкости (Тип IV) — 1500 л. Для нанесения жидкости на поверхность воздушного судна используется "Система Воздушного Взрыва", представляющая собой комбинацию обычной обработки и потока сжатого воздуха высокого давления. Это многократно повышает эффективность воздействия на ледяную корку.

●

На базе двухосного (4×4) шасси КрАЗ-5233НЕ создана лаборатория для исследования нефтяных и газовых скважин. Кузов-фургон с оборудованием смонтирован заводом спецтехники "Техкомплект", который постоянно заказывает автотехнику для изготовления различной коммунальной техники, автогидроподъёмников, автотопливозаправщиков, аварийно-спасательных машин. Кузов изготовлен из цельных сендвич-панелей, каркасного типа, соединённых между собой, что позволяет успешно выдерживать нагрузку во время движения по пересечённой местности.

Автомобиль-шасси повышенной проходимости КрАЗ-5233НЕ предназначен для монтажа установок промышленного назначения, а также специальных надстроек с технологическим оборудованием, которые используются для ликвидации аварий, пожаров, других техногенных катастроф, доставки людей и модулей жизнеобеспечения в условиях труднодоступной местности. Автомобиль имеет металлическую трёхместную кабину капотной компоновки, рядный, 6-цилиндровый, турбонаддувный дизель мощностью 375 л. с. (Евро-5), девятиступенчатую, двухдиапазонную коробку передач, тормозную систему с АБС.

●

Выставка "*КамАЗ и город — полвека вместе*", посвящённая 50-летию компании, открылась в Историко-краеведческом музее города Набережные Челны. Увидеть здесь можно не только экспонаты, хранящиеся в фондах самого музея. Исторические фотографии, документы также предоставили музей КамАЗа и ветераны автогиганта. Полное впечатление об эпохе ударной комсомольской стройки поможет составить одежда того времени: экипировка бойцов студенческих стройотрядов, спецодежда, джинсовки с жёлтой эмблемой-грузовиком участников сборки первого КАМАЗа, легендарные "целинки" — куртки первостроителей, на которых белой краской написаны названия городов, откуда они приехали. Посетители могут сфотографироваться в костюме гонщика команды "КамАЗ-мастер", посидеть в кабине-трансформере КамАЗ-2020 и даже постоять там в полный рост, что позволяет это сделать почти двухметровая высота потолка. Планируются лекции по истории предприятия. Выставка продлится до конца январских школьных каникул.

/По информации пресс-служб предприятий/

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.113/115

К ВОПРОСУ О ТРАНСПОРТНОЙ ЭКОЛОГИИ

Д-р техн. наук **ПЕТРУШОВ В.А.**
НАМИ (petrushov@nami.ru)

Россия длительное время не имеет промышленной программы, от которой можно было бы в обозримый период ожидать реального улучшения транспортной экологии, включая электромобили и беспилотные автомобили высших уровней по ISO. Поэтому возрастает актуальность воздействия на топливную экономичность растущего многомиллионного парка автомобилей с ДВС. Предложены мероприятия такого воздействия.

Ключевые слова: *экологически чистый транспорт, парниковые, тепловые токсичные выбросы, нулевая эмиссия, канцерогенная шинная пыль, аэродинамическое сопротивление, сопротивления качению шин, парки автомобилей, энергоресурсы.*

Petrushov V.A.

TO THE QUESTION OF TRANSPORT ENVIRONMENT

The article draws attention to the fact that for a long time Russia does not have an industrial program from which one could expect a real improvement in the transport ecology, including electric and unmanned vehicles of higher levels according to ISO, for the foreseeable period. Therefore, the relevance of the impact on the fuel efficiency of the growing multi-million par fleet of cars with internal combustion engines increases. The activities of such exposure are proposed.

Keywords: *environmentally friendly transport, greenhouse, thermal and toxic emissions, zero emission, carcinogenic tire dust, aerodynamic resistance, rolling resistance of tires, car parks, energy resources.*

В настоящее время глобальный энерго-экологический конфликт между транспортом, социумом и природой достиг критических масштабов как по своему уровню, так и по темпам нарастания его годовых по-

казателей. Тепловые выбросы мирового автомобильного парка превысили 4,1 ТВт, что является следствием сжигания 2900 млн т моторных топлив. Эти выбросы являются существенным вкладом в антропогенное воздействие на таяние арктических льдов с поступлением в атмосферу огромных дождевых и градовых масс, всё чаще порождающих небывалые осадки с затоплением значительных территорий в странах северного полушария [1]. В России эти явления учащаются на фоне отсутствия в стране программы улучшения транспортной экологии. Факт её отсутствия длительное время ретушировался финансированием работ по электромобилям и интеллектуальному транспорту. Однако в статье [2] и ряде зарубежных источников, обобщённых в работе [3], показано, что замена парка автомобилей с ДВС на электромобили бесперспективна. Журналистский ажиотаж продвижения электромобилей и дискуссии специалистов затуманили элементарную логику созидания: *основными параметрами автомобиля, влияющими на сопротивления его движению и потребляемую им энергию двигателя, являются коэффициент аэродинамического сопротивления C_X и коэффициент сопротивления качению C_r.* Замена ДВС автомобиля с топливным баком на электродвигатель с аккумулятором его аэродинамические качества не улучшает, а сопротивления качению увеличивает — в среднем на 20 %, т.е. пропорционально утяжелению за счёт аккумуляторов. Таким образом, *мощность сопротивлений движению и, следовательно, потребляемая энергия при одинаковых размерах парков у электромобиля на 20 % выше, чем у поршневого.*

Что касается суммарных расходов топлива, тепловых выбросов и эмиссии основного парникового газа, то их объём определяется следующим. В отличие от парка автомобилей с ДВС, содержание будущего полноразмерного парка электромобилей означает *одновременный расход государственных ресурсов сразу двух видов* [2, 3]: во-первых, это та *дополнительная электроэнергия*, для получения которой должны быть построены новые электростанции, причём с 20...30-процентным запасом по мощности; во-вторых, *ресурсы, расходуемые на её выработку*, в виде строительства новых тепловых электростанций и расхода углеродосодержащих топлив на них (65 %), новых гидроэлектростанций, с ущербом природе и социуму от затопления полезных площадей, новых атомных электростанций, с увеличением опасного социоэкологического потенциала в виде роста добычи и расхода урана для урановых стержней и накоплением отработавшего ядерного топлива.

Мировой автомобильный парк с ДВС к 2040 году составит не менее 1,85 млрд шт. с потреблением углеродосодержащих топлив около 4466 млн т с энергией 6300 ГВт. Это мощность электростанций, которые надо построить (в дополнение к существующим источникам в 4500 ГВт) для *полной замены* автомобилей электромобилями. С задачами таких масштабов мировая экономика не справится, даже если во имя сделанных заявлений правительства проявили бы полную солидарность [2]. Показанные глобальные пропорции характерны и для большинства стран развитой автомобилизации. Продолжающийся стремительный рост автомобильных парков привёл к тому, что по мощности энергопотребления автомобильные парки в большинстве стран превосходят мощности электростанций. Следовательно, замена традиционных автотранспортных средств электрическими в масштабах вышеупомянутых стран нуждается, как минимум, в удвоении мощности электростанций. Поможем же некоторым преподавателям вузов и журналистам осознать конкретику деяний для реализации их представлений об "электромобильной России". К 2040 году у нас сформируется автомобильный парк с ДВС численностью порядка 85 млн шт. общей мощностью 172 ГВт. Его "предстоит" заменить на такой же парк электромобилей мощностью на 20 % большей (206 ГВт). Для этого потребовалось бы повторить весь исторический путь создания энергосети РФ, но на 40 % мощнее существующей сейчас (147 ГВт). А это значит, что надо построить свыше тысячи новых электростанций, в том числе подобных 35 крупнейшим, таким как Саянская, Красноярская и Братская ГЭС (6,4...4,5 ГВт), Балаковская, Курская и Ленинградская АЭС (все по 4 ГВт), Сургутская, Рефтинская и Костромская ТЭС (5,6...3,6 ГВт) и предусмотреть массовый расход углеродосодержащих топлив для всех новых тепловых электростанций. Несложно представить себе всю картину экономического и трудового напряжения страны во имя обеспечения электроэнергией гигантского гипотетического парка электромобилей, которые, напомним, транспортом нулевой эмиссии отнюдь не являются [2, 3], которых потребитель покупать не стремится, а промышленность массового производства не планирует. Министр энергетики Великобритании Эмбер Радд ещё в 2016 году заявил: *"Чтобы удовлетворить рост спроса на электроэнергию, в Британии понадобится построить 10 тыс. ветряных турбин, или десять новых атомных электростанций. Других вариантов нет и быть не может. Строительство АЭС может обойтись казне в более чем 200 млрд фунтов стерлингов".* Такой вывод является следствием того, что, как отмечено выше, по мощности энергопотребления в развитых странах парки автомобилей превосходят суммарные мощности электростанций.

Всё, что сказано здесь и в цитируемых статьях об электромобилях, относится также и к *беспилотникам на шасси электромобилей*. Данное транспортное средство — тот же электромобиль со всеми его недостатками, но с добавлением проблематики ближней лазерной локации [6]. По мнению зарубежных и отечественных специалистов, решающих последнюю задачу на академическом уровне, промышленно-транспортное освоение её результатов займёт не менее 10 лет. Что касается беспилотника на шасси автомобиля с ДВС, экологических преимуществ перед последним он не имеет. Оба варианта беспилотников имеют общую черту: они "слепнут" при дожде, снеге, в тумане и дыму [4, 5], т. е. именно там, где от них ждут снижения аварийности, травматизма и смертности. Нет ответа и на простой вопрос: как будет в заснеженные зимы выполняться главное условие идентификации местности беспилотным автомобилем при сравнении

визуализируемой картины с ранее заснятой без снежного покрова. Зато можно слышать мечты о том, как "робомобиль", отвезя хозяина на работу, поработает днём в режиме такси, свозит жену на рынок и вечером вернётся, чтобы доставить его домой.

Всё кратко затронутое выше создаёт большой инвестиционный риск несоответствия такой "транспортной системы будущего" техническим требованиям к её надёжности в странах с обильными осадками и снежной зимой. Что касается России, то она уже длительное время не имеет программы улучшения транспортной экологии, и, если не принять мер, в обозримый период положение не изменится. Между тем за десятилетний период многомиллионного финансирования электромобилей и другого альтернативного транспорта масштабы потребления моторного топлива и, следовательно, объёмы сжигания кислорода и эмиссии основного парникового газа CO_2 из-за неуклонного роста автомобильного парка, увеличились в стране на 23 % (с 65,6 млн т в 2010 году до 80,6 в настоящее время). Эти данные, собранные по публикациям "Автостата", совпадают с оценками портала *"Motor Page"* [7], согласно которым уровень потребления моторных топлив растёт в стране в среднем на 2,3 % в год. Отсюда становится ясной актуальность мероприятий воздействия на топливную экономичность многомиллионного парка автомобилей с ДВС.

В работах [8, 9] и разделе "Потенциал транспортной экологии — в парке автомобилей с ДВС" статьи [2] показано, что соотношения между сопротивлениями качению автомобиля, аэродинамическими сопротивлениями и потерями в двигателе в среднем соотносятся как 45:36:18 %. То есть 70—80 % энергии топлива, превращаемой в итоге в тепловые и токсические выбросы, формируется сопротивлениями качению шин и аэродинамикой автомобиля. Шины автомобилей по потенциалу снижения тепловых и токсических выбросов автомобильного парка, выгорания атмосферного кислорода и расходов моторного топлива превосходят потенциал автомобильных двигателей и теоретический потенциал электромобилей [10]. Таким образом, автомобильные шины — главный, после двигателя, автокомпонент, формирующий параметры транспортной экологии страны, её ресурсо- и природосбережение (масштабы расхода моторных топлив, тепловых, парниковых и токсических выбросов). Парадоксальность этого тезиса раскрывается гигантскими размерами парка автомобильных шин в 310 млн шт., катящихся по дорогам страны и являющихся основным носителем упомянутого потенциала. Дополнительно это подкрепляется и тем, что у ДВС, прошедших 27-летний путь развития от "Евро-1" до "Евро-6", в значительно большей степени, чем у шин, потенциал совершенствования уже реализован.

В настоящее время упомянутому выше потенциалу наносится непрерывный ущерб. *Переключение внимания на темы "электромобиль" и "беспилотник" привело к накоплению нерешённых вопросов в сфере контроля качества импортируемых и производимых экологически значимых автокомпонентов, поступающих в эксплуатируемый парк.*

Следующие ситуационные особенности этой сферы требуют внимания компетентных органов.

1. Ликвидировано испытательное оборудование головного НИИ шинной отрасли НИИШП. Этим воспользовались свыше десятка организаций, "сертифицирующих" шинную продукцию "с помощью авторучки" и пользующимися для этого правилом о взаимном признании результатов странами-участницами Женевского Соглашения.

2. В стране уже несколько лет среди многочисленных испытательных центров и лабораторий нет ни одной полностью независимой от производства аккредитованной лаборатории, оснащённой стендами для измерений сопротивлений качению автомобильных шин. Исключение составляет ООО Шинный испытательный центр "Вершина" ... на территории Ярославского шинного завода. Этот центр располагает достаточно современными стендами фирмы *VMI* для измерений сопротивлений качения легковых и грузовых шин. Аналогичное оборудование имеет ООО НТЦ "Кама" Нижнекамского шинного завода. Однако предоставление заявителям более "удобных" для них процедур сертификации шин многочисленными организациями, не имеющими контрольного оборудования, снизило влияние упомянутых испытательных центров на формирование экологических параметров отечественного парка эксплуатируемых шин.

3. Формы сертификатов и извещений о соответствии в настоящее время не охватывают задач экологического контроля наполнения шинного парка страны. Это предопределяет целесообразность разработки системы, ответственной за наполнение эксплуатируемого шинного парка по энергетическим и экологическим параметрам. Это, в особенности, касается шинного импорта, выборочный инструментальный контроль которого в стране должен быть, наконец, организован.

4. Для РФ представляет безусловный интерес стратегия стандартизации энергоэкологических параметров шин, применяемая рядом стран для экологической защиты собственных рынков. Основным принципом такой стратегии является применение национального стандарта, который не избавляет заявителя, имеющего международный сертификат качества, от получения национального сертификата. В этих странах поняли, что привлекательный для производителей многих стран "щадящий" уровень требований Правил ЕЭК ООН, на практике оборачивается инструментом устранения препятствий ввоза в такие страны продукции "небрендового" качества лидирующих экспортеров, которые оставляют шины передового уровня на рынках собственных стран, защищённых, например, директивами ЕС. Так, для стран стремительного роста автомобильных парков характерны меры самозащиты от контрафактной и экологически вредной шинной продукции. ЕС запустил в 2015 году проект *"MSTY15"* по созданию системы инструментального контроля данных, выставляемых самими производителями на этикетках по ЕС 1222. Предполагается создание международной базы данных и правил предъявления судебных исков при выявлении несоответствий. В Китае

действует (с 01.08.2003) обязательная сертификация шин трёх категорий перед отгрузкой с завода-изготовителя или перед выпуском на таможенную территорию страны. *Несмотря на членство КНР в ряде международных организаций, наличие международного сертификата качества не освобождает заявителя от получения национального сертификата. Характерно, что для процедуры сертификации, основанной на тщательном документально оформленном тестировании, отводится 90 дней.* Представители Бразилии, в которую Нижнекамский и Ярославский шинные заводы экспортируют свои шины, приезжают на эти заводы для контроля производства в соответствии с международными правилами, имея в то же время национальные ужесточения сертификационных требований.

5. Перечисленные выше задачи могут быть решены организацией в составе ФГУП "НАМИ" единого, полностью независимого от производства, испытательно-исследовательского Центра высокого уровня современной инструментальной оснащённости и международного авторитета, на который могли бы опираться подразделения Росстандарта и ФСА при контроле технической достоверности выдаваемых сертификатов. Институт по своему международному опыту, компетентности, научному заделу и независимости от производства является практически единственным претендентом на эту роль. Им разработана программа реального снижения расходов моторного топлива, тепловых и токсических выбросов автомобильного парка страны, научные основы которой одобрены Рабочей группой "Риск и безопасность" при Президенте РАН и НТС "НАМИ". Регуляторные меры, предложенные институтом, одобрены для международной практики рабочими группами Всемирного Форума WP.29 ЕЭК ООН и применены в структуре директивы ЕС 1222. В институте накоплен значительный опыт исследований автомобильной энергетики (шины, аэродинамика, топливная экономичность). Именно это направление — один из основных векторов работы зарубежных исследовательских центров автомобильных компаний и ассоциаций типа *ETRTO*. Имеется опыт совместных исследований с лабораториями шинных заводов Нижнекамского, Кировского, Омского, Ярославского по разработке новых методов контрольных испытаний, приборов и стандартов, а также международного сотрудничества по проблеме (*UTAC, "Мишлен", "Марангони-VMI"*).

6. На независимый испытательно-исследовательский Центр должны быть возложены: разработка методов контроля диссипации энергии автомобильным транспортом; развитие теории и научно-методическое обеспечение внедрения новых методов и оборудования для измерения сопротивлений качению лабораториями отечественных шинных и автомобильных заводов, обеспечение координации национальных и международных разработок и технического законодательства в этой сфере по линии ЕЭК ООН, ISO и ЕС; ведение системы учёта и базы данных, обеспечивающих государственный контроль и управление процессом наполнения парка эксплуатируемых шин продукцией с инструментально подтверждённым соответствием экологическим требованиям национальных стандартов — системы, согласованной с Росстандартом; ведение пакета национальных стандартов, регламентирующих нормы сопротивлений качению автомобильных шин и методы их определения в стендовых и дорожных условиях, обеспечивающих защиту национальных экологических интересов России, в необходимых случаях с более жёсткими нормами, чем в правилах ООН.

Главной задачей Центра должно быть достижение реального инструментально контролируемого улучшения экологических параметров транспортной экологии страны путём уменьшения потребления автомобильного топлива на 9—10 % с экономическим годовым эффектом более 300 млрд рублей. Одновременно были бы снижены: тепловые выбросы на 10,4 ГВт, выгорание атмосферного кислорода на 16,6 млн т эмиссии основного парникового газа на 22,7 млн т с экологическим эффектом по методике МАДИ-НАМИ 2,9 трлн руб. Как показано в работах [2, 3], это реально достижимо путём снижения среднего по парку коэффициента C_r на 33 %, путём контролируемого перехода от шин с C_r = 12 Н/кН (текущий средний уровень для легковых шин) на шины с C_r = 8 Н/кН (этот уровень промышленностью освоен, но не везде контролируется). Кроме того, снижение коэффициента C_r на каждые 10 % обеспечивает уменьшение на 20—40 % износа шины и, следовательно, такое же снижение выбросов канцерогенной шинной пыли. Мероприятие в целом не требует капитальных затрат, так как может опираться на то, что легковые и грузовые шины с указанными C_r нашими заводами уже освоены. Бренды шинной промышленности ("Мишлен", "Пирелли") имеют уровень C_r = 6 Н/кН, и нетрудно видеть, какие перспективы открывает его освоение нашей шинной подотраслью.

Литература

1. Ганиев Р.Ф., Ипатов А.А., Романов А.Н., Петрушов В.А. Автомобиль и глобальное потепление. Автомобильный транспорт согревает планету интенсивнее промышленности // Проблемы машиностроения и надёжности машин // Российская академия наук, 2011. — № 4. — С. 3—14.
2. Петрушов В.А. Будущее электромобиля // Автомобильная промышленность. — 2019. — № 4. — С. 6—12.
3. Петрушов В.А. Электромобиль против автомобиля (реален ли запрет ДВС?) // Инвестиции в России. — 2019. — № 4. — С. 20—27.
4. Грушников В.А. Перспективы беспилотных колёсных транспортных средств // Автомобильная промышленность. — 2018. — № 12. — С. 5—10.
5. Facenews: "Беспилотные авто не справляются с плохой погодой", "Bloomberg", 20.09.2018.
6. Мусьяков М.П., Мищенко И.Д., Ванеев Г.Г. Проблемы ближней лазерной локации. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
7. MOTOR PAGE: "Российские автомобили сожгли за год 84 миллиарда литров топлива", 21 апреля 2015.
8. Петрушов В.А. Автомобили и автопоезда. Новые технологии исследования сопротивлений качению и воздуха. М.: Торус-пресс, 2008. 352 с.
9. Petrushov V.A. Coast Down Method in Time and Distance Variables for Tire Rolling Resistance Determination // SAE Paper № 2009-01-0072.
10. Петрушов В.А. Конкретные возможности мероприятий платформы "Электромобиль" и программы "Зеленая шина" // Журнал автомобильных инженеров. — 2015. — № 6 (95). — С. 28—30, с продолжением в № 7 (96) и 8 (97).

УДК 62.629

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГРМ ЧЕТЫРЁХТАКТНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ДВС

Д-р техн. наук **СЛИВИНСКИЙ Е.В.**,
канд. техн. наук **РАДИН С.Ю.**
Елецкий ГУ имени И.А. Бунина (47467. 6-40-84)

Описана конструкция перспективного газораспределительного механизма четырёхтактного ДВС преимущественно для легковых автомобилей и приведены результаты расчётов по обоснованию эффективности его использования в практике.

Ключевые слова: *клапан, распределительный вал, плита, кулачок, коромысло, пружина.*

Slivinsky E.V., Radin S.Yu.

MODERNIZATION TIMING FOUR-STROKE AUTOMOTIVE ENGINE

In the presented article describes the design of the prospective timing of the four stroke internal combustion engine, mainly for passenger cars and numerical results to validate the effectiveness of its use in practice.

Keywords: *valve, camshaft, plate, Cam, rocker, spring.*

Обычно газораспределительные механизмы автомобильных двигателей состоят из впускного и выпускного клапанов, каждый из которых выполнен в виде стержня, плавно переходящего в головку. Последняя по своей образующей снабжена рабочей поверхностью, взаимодействующей с седлом клапана, запрессованным в головку блока цилиндров (или сам блок у нижнеклапанных двигателей). Стержни клапанов подвижно расположены в направляющих втулках, также запрессованных в головку блока (или блок соответственно). Каждый из клапанов подпружинен и управляется с помощью толкателей, взаимодействующих с распределительным валом. С помощью клапанов за четыре хода движения поршня происходит заполнение цилиндров горючей смесью, её сжатие, горение с расширением и выпуск отработавших газов. Заполнение горючей смесью происходит через впускной коллектор, а выпуск отработавших газов — через выпускной.

Механизм довольно эффективен, однако обладает существенным недостатком: в случае возможного отказа в механизме привода распределительного вала, часть клапанов останется открытыми и, соударяясь с поршнями, деформируется, что на практике приводит к дорогостоящим ремонтам двигателей. Учитывая актуальность проблемы, в части совершенствования конструкции ГРМ для ДВС используемых в различных моделях как легковых, так и грузовых автомобилей, в СКБ ЕГУ имени И.А. Бунина на протяжении ряда лет проводится бюджетная НИР на тему "Динамика, прочность и надёжность транспортных, строительно-дорожных и сельскохозяйственных машин, а также стандартного промышленного и нестандартного оборудования, используемого в Чернозёмном регионе Российской Федерации", одно из направлений которой посвящено совершенствованию конструкции ДВС, используемых в различной транспортной технике и созданных на уровне изобретений.

Анализ многочисленных библиографических источников, а также отечественных и зарубежных патентов позволил разработать на уровне изобретения (RU2500898) перспективную конструкцию газораспределительного механизма для ДВС обладающего повышенной эффективностью использования в сравнении с известными техническими решениями.

Так, на рис. 1 показан газораспределительный механизм четырёхтактного ДВС — вид сверху и его сечение по А-А. Механизм состоит из головки *1* блока *2* цилиндров *19*, на которой размещена плита *3*, связанная с помощью шарниров *4* с головкой блока. На плите жёстко закреплены передняя опора *5*, средняя опора *6*, задняя опора *7* и промежуточные опоры *8*, в которых подвижно установлен распределительный вал *9* с кулачками *10* и оси *11* коромысел *12*, взаимодействующих с клапанами *14*, подпружиненными пружинами сжатия *13*. Клапаны подвижно расположены в направляющих втулках *15*, установленных в головке блока цилиндров, которая также снабжена впускным каналом *16* и выпускным *17*. Распределительный вал снабжён звёздочкой *18*.

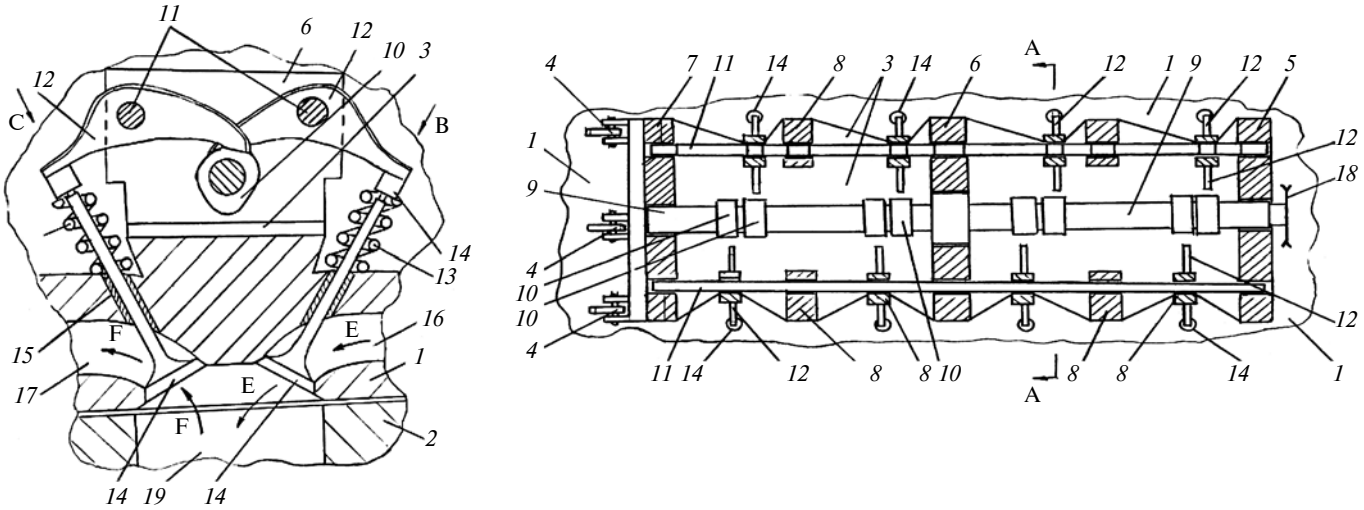


Рис. 1. Перспективный газораспределительный механизм ДВС по патенту RU2500898

№	Формула	Примечания
1	$P = \frac{102N}{V} = \frac{102 \cdot 52{,}5}{31{,}4} = 170{,}4$ кг = 1704 Н	—
2	$P_ц = \frac{qV^2}{g} = \frac{0{,}45 \cdot 31{,}4^2}{9{,}81} = 45{,}23$ кг = 452,3 Н	$q = 0{,}45$ кг — собственная масса 1 м пог. цепи; g — ускорение свободного падения
3	$P_f = K_f qA = 1 \cdot 0{,}45 \cdot 9{,}81 = 4{,}41$ кг = 44,1 Н	$A = 0{,}32$ м — межцентровое расстояние передачи; $K_f = 1$ — коэффициент провисания цепи
4	$P_{общ} = PK_э + P_ц + P_f = 170{,}6 \cdot 1{,}25 + 45{,}23 + 4{,}41 = 270{,}4$ кг = 2704 Н	$K_э = K_1K_2K_3K_4K_5K_6 = 1{,}0 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}25 = 1{,}25$

Работает такой газораспределительный механизм следующим образом. При вращении коленчатого вала двигателя его звёздочка через цепь (на рисунке указанные детали не показаны) передаёт вращающий момент на звёздочку *18*, а так как она жёстко закреплена на распределительном валу *9*, то он получает вращение в этом же направлении. При этом за счёт натяжения цепи устройством автоматического натяжения плита *3* плотно прижата к головке блока цилиндров и поэтому вращение распределительного вала и его кулачков *10* обеспечивает ход клапанов *14* по стрелкам *B* и *C*. Такой их ход позволяет наполнить рабочей смесью, поступающей по стрелке *E*, цилиндры двигателя и удалить отработавшие газы по стрелкам *A* из последних. В этом случае ход клапанов создаёт условия по выполнению двигателем автомобиля заданные режимы его движения. В тех случаях, когда возникла аварийная ситуация, вызванная обрывом или разрушением цепи привода звёздочки, и когда какие-то из клапанов зависли в незакрытом положении, то поршни двигателя (на рисунке не показаны) входят в контакт с последними. Однако деформации или поломки их в предложенном нами техническом решении не произойдёт, так как коромысла *12* совместно с опорами *5*, *6*, *7* и *8*, распределительным валом и плитой повернутся относительно головки блока цилиндров на некоторый угол на шарнирах *4*. Это и обеспечит сохранение клапанов от повреждения. После того как цепь заменят и она войдёт в контакт со звёздочкой *18*, а также произведут её натяжение, газораспределительный механизм вновь окажется работоспособным.

Технико-экономическое преимущество предложенного технического решения в сравнении с известными очевидно, так как оно позволяет исключить поломку клапанов в случае отказа, вызванного нарушением цепи привода распределительного вала.

Анализ предложенного технического решения показывает, что ответственным конструкционным элементом его является втулочно-роликовая цепь, которая не только передаёт вращающий момент от коленчатого вала двигателя на распределительный вал, но и способствует плотному прилеганию плиты *3* к головке блока цилиндров (рис. 2). Для определения усилия в набегающей ветви цепи привода, необходимого для удержания плиты на головке блока цилиндров и стабильного управления клапанами двигателя в процессе его работы в различных режимах вращения его коленчатого вала использована следующая методика [2]. На ГРМ установлена однорядная втулочно-роликовая цепь с шагом $t = 12$ мм, расстоянием между пластинами $h = 8{,}0$ мм, диаметром ролика $d = 8{,}0$ мм и разрушающей нагрузкой $P = 8000$ Н. Максимальная мощность двигателя $N = 52{,}5$ кВт, окружная скорость цепи при частоте вращения коленчатого вала двигателя $n = 5000$ мин$^{-1}$ составляет $V = 31{,}4$ м/с. Определим окружное усилие, действующее на цепь, по формуле 1 [2], приведённой в таблице.

Определим численное значение силы натяжения цепи от действия центробежных сил по зависимости 2. Вычислим величину натяжения от провисания сбега-

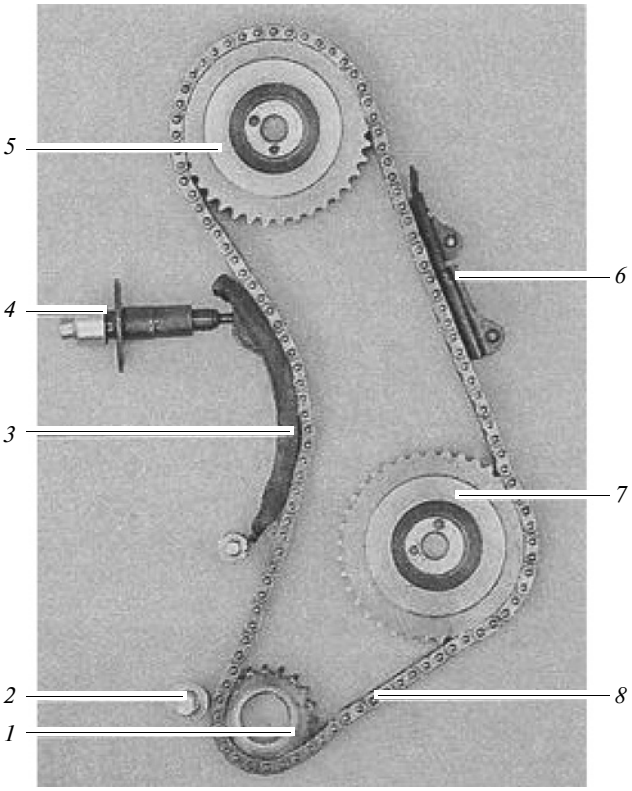


Рис. 2. Общий вид привода ГРМ двигателя ВАЗ-2103:
1 — звёздочка коленчатого вала; *2* — ограничительный палец цепи; *3* — башмак натяжителя; *4* — натяжитель цепи; *5* — звёздочка распределительного вала; *6* — успокоитель цепи; *7* — звёздочка привода валика вспомогательных агрегатов; *8* — цепь

ющей ветви цепи по формуле 3. Затем определим общее усилие, действующее на ведущую цепь по зависимости 4, коэффициенты в которой выбраны из справочника [2 (табл. 54)] и, соответственно, характеризуют: характер нагрузки, вид регулировки межцентрового расстояния, отношение числа звеньев в цепи к сумме зубьев звёздочек, положение передачи в пространстве, механизм смазки и продолжительность работы.

Зная рассчитанные выше параметры, а также допуская, что при работе двигателя постоянно происходит упругая деформация каждой из клапанных пружин усилием порядка 38,0 кг (380 Н), а всего их восемь комплектов, получаем: постоянно приложенную нагрузку $P_{\Sigma} = 270{,}4 + 38{,}0 \cdot 8 = 574{,}4$ кг = 5744 Н. Но так как нагрузка, разрушающая данный тип цепи $Q = 8000$ Н, то запас прочности цепи будет равен: $n = Q/P_{\Sigma} = 8000/5744 = 1{,}39$. Следовательно, при работе двигателя в условиях эксплуатации с учётом завышенной нагрузки, создаваемой пружинами клапанов газораспределительного механизма, прочность цепи будет обеспечена.

Произведём теперь расчёт цепи по износостойкости шарниров, для этого необходимо чтобы для втулочно-роликовой цепи было соблюдено следующее условие [2]: $P \le \frac{pdl_{вт}}{K_э} = \frac{0{,}64 \cdot 10 \cdot 8}{1{,}25} = 409{,}6$ Н $\le 452{,}3$ Н.

Как видим, полученный результат в 1,2 раза ниже, чем вычисленное ранее значение окружного усилия (452,3 Н). Следовательно, износостойкость шарниров цепи обеспечена.

Результаты исследования рекомендуются отечественным и зарубежным научным и производственным структурам, проектирующим, изготавливающим и модернизирующим различные по назначению двухтактные и четырёхтактные ДВС, для возможного внедрения перспективного газораспределительного механизма в практику.

Литература

1. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина и М.Т. Круглова. — М.: Машиностроение. 1990. — 288 с.
2. Гелев Г.Н., Айзен А.М., Карповцев А.Н. Справочник по расчёту цепных передач. М.: Машгиз. 1962. — 172с.

УДК 338.45.01

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНСМИССИИ АКТИВНОГО МНОГОЗВЕННОГО АВТОПОЕЗДА

Д-ра техн. наук **БЕЛОУСОВ Б.Н., КЕЛЛЕР А.В., БАХМУТОВ С.В., ХАРИТОНЧИК С.В.;** канд. техн. наук **БЕРДНИКОВ А.А.**
НАМИ, БНТУ, ВА РВСН имени Петра Великого
(belousovbn@yandex.ru)

Изложены некоторые аспекты построения трансмиссии активных автопоездов на базе мехатронного модульного принципа. Материалы статьи базируются на результатах теоретических и экспериментальных исследований, проведённых авторами и с их участием. Термин "мехатроника" понимается как синтез электромеханики и микроэлектроники, объединённых общим управлением и оптимизированных по общесистемным критериям.

Ключевые слова: *активный автопоезд, мехатроника, модульный принцип, электротрансмиссия, мехатронный модуль и система.*

Belousov B.N., Keller A.V., Bakhmutov S.V., Kharitonchik S.V., Berdnikov A.A.

MAIN FEATURES OF TRANSMISSION FORMATION ACTIVE MULTI-LINKED TRUCK

The article outlines some aspects of constructing the transmission of active road trains based on the mechatronic modular principle. The materials of the article are based on the results of theoretical and experimental studies conducted by the authors and with their participation. In this article, the term "mechatronics" is understood as the synthesis of electromechanics and microelectronics, united by common control and optimized by system-wide criteria.

Keywords: *active road train, mechatronics, modular principle, electric transmission, mechatronic module and system.*

Вопросы разработки основных принципов создания автопоездов — повышения устойчивости движения, управляемости и плавности хода (виброзащиты) — приоритетные в теории автомобиля [1—8]. Уровень развития науки и техники не позволял ранее создать стройную теорию динамики активных поездов и основные принципы формирования трансмиссий тягача, как основного звена, и грузовых звеньев автопоезда. Теперь же — ситуация меняется.

Главной тенденцией развития современных автомобилей можно считать широкое использование в их конструкции мехатронных модулей и систем. Модули эти строятся как симбиоз электрических, электронных, гидравлических составных частей, объединённых системой управления для выполнения единой целевой функции. Таким образом происходит сближение теории и практики создания автомобиля и мобильного робота. Ведь любой мобильный робот (например, высокомобильная телеуправляемая транспортная платформа) представляет собой совокупность трёх больших систем: транспортной, специальной и системы управления. То же самое можно сказать и об автопоезде.

Транспортная система, как автомобиля-автопоезда, так и наземного мобильного робота, представляет собой платформу, предназначенную для монтирования на ней и доставки к месту выполнения операции грузов, а также специального

и/или технологического оборудования. Состоит транспортная система из корпуса, опорно-ходовой части (системы опорно-ходовых модулей), трансмиссии и энергетической установки.

Общий облик транспортного средства в первую очередь определяется типами и конструкцией трансмиссии и используемого движителя, служащих для преобразования в процессе взаимодействия с внешней средой мощности энергетической установки в тяговое усилие, движущее мобильную платформу. Выбор типа трансмиссии и её создание — сложная задача, при решении которой используется множество технических компромиссов.

Конструкции основных систем транспортного средства (силовая установка, трансмиссия, рулевое управление, система подрессоривания, тормозная система и др.) представляют собой сложные технические решения, которые строятся на разных физических принципах и, с точки зрения механики, являются гибридными, а значит могут быть математически описаны однозначно. При этом даже в терминологии нет единого подхода и понимания. Применение единой терминологии при проектировании транспортных средств с мехатронными системами является одной из важных задач прикладной механики. В англоязычной литературе, например, транспортные средства с комбинированными энергоустановками принято называть *hybrid electric vehicle*, т. е. "гибридными электромобилями". *Гибридными*, потому что в энергоустановке используются источники различного типа (вместо теплового двигателя может использоваться и какой-либо электрохимический источник, например, батарея топливных элементов); а *электромобилями* — поскольку присутствует отличительный элемент электротранспортных средств — тяговый электропривод. В России принято придерживаться другой терминологии: если в качестве основного источника энергии транспортного средства используется тепловой двигатель, то его называют *автомобилем с комбинированной энергоустановкой*; в противном случае, когда вместо теплового двигателя используется какой-либо другой источник энергии, например, электрохимический генератор — *электромобилем с КЭУ*.

Таким образом, в данной работе под мехатронными системами транспортных средств понимаются системы, созданные с использованием механических, электрических, гидравлических, пневматических и электронных устройств, имеющих общую целевую функцию по обеспечению одного или нескольких потребительских свойств ТС. Иными словами, современное транспортное средство есть сложная система мехатронных модулей.

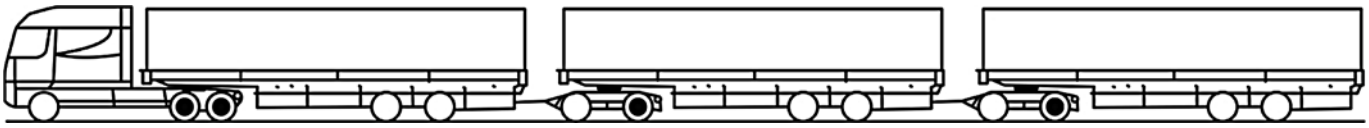
Уже сейчас имеющийся опыт позволяет сделать главный вывод: чисто механическое использование достижений мехатроники положительного эффекта дать не может. Требуется теория, описывающая закономерности функционирования как отдельных систем ТС, их взаимосвязей, так и объекта в целом. Только на базе этих закономерностей может быть построено алгоритмическое и программное обеспечение эффективной работы мехатронных систем. Создание подобной теории как уточнения существующей теории автомобиля и трактора — сегодня одна из главных задач прикладной механики.

Используя общепризнанные принципы членения и модульности, а также и достижения транспортной мехатроники, авторами научно обоснованы основные принципы создания составных частей мехатронной трансмиссии автомобиля [9—19]. Следующим этапом исследования является рассмотрение мехатронной трансмиссии активного автопоезда как единой системы. Научное обоснование общих принципов выбора типа и параметров компонентов и построения электромеханического привода как канала привода колеса подробно приведено в работах [14—23]. Поэтому материал данной статьи затрагивает вопросы построения трансмиссии в каждом звене активного автопоезда.

Один из важнейших принципов методологии науки — принцип членения сложных систем на более простые подсистемы — позволяет более глубоко и детально исследовать простые подсистемы и затем встраивать их в сложную систему. В дальнейшем процессе отрабатываются уже только связи между готовыми подсистемами. Трансмиссию автопоезда с активным приводом колёс можно представить как систему, состоящую из самостоятельных систем звеньев (тягача и полуприцепа/прицепа), имеющих связи между собой. Трансмиссию звена можно представить как комплекс каналов, образующих общий силовой привод колёс. Особенно это характерно для гибких трансмиссий (электромеханических и гидравлических). При этом каждый канал состоит из источника энергии, следящей (управляющей) системы и актуаторов. Подобный подход практически исключает внутренние ошибки при проектировании подсистем. В комплексе силового привода колёс каждая следящая система является практически самостоятельной подсистемой. Данный принцип членения использован при разработке предложений по формированию трансмиссии многозвенного автопоезда с активным приводом колёс.

Для трансконтинентальных грузоперевозок ОИМ НАН Республики Беларусь был создан многозвенный магистральный автопоезд массой 130 т, в состав которого входят три звена: тягач с полуприцепом и две тяговые тележки, также с полуприцепами (рис. 1). По результатам исследований авторов сформулированы общие принципы построения трансмиссии данного автопоезда с использованием мехатронного подхода и принципа членения сложных систем.

По современным требованиям к транспортным средствам трансмиссия этого автопоезда должна обеспечивать активизацию всех колёс, автоматическое управление движением и интерактивное функционирование всех её систем и систем автопоезда. Этим требованиям наиболее полно отвечает электромеханическая трансмиссия. Поэтому предложено реализовать на тягаче (рис. 2, 3) комбинированную гибридную схему электротрансмиссии с тяговым электродвигателем (*ТЭД*) и накопителем электроэнергии (*НЭЭ*), а на тяговых тележках электроме-



а)

б)

Рис. 1. Многозвенный автопоезд:
а — общая схема; *б* — общий вид макетного образца

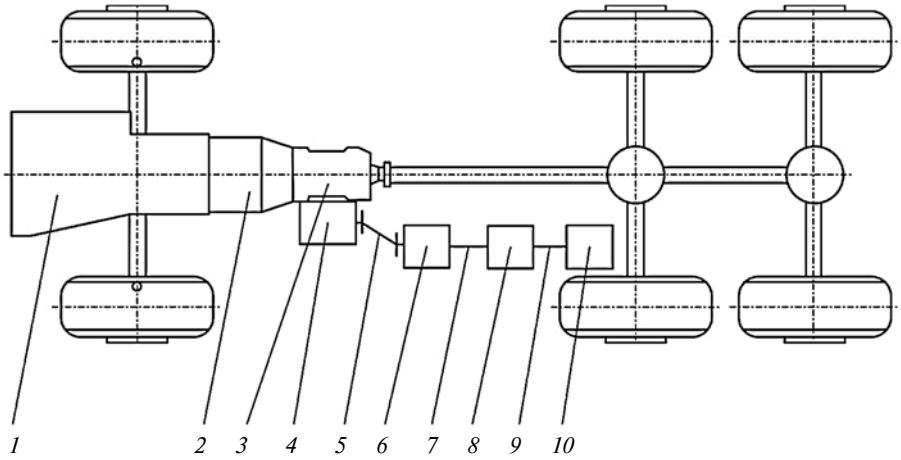


Рис. 2. Схема трансмиссии тягача:
1 — ДВС; 2 — сцепление; *3* — коробка передач; *4* — коробка отбора мощности; *5* — карданный вал; *6* — тяговый электродвигатель; *7* — трёхфазная электролиния; *8* — преобразователь частоты; *9* — двухфазная электролиния; *10* — накопитель электроэнергии

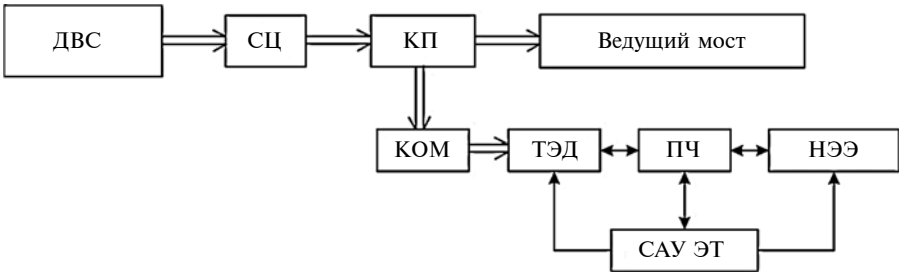


Рис. 3. Блок-схема трансмиссии тягача

ханическую трансмиссию с моторколёсами (*ЭМК*) и также с накопителями электроэнергии на борту (рис. 4, 5). Разумеется, обе электротрансмиссии снабжены системами автоматического управления (*САУ ЭТ*).

Проведённые расчёты показали, что для автопоезда из трёх звеньев полной массой 130 т с перспективными параметрами технической характеристики необходимо иметь мощность источника энергии тягача (ДВС) не менее 236 кВт и источники энергии двух тяговых тележек (ДВС или др.) — не менее 195 кВт на каждую. Рекомендовано использовать источники энергии на тягаче мощностью в 272 кВт и более, а на тяговых тележках — не менее 225 кВт. При этом на собственные нужды, включая рулевое управление, может быть отобрано не более 5 % мощности источника энергии.

На тягаче от ДВС крутящий момент через сцепление передаётся на коробку передач, далее посредством коробки отбора мощности (*КОМ*) через карданный вал на тяговый электродвигатель (обратимый в генератор), соединённый через преобразователь частоты (*ПЧ*) с нако-

пителем энергии. К ведущему мосту момент передаётся также карданным валом.

В качестве альтернативных вариантов коробки передач (табл. 1) были рассмотрены коробки ЯМЗ-239 (с модификациями), ЯМЗ-330 (с модификациями), ZF 16S181 и "ZF Евро Троник II 12 Эктив Спейс 2301". Выбор для сравнения именно этих коробок передач обусловлен их распространённостью и массовым применением на тягачах магистральных автопоездов, в том числе и на МАЗах.

Анализ применения на магистральном автопоезде коробок передач различных типов, как механических, так и автоматических, и учитывая опыт мирового автомобилестроения и особенно белорусской школы (МАЗ и ОИМ НАН РБ) позволил сделать выбор в пользу многоступенчатой механической коробки. Как известно, применение автоматических трансмиссий позволяет облегчить труд водителя и реализовать практически бесступенчатое изменение крутящего момента на ведущих колёсах. Однако оборотной стороной этой медали является усложнение и удорожание трансмиссии, а главное, снижение её КПД, по сравнению с механической трансмиссией. Поскольку, на наш взгляд, для магистрального автопоезда вопрос экономичности является (при условии выполнения обязательных требований по безопасности, экологичности и динамике движения) одним из основных, необходимо, следуя мировому опыту, использовать в предлагаемой гибридной комбинированной трансмиссии именно механическую многоступенчатую коробку передач. Это позволит реализовать изменение крутящего момента, близкое к таковому для автоматической КП, и ряд режимов, недоступных для обычной автоматической трансмиссии (режим старт-стоп, возможность движения с отключенным ДВС и возможность форсирования мощности на колёсах).

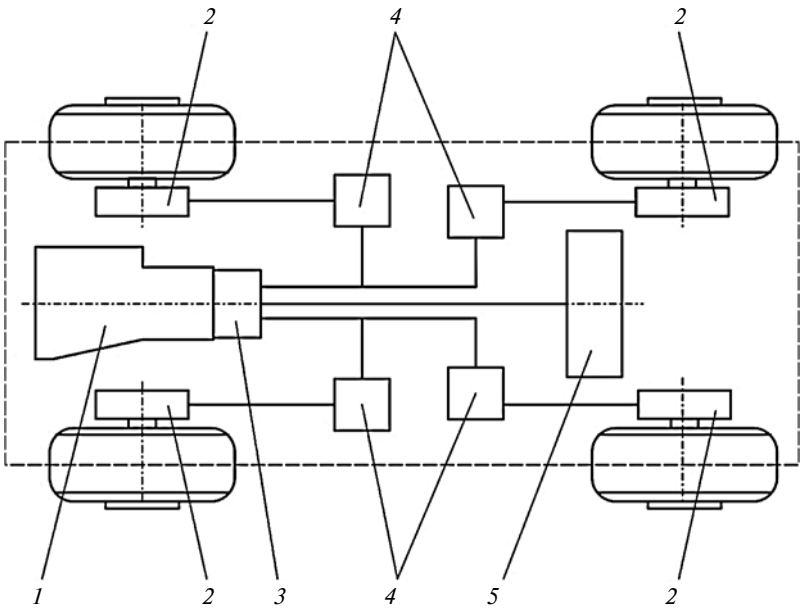


Рис. 4. Схема электротрансмиссии тяговой тележки:
1 — ДВС; *2* — электромотор-колёса; *3* — генератор; *4* — преобразователи частоты; *5* — накопитель электроэнергии

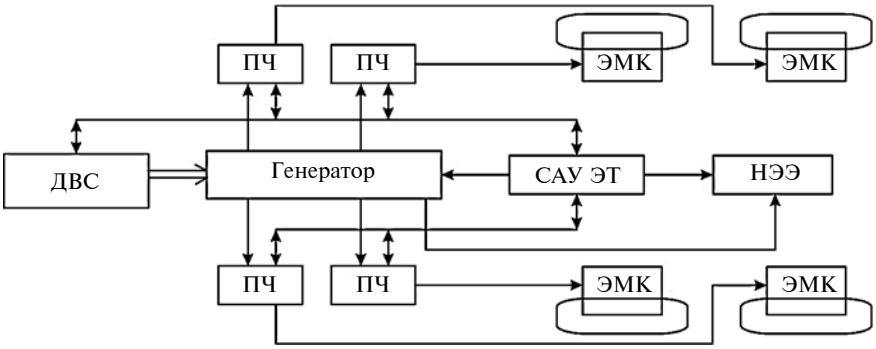


Рис. 5. Блок-схема трансмиссии тяговой тележки

Таким образом, опыт зарубежных разработок гибридных комбинированных трансмиссий, а также исследования, проведённые авторами, указывают на реальную возможность объединения в трансмиссии такого типа всех преимуществ, как автоматических КП (плавное изменение крутящего момента на колёсах), так и механических (высокий КПД).

На основании вышеизложенного, наиболее рациональным вариантом представляется использование в гибридной комбинированной трансмиссии тягача многозвенного автопоезда серийно выпускаемой механической коробки передач. В частности, выбрана 16-ступенчатая, ZF 16S181 (фирмы "Цанрад Фабрик"). Это решение позволяет

Таблица 1

Коробка передач	Максимальный входной крутящий момент, Н · м	Число передач	Масса, кг	Длина, мм	Цена, руб.
ЯМЗ-239	1800	9	385	968	159 000
ЯМЗ-330	2205	14	385	972	276 000
ZF 16S181	1900	16	315	1015	350 000
"ZF ЕвроТроник II 12AS2301"	1600	12	260	900	476 000

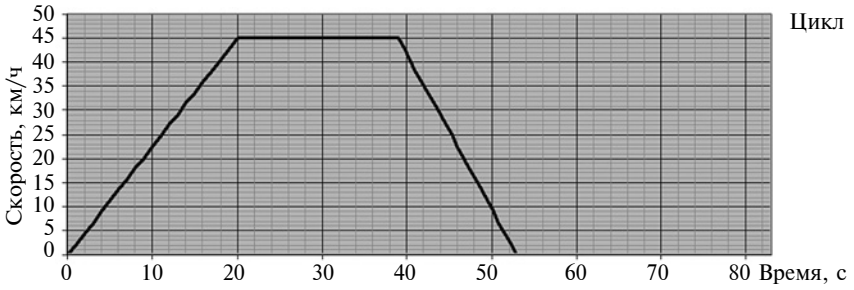


Рис. 6. Цикл НАМИ II

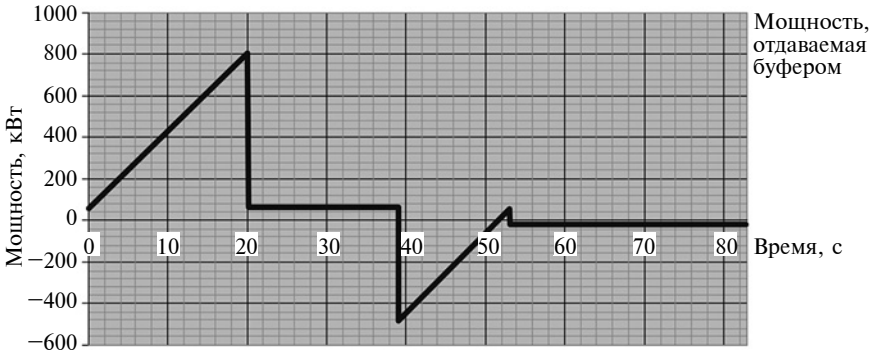


Рис. 7. Мощность, отдаваемая в цикле НАМИ II буферным накопителем тягача

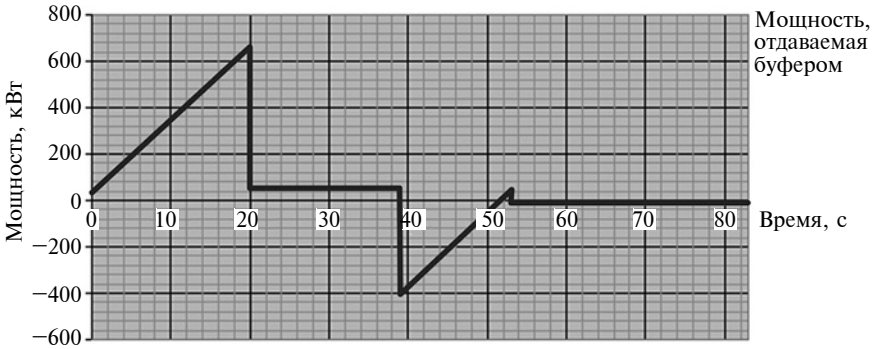


Рис. 8. Мощность, отдаваемая в цикле НАМИ II буферным накопителем тяговой тележки

Таблица 2

№ участка в цикле НАМИ-II	Время начала и окончания, с	Скорость, км/ч (м/с)	Ускорение, м/с^2	Характер движения транспортного средства
1	0—19	0—50 (13,89)	0,731	Разгон с постоянным ускорением
2	19—39	50 (13,89)	0	Движение с постоянной скоростью
3	39—53	50 (13,89)—0	−0,992	Торможение с постоянным замедлением
4	53—83	0	0	Стоянка

использовать в качестве необходимого элемента гибридной трансмиссии и коробку отбора мощности той же фирмы — ZF NMV 221, которая сконструирована для совместной работы с данной коробкой передач. Вариант исполнения коробки передач был выбран на основании сравнительного тягово-динамического расчёта.

Компоновочная схема электротрансмиссии тяговой тележки состоит из ДВС, генератора, преобразователей частоты, электромотор-колёс и накопителя энергии (см. рис. 4, 5). От ДВС крутящий момент непосредственно передаётся на генератор, далее электрическая энергия подаётся на преобразователи частоты и накопители энергии. К ведущим колёсам энергия передаётся через электромотор-колёса.

Для создания эффективного электропривода необходимо, чтобы его разработкой целиком занимался один соисполнитель, тогда параметры этого электропривода будут наилучшими. Анализ использования в электроприводе готовых, серийно выпускаемых компонентов показал, что по массово-габаритным характеристикам они однозначно не подходят для тяговых тележек данного автопоезда.

Расчёт мощности, ёмкости, размеров и массы буферного накопителя тягача и тяговых тележек автопоезда проводился для движения первого, второго или третьего звена по циклу движения НАМИ II (характеристики цикла приведены в табл. 2 и на рис. 6). Длительность цикла составляет 83 с, проходимый за цикл путь 500 м.

С использованием специального программного продукта получены значения мощности отдаваемой буферным накопителем в цикле НАМИ II, а также энергоёмкости накопителя, требуемые при разгоне и торможении транспортного средства. На рис. 7 представлен расчёт мощности, отдаваемой буфером для тягача автопоезда, а на рис. 8 соответственно для тяговых тележек.

В результате проведённых расчётов получено: *для тягача* автопоезда требуемая для разгона энергоёмкость составляет 2,24 кВт · ч (8000 кВт · с), выделяемая при торможении энер-

Таблица 3

Параметр	Достигнутые характеристики накопителей электроэнергии		
	Улучшенные аккумуляторные батареи		Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи
	электромобилей	гибридных автомобилей	
Удельная энергия, Вт · ч/кг	100—200	8—80	25—35
Плотность энергии, Вт · ч/л	130—300	10—100	70
Удельная мощность, Вт/кг	75—200	625—1600	80—100
Срок службы, лет	5—7	5—7	2—5
Удельная стоимость, долл. США/(Вт · ч)	100—150	150—200	80—100

гия — 0,94 · ч (3409 кВт · с); для *тяговых тележек* второго и третьего звеньев требуемая для разгона энергоёмкость — 1,84 кВт · ч (6560 кВт · с), выделяемая при торможении энергия — 0,778 кВт · ч (2800 кВт · с).

Анализ существующего на момент проведения исследований рынка суперконденсаторов (табл. 3) позволил выделить продукцию трёх фирм: РКК "Энергия", "Эл Технолоджи" и "Максвелл". По результатам расчётов рекомендуется выбрать конденсаторные модули ЭСМА модели 30ЭК204 T,U. Для тягача автопоезда потребуются 8 элементов размером 617 × 478 × 316 общим объёмом 0,75 м^3 и массой 760 кг. Для тележек звена — 7 элементов размером 617 × 478 × 316 общим объёмом 0,65 м^3 и массой 665 кг.

Для обеспечения перспективных параметров тягово-динамической характеристики автопоезда предлагается использовать ДВС: для тягача — MAH D2066 LF32 (294 кВт), для тяговых тележек второго и третьего звеньев — "Интернешнл Актеон 6.12 TCE" (231,2 кВт). В качестве источника энергии для тележки третьего звена вместо ДВС в принципе возможно применение аккумуляторной батареи. Однако это обеспечит запас хода данному звену не более 20 км при скорости 40 км/ч, т. е. не обеспечит требуемых показателей для автопоезда в целом.

Электрическая мощность тягового электродвигателя мотор-колеса тележки при одной ведущей оси должна составить не менее 100 кВт, или не менее 50 кВт при двух ведущих осях. Схема с одной ведущей осью, на наш взгляд, неприемлема из-за отсутствия существующих серийных или опытных мотор-колёс мощностью порядка 100 кВт, вписывающихся в 22,5-дюймовый колёсный обод. Таким образом, единственно возможным решением остаётся полноприводная (4×4) схема трансмиссии тележек. Результаты анализа и предварительной компоновки тележек показывают, что из предлагаемых на рынке серийных комплектующих силового электропривода существующие серийные компоненты пока не подходят для электротрансмиссии многозвенного автопоезда.

Литература

1. Аксёнов П.В., Белоусов Б.Н. Методика оценки совершенства трансмиссий многоосных автомобилей // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. — 1997. — № 2. — С. 62—67.
2. Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин. — М.: Машиностроение, 1970. — 176 с.
3. Высоцкий М.С. Основы проектирования автомобилей и автопоездов большой грузоподъёмности. Мн. Наука и техника, 1980. — 200 с.
4. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин. М.: Машиностроение, 1981. — 271 с.
5. Аксёнов П.В., Белоусов Б.Н. Состояние и проблемы развития АТС особо большой грузоподъёмности // Автомобильная промышленность. — 1996. — № 3. — С. 4—6.
6. Аксёнов П.В., Белоусов Б.Н., Стариков А.Ф. Основные принципы анализа и синтеза схем трансмиссий многоосных транспортных средств // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. — 1998. — № 4. — С. 88—100.
7. Ванцевич В.В., Харитончик С.В. Повышение тяговых свойств многоприводных колёсных машин в тяжёлых условиях эксплуатации // Повышение эффективности работы колёсных и гусеничных машин в суровых условиях эксплуатации: Сб. тр. междунар. научн.-техн. конф. — Тюмень, 1996. — С. 21—22.
8. Динамическая модель транспортного средства с индивидуальными электромеханическими приводами колёс / В.Н. Наумов, Г.С. Белоутов, М.И. Маленков, Б.П. Назаренко // Изв. вузов. Сер. Машиностроение. — 1975. — № 7. — С. 110—116.
9. Математическая модель движения колёсной машины с электротрансмиссией / Белоусов Б.Н., Полунгян А.А., Фоминых А.Б. и др. // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. — 1999. — № 4. — С. 11—25.
10. Златин П.А., Кеменов В.А., Ксеневич И.П. Электромобили и гибридные автомобили. Агроконсалт, Москва, 2004. — 413 с.
11. Дональд В. Эблесон, президент SAE. Разрабатываемые технологии электромобилей. Доклад на 1-м международном семинаре SAE-REVA "Проблемы и перспективы развития электромобильной техники". Москва, 25 августа 1999 г. Приводная техника. — 1999. — № 9/10. — С. 13—19.
12. Гибридные автомобили и их компоненты (обзор зарубежной печати). Мобильная техника. — 2003. — № 1, 2, 3.
13. Ксеневич И.П., Ипатов А.А., Изосимов Д.Б. Технологии гибридных автомобилей: состояние и пути развития отечественной автомобильной техники с комбинированными энергоустановками. Мобильная техника. — 2003. — № 2—3.
14. Kateri Kallahan. EVs: Clean Driving into 21st Century. EVS-16, Beijing, China, Oct. 11—16, 1999. Opening Session Report.
15. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колёсные транспортные средства особо большой грузоподъёмности. Конструкция. Теория. Расчёт / Под общ. ред. Б.Н. Белоусова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 728 с.
16. Двигатели внутреннего сгорания и электродвигатели. Global Viewpoints, Japan. Automotive Engineering, August 2002. P. 35—43.
17. Ксеневич И.П. Механические трансмиссии с бесступенчатым регулированием передаточных чисел между смежными ступенями коробки передач. Мобильная техника. — 2004. — № 1. — С. 12—20.
18. Изосимов Д.Б., Клочков О.Г. Критерии оптимизации и постановки задач сопоставления двигателей переменного тока для регулируемого привода. Приводная техника. — 1997. — № 5, 6.
19. Udo Winter, Siemens Automobiltechnik. Comparison of different drive system technologies for electric vehicles. EVS-15, Brussels, October 1—3, 1998. CD-ROM, Paper No. 294.
20. Изосимов Д.Б., Лопухина Е.М., Захаренко А.Б. Предварительная оптимизация размеров активных частей одного класса асинхронных электродвигателей для регулируемого привода. — М.: Электричество. — 1996. — № 11.
21. Вопросы построения перспективного асинхронного тягового привода. Мобильная техника. — 2004. — № 1, 2, 3, 4.
22. Пинский Ф.И. Энергетические установки со свободнопоршневыми двигатель-генераторами. Мобильная техника. 2004. — № 2.
23. VAN DEN BOSSCHE Peter, CITYLEC. A View On Current Trends In Electric Vehicle Standardisation. EVS-15, Brussels, October 1—3, 1998. CD-ROM, Paper No. 316.

УДК 629.3.027

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОБОДА КОЛЕСА ДЛЯ ШИН РЕГУЛИРУЕМОГО ДАВЛЕНИЯ

Д-р техн. наук **БАЛАБИН И.В.**, кандидаты техн. наук **ВЕСЕЛОВ И.В.**, **КАСПАРОВ А.А.**, **ЧАБУНИН И.С.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана, НПКЦ "ВЕСКОМ", МВОКУ
(tchabunin@rambler.ru)

Рассмотрено влияние увеличения угла наклона посадочных полок разборного обода, предназначенного для работы с шинами регулируемого давления воздуха, и повышения натяга на них бортов шины. Данные мероприятия позволят существенно снизить максимальные напряжения в ободе, уменьшить массу конструкции, повысить надёжность герметизации рабочей полости шины и одновременно разгрузить распорное кольцо.

Ключевые слова: *колесо, обод, шина регулируемого давления, напряжённо-деформированное состояние, герметизация рабочей полости шины, угол наклона посадочных полок, натяг бортов шины на посадочных полках.*

Balabin I.V., Veselov I.V., Kasparov A.A., Chabunin I.S.

IMPROVING THE DESIGN OF THE WHEEL RIM FOR TIRE VARIABLE PRESSURE AIR

The article considers the influence of increasing the angle of inclination of the landing of shelves of collapsible rim, designed to work with adjustable pressure tire. These measures will significantly reduce the maximum stresses in the rim, reduce the weight of the structure, increase the reliability of sealing the working cavity of the tire and at the same time unload the spacer ring.

Keywords: *wheel, rim, adjustable pressure tire, stress-strain state, sealing of the working cavity of the tire, the angle of inclination of the landing shelves, the tension of the sides of the tire on the landing shelves.*

К шинам специального назначения принято относить шины с регулируемым внутренним давлением воздуха, обеспечивающие существенное улучшение проходимости и повышение тяговой способности при движении колёсной машины по дорогам со слабой несущей способностью и в условиях бездорожья. Кроме того, возможность управления жёсткостью шин при движении по неровным опорным поверхностям приводит к снижению вибронагруженности, улучшению плавности хода и, как следствие, к увеличению средней скорости движения, межремонтному пробегу, снижению расхода топлива, себестоимости перевозок, а также улучшает комфорт водителя и пассажиров, благотворно влияя на их самочувствие, способствует сохранности перевозимых грузов. Для эффективного применения таких шин колёсные машины оснащаются специальными системами централизованного регулирования давления воздуха в шинах в зависимости от условий движения.

Однако условия работы шин с регулируемым давлением весьма напряжённые, поскольку они часто работают при пониженном давлении, когда существенно увеличиваются деформации в их элементах. У большинства обычных шин радиальный прогиб составляет 10—14 % от высоты профиля. У шин же с регулируемым давлением воздуха прогиб при пониженном давлении допускается значительно больший — до 35...40 %, что приводит к резкому возрастанию деформаций и напряжений (в первую очередь изгибных) нитей корда [1, 6, 7]. Кроме того, увеличивается нагрев шины при работе. Все это негативно влияет на усталостную прочность, поэтому долговечность шин с регулируемым давлением, как правило, ниже, чем обычных.

Увеличение долговечности может быть достигнуто применением улучшенных материалов и новыми конструкторскими решениями.

Значительные прогибы шин — не единственный негативный фактор. При движении колёсной машины по грунтам со слабой несущей способностью или в условиях полного бездорожья значительно увеличивается сопротивление движению, связанное с интенсивным колееобразованием, преодолением профильных препятствий, гистерезисными потерями при деформации и др. Колесо с шиной должно быть способно обеспечить реализацию увеличенных по сравнению с движением по дорогам с твёрдым относительно ровным покрытием тяговых сил в пятне контакта с опорной поверхностью. Для этого необходим увеличенный крутящий момент на колесе, трансформировать который в тяговую силу можно только при условии наличия значительных сил трения в сопряжении "обод—шина", которые, в свою очередь, зависят от трибологических свойств контактирующих поверхностей и от силового взаимодействия между этими поверхностями. При недостатке сил трения может произойти проворот шины на ободе со всеми негативными последствиями. А так как эти шины используются на автомобилях многоцелевого назначения, специальных колёсных шасси, специальных колёсных тягачах, бронированных колёсных машинах и др., потеря подвижности способна привести к полному уничтожению машины вместе с экипажем.

С уменьшением внутреннего давления воздуха в шине (до 0,05 МПа) значительно снижается силовое воздействие шины на обод и его может оказаться недостаточно для надёжного удержания шины на ободе. По этой причине шины с регулируемым давлением монтируются на специальные ободья, состоящие из двух половин, стягиваемых болтами, и благодаря распорному кольцу между бортами обеспечивается надёжное удержание шины на ободе независимо от внутреннего давления воздуха в шине. В этом случае плотность соединения шины и обода обеспечивается за счёт осевого сжатия бортов шины между закраинами и распорным кольцом.

С учётом необходимости создания больших осевых усилий первые распорные кольца делались из металла. Затем были предложены кольца из резины, армированной несколькими слоями металлического корда. Осевые силы создаются в основном за счёт завинчивания большого количества шпилек и гаек, сжимающих распорное кольцо между двумя половинами обода. Однако при повышении внутреннего давления воздуха в шине, в хороших

дорожных условиях, нагруженность "зажатых" бортовых закраин существенно увеличивается.

Существующая и применяемая в настоящее время конструкция обода с так называемыми тороидальными посадочными полками (рис. 1) лишена этих недостатков. Плотность посадки шины на обод должна обеспечиваться по замыслу авторов за счёт внедрения выпуклостей посадочных полок обода в зону между бортовыми кольцами шины. Образуется своего рода замок, который обеспечивает перенос максимального усилия сопряжения из зоны под бортовым кольцом шины в зону между ними. Однако со временем из-за релаксации резины в месте действия выпуклой части посадочной полки появляется углубление поверхности борта, что вызовет ослабление контакта между шиной и ободом со всеми негативными последствиями, в том числе невозможностью реализации минимальной тяги автомобиля даже при номинальном давлении воздуха в шине [3].

Таким образом, вопрос создания конструкции обода колеса для шин регулируемого давления воздуха, обеспечивающей минимальные массу и трудоёмкость выполнения монтажно-демонтажных операций, а также надёжную герметизацию рабочей полости шины, на сегодняшний день остаётся открытым.

Рассмотрим, как влияет угол наклона посадочных полок на решение этого вопроса. Увеличение этого угла позволит значительно разгрузить бортовую закраину и, следовательно, уменьшить её размеры. Объектом исследования выберем колесо с разъёмным ободом для шины КИ-80Н, используемое, в частности, на БТР 80 (рис. 2) [5]. В зависимости от дорожных условий и скорости движения машины давление воздуха в шине варьируется от 0,05 до 0,3 МПа.

Сначала проведём качественное сравнение обода с существующими на сегодняшний день пятиградусными посадочными полками (бортовые закраины — высокие) и обода с пятнадцатиградусными посадочными полками (уменьшенные бортовые закраины). Для этого приложим осевые силы, распределённые по поверхностям бортовых закраин

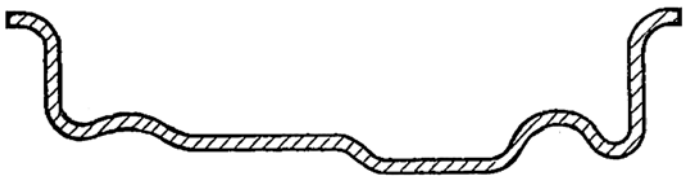


Рис. 1. Профиль обода с тороидальными посадочными полками

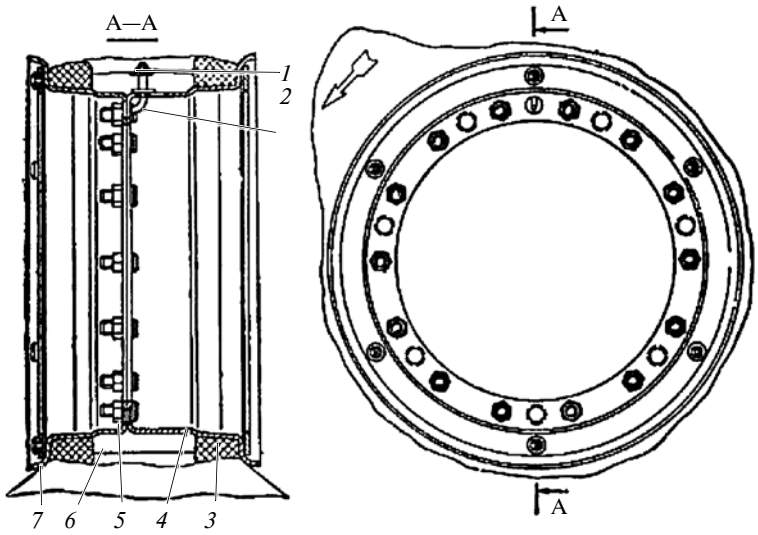


Рис. 2. Колесо БТР 80:

1 и *5* — гайки; *2* — вентиль; *3* — шина; *4* — обод колеса; *6* — распорное кольцо; *7* — съёмный борт

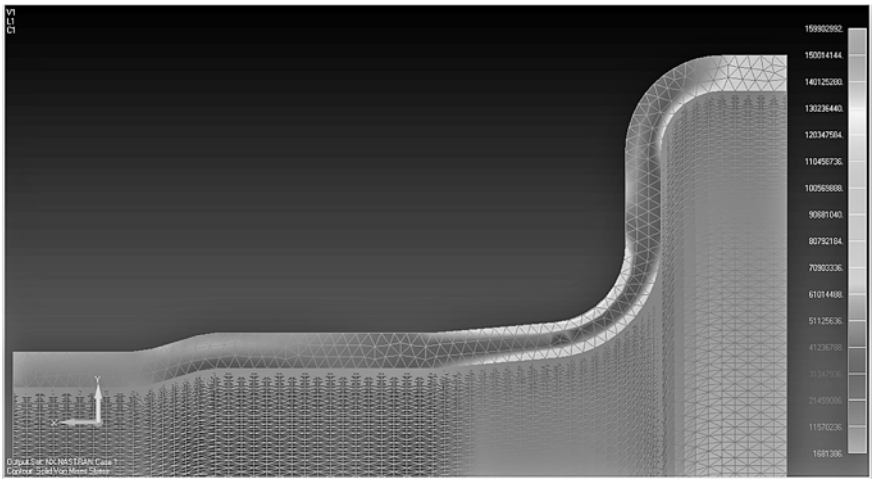


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений в ободе с пятиградусными посадочными полками от действия осевой силы 100 кН

и посадочных полок. Поскольку нас интересуют только эти зоны ободьев, в расчётную схему не включается вся конструкция колеса целиком, а только ограниченная цилиндрическими оболочками на расстояниях, больших длины краевого эффекта.

На рис. 3 и 4 представлено распределение эквивалентных напряжений, действующих в обоих вариантах конструкции обода. Как видно, в первом варианте обода напряжения распределены крайне неравномерно, нагруженной оказывается только зона перехода посадочной полки в бортовую закраину. Во втором варианте эти два элемента обода нагружены более равномерно, а величина максимального напряжения уменьшилась в 3,95 раза — со 160 до 40,5 МПа.

С точки зрения напряжённо-деформированного состояния обода колеса доминирующим силовым

фактором является максимальное внутреннее давление воздуха в шине. Так, применительно к рассматриваемому колесу осевая сила, действующая на бортовую закраину и посадочную полку обода со стороны шины, может быть определена по зависимости $F_{ос} = \pi(r_0^2 - r_1^2)$, где p — внутреннее давление воздуха в шине; r_0 — радиус нулевой кривизны шины; r_1 — радиус цилиндрической части обода. При внутреннем давлении 0,3 МПа эта сила составляет 85,5 кН. Радиальная же сила — порядка 87 кН. Как видим, максимальная нагрузка на колесо, равная 18,2 кН, значительно их меньше.

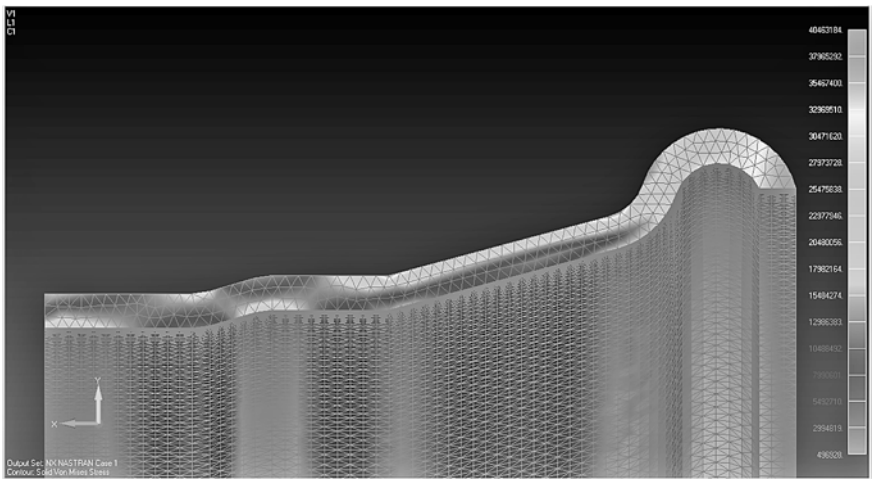


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений в ободе с пятнадцатиградусными посадочными полками от действия осевой силы 100 кН

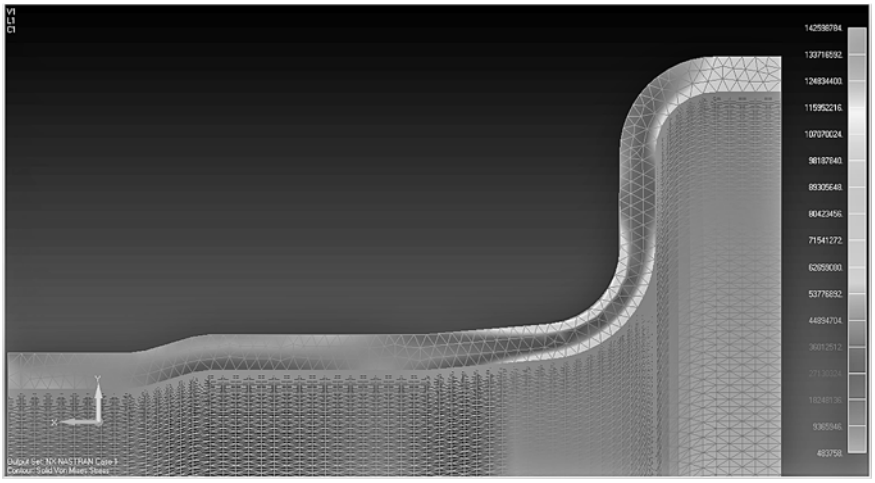


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений в ободе с пятиградусными посадочными полками от внутреннего давления воздуха в шине 0,3 МПа

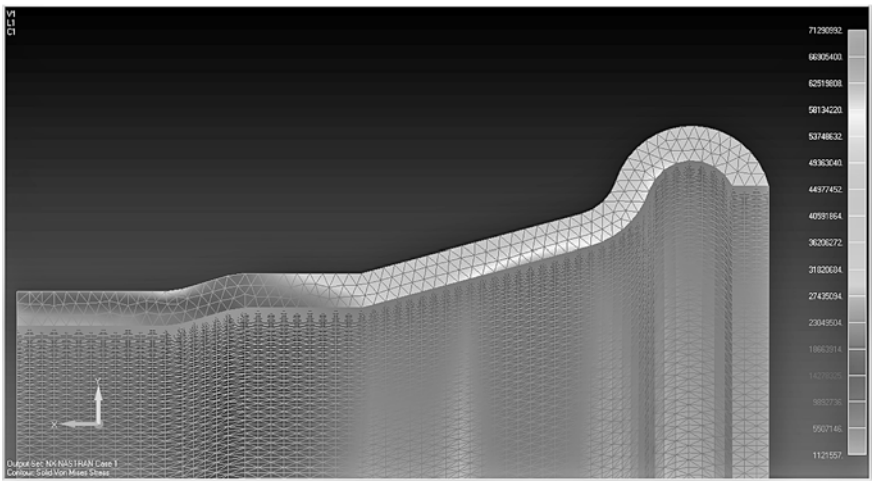


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений в ободе с пятнадцатиградусными посадочными полками от внутреннего давления воздуха в шине 0,3 МПа

На рис. 5 и 6 представлены картины распределения эквивалентных напряжений в ободьях по двум вариантам соответственно от действия внутреннего давления в шине 0,3 МПа. Эпюры силового взаимодействия были получены по методикам, изложенным в работах [2] и [4].

Максимальное значение эквивалентного напряжения в ободе второго варианта за счёт более равномерного нагружения конструкции уменьшилось на 50 %. При этом масса исследуемой части обода снизилась на 17,5 %. Кроме того, при снижении высоты закраины обода появляется возможность увеличения площади боковой стенки шины, что благоприятно влияет на напряжённо-деформированное состояние последней при снижении внутреннего давления.

Уменьшатся напряжения и в распорном кольце. В первом варианте конструкции при минимальном рабочем давлении работоспособность колёсного узла определяется в основном величиной усилия со стороны распорного кольца, которое должно обеспечить не только необходимую плотность сопряжения поверхностей шины и обода для реализации экстремальных крутящих моментов, но и участвует в восприятии осевых сил, возникающих при движении машины. Во втором варианте распорное кольцо является своего рода ограничителем для бортов шины, препятствуя их смещению при действии на колесо осевых сил. Силы трения, необходимые при значительных вращающих моментах в основном обеспечиваются за счёт значительно большего натяга бортов шины на посадочных полках, который от величины давления воздуха меняется несущественно.

Увеличенный угол наклона посадочных полок благоприятен и с точки зрения трудоёмкости демонтажа шины с обода при так называемом прикипании бортов шины к поса-

дочным полкам при несоблюдении теплового режима.

Таким образом, второй вариант конструкции позволяет значительно уменьшить максимальные напряжения в элементах колёсного узла, снизить массу, облегчить трудоёмкость монтажно-демонтажных операций. Полученное решение позволяет провести только качественное сравнение вариантов. Дальнейшим шагом должно быть исследование НДС шины, распорного кольца и колеса с учётом реальных условий эксплуатации.

Литература

1. Абрамов В.Н., Чистов М.П., Веселов И.В., Колтунов А.А. Оценка и выбор пневматических шин регулируемого давления для армейских автомобилей. — М.: 21НИИ МО РФ, 2010. — 453 с.
2. Балабин И.В., Лямин М.С., Чабунин И.С. Статика взаимодействия бескамерной шины с ободом колеса, имеющим пятнадцатиградусные посадочные полки // Сборник научных трудов XIX симпозиума "Проблемы шин и резинокордных композитов". Москва, 2008. Т. 1. С. 83—90.
3. Балабин И.В., Попов С.Д., Чабунин И.С. К вопросу конструкции обода колеса для шин регулируемого давления воздуха // Автомобильная промышленность. 2018. № 3. С. 15—17.
4. Балабин И.В., Чабунин И.С. К вопросу экспериментального исследования и аналитического описания эпюры контактного взаимодействия шины и обода автомобильного колеса с пятиградусными посадочными полками // Автомобильная промышленность. — 2012. — № 2. С. 19—22.
5. Бронетранспортёр БТР-80. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ТО и ИЭ). Часть 2. — М.: Военное издательство, 1990. — 320 с.
6. Каспаров А.А. Повышение ресурса и снижение сопротивления качению крупногабаритных автомобильных шин. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2002. 187 с.
7. Мартыненко Ж.С. Усовершенствование конструкции борта тракторных пневматических шин // Сборник научных трудов "Научные исследования в области производства крупногабаритных шин". Москва, 1986.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 656.1(075.8)

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Канд. техн. наук **ГЕРАСИМОВ А.Р.; ГРИШАНОВА Я.О.**
Нижегородский ГИЭУ
(acerasi1953@yandex.ru)

Проведён обзор наиболее доступных для практической деятельности методов и аналитических выражений теории вероятностей и математической статистики, использующихся для описания ответственных показателей автомобиля.

Ключевые слова: *случайность, неопределённость, факторы, влияющие на скорость, расход топлива и эксплуатационную надёжность автомобиля.*

Gerasimov A.R., Grishanova Ya.O.
SOME OF THE TASKS OF ROAD TRANSPORT, SOLVED BY USING METHODS OF PROBABILITY THEORY AND MATHEMATICAL STATISTICS

The article provides an overview of the most available methods and analytical expressions of probability theory and mathematical statistics used to describe the responsible performance of the car.

Keywords: *randomness, uncertainty, factors affecting speed, fuel consumption and operational reliability of the car.*

При решении вопросов обеспечения работоспособности, планирования, организации и выбора типов подвижного состава, оптимального распределения автомобилей по маршрутам, экономичного расходования эксплуатационных материалов в конкурентной среде необходимо учитывать множество различных факторов, количественная взаимосвязь которых часто весьма неопределённая [2]. Кроме того, возникает необходимость учёта многих ограничивающих условий, ежедневно возникающих в процессе эксплуатации автомобилей.

Существующие методы расчёта показателей, обеспечивающих эксплуатационную надёжность и заданную работоспособность, применяемые при определении различных характеристик автомобиля, не всегда учитывают факторы неопределённости и ограничивающие условия (дорожное сопротивление, неисправности, ограничение количества запасных частей и узлов и т. п.). Поэтому результаты расчётов по прогнозированию ресурсной долговечности порой имеют слишком большие погрешности.

Между тем появились методы, основанные на математическом аппарате теории вероятности и математической статистики [3—5], позволяющие достаточно просто и быстро решать практические задачи планирования показателей работы автомобиля и рациональной организации работы автотранспортного предприятия.

Средняя скорость автомобиля

Факторы, влияющие на среднюю скорость автомобиля [6], можно разделить на три группы: анализ сопротивления движению; факторы, не связанные с изменением сопротивлений, но вынуждающие водителя снижать скорость при движении; факторы, присущие системе "водитель—автомобиль".

К первой группе факторов можно отнести тип дороги и местность, в которой проложена эта дорога. В этой группе основными факторами являются тип и покрытие дороги, которые определяют дорожное сопротивление движению. Величина коэффициента со-

противления f_c будет меняться от участка к участку случайным образом. Сопротивление движению и уклоны составляют суммарное сопротивление, обозначаемое через ψ. Суммарное сопротивление в основном определяет среднюю скорость автомобиля на заданном маршруте.

Ко второй группе факторов относятся интенсивность и состав потока автомобилей, состояние дороги (сухая, мокрая и т.д.), метеорологические условия, наличие и крутизна поворотов дороги, ширина проезжей части и число перекрестков, регулирование движения и т.п. Влияние характеристик (шина, покрытие) и планировки (радиусы закруглений, повороты, перекрестки и т. п.) дороги особенно заметно при значительной интенсивности потока движущихся автомобилей.

К третьей группе факторов можно отнести техническое состояние автомобиля, правильность регулировок механизмов трансмиссии, навыки и психологическое состояние водителя и др. Техническое состояние в основном определяет те потери мощности, которые имеют место в двигателе, трансмиссии и ходовой части автомобиля.

Отметим, что указанное разделение факторов несколько условно: в реальном процессе движения зачастую различные факторы всех трёх групп влияют на величину скорости на том или ином участке маршрута одновременно или в различной последовательности.

Скорость автомобиля на каждом участке маршрута представляет собой функцию случайных факторов и меняется от участка к участку случайным образом. Следовательно, значение скорости может быть описано каким-то законом распределения. И как всякая случайная величина скорость будет характеризоваться средним значением. Это среднее значение представляет собой *среднюю скорость автомобиля на маршруте*, учитывающую влияние различных случайных факторов.

Распределение скоростей автомобиля на i-м участке дороги, т. е. при движении автомобиля на i-й передаче, будет подчиняться закону, мало отличающемуся от нормального. Тогда плотность распределения скоростей движения автомобиля на i-й передаче будет иметь вид формулы 1, представленной в табл. 1. В специфических условиях могут иметь место и другие законы распределения.

Средняя скорость определяется сопротивлениями движению и возможностями автомобиля на каждой из передач. Следовательно, решение задачи определения средней скорости можно искать на основании сопоставления величин сопротивлений и тяговых усилий, развиваемых на ведущих колёсах автомобиля.

Решение поставленной задачи состоит из рассмотрения следующих последовательных вопросов: определение сопротивлений движению и суммарного сопротивления; определение длин участков, преодолеваемых на каждой из передач; определение времени движения на каждой из передач; определение средней скорости движения автомобиля на маршруте. Для этого необходимы следующие исходные данные. Об автомобиле: максимальная мощность двигателя N_e; максимальный крутящий момент $M_{кр}$ и обороты, соответствующие максимальной мощности n_N и максимальному моменту n_M; передаточные числа элементов трансмиссии: главной передачи, раздаточной коробки, коробки передач по ступеням; к.п.д. двигателя и трансмиссии; конструктивные параметры автомобиля: высота, колея, радиусы ведущих колёс, вес и грузоподъёмность. О маршруте: тип покрытия дороги; характеристики пересечённости местности, по которой проложен маршрут, или категория дороги.

Методика определения средней скорости автомобиля в заданных условиях сводится к следующему алгоритму.

1. Построить динамическую характеристику автомобиля и определить значения максимальных динамических факторов $D_{i\max}$ для каждой из передач по формулам 2, 3 и 4.

2. Определить значения d_i, удельные силы тяги при работе двигателя в режиме максимальной мощности f_{iN} и максимальные скорости $V_{i\max}$ для каждой из передач по формулам 5, 6 и 7 соответственно.

3. На основании формул 8 определить относительные пути движения k_i для выбранных типов дорог.

4. Вычислить значения коэффициентов σ_i на основании законов распределения скорости (предположительных или определённых по результатам статистических данных) для каждой из передач (формула 9). Распределение скоростей подчиняется нормальному закону распределения.

5. Определить величины относительных времен движения γ_i, по формуле 10.

6. После определения значений к.п.д. η_i из кинематической схемы трансмиссии с учётом к.п.д. двигателя или выбора его величины на основании опытных данных вычислить средние скорости $V_{св}$ для различных значений коэффициентов сопротивления f_c (формула 11).

7. Построить график $V_{св} = \varphi(f_c)$ для данной мощности.

8. Определить среднюю скорость $V_{ср}$ автомобиля в данном районе по формуле 12.

Средний расход топлива

Основные факторы, влияющие на часовой расход топлива двигателем, — частота вращения коленчатого вала n и степень использования мощности (характеризуемая в дальнейшем коэффициентом снимаемой мощности Δ). Изменение часового расхода топлива в зависимости от величины снимаемой мощности и числа оборотов коленчатого вала двигателя определяют при испытаниях двигателя и оформляют в виде таблиц или графиков.

Для заданных дорожных условий (коэффициента суммарного сопротивления движению) часовой расход топлива может быть определён при помощи динамической характеристики и графиков. На каждом достаточно малом участке маршрута будут иметь место соответствующие значения n и Δ, которые в силу случайности внешних условий будут иметь случайный характер. Следовательно, часовой расход топлива, определяемый величинами n и Δ, также будет случайно меняться от участка маршрута к участку. Случайные

величины n и Δ могут быть описаны вероятностными законами распределения.

Равномерно убывающий закон распределения Δ возможен при движении автомобиля в условиях бездорожья с использованием низших передач. При движении в средних условиях (грунтовые, разбитые мощёные дороги и т. п.), когда используются средние передачи, характер закона распределения будет приближаться к равномерному. Равномерно возрастающий закон может иметь место при движении автомобиля по хорошим дорогам с использованием высших передач.

В общем случае расход топлива на маршруте будет определяться внешними условиями, при которых происходит движение автомобиля. На заданном участке S_i расход определяется по формуле 1, представленной в табл. 2. Окончательная же формула для подсчёта среднего километрового расхода топлива — формула 2.

Если движение осуществляется по различным типам дорог в определённой местности и величина пробега на каждой из них характеризуется частостью W_j, то средний километровый расход топлива может быть определён по формуле 3. Остаётся величина, а именно $Q_{Ti\text{ср}}$ — средний расход топлива двигателем при движении на i-й передаче, которую необходимо определить.

Часовой расход топлива в общем случае является функцией двух величин: частоты вращения коленчатого вала двигателя и величины снимаемой мощности ($Q_T = f(\Delta, n)$). Скорость на i-й передаче, а соответст-

Таблица 1

№	Формула	Примечания
1	$f_i(V) = \left\{ \begin{array}{c} \frac{1}{\sigma_V\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(M-V)^2}{2\sigma_V^2}} \\ 1 \text{ при } V_{i-1} < V \leqslant V_i \\ 0 \text{ при } V > V_i \text{ и } V < V_{i-1} \end{array} \right\}$	V — текущее значение скорости; M — математическое ожидание: σ_V — среднее квадратичное отклонение значений скоростей
2	$D_i = \frac{P_{ki} - P_{\omega i}}{G_1 + G_2}$	P_{ki} — тяговое усилие на ведущих колесах; $P_{\omega i}$ — усилие, затрачиваемое на преодоление лобового сопротивления воздуха; G_1 — масса автомобиля в снаряженном состоянии; G_2 — полезная нагрузка
3	$P_{ki} = \frac{M_{\text{кр}} i_{\text{тр}} \eta}{R_k}$	$M_{\text{кр}}$ — крутящий момент двигателя; $i_{\text{тр}}$ — общее передаточное число трансмиссии; η — общий к.п.д. двигателя и трансмиссии; R_k — радиус ведущего колеса
4	$P_{\omega i} = \frac{kFV_i^2}{13}$	k — коэффициент обтекаемости; $F = BH$ — площадь лобовой проекции автомобиля; H — высота автомобиля; B — колея автомобиля; V_i — скорость автомобиля на i-й передаче
5	$d_i = \frac{V_n}{V_i}$	V_n — максимальная скорость автомобиля на высшей передаче
6	$f_{iN} = \frac{P_{ki}}{G_1 + G_2}$	—
7	$V_{i\max} = \frac{270\eta N_e}{100 f_{iN} G}$	N_e — максимальная мощность двигателя, л.с.; G — полная масса автомобиля, т; η — к.п.д. двигателя и трансмиссии
8	$k_i = \Phi^*\left(\frac{D_i - m_\psi}{\sigma_\psi}\right) - \Phi^*\left(\frac{D_{i-1} - m_\psi}{\sigma_\psi}\right)$ $m_\psi = m_\alpha(a - cb) + c$ $\sigma_\psi = \sigma_\alpha(a - cb)$	Φ^* — нормальная функция распределения; m_α — математическое ожидание уклонов данного маршрута; $a = 0{,}0172$ и $b = 0{,}0034$ — аппроксимирующие коэффициенты; $c = f_c$ — коэффициент сопротивления движению данного типа дороги; σ_α — среднее квадратичное отклонение уклонов от математического ожидания
9	$\delta_i = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1}{q_i}\right)$	$q_i = \frac{V_i}{V_{i-1}}$; V_i и V_{i-1} — максимальные значения скоростей на i-й и $(i-1)$-й передаче
10	$\gamma_i = \frac{k_i d_i}{\delta_i \sum_{i=1}^{n} \frac{k_i d_i}{\delta_i}}$	$i = 1, n$; n — число передач
11	$V_{\text{св}} = 0{,}27 N_{\text{уд}} \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i \eta_i \gamma_i}{f_{iN}}$	$N_{\text{уд}} = \frac{N_e}{G}$ — удельная мощность двигателя
12	$V_{\text{ср}} = \sum_{n=1}^{m} V_{j\text{св}} W_j$	$V_{j\text{св}}$ — средняя скорость автомобиля по j-му типу дороги; W_j — частость встречи j-го типа дороги при движении автомобиля в данном районе; m — число типов дорог, для которых вычисляют среднюю скорость (по которым движется автомобиль в заданном маршруте)

Таблица 2

№	Формула	Примечания
1	$Q_{Ti} = q_{i\text{ср}} S_i = \dfrac{Q_{Ti\text{ср}} S_i}{\delta_i Vi}$	$q_{i\text{ср}}$ — средний километровый расход топлива на i-м участке; $Q_{Ti\text{ср}}$ — средний часовой расход топлива двигателем на i-й передаче; $V_{i\max}$ — максимальная скорость автомобиля на i-й передаче; δ_i — коэффициент, учитывающий форму закона распределения скоростей на i-й передаче
2	$q_{k\text{ср}} = \sum\limits_{i=1}^{n} \dfrac{Q_{Ti\text{ср}} k_i}{\delta_i Vi}$	n — число передач; k_i — относительный путь движения на i-й передаче
3	$q_{\text{ср}} = \sum\limits_{j=1}^{m} q_{kj\text{ср}} W_j$	m — число типов дорог; $q_{kj\text{ср}}$ — средний километровый расход топлива, характерный для j-го типа дороги
4	$n_i = \delta_i n_N$	—
5	$Q_{Ti\text{ср}} = \int\limits_{Q_{T\min}}^{Q_{T\max}} Q_{Ti} f(Q_{Ti}) dQ_{Ti}$	—

Таблица 3

№	Формула	Примечания
1	$S^* = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n} S_i}{n}$	S^* — средний пробег автомобиля между двумя остановками; S_i — пробег между i-й и $(i + 1)$-й последовательными остановками; n — число остановок
2	$\lambda = \dfrac{1}{S^*}$	—
3	$T^* = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n} T_i}{n}$	T_i — время устранения неисправности при i-м отказе; n — число отказов
4	$\mu = \dfrac{1}{T^*}$	—
5	$\begin{cases} P_0'(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ P_1'(t) = -\mu P_1(t) + \lambda P_0(t) \end{cases}$	—
6	$P_1(t) = \dfrac{\lambda}{\lambda + \mu} (1 - e)^{-(\lambda + \mu)t}$	—
7	$P_0(t) = \dfrac{\mu}{\lambda + \mu} + \dfrac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$	—
8	$P_1 = \dfrac{\alpha}{1 + \alpha}$	$\alpha = \dfrac{\lambda}{\mu}$
9	$P_0 = \dfrac{\alpha}{1 + \alpha}$	
10	$V_{\text{сф}} = V_{\text{св}} \left(\dfrac{\mu}{\lambda + \mu} + \dfrac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}\right)$	—
11	$S = V_{\text{св}} T \dfrac{\mu}{\lambda + \mu}$	S — пробег автомобиля за длительный период эксплуатации; $T_{\text{дв}}$ — время движения автомобиля за длительный период эксплуатации; $T_{\text{пр}}$ — время простоя автомобиля за длительный период эксплуатации
12	$T_{\text{дв}} = T \dfrac{\mu}{\lambda + \mu}$	—
13	$T_{\text{пр}} = T \dfrac{\lambda}{\lambda + \mu}$	—

венно и средние частоты вращения коленчатого вала можно определить при помощи величины δ_i по формуле 4. Таким образом, для каждой из передач остаётся только одна зависимость: $Q_{Ti} = f(\Delta, n_i)$.

По общему виду фактических (стендовых) зависимостей часового расхода топлива можно подобрать эмпирическую аппроксимирующую зависимость с одним аргументом Δ при заданном значении n_i. На основании зависимости $Q_{Ti} = f(\Delta, n_i)$ и законов распределения Δ можно определить закон распределения часового расхода топлива на i-й передаче как функцию случайного аргумента Δ, закон распределения которого известен. Средний расход топлива на i-й передаче определяется как математическое ожидание (формула 5).

Влияние показателей надёжности

Недостаточная надёжность узлов и агрегатов автомобиля — одна из причин *случайных остановок*, приводящая к вынужденным задержкам на маршруте. Их влияние на средние скорости автомобиля становится особенно заметным, когда число таких остановок значительно, а время устранения технических неисправностей более длительно.

Одной из величин, характеризующих надёжность автомобиля, является средний пробег автомобиля между двумя последовательными остановками (формула 1 в табл. 3). Интенсивность потока остановок для экспоненциального закона распределения характеризуется формулой 2.

Важнейший показатель — среднее время устранения неисправности, определяемое по формуле 3, характеризует ремонтопригодность автомобиля. Интенсивность устранения неисправностей описывается формулой 4.

Влияние надёжности на производительность автомобиля учитывается следующим образом.

Введём обозначения: $P_0(t)$ — вероятность того, что в момент времени t автомобиль двигался; $P_1(t)$ — вероятность того, что в момент времени t автомобиль стоял из-за возникшей неисправности.

Через малый промежуток времени Δt, длящийся после момента t, автомобиль может находиться в двух возможных несовместимых состояниях: движется или стоит. Вероятность того, что в момент времени t ав-

томобиль стоял, и за время Δt причина вынужденной остановки была устранена: $\mu\Delta t P_1(t)$; вероятность того, что в момент времени t автомобиль двигался, и за время Δt остановки не произошло: $(1 - \lambda\Delta t)P_0(t)$; вероятность того, что в момент времени t автомобиль двигался, и за время Δt наступила остановка: $\lambda\Delta t P_0(t)$; вероятность того, что в момент времени t автомобиль стоял, и за время Δt не была устранена причина, вызвавшая остановку: $(1 - \mu\Delta t)P_1(t)$.

После некоторых преобразований и перехода к пределу при $\Delta t \to 0$ получим систему дифференциальных уравнений 5. Учитывая, что $P_0(t) + P_1(t) = 1$ (автомобиль либо движется, либо стоит), получим, принимая начальные условия при $t = 0$ $P_0(0) = 1$, решение в виде формул 6 и 7.

Если принять в рассмотрение стационарность движения, т. е. $t \to \infty$, средняя вероятность того, что автомобиль стоит, выражается формулой 8. Аналогично средней вероятности того, что автомобиль движется, соответствует формула 9.

Средняя фактическая скорость автомобиля определится как математическое ожидание величины $V_{св}$ (формула 10). Для случая, когда время эксплуатации T велико, получаем формулы 11, 12 и 13 — соответственно для пробега S за длительный период эксплуатации автомобиля, время движения $T_{дв}$ и простоя $T_{пр}$ автомобиля за тот же период.

Литература

1. Бойко И.А., Гурьянов, Р.А. Математические модели технических систем в условиях неопределённости / И.А. Бойко, Р.А. Гурьянов // Молодой учёный. — 2013. — № 6 — С. 30—33.
2. Половко А.М., Гуров, С.В. Основы теории надёжности / А.М. Половко, С.В. Гуров. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб. — БХВ-Петербург. — 2006. — 704 с.
3. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. — М.: Машиностроение. — 1984. — 312 с.
4. Столяров В.В. Дорожные условия и организация движения с использованием теории риска: учеб. Пособие / В.В. Столяров. — Саратов: СГТУ. —1999. — 168 с.
5. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др.; под ред. Е.С. Кузнецова. — 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Транспорт. — 1991. — 413 с.

УДК 629.33.017

ФАКТОРЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРРОЗИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Кандидаты техн. наук **СУХОДОЛЯ А.В., ОДИНОКОВА И.В., СМИРНОВ К.Н.**, д-р техн. наук **ГАЕВСКИЙ В.В.**, кандидат экон. наук **ХОЛОДОВА А.О.**
МАДИ, РХТУ имени Д.И. Менделеева, ООО "Лукойл-Энергосети"
(vit-life@rambler.ru)

Рассматриваются факторы, оказывающие влияние на образование, протекание и развитие коррозионных процессов на поверхности металлов. Проводится анализ причин появления коррозии на разных частях автомобиля, а также даются рекомендации по проведению дальнейших исследований в вопросах антикоррозионной защиты.

Ключевые слова: *коррозия, дефекты покрытий, анализ факторов влияния, автомобили.*

Sukhodolya A.V., Odinokova I.V., Smirnov K.N., Gaevskiy V.V., Kholodova A.O.

CORROSION IMPACT FACTORS ON VEHICLES

In the article describing existing factors causing to corrosive defects on metal surfaces of a modern vehicles. Comprehensive causes of corrosion analysis on a different car parts are proposed too. The article includes recommendations for further steps in the question concerning to vehicle corrosion protections.

Keywords: *corrosion, coating defects, impact factors analysis, vehicles.*

Коррозия — неизбежная болезнь каждого изделия, выполненного из металла. И автомобиль с этой точки зрения — не исключение. Средние потери стоимости одного автомобиля в результате влияния коррозии оцениваются величиной порядка семи тысяч рублей в год. Соответственно, в масштабах автопарка страны годовые потери в результате коррозионных повреждений транспортных средств превышают 290 млрд рублей. То есть несмотря на долгую историю борьбы с коррозией и значительные в ней успехи, проблема остаётся актуальной, и не только для практики. Проанализируем с точки зрения основных теорий коррозии причины образования коррозионных повреждений автомобилей и рассмотрим ряд частных, но типичных случаев.

На рис. 1 приведены данные анализа поступивших рекламаций на коррозионные повреждения пятисот автомобилей одного производителя за период одного календарного года. Представлены названия частей автомобиля и в процентном соотношении показана вероятность образования коррозии.

Эти данные позволяют сделать вывод, что наиболее подвержены коррозионным повреждениям следующие части автомобиля: двери в сборе, днище, элементы подвески и пороги. Коррозия и видимые дефекты лакокрасочных покрытий в виде вспучиваний и отслоений зачастую не столь критичны для работоспособности автомобиля, но вместе с тем отрицательно сказываются на восприятии внешнего вида транспортного средства, что приводит к негативному отношению клиентов к марке, изготовителю. Порядка 8 % всех рекламаций, полученных за год, приходится на повреждения частей автомобиля в результате воздействия коррозии.

На рис. 2 представлена вероятность возникновения первичной коррозии на транспортном средстве в зависимости от возраста автомобиля начиная с даты его приобретения. Это данные по времени обра-

Рис. 1. Статистика появления коррозии на разных частях автомобиля

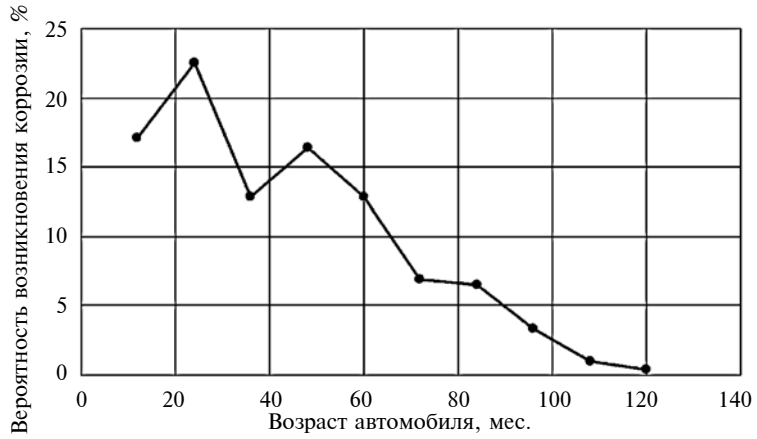


Рис. 2. Статистика появления коррозии автомобиля в зависимости от возраста автомобиля

зования коррозионных повреждений, описанных на рис. 1, с момента покупки автомобиля. Как видим, первичные коррозионные повреждения появляются уже в первые шесть лет эксплуатации. По данным производителей для автомобилей сегмента "эконом" видимые коррозионные повреждения не должны проявляться в течение шести лет, а на протяжении 12 лет не должно появиться сквозной коррозии. Приведённые факты позволяют сделать вывод, что вопрос образования коррозионных повреждений транспортных средств является актуальным и требует дальнейшего детального изучения.

Факторы появления коррозии на транспортных средствах следует разделить на две основные группы. Это комплекс *внешних* воздействий среды эксплуатации автомобиля на механизмы образования и скорость протекания коррозионных процессов и факторы *"внутренние"* — влияние выбора материалов, конструктивных решений и технологических процессов производства. Рассмотрим подробно все эти факторы.

Воздействие водных сред

Понятие воздействия водных сред включает в себя относительную влажность среды эксплуатации автомобиля, климатический регион, на территории которого эксплуатируется автомобиль (количество осадков), частоту и количество операций по мойке кузова автомобиля. Вероятность возникновения коррозии значительно возрастает при эксплуатации автомобиля в условиях окружающей среды, относительная влажность которой превышает значение 60 %. Работы по мойке автомобиля, а также количество атмосферных осадков оказывают существенное влияние на защитные покрытия автомобилей, что может приводить к утере его первоначальных характеристических свойств и интенсифицировать коррозионные процессы. Данные рис. 1 показывают, что наиболее подвержены коррозии именно те части автомобиля, которые имеют постоянный контакт с водой. В качестве примера, вода, проникая во внутренние полости дверей, отводится через дренажные отверстия, коррозия которых является наиболее частой причиной появления рекламаций. Существует большое количество приводящих к появлению и ускорению протекания коррозионных процессов комплексных факторов и контакт с водной средой является не единственным, но воздействие влаги является одним из важных и весомых факторов при комплексной оценке развития коррозии.

Влияние температуры и ультрафиолетового излучения

Скорость протекания химической реакции при активизации процесса коррозии сильно коррелирует с температурой окружающей среды. Данная связь описывается формулой: $k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}}$, где k — скорость протекания реакции, A, E, R, a — показатели химической среды, а T — температура.

Таким образом, скорость протекания коррозионных процессов увеличивается вместе с ростом температуры. Части автомобиля, выполненные из металла, более быстро охлаждаются благодаря своей высокой степени теплопроводности. В то же время при быстром изменении температуры водяной пар, находящийся в воздухе, конденсируется в жидкость на поверхности металла, что приводит к ускорению коррозионных процессов. Синергетический эффект влияния высокой температуры и ультрафиолетового воздействия способствует развитию нормальных условий старения материалов. Высокотемпературные воздействия и ультрафиолетовое излучение могут усиливать полимерную сегментную релаксацию, что значительно повышает риски разрыва химических связей материалов. Накопление разрывов химических связей приводит к повышению пористости покрытий и снижению их устойчивости к коррозионным повреждениям. Различия в коэффициентах теплового расширения материалов подложек и покрытий при совместном

влиянии длительных низких или высоких температур оказывают влияние на процессы старения, протекающие в покрытиях, и приводят к образованию дефектов и их более быстрому разрушению. Данные процессы, протекающие на поверхности, не приводят к быстрой потере металла, но служат началом для активизации коррозии, приводящей впоследствии к большим убыткам.

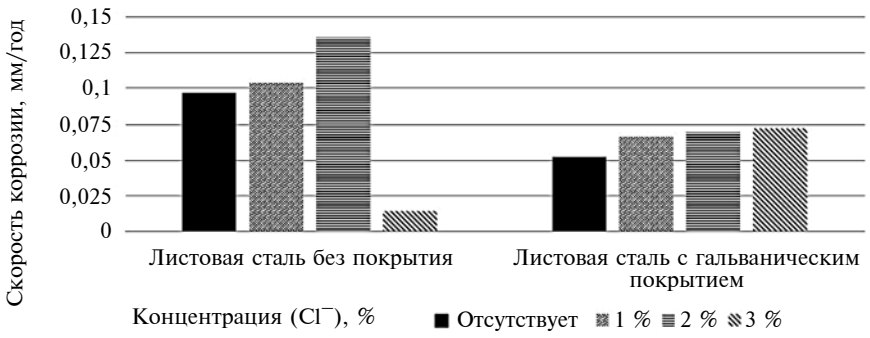


Рис. 3. Зависимость скорости протекания коррозии от концентрации солей

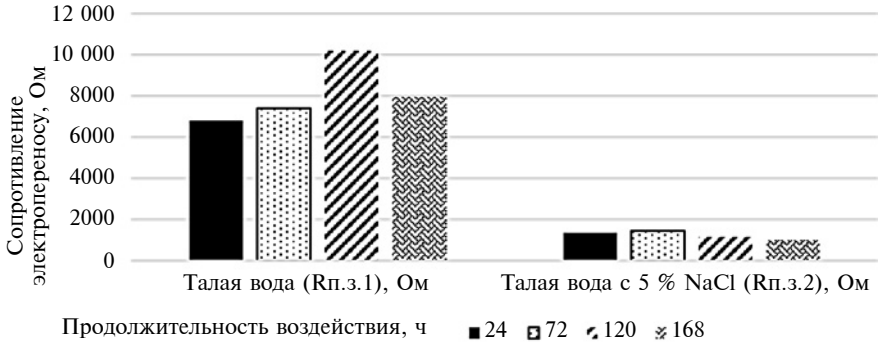


Рис. 4. Влияние концентрации солей на сопротивление электропереносу

Воздействие солей

Ионы хлоридов имеют высокий коэффициент миграции и проникающую способность. Благодаря малому размеру, они способны разрушать защитный поверхностный пассивирующий слой и способствовать образованию коррозионно-активной среды, обнажая поверхность металла. Наличие трещин и мелких дефектов на поверхности металлов способствует накоплению ионов хлоридов и благоприятствует развитию коррозионных сред. Наличие солей на поверхности металлов обуславливается воздействием окружающей среды эксплуатации: грязь, пыль, прибрежные области с высоким содержанием солей в атмосфере, применение реагентов на дорогах общего пользования зимой. На рис. 3 приведена зависимость скорости протекания коррозионных процессов от концентрации солей. Как видим, с ростом концентрации солей скорость протекания коррозии увеличивается.

Воздействие солей на поверхность материала зачастую носит локальный характер. Оценить скорости протекания коррозионных процессов по степени потери массы материала в данном случае невозможно. Применение же способа электрохимической импедансной спектроскопии представляется возможным при описании протекающих процессов в покрытиях. Данный способ позволяет определять значение сопротивления переноса заряда ($R_{п.з}$), которое отражает скорость протекания реакции окисления металлов. На рис. 4 представлены результаты проведения эксперимента по влиянию на материал Ст3сп чистой талой воды и раствора талой воды с 5%-ным содержанием NaCl. Оценено изменение значения сопротивления переноса заряда ($R_{п.з}$) в зависимости от воздействия разных сред эксплуатации с течением времени. Как видим, наличие солей в окружающей среде эксплуатации автомобиля снижает значение сопротивления переноса заряда, что в свою очередь влияет на повышение вероятности образования поверхностных коррозионных процессов.

Воздействие твёрдых частиц среды эксплуатации

Соударение с мелкими твёрдыми частицами (пыль, гравий, реагенты) при движении автомобиля приводит, как известно, к повреждениям защитного лакокрасочного покрытия. Металлическая подложка, при условии отсутствия защитного гальванического покрытия, начинает контактировать с коррозионной средой, что является началом интенсификации процессов коррозии на поверхности металла [2]. В данном случае коррозионные повреждения образуются чаще всего на элементах подвески, так как для их защиты применяется метод электрофорезного нанесения покрытий. Полученные данным способом покрытия являются весьма уязвимыми к механическим воздействиям твёрдых частиц со стороны среды эксплуатации автомобиля. Для предотвращения появления коррозии металла для таких случаев рекомендуется применение поливинилхлоридных покрытий или специальных пластин, защищающих элементы подвески от воздействия твёрдых частиц.

Качество сварных соединений

Сварочные работы оказывают существенное влияние на свойства поверхности, на которую в дальнейшем наносится защитное покрытие, тем самым напрямую сказываются на его долговечности. Можно выделить две широко распространённые в машиностроении технологии сварки: точечная и электродуговая.

При точечной сварке медный электрод проводит сварочный ток, а также обеспечивает необходимое усилие в месте сварки. В случае наличия большого зазора между двумя листами материала электрод будет создавать большое усилие в точке сварки, что приведёт к деформации металла в зоне сварки по причине снижения прочности материала в результате чрезмерного локального

нагрева. Неправильный расчёт силы сварочного тока, усилия сжатия и времени воздействия приводит к прогоранию материала в месте сварочной точки. Наличие загрязнений на поверхности металлических листов и состав сплава электрода также оказывают влияние на способность полученной поверхности противостоять коррозии.

При электродуговой сварке в среде защитных газов на антикоррозионные свойства полученной поверхности будут оказывать влияние такие параметры, как: сила сварочного тока, степень подготовки свариваемых поверхностей, длина дуги, состав защитной газовой среды, а также показатель влажности. Любое из нарушений данных параметров, рассчитанных технологами производства, будет приводить к образованию дефектов на свариваемых поверхностях, что в свою очередь будет влиять на качество наносимых на поверхность защитных покрытий и окажет прямое влияние на антикоррозионные свойства покрытия.

Места креплений, зазоров и острых углов

Основной причиной развития коррозионных процессов в местах соединений элементов кузова служит геометрическая особенность сочленений, благодаря которой в них задерживается и накапливается влага. Оптимизация кривизны покрытий при разработке технологического процесса производства кузова автомобиля — важный фактор, позволяющий избежать потенциальных мест образования коррозии. Тщательный контроль геометрических параметров при изготовлении металлических листов, применение качественных герметизирующих составов, повышение точности их нанесения, особый контроль за качеством кромок, металлических листов, дополнительная герметизация полимерными оболочками мест сочленения резьбовых элементов, таких как элементы подвески, — всё это превентивные меры по предотвращению возможного появления коррозии.

При конструировании крайне необходимо избегать острых углов элементов кузова, так как в таких местах сильно снижается качество нанесения гальванических, лакокрасочных и защитных покрытий [2, 3]. При нанесении покрытий на поверхности с острым углом в нём происходит стремительное накопление внутренних напряжений, которые приводят к его охрупчиванию, снижается степень адгезии покрытия к подложке, в результате чего наблюдаются такие дефекты покрытий, как растрескивание и отслоение. Таким образом, создание как можно более плавных переходов и форм при проектировании автомобильных кузовов служит важным фактором, позволяющим повысить стойкость к коррозии.

Затруднённый дренаж

Правильное расположение дренажа — не менее важная задача при проектировании кузовов автомобилей. *Дренажные отверстия* рекомендуется проектировать в самых нижних точках кузовов. Однако надлежащее расположение их не является полной гарантией обеспечения хорошего дренажа. Часть воды остаётся на поверхностях кузовов в виде тонких пленок, а также задерживается в местах стыков и соединений. Тем самым обеспечивается наличие эффекта постоянной смачиваемости защитных покрытий, что приводит к их постепенному разрушению и образованию в этих местах коррозионных повреждений. Более того, пористая структура продуктов коррозии способствует удержанию воды и усилению протекающих процессов коррозии. Применение современных гидрофобных покрытий и улучшение *вентиляции* частей кузовов позволяют предотвратить появление и дальнейшее развитие коррозии. Частным случаем следствия затруднённого дренажа является появление коррозии на глушителях. При условии влияния низких температур окружающего воздуха влага в глушителе конденсируется в жидкость, в которой будут в дальнейшем растворяться оксиды азота и серы, хлориды. Отсутствие дренажа, повышение минерализации влаги, скапливающейся в выпускном тракте, и дальнейшее её испарение, только при условии повышения температуры, приводят к увеличению вероятности образования коррозионных повреждений. В настоящее время основным способом борьбы с образованием коррозии в системах выпуска считается применение нержавеющих сталей. Наиболее распространёнными являются марки 08Х13, 12Х13, 12Х17. С возрастанием конкуренции в сфере производства автокомплектующих всё большую актуальность приобретает оптимизация производственных расходов на материалы [4]. Производители автомобилей отдают предпочтение тем поставщикам, которые предлагают товар высокого качества по более низкой цене. Таким образом, применение нержавеющих материалов в комплексе с предложением новых конструкций элементов систем выпуска, учитывающих особенности эффективного отведения образующейся влаги, позволит добиться повышения их коррозионной стойкости.

Таким образом, при выборе мер коррозионной защиты целесообразно основываться на анализе комплексного влияния всех факторов, а не только на результатах ускоренных испытаний, таких как воздействие соляного тумана. Вопрос защиты материалов от коррозии ввиду быстроменяющихся условий влияния окружающей среды эксплуатации, а также применения принципиально новых конструкций и материалов остаётся остроактуальным и представляет значительный интерес для проведения дальнейших исследований.

Литература

1. Суходоля А.В. Причины коррозии навесного оборудования из нержавеющей стали / Т.Е. Лихачева, А.В. Суходоля // Автотранспортное предприятие. — 2011. — № 3. — С. 44—45.
2. Карякина М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Карякина. — М.: Химия, 1988. — 272 с.
3. Гайдар С.М. Перспективы использования лакокрасочных материалов, модифицированных фторсодержащими поверхностноактивными веществами, для защиты сельхозтехники / С.М. Гайдар, Е.В. Быкова, М.Ю. Карелина // Техника и оборудование для села. — 2015. — № 7. — С. 34—38.
4. Суходоля А.В. Современные подходы к прогнозированию долговечности лакокрасочных покрытий строительных и дорожных машин / Суходоля А.В., Одинокова И.В. // Строительные и дорожные машины. — 2014. — № 5. — С. 26—29.

УДК 629.113.012

НОРМИРОВАНИЕ РЕСУРСА ШИН ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В КАРЬЕРНЫХ УСЛОВИЯХ

Канд. техн. наук **ТОПАЛИДИ В.А., ЮСУПОВ У.Б.**
УНЦ "Билиминтертранс", ТИПСиЭАД
(+998977198788)

Представлены результаты исследования по нормированию пробега шин типовых автомобилей, работающих как технологический и вспомогательный транспорт в карьерных условиях.

Ключевые слова: *нормирование, износ шин, типовой автотранспорт, карьерные дороги.*

Topalidi V.A., Yusupov U.B.

RESOURCE RATIONING OF TIRES OF TYPICAL TRUCKS IN QUARRY CONDITIONS

Presents the results of a study on the rationing of tire mileage of typical vehicles operating as technological and auxiliary transports in quarry conditions.

Keywords: *rationing, tire wear, standard vehicles, career roads.*

Шины автотранспортных средств — изделия дорогостоящие и с относительно небольшим ресурсом. Затраты на их замену при эксплуатации в тяжёлых дорожных и климатических условиях составляют значительную часть транспортных расходов. И особенно при работе в карьерах, где идёт добыча полезных ископаемых: если специальные карьерные самосвалы и их шины изначально создаются для данных условий, то для "обычных" (типовых) АТС условия эти намного экстремальнее.

На износ шин влияет вообще около 30 различных факторов, которые можно объединить в четыре группы: качество шин; техническое состояние АТС; нарушение условий и режимов эксплуатации АТС; дорожные и климатические условия. Выявлению закономерностей этих влияний посвящено множество ранее проведённых НИР. В частности, исследованиями НИИШП установлено, что если принять срок службы на асфальтированных дорогах в хорошем состоянии за 100 %, то: на холмистой и извилистой дороге в хорошем состоянии ресурс шины составит 76 %; на неукреплённой дороге — 65 %; на горных дорогах с различным покрытием (брусчатка, щебёнка) — лишь 50 %.

Однако до сих пор остаётся проблемой нормирование ресурса шин типовых автомобилей в карьерных условиях. Обычно это автомобили грузоподъёмностью от 12 до 24 т, используемые как технологический транспорт в небольших карьерах, где рельеф местности не позволяет использовать большегрузные самосвалы, а также выполняющие важные вспомогательные работы в больших карьерах — доставляющие запчасти для горной техники и технологического транспорта, сменное оборудование, специальные грузы, рабочих карьеров (вахтовые автобусы), топливозаправщики и водовозы для полива и др.

Карьерные дороги, как правило, не имеют усовершенствованного (бетонного или асфальтированного) покрытия (за исключением около 4 % карьеров во всех странах СНГ). Преобладают щебёночно-гравийные и естественные покрытия на скальном основании. Чаще всего (52 % предприятий) встречаются комбинации различных типов покрытий. Дороги с мягким грунтом (земля, глина, песок) имеют 9 % предприятий [1].

Работы, проведённые авторами статьи в карьерах "Кальмакыр" и "Сары-Чеку" Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК), где осуществляется добыча медных руд, показали, что все дороги там проложены на основании твёрдых скальных пород, которые при размельчении и укатывании бульдозерами не рассыпаются в песок. Учитывая, что в этих карьерах в составе породы очень много кварцита (до 67 %), который считается наиболее твёрдой породой, то у всех работающих там колёсных транспортных средств, естественно, будет наблюдаться интенсивный износ шин. Отмечено, что даже у бульдозеров, выполняющих огромный объём работ на дорогах карьера, гусеницы изнашиваются значительно раньше планируемых сроков.

Практически все дороги внутри карьеров (до 90 %) относятся к временным технологическим дорогам, которые рассчитаны на срок службы до одного года. Временные дороги непрерывно "перемещаются" вслед за фронтом экскаваторных или отвальных работ. Проезды эти устраивают бульдозерами и автогрейдерами непосредственно по грунту, без каких-либо покрытий.

Для карьерных автосамосвалов грузоподъёмностью 130 т и более нормирование ресурса шин проводится по методике НИИ КГШ. При этом детально определяется категория карьера по степени тяжести условий эксплуатации большегрузных самосвалов, по которой и корректируют базовую норму используемой крупногабаритной шины. Для нормирования же ресурса шин типовых АТС, которые при заезде и выезде с карьера не имеют постоянного маршрута движения, заезжают на разные площадки карьера, данный метод использовать невозможно. Вспомогательный транспорт в карьерах эксплуатируется по различным участкам дорог: дороги с усовершенствованным покрытием 3-й категории, дороги с грунтовым покрытием 4-й категории и карьерные дороги, проложенные на основании твёрдых скальных пород. Причём у разных групп таких автомобилей протяжённости каждого участка дорог отличаются.

За основу нормирования ходимости шин типовых автомобилей по карьерным дорогам, проложенных на основании твёрдых скальных пород были взяты экспериментальные исследования, проведённые ещё на одном из карьеров АГМК в Чадакском рудоуправлении (ЧРУ). В качестве технологического транспорта ЧРУ, в силу рельефа местности, используются трёхосные автосамосвалы MAN TGS 33.360 и КрАЗ 65055. На самосвалах установлены шины 12.00R20 модели И-337 с универсальным рисунком протектора ("Росава" — Белая Церковь). В расчётах нормативного пробега шин использовались два известных метода — графоаналитический и математической статистики.

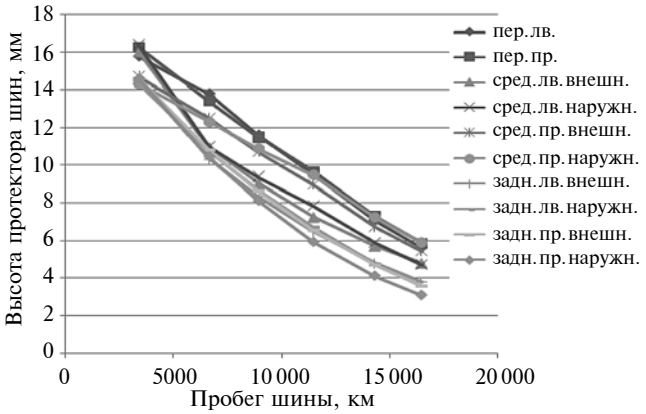


Рис. 1. График износа протектора шин

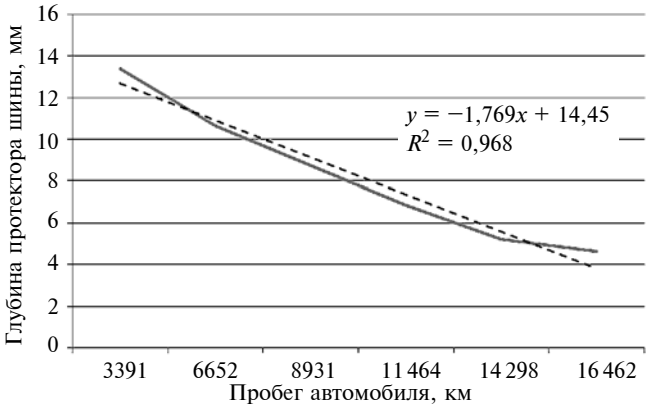


Рис. 2. График среднего (вероятного) износа протектора

Например, автомобиль-самосвал КрАЗ-65055 № 11АТ881 находился под наблюдением в подконтрольной группе из 10 автомобилей с 15 июня по 17 декабря 2015 г.; совершил пробег 16 462 км; проведено шесть контрольных замеров глубины протектора шин на всех колёсах по известной методике. Начальная глубина протектора новых шин 55 составляла 18,5 мм. Для наглядности результаты представлены на рис. 1, в виде графика износа протектора каждой шины.

Сходство процессов протекания износа протектора шин даёт возможность износы шин при каждом замере усреднить до общей, средней величины износа протектора для всех шин на каждом интервале пробега и представить в виде графика общего износа для всех шин, показанного на рис. 2 (сплошная линия). Как видим, график представляет ломаную линию, состоящую из трёх прямых отрезков разной длины, но по общему характеру приближающуюся к прямой. Первый отрезок объединяет интервал пробега от 0 до 6652 км, второй — от 6652 до 14 298 км и третий — от 14 298 до 16 462 км.

Наиболее продолжительным и стабильным по характеру среднего износа является второй отрезок графика на интервале пробега общей продолжительностью 7646 км при общей продолжительности подконтрольного пробега шин 16 462 км. Таким образом, на 46,4 % пробега характер среднего износа был постоянным, а на 53,6 % пробега имел незначительные небольшие отклонения.

Более глубокая обработка материалов на компьютере и анализ результатов этой обработки позволили аппроксимировать эмпирическую ломанную графика среднего износа протектора шин в теоретическую прямую (показана на рис. 2 пунктирной линией), а также определить аналитическую зависимость пробега шин от износа в виде уравнения, что позволяет рассчитать ресурс шин до снятия с эксплуатации.

Аналитическая зависимость износа шин от пробега в данном случае выражается уравнением: $h = 0{,}00075S + 1{,}133$, где h — максимальный допустимый износ протектора по условиям безопасности (мм), S — пробег (км) автошин до допустимого износа. Тогда пробег определяется выражением: $S = \frac{h - 1{,}133}{0{,}00075}$. Таким образом, максимальный пробег автошин до снятия с эксплуатации, рассчитанный графоаналитическим методом, составил $S = \frac{17{,}5 - 1{,}133}{0{,}00075} = 21\ 822$ км.

По расчёту же методом математической статистики ожидаемый ресурс шин до снятия с эксплуатации составляет 21 658 км. Как видим, абсолютная разность расчётов составила 0,76 %. В расчётах учитывалось, что остаточная глубина протектора, на основании норм безопасности дорожного движения, должна составлять 1 мм.

Фактические пробеги до списания данных шин, установленных на самосвалах в ЧРУ, составили в среднем 22 433 км. При этом необходимо учесть, что эксплуатация шин продолжалась до полного износа протектора. Норма пробега шин для технологического транспорта в ЧРУ была установлена 22 000 км. Учитывая, что нормативный пробег для данных шин в I категории эксплуатации установлен $S_н = 80$ тыс. км, коэффициент понижения их ресурса при эксплуатации на карьерных дорогах на скальном грунте составил $K_с = 0{,}275$.

Аналогичные исследования были проведены и в Ангренском рудоуправлении АГМК. Всего было обследовано более 100 автомобилей, включая вахтовые автобусы, укомплектованные шинами высокой проходимости.

Приведём один из примеров расчёта норм пробега шин, вспомогательного транспорта для карьерных работ. Среднесуточный пробег карьерного водовоза, изготовленного на базе КрАЗ 256Б1 и работающего в 3 смены, составляет ≈260 км. Он распределяется на три участка: первый — пробег от АТП до места заправки водой по дорогам III категории составляет туда и обратно 16 км (5,535 %); второй — пробег от места заправки водой до карьера "Кальмакыр" по грунтовым дорогам IV категории туда и обратно несколько раз за смену — 103,2 км (39,7 %); третий — пробег в процессе выполнения поливочных работ по карьерным дорогам на скальном основании — 140,8 км (54,15 %). Подсчитаем коэффициент снижения ресурса шин карьерного водовоза:

$$K_{рш} = 0{,}05535 \times 0{,}9 + 0{,}397 \times 0{,}8 + 0{,}5415 \times 0{,}275 = 0{,}516.$$

Соответственно, нормативный пробег шины карьерного водовоза составил:

$$L_н = S_н K_{рш} = 80\ 000 \times 0{,}516 = 41\ 306 \text{ км}.$$

На основании всех проведённых в течение четырёх лет исследований типового автотранспорта, используемого как технологический и вспомогательный в карьерах АГМК, а также на других объектах, был разработан порядок корректирования норм пробега шин типовых АТС в зависимости от условий эксплуатации. Учитывая то влияние на износ шин, которое оказывает высота и рельеф местности, на примере карьера "Кальмакыр", V категория условий эксплуатации была разделена на две подкатегории $V_а$(Д$_6$ – Р$_1$, Р$_2$) и $V_б$(Д$_6$ – Р$_3$, Р$_4$, Р$_5$), где Д$_6$ — естественные грунтовые дороги, Р$_1$, Р$_2$, Р$_3$, Р$_4$, Р$_5$ — это тип рельефа местности [2].

Ниже представлены два подпункта к порядку корректирования норм пробега шин.

1.5. Нормы пробега автомобильных шин с универсальным рисунком протектора могут быть снижены:

— на 20 % для автомобилей, осуществляющих до 50 % пробега в IV категории условий эксплуатации;

— на 30 % для автомобилей, осуществляющих 50 и более процентов пробега в IV категории условий эксплуатации;

— на 30 % для автомобилей, осуществляющих до 50 % пробега в $V_а$ категории условий эксплуатации;

— на 40 % для автомобилей, осуществляющих 50 и более процентов пробега в $V_а$ категории условий эксплуатации;

— на 40 % для автомобилей, осуществляющих до 50 % пробега в $V_б$ категории условий эксплуатации;

— на 50 % для автомобилей, осуществляющих от 51 % до 70 % пробега в $V_б$ категории условий эксплуатации;

— на 60 % для автомобилей, осуществляющих более 70 % пробега в $V_б$ категории условий эксплуатации.

1.6. Нормы пробега шин высокой проходимости могут быть снижены на 20 % для автомобилей, постоянно работающих в горной местности, соответствующей категории условий эксплуатации $V_а$, на 30 % — категории условий эксплуатации $V_б$.

Предложенный порядок корректирования норм пробега шин представлен как отраслевой нормативный документ для АГМК. Он также используется по назначению и в Навоийнском горно-металлургическом комбинате Республики Узбекистан, имеющем схожую структуру грунтовых и карьерных дорог.

Литература

1. Эксплуатация и ремонт крупногабаритных шин / Э.С. Скорняков, Э.Н. Кваша, А.А. Хаменя, А.П. Бойков — М.: Химия, 1991, 128 с.
2. Кузнецов Е.С. и др. Техническая эксплуатация автомобилей. Учебник для вузов. Издательство "Наука", 2004, 535 с.

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 629.113

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ИСПЫТАНИЙ НА УПРАВЛЯЕМОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ВХОДЕ В ПОВОРОТ

Д-р техн. наук **ТАРАСИК В.П.**

Белорусско-Российский университет

(+375-222-253645)

Предложена математическая модель и методика проведения имитации испытаний автомобиля при выполнении манёвра входа в поворот. На примере легкового автомобиля малого класса проведено исследование управляемости и устойчивости и приведены полученные графики, иллюстрирующие изменение характеристик движения на поворотной полосе.

Ключевые слова: *автомобиль, колесо, поперечная и продольная реакции дороги, сила инерции, инерционный момент, тестовый режим испытаний, поворотная полоса, траектория движения автомобиля, боковое скольжение, занос автомобиля.*

Tarasik V.P.

MODELLING OF THE MODE OF TESTS FOR ROADABILITY AND STABILITY OF THE CAR AT THE ENTRANCE TO TURNING MOVEMENT

The paper presents the mathematical model and technique of carrying out imitation of tests of the car when performing maneuver of entrance to turning movement. Research of roadability and stability for the car of small class is conducted. Schedules illustrating change of characteristics of the movement on rotary strip have been presented.

Keywords: *car, wheel, cross and longitudinal reactions of the road, inertia force, inertial moment, test mode of tests, rotary strip, trajectory of the movement of the car, side slippage, car drift.*

Формулировки определений важнейших функциональных свойств автомобиля — управляемости и устойчивости, предложенные в работах [1—6] и др., несколько различаются, однако принципиальных разногласий и противоречий между ними нет. Технические требования к управляемости и устойчивости автотранспортных средств изложены в ГОСТ 31507—2012 [7],

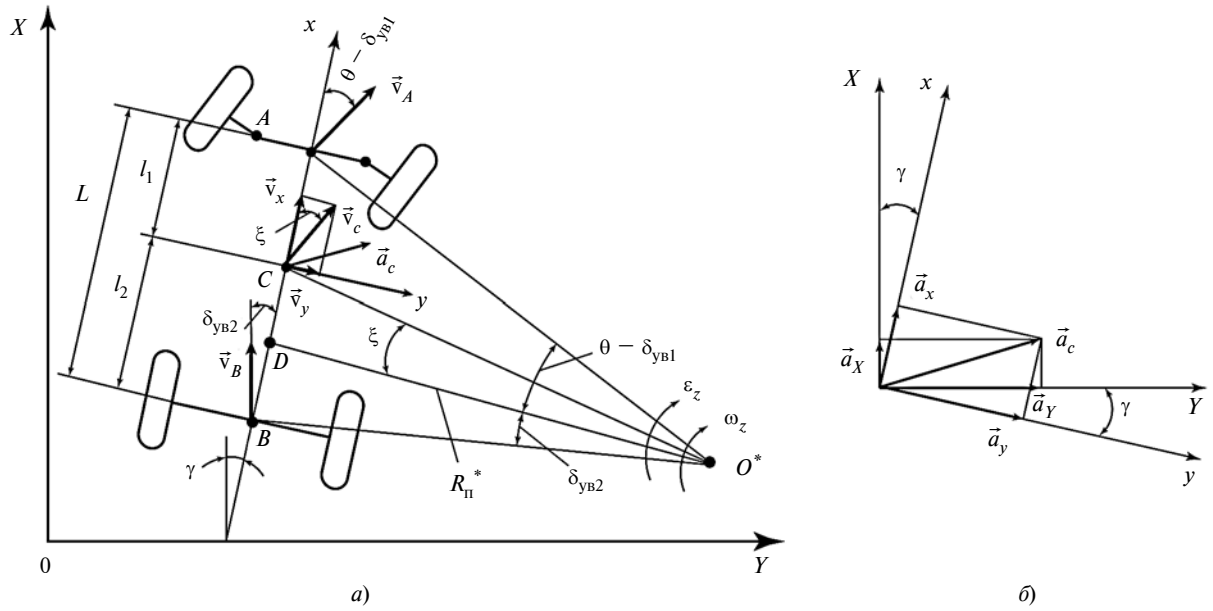


Рис. 1. Схема к определению скоростей и ускорений автомобиля при движении на повороте

в котором детально рассмотрены методы проведения испытаний по определению характеристик и оценочных показателей качества и эффективности управления. Предусмотрено множество типовых тестовых испытаний. Показатели и характеристики исследуемых свойств определяются в критических (нештатных) режимах движения автомобиля, подвергаемого испытаниям, с выполнением соответствующих манёвров: смена полосы движения ("переставка"), вход в поворот, рывок руля и др.

При создании нового автомобиля очень важно иметь возможность прогнозирования показателей и характеристик управляемого движения. Ниже изложена методика имитационного моделирования тестового режима испытаний "поворот $R_п$ = 35 м", предназначенная для определения максимальной скорости $v_{м\,max}$, при которой манёвр может быть выполнен при сохранении устойчивого и управляемого движения без бокового опрокидывания и заноса мостов автомобиля. Полученное значение $v_{м\,max}$ сравнивается с нормативным значением скорости выполнения данного манёвра $v_м$. Значения $v_м$ для различных категорий и типов автомобилей, схема маршрута движения "поворот

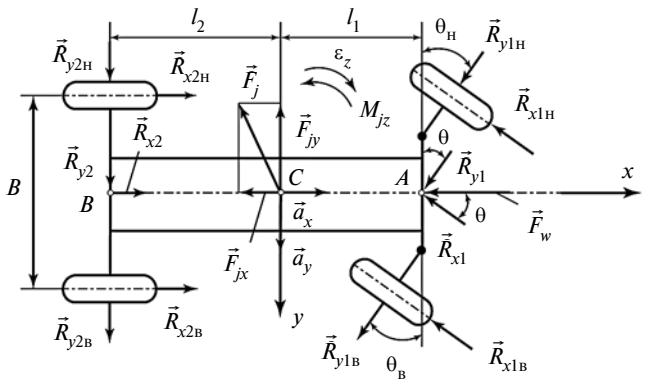


Рис. 2. Внешние воздействия на автомобиль при движении на повороте

$R_п$ = 35 м" и методика проведения испытаний приведены в [7].

На начальной стадии проектирования количество информации об исходных параметрах автомобиля минимально, поэтому исследования свойств управляемости и устойчивости предлагается провести на трёхмерной имитационной модели автомобиля, отображающей его движение на опорной поверхности дороги. Схема кинематических параметров движения автомобиля на повороте представлена на рис. 1, а воздействия внешней среды на автомобиль — на рис. 2. Предполагается, что задние колёса ведущие, а передние ведомые и управляемые.

Выбраны две системы координат — подвижная *xyz*, связанная с автомобилем, и неподвижная *XOZ* на опорной поверхности дороги. Начало подвижной системы координат расположено в центре масс автомобиля *C*, ось *x* направлена вдоль продольной оси автомобиля *AB*, ось *y* — в боковом направлении в сторону мгновенного центра поворота O^*, а ось *z* — перпендикулярно к плоскости *xCy* (рис. 1, *а*).

Угол поворота обоих управляемых колёс принят одинаковым, так как его значение при выполнении исследуемого манёвра сравнительно невелико (в пределах 4...5 град). Углы увода передних и задних колёс обозначены соответственно $\delta_{ув1}$ и $\delta_{ув2}$. Скорость центра масс автомобиля $\vec{v}_c$, а её проекции на оси *x* и *y* — соответственно $\vec{v}_x$ и $\vec{v}_y$. Ускорение центра масс $\vec{a}_c$, угловая скорость вращения корпуса автомобиля относительно оси ω_z, а угловое ускорение ε_z. Курсовой угол γ характеризует изменение положения продольной оси автомобиля *Cx* относительно неподвижной оси *X*. Взаимосвязи между векторами ускорений в подвижной системе координат $\vec{a}_x$, $\vec{a}_y$ и в неподвижной системе $\vec{a}_X$ и $\vec{a}_Y$ отображены на рис. 1, *б*.

На рис. 2 показаны продольные и поперечные реакции дороги на передние колёса, суммарные составляющие которых обозначены $\vec{R}_{x1}$, $\vec{R}_{y1}$ и приведены к

точке A продольной оси автомобиля. Аналогично отображены суммарные продольная $\vec{R}_{x2}$ и поперечная $\vec{R}_{y2}$ реакции дороги на задние колёса. Сила инерции массы автомобиля $m_а$ обозначена $\vec{F}_j$, а инерционный момент M_{jz}, действующий относительно вертикальной оси Cz.

Составим уравнения динамического равновесия сил в проекциях на оси x, y и вращающих моментов относительно оси z (система 1 в таблице).

Согласно схеме (см. рис. 1, *а*) проекции скорости центра масс автомобиля v_c на оси подвижной системы координат $v_x = v_c\cos\xi$; $v_y = v_c\sin\xi$, где ξ — угол отклонения вектора $\vec{v}_x$ относительно вектора $\vec{v}_c$. Учитывая, что углы θ, $\delta_{ув1}$ и $\delta_{ув2}$ сравнительно небольшие, искомый угол ξ можно вычислять по формуле 2.

Поскольку угол ξ также небольшой, примем $\vec{v}_x = \vec{v}_c$, а значения v_y и ω_z определим по формулам 3 и 4 [6].

№	Формула	Примечания
1	$\left.\begin{aligned} &\delta_{п.м} m_а a_x = -R_{x1}\cos\theta + R_{x2} - R_{y1} - F_w;\\ &m_а a_y = -R_{x1}\sin\theta + R_{y1}\cos\theta + R_{y2};\\ &J_z\varepsilon_z = -R_{x1}l_1\sin\theta + R_{y1}l_1\cos\theta - R_{y2}l_2 \end{aligned}\right\}$	$\delta_{п.м}$ — коэффициент приведённой массы автомобиля, учитывающий кинетическую энергию вращающихся масс двигателя, трансмиссии и колёс; F_w — сила сопротивления воздуха; θ — угол поворота управляемых колес; J_z — момент инерции автомобиля относительно оси z; l_1, l_2 — координаты центра масс автомобиля
2	$\xi = [l_2(\theta - \delta_{ув1}) - l_1\delta_{ув2}]/L$	L — база автомобиля
3	$v_y = v_x\xi = v_x[l_2(\theta - \delta_{ув1}) - l_1\delta_{ув2}]/L$	—
4	$\omega_z = v_x/R^*_п = v_x(\theta - \delta_{ув1} + \delta_{ув2})/L$	$R^*_п$ — радиус поворота автомобиля с учётом увода колёс
5	$\delta_{ув1} = \theta - (l_1\omega_z + v_y)/v_x$	—
6	$\delta_{ув2} = (l_2\omega_z + v_y)/v_x$	—
7	$R_{y1} = k_{ув1}\delta_{ув1}$	$k_{ув1}$, $k_{ув2}$ — коэффициенты сопротивления уводу колёс соответственно переднего и заднего мостов
8	$R_{y2} = k_{ув2}\delta_{ув2}$	
9	$a_y = v_x\omega_z + dv_y/dt$	—
10	$\left.\begin{aligned} &\frac{dv_y}{dt} = \frac{R_{y1} + R_{y2}}{m_а} - v_x\omega_z;\\ &\frac{d\omega_z}{dt} = \frac{R_{y1}l_1 - R_{y2}l_2}{J_z} \end{aligned}\right\}$	—
11	$\left.\begin{aligned} &dv_y/dt = -a_{11}v_y - a_{12}\omega_z + b_1;\\ &d\omega_z/dt = -a_{21}v_y - a_{22}\omega_z + b_2 \end{aligned}\right\}$	a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22} — элементы матрицы Якоби системы линейных дифференциальных уравнений 11; b_1, b_2 — функции внешних воздействий на автомобиль, обусловленных изменением угла поворота управляемых колёс θ
12	$\left.\begin{aligned} &a_{11} = \frac{k_{ув1} + k_{ув2}}{m_а v_x};\quad a_{12} = \frac{k_{ув1}l_1 - k_{ув2}l_2}{m_а v_x} + v_x;\\ &a_{21} = \frac{k_{ув1}l_1 - k_{ув2}l_2}{J_z v_x};\quad a_{22} = \frac{k_{ув1}l_1^2 + k_{ув2}l_2^2}{J_z v_x} \end{aligned}\right\}$	—
13	$b_1 = k_{ув1}\theta/m_а;\quad b_1 = k_{ув11}l\theta/J_z$	—
14	$\left.\begin{aligned} &dX/dt = v_x\cos\gamma - v_y\sin\gamma;\\ &dY/dt = v_x\sin\gamma + v_y\cos\gamma;\\ &d\gamma/dt = \omega_z \end{aligned}\right\}$	—
15	$\Delta\delta_{ув2} = b_0 + b_1\Delta R_{y2} + b_2\Delta R^2_{y2}$	b_0, b_1, b_2 — коэффициенты полинома
16	$X = a + \sqrt{R_{пов} - (Y - b)^2}$	$a = 0$; $b = 33{,}05$ м — координаты центра окружности среднего радиуса поворотной полосы ($R_{ср}$)
17	$R_{ср} = R_п - D_3/2$	$R_п = 35$ м; $D_3 = 3{,}9$ м — наружный радиус и ширина поворотной полосы маршрута
18	$\Delta\omega_{у.к0} = \frac{180 v_{м.н}\operatorname{arctg}(L/R_{ср})}{\pi s_2}$	$s_2 = 15$ м — длина участка 2 маршрута испытаний
19	$v_{кр.оп} = \sqrt{\frac{R_{пов}Bg}{2h_c}}$	B — колея автомобиля; h_c — высота расположения центра масс; g — ускорение свободного падения
20	$R_{пов} = \frac{L}{\theta - \delta_{ув1} + \delta_{ув2}}$	—

Решив совместно эти уравнения, получим выражения для вычисления углов увода — формулы 5 и 6.

При испытаниях автомобиль движется с постоянной скоростью v_c, поэтому $a_x = 0$ и первое уравнение системы 1 превращается в алгебраическое выражение. Величина реакции R_{x1} по сравнению с поперечными реакциями R_{y1} и R_{y2} незначительна, а $R_{x1}\sin\theta$ тем более, поэтому ею можно пренебречь и исключить из второго и третьего уравнений системы 1. Поперечные реакции R_{y1} и R_{y2} определим из выражений 7 и 8 [6]. Значение поперечной составляющей a_y ускорения центра масс автомобиля a_c определяется с учётом угловой скорости корпуса автомобиля ω_z и вычисляется по формуле 9.

Принимая $\cos\theta = 1$, получаем следующую систему дифференциальных уравнений, описывающих движение вдоль оси y и вращение относительно оси z (система 10). После подстановки в них значений поперечных реакций R_{y1} и R_{y2} получим систему 11, в которой a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22} — элементы матрицы Якоби системы линейных дифференциальных уравнений (формулы 12), а b_1 и b_2 — функции внешних воздействий на автомобиль, обусловленных изменением угла поворота управляемых колёс θ (формула 13).

Решением системы уравнений 11 определяются изменения фазовых координат v_y и ω_z, характеризующих криволинейное движение автомобиля, в зависимости от угла поворота управляемых колёс θ и скорости движения v_x. Для определения координат центра масс автомобиля X, Y в плоскости дороги и курсового угла γ, характеризующего угол поворота продольной оси автомобиля относительно оси OX, используем систему дифференциальных уравнений 14, составленную непосредственно на основе схемы, представленной на рис. 1, *а*.

Интегрируя совместно системы дифференциальных уравнений 11 и 14, определяют изменения фазовых переменных v_x, ω_z, X, Y, γ в подвижной и неподвижной системах координат. По результатам решения строят график траектории движения на плоскости дороги, на основе которого оценивают управляемость и устойчивость автомобиля при выполнении манёвра "поворот $R_п$ = 35 м" (обеспечение нормативного значения скорости выполнения манёвра $v_{м.н}$, фиксация заноса автомобиля — выход за ограничивающие линии поворотной полосы). Производят также построение графиков изменения во времени поперечных реакций R_{y1}, R_{y2} и углов увода колёс $\delta_{ув1}$, $\delta_{ув2}$. Получаемые значения R_{y1}, R_{y2} сравниваются с их предельными величинами, ограничиваемыми сцеплением колёс с дорогой $R_{y1\varphi} = \varphi_x R_{z1}$, $R_{y2\varphi} = \varphi_x R_{z2}$, где φ_x — коэффициент сцепления; R_{z1}, R_{z2} — нормальные реакции дороги на колёса.

Если поперечные реакции R_{y1}, R_{y2} превышают предельные значения по сцеплению, возникает боковое скольжение колёс и прогрессивно увеличиваются углы увода, что приводит к заносу автомобиля и движение его может оказаться неуправляемым. Для учёта величины возрастания угла увода $\Delta\delta_{ув2}$ при боковом скольжении колёс заднего моста предложено использовать квадратичную функцию, имитирующую снижение коэффициента сцепления в сравнении с его максимальным значением $\varphi_{x\max}$. Она представляет собой полином, аргументом которого является величина ΔR_{y2} превышения реакцией R_{y2} значения $R_{y2\varphi}$ (формула 15). На основе этой функции вычислялось увеличение угла увода колёс заднего моста $\Delta\delta_{ув2}$, обусловленное возникновением бокового скольжения.

Вследствие изменения угла поворота управляемых колёс θ и углов увода $\delta_{ув1}$, $\delta_{ув2}$ при движении автомобиля на поворотной полосе радиус поворота $R_{пов}$ постоянно изменяется, что влияет на траекторию движения. Для построения графика траектории движения автомобиля в качестве аргумента использовалась координата поперечного перемещения Y, а координата продольного перемещения X вычислялась по формуле 16. Средний радиус поворотной полосы определяется из соотношения 17.

В процессе выполнения манёвра осуществляется управление углом поворота управляемых колес θ. На участке 2 маршрута испытаний θ изменяется по линейной зависимости от времени, исходя из условия, чтобы при въезде на поворотную полосу его величина достигла значения, соответствующего движению по траектории среднего радиуса поворотной полосы $R_{ср}$. Изменение во времени угловой скорости поворота колёс на этом участке $\Delta\omega_{у.к0}$, град/с, определяется из соотношения 18. В процессе движения на поворотной полосе осуществляются дискретные изменения угловой скорости поворота колёс $\Delta\omega_{у.к}$, град/с, при отклонении линии траектории движения $R_{тр}$ от $R_{ср}$ более чем на 0,5 м.

В качестве объекта моделирования принят легковой автомобиль малого класса. Его параметры: полная масса $m_а$ = 1578 кг; распределение массы между мостами: $m_{а1}$ = 785 кг; $m_{а2}$ = 793 кг; момент инерции относительно оси z J_z = 2500 кг · м^2; колёсная база L = 2,492 м; колея B = 1,4 м; высота центра масс h_c = 0,5 м; максимальный коэффициент сцепления $\varphi_{x\max}$ = 1,0 [4]. Коэффициент сопротивления уводу колёс переднего и заднего моста принят одинаковым, равным 80 000 Н/рад. Скорость автомобиля $v_а$ при выполнении манёвра "поворот $R_п$ = 35 м" варьировалась в пределах 40...80 км/ч с шагом 5 км/ч. Нормативное значение скорости $v_{м.н}$ для данного автомобиля составляет 72 км/ч [7].

Графики траектории движения автомобиля при скоростях соответственно 60, 65 и 72 км/ч представлены на рис. 3. При увеличении скорости движения свыше некоторой величины движение становится неустойчивым, траектория $R_{тр}$ значительно отклоняется от среднего радиуса поворотной полосы $R_{ср}$ (см. рис. 3, *в*). Движение сопровождается боковым скольжением колёс и выходом за пределы границ заданной полосы. Как видим, исследуемый автомобиль в последнем случае не выдержал испытания "поворот $R_п$ = 35 м", поскольку при нормативном значении скорости $v_{м.н}$ не обеспечиваются его управляемость и устойчивость. Однако можно отметить, что при скорости 72 км/ч постепенно удаётся удержать автомобиль в поворотной полосе посредством управляющего воздействия, изменяя угол поворота управляемых колёс θ.

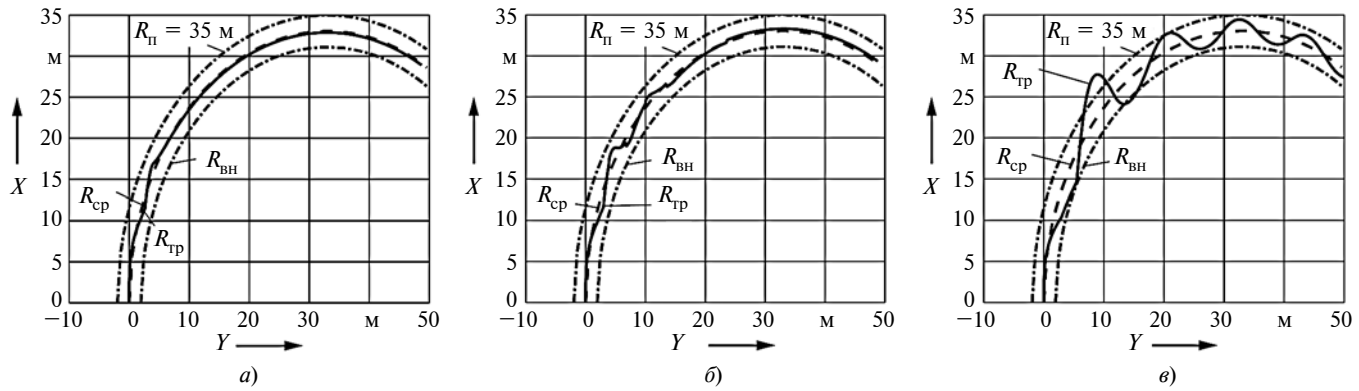


Рис. 3. Траектория движения автомобиля при выполнении манёвра "поворот $R_п$ = 35 м"

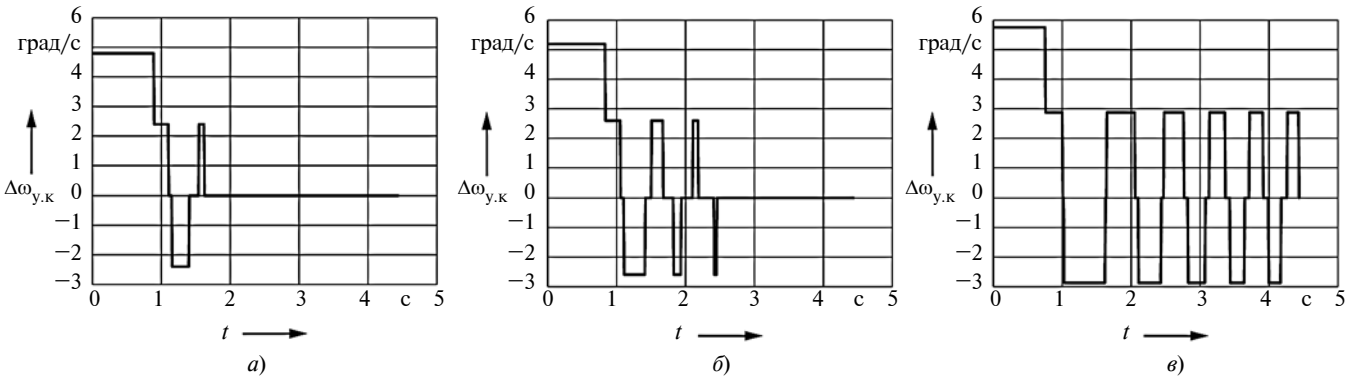


Рис. 4. Графики дискретных управляющих воздействий — изменение угловой скорости поворота колёс при движении на поворотной полосе

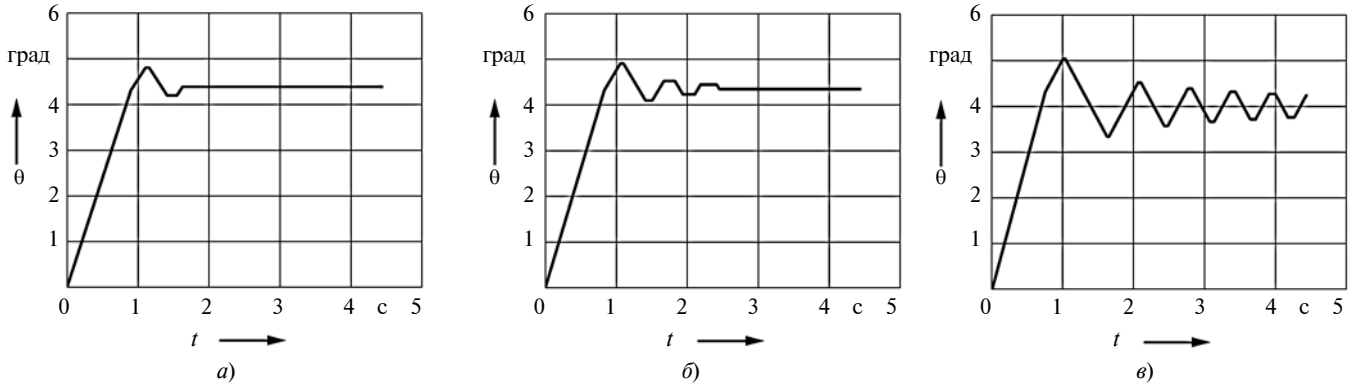


Рис. 5. Изменение угла поворота управляемых колёс при движении на поворотной полосе

При дальнейшем увеличении скорости занос становится неизбежным и устойчивое движение на повороте оказывается невозможным.

На рис. 4 показаны графики управляющих воздействий на колёса, представляющие собой функцию изменения угловой скорости поворота управляемых колёс $\Delta\omega_{у.к}$, град/с. Начальный участок этой функции при $\Delta\omega_{у.к}$ = const соответствует движению автомобиля до въезда на поворотную полосу. Управление движением на поворотной полосе осуществляется посредством дискретных сигналов изменения угловой скорости $\Delta\omega_{у.к}$, обеспечивающих удержание траектории автомобиля в пределах коридора, ограничиваемого радиусами $R_{кор} = R_{ср} \pm 0{,}5$ м. Изменение угла поворота управляемых колёс θ в процессе выполнения манёвра представлено на рис. 5.

Графики рис. 4 и 5 однозначно связаны между собой. Если траектория движения автомобиля устремляется к нижней ограничительной линии поворотной полосы, задаётся отрицательная скорость $\Delta\omega_{у.к}$ и угол поворота колёс θ снижается, а если к верхней линии (радиус $R_п$), тогда скорость $\Delta\omega_{у.к}$ положительна и угол θ возрастает. Из рисунков видно, что чем выше скорость автомобиля $v_а$, тем чаще осуществляются управляющие воздействия.

Графики изменения поперечных реакций R_{y1}, R_{y2} в зависимости от скорости автомобиля $v_а$, а также их ограничения по сцеплению $R_{y1\varphi}$, $R_{y2\varphi}$ приведены на рис. 6, *а*. При увеличении скорости свыше 64 км/ч R_{y1}, R_{y2} превышают значения $R_{y1\varphi}$, $R_{y2\varphi}$ и начинается боковое скольжение колёс. Углы увода при этом быстро возрастают (рис. 6, *б*) и движение становится не-

устойчивым, требующим увеличения частоты управляющих воздействий. При $v_а > 70$ км/ч требования к управляемости и устойчивости не обеспечиваются и наступает занос автомобиля. На рис. 6, *в* показан график бокового ускорения автомобиля a_y. Значения R_{y1}, R_{y2} зависят от силы инерции автомобиля $F_j = m_а a_y$ и инерционного момента $M_j = J_z \varepsilon_z$. С увеличением скорости автомобиля a_y прогрессивно возрастает, следовательно, аналогично изменяются сила инерции и поперечные реакции R_{y1}, R_{y2}.

Графики изменения поперечных реакций при скоростях 60, 65 и 72 км/ч в процессе выполнения манёвра приведены на рис. 7, а соответствующие им графики изменения углов увода $\delta_{ув1}$, $\delta_{ув2}$ — на рис. 8. Устойчивое движение без заноса обеспечивается, если $\delta_{ув2} < \delta_{ув1}$. При скорости 72 км/ч (рис. 8, *в*) $\delta_{ув2}$ превышает $\delta_{ув1}$, что и является условием и признаком возникновения заноса автомобиля. На этом же рисунке приведен график $\Delta\delta_{ув2} = f(t)$, характеризующий приращение $\Delta\delta_{ув2}$ угла увода $\delta_{ув2}$ вследствие бокового скольжения задних колёс автомобиля, вычисляемое по формуле 15.

Потеря устойчивости движения может также произойти при отрыве колёс от опорной поверхности дороги и с увеличением скорости завершиться боковым опрокидыванием автомобиля. Поэтому при выполнении манёвра "поворот $R_п = 35$ м" контролируется и это условие нарушения устойчивости движения. Критическая скорость по боковому опрокидыванию автомобиля $v_{кр.оп}$ определяется по формуле 19. Из неё следует, что $v_{кр.оп}$ определяется величиной радиуса поворота $R_{пов}$, которая, как отмечалось выше, постоянно изменяется при движении на поворотной полосе вследствие подачи управляющих воздействий. Значение $R_{пов}$

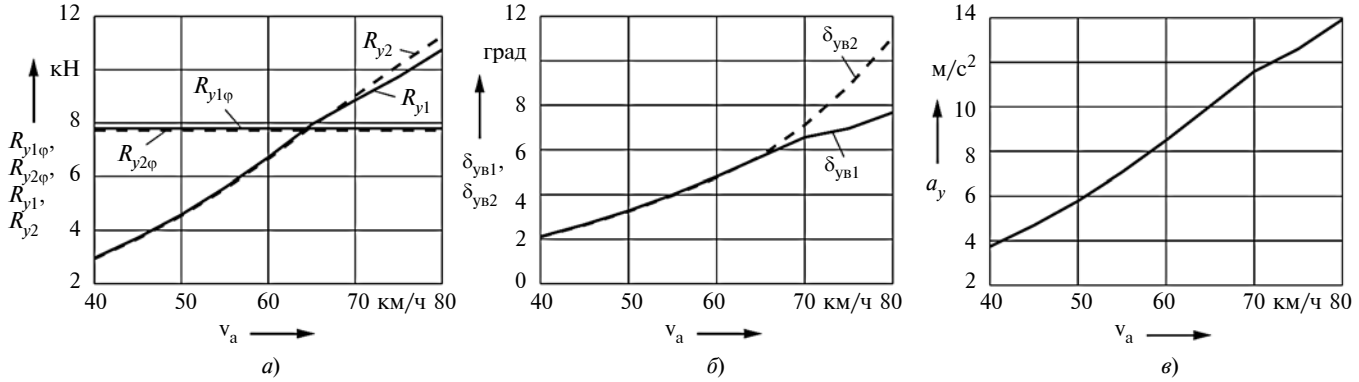


Рис. 6. Влияние скорости автомобиля на изменение поперечных реакций (а), углов увода колёс (б) и бокового ускорения (в)

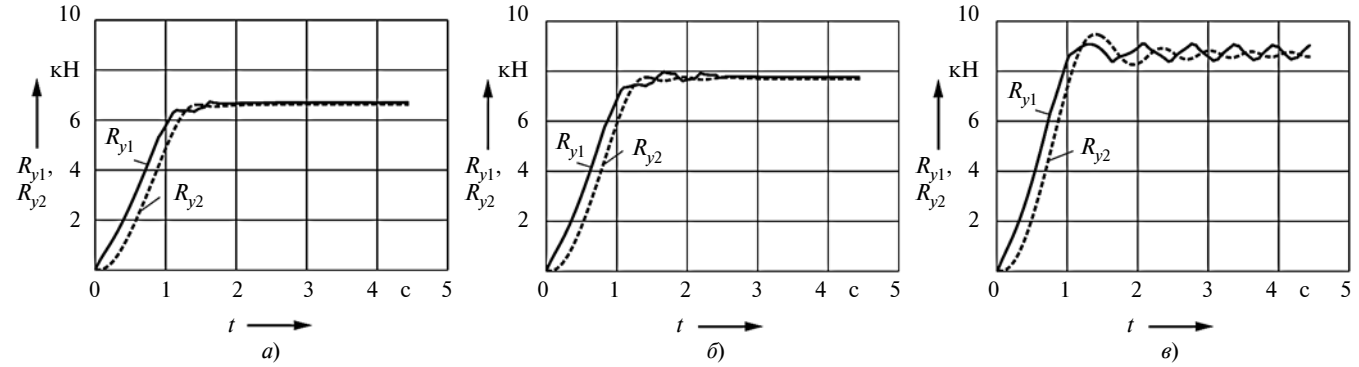


Рис. 7. Изменение поперечных реакций в процессе выполнения манёвра "поворот $R_п = 35$ м" на скорости 60 км/ч (а), 65 км/ч (б) и 72 км/ч (в)

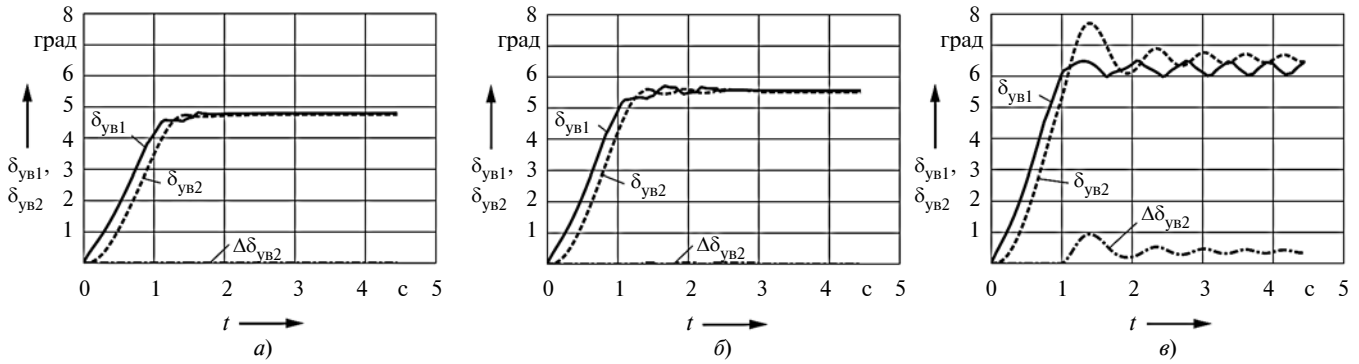


Рис. 8. Изменение углов увода передних и задних колёс в процессе выполнения манёвра "поворот $R_п = 35$ м" на скорости 60 км/ч (а), 65 км/ч (б) и 72 км/ч (в)

зависит от угла поворота управляемых колёс θ и углов увода $\delta_{ув1}$, $\delta_{ув2}$ и вычисляется по формуле 20. При отсутствии бокового скольжения $R_{пов} \approx R_{ср}$. Тогда для моделируемого автомобиля получаем $v_{кр.оп} = 76{,}7$ км/ч, что немного выше, чем критическая скорость по боковому скольжению, равная 64 км/ч (см. рис. 6, *а*).

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет определить предельную скорость устойчивого управляемого движения автомобиля при выполнении манёвра "поворот $R_п = 35$ м" и оценить возможность достижения предписываемого стандартом нормативного значения скорости. В модели предусмотрено определение углов увода колёс при возникновении бокового скольжения, построение траектории движения автомобиля на поворотной полосе, формирование дискретных управляющих воздействий, обеспечивающих устойчивое управляемое движение. Предназначена модель для использования на начальной стадии проектирования автомобиля при определении параметров, обеспечивающих выполнение технических требований на показатели управляемости и устойчивости.

Литература

1. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. — М.: Машиностроение, 1971. — 416 с.
2. Литвинов А.С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. — М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.
3. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин: учебник для вузов / Г.А. Смирнов. — М.: Машиностроение, 1990. — 352 с.
4. Ларин В.В. Теория движения полноприводных колёсных машин: учебник для вузов / В.В. Ларин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 391 с.
5. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория: учебник для вузов / А.И. Гришкевич. — Мн.: Выш. шк., 1986. — 208 с.
6. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: учебник для вузов / В.П. Тарасик. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с.
7. ГОСТ 31507—2012. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. — 42 с.

ИНФОРМАЦИЯ

За рубежом

КИТАЙ АКТИВНО РАЗВИВАЕТ СИСТЕМУ ЗАПРАВОК ДЛЯ "ЗЕЛЁНЫХ" АВТОМОБИЛЕЙ

ЧЭНЬ СЯО, канд. экон. наук **САЗОНОВ С.Л.**
(sazonovch@mail.ru)
ИДВ РАН

Значительный рост доходов населения страны стимулировал резкий рост объёмов производства и продаж автомобилей, особенно в крупных городах Китая, 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 КНР. Осознавая глобальные вызовы, правительство страны разработало программу развития автомобилестроения на основе энергосбережения и новой энергетики, направленную на создание инновационного транспортного парка и соответствующей зарядной инфраструктуры нового поколения.

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

Chen Xiao, Sazonov S.L.

CHINA ACTIVELY DEVELOPS A SYSTEM OF ELECTRIC FILLINGS FOR "GREEN" CARS

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 charging infrastructure of a new generation.

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

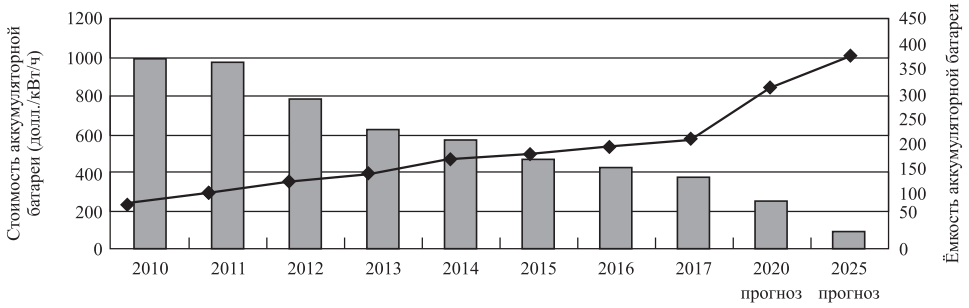
Развитие технологий для производства инновационных типов аккумуляторных батарей для электромобилей, создание и расширение сети сверхбыстрых электрозарядных станций и колонок большой мощности в крупных мегаполисах и вдоль главных автомобильных магистралей входит в число приоритетных направлений деятельности руководства КНР в области развития производства высокотехнологичных автомобилей, использующих альтернативные источники энергии.

В последние годы в Китае стало бурно развиваться производство литий-ионных аккумуляторных батарей, чьи технологические характеристики, надёжность и качество сегодня полностью соответствуют мировым стандартам. В 2017 г. объём производства этих аккумуляторов в Китае составлял около 38 % мирового объёма производства литий-ионных аккумуляторных батарей, китайские производители контролировали около 70 % мирового рынка продаж аккумуляторов для "экологичных автомобилей" (вместе с Японией и Республикой Корея), литий-ионные аккумуляторные

батареи, использованные китайскими производителями электромобилей, были произведены в КНР [1]. Президент Европейской ассоциации поставщиков компонентов для автомобилей во время проведения Международного автосалона во Франкфурте в 2017 г. посетовал, что "европейцы вынуждены платить "друзьям-китайцам" от 4 тыс. евро (4,75 долл.) до семи за каждую аккумуляторную батарею для своих автомобилей" [2]. В 2016 г. общая мощность произведённых в Китае литий-ионных аккумуляторных батарей для электромобилей составила 28 ГВт/ч (Гигаватт-час. 1 ГВт/ч = 10^9 Вт), в 2017 г. — 57 ГВт/ч, а в 2020 г. правительство КНР планирует увеличить общую мощность до 176 ГВт/ч [3]. Развитие в Китае промышленности производства зарядных батарей для электромобилей генерирует значительный мультипликативный эффект в различных отраслях экономики страны, способствует созданию около 100 тыс. новых рабочих мест на самом производстве литий-ионных аккумуляторов и более 110 тыс. дополнительных рабочих мест в сопредельных отраслях китайской промышленности [4].

Эти преимущества превратились в благоприятный фактор, стимулирующий перевод автомобильного рынка КНР с традиционных машин с двигателем внутреннего сгорания на новые инновационные автомобили, использующие альтернативные источники энергии. Однако, по признанию специалистов, современные литий-ионные аккумуляторы сегодня уже не в полной мере отвечают потребностям бурно развивающегося китайского рынка автомобилей на новых источниках энергии, поскольку нынешние батареи ёмкостью 25 Вт/ч имеют массу 250 кг, а их удельная энергоёмкость на единицу массы в 2017 г. составляла 180 Вт · ч/кг, что обеспечивало в среднем 258 км пробега без дополнительной зарядки (в 2016 г. средний показатель пробега на одной зарядке для электромобиля в Китае составлял 164 км), а в будущем этих показателей будет явно недостаточно [5]. Для повышения качества и ёмкости аккумуляторных батарей для альтернативного транспорта Государственный совет КНР принял решение о концентрации к 2020 г. 90 % объёма производства литий-ионных аккумуляторов на ключевых предприятиях 5...10 ведущих отечественных производителей, а к 2025 г. довести удельную энергоёмкость на единицу массы литий-ионных аккумуляторов до 400...450 Вт·ч/кг, что позволит увеличить дальность пробега электромобилей в 2025 г. до 500 км на одной подзарядке, а в 2030 г. — до 800—900 км и позволит "экологичным автомобилям" успешно конкурировать с автомобилями, имеющими двигатели внутреннего сгорания [6]. В 2016 г. Государственный совет КНР принял решение о выделении более 650 млн юаней на финансирование научных разработок в области производства новых видов аккумуляторов для автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, и создании системы широких преференций для привлечения прямых иностранных инвестиций в эти разработки. Правительство Китая ориентирует ведущие отечественные электротехнические компании к концу 2019 г. довести среднюю энергоёмкость аккумуляторных батарей электромобилей до 240 Вт · ч/кг (электробусов — до 180 Вт · ч/кг, электромобилей, обеспечивающих логистические перевозки в пределах городов — до 140 Вт · ч/кг), а себестоимость — до 2 юаней Вт/ч [7]. К 2020 году повысить энергоёмкость аккумуляторных батарей до 300 Вт · ч/кг, а себестоимость снизить до 1,5 юаня Вт/ч и превратить Китай в мирового лидера по производству аккумуляторных батарей для электромобилей. Китайские учёные разрабатывают новые виды батарей — литий-кислотные и серно-литиевые с удельной энергоёмкостью до 400...500 Вт · ч/кг. Будущее электромобилей китайские учёные и инженеры связывают с производством новых моделей автомобилей с металлофосфатными, литий-полимерными (*Li-pol*) и цинково-воздушными (*Zinc-Air*) аккумуляторными батареями, которые пока находятся в стадии разработки и для массового внедрения остаются довольно дорогими [8]. (Литий-полимерные батареи позволяют повысить эффективность и упростить производство, а кроме того, могут иметь любую форму и быть очень малой толщины (до 1 мм). Цинково-воздушные батареи обладают прекрасными экологическими свойствами: продукты реакции — вода и оксид цинка — абсолютно безопасны для здоровья человека, а материалы, используемые для их производства, не загрязняют окружающую среду и могут быть вторично использованы после процесса переработки. Цинково-воздушные аккумуляторы обладают незначительной скоростью саморазряда в нерабочем состоянии и небольшим изменением величины напряжения по мере их разряда в процессе эксплуатации.)

В конце 2017 г. группа исследователей из Университета г. Чжэцзян разработали инновационную алюминиево-графеновую супербатарею, которая может полностью заряжаться всего за 3...5 секунд, а её ёмкости достаточно для обеспечения работы в течение 2,5 часов. Батарея теряет менее 10 % от своей первоначальной ёмкости после 250 тыс. циклов зарядки—разрядки и может функционировать при температурах в диапазоне от −40 до +130 °С. Разработанный образец обладает гибкостью, выдерживает без потери ёмкости до 10 циклов деформации и безопасен с точки зрения возможности самовозгорания, чем обычные литий-ионные аккумуляторные батареи [9]. Интегрированная структура катода батареи позволяет обеспечивать значение плотности хранения энергии на уровне 111 мА · ч/г, а также сверхвысокие динамические характеристики, что даёт возможность батарее заряжаться всего за 1,1 секунды. Китайские инженеры утверждают, что в будущем алюминиево-графеновые аккумуляторные батареи получат широкое применение, однако признают, что впереди ещё много работы (только для проверки остаточной ёмкости супербатареи потребуется много лет) после проведения 250 тыс. циклов зарядки—разрядки, потребуется очень долгое время для того, чтобы внедрить в производство новую технологию, поскольку сегодня идёт речь о математической модели, а не о реальных данных, полученных в ходе тестирования опытных экземпляров [10]. В более отдалённом будущем китайские инженеры планируют производить более экономичные водород-воздушные аккумуляторные (топливные) батареи с протонобменной мембраной (*PEMFC*), что является одной из наиболее перспективных технологий разработки топ-



Основные текущие и перспективные характеристики китайских аккумуляторных батарей: стоимость (диаграмма) и энергоёмкость (кривая)

ливных батарей, и металлические ионные жидкие аккумуляторные батареи (*Metal-Air Ionic Liquid Battery*), чья плотность энергии в 11...12 раз больше по сравнению с литий-ионными аккумуляторами, обладающие гигантской удельной ёмкостью в 1,4...1,6 тыс. Вт · ч/кг и позволяющие электромобилю проехать до 1 тыс. км на одной зарядке [11]. Китайские инженеры полагают, что к 2025—2030 гг. появятся совершенно новые батареи, которые при меньшей массе и объёмах, что и сегодняшние литий-ионные аккумуляторы, обеспечат возможность автомобилям без подзарядки преодолевать расстояния в 1,2 тыс. км [12] (см. рисунок).

В декабре 2017 г. в г. Ухань (провинция Хубэй) был представлен образец городского автобуса, использующий новый вид альтернативного источника энергии — водородное топливо. Автобус длиной 8,5 м явился разработкой компании *Wuhan Tiger Fuel Cell Vehicle Co.*, и ожидается, что в конце 2018 г. он уже будет эксплуатироваться на улицах г. Ухань. Он имеет 56 пассажирских мест, может проезжать на одной заправке более 450 км, процесс дозаправки занимает всего 3...5 минут, и автобус способен работать при температурах до −20 °С и автоматически выявлять возникшие неполадки в работе. Компания "Тайгер" (*Tiger Fuel Cell Vehicle Co)* подписала соглашение о создании СП с производителем автомобилей на новых источниках энергии "Ухан Скайвелл" (*Wuhan Skywell)*, которое в течение ближайших 2 лет выпустит 3 тыс. таких автобусов. Планируется, что в 2018 г. в Ухане будет установлена первая водородная заправочная станция, а в течение ближайших 3 лет их число достигнет 21 единицы [13]. С целью расширения и углубления разработок в области производства аккумуляторных батарей на водородном топливе в зоне технико-экономического развития г. Ухань создаётся научно-исследовательский центр, который сможет сформировать индустриальную цепочку, объединяющую разработку, производство и продажу водородных топливных элементов для "зелёных автомобилей" в сотрудничестве с автомобильными производителями из других городов Китая (в г. Ухань базируется ряд автомобильных компаний, включая одну из крупнейших китайских автомобильных корпораций — "Дунфэн" (*Dongfeng Motor Corporation*)). Объём инвестиций в создание центра составит около 12 млрд юаней (1,8 млрд долл.), а годовой объём промышленного производства центра после введения его в эксплуатацию составит 35 млрд юаней [14].

Поскольку объём производства электромобилей в Китае в 2020 г. составит 5 млн единиц, то уже сегодня остро встаёт вопрос о будущем отслуживших свой срок аккумуляторных батарей. Учитывая, что срок службы аккумуляторных батарей для электромобилей составляет 5...8 лет, специалисты Института промышленных технологий в Шэньчжэне полагают, что в 2020 г. общий объём отработанных литий-ионных батарей составит 250 тыс. т, превысив в 20 раз показатель 2016 г., и будет создавать угрозу экологической обстановке в стране, Китайские инженеры считают, что повторное использование аккумуляторных батарей для электромобилей возможно (на станциях хранения электрической энергии для использования во время вечерних и утренних пиков потребления и в случае аварий в энергосистемах, для тихоходных электромобилей и источников распределительной генерации), однако малопригодно из-за уменьшения их производительности вследствие частых и низкоэффективных зарядных циклов. Руководство Китая ориентирует ведущих китайских производителей электромобилей и аккумуляторных батарей на создание инфраструктуры и поиска инновационных решений для внедрения соответствующих технологических цепочек по переработке аккумуляторных батарей, отработавших свой ресурс, а не повторного их использования. Разрабатываемые в КНР инновационные типы аккумуляторных батарей требуют применения новых материалов и металлов, что неизбежно рождает повышенный спрос на определённые виды сырья и рост объёмов их импорта. По мере развития промышленности по производству новых типов аккумуляторных батарей в Китае около 80 % объёма требуемого для производства никеля и 70 % объёма кобальта она импортирует из других стран. В 2017 г. впервые за последние 20 лет рыночная стоимость палладия превысила цену платины, и, по мнению международных экспертов, редкоземельный металл рос в цене на фоне увеличивающегося в Китае спроса на автомобили, использующие альтернативные источники энергии. Сегодня ведущие китайские компании по производству аккумуляторных батарей *CATL* и *GEM* (Шэньчжэнь) совместно с автопроизводителями *BYD* (*Build Your Dreams*) и "Дунфен" при выработке аккумуляторами до 95 % своего рабочего ресурса переплавляют их (на основе разработанных в сотрудничестве с компаниями "Тесла" и "Тойота" технологий) с выделением в этом процессе крайне нужных и ценных металлов, таких как никель и кобальт, а также полностью утилизируют побочные отходы. В 2017 г. перерабатывающие мощности компании *CATL* уже позволяли в процессе утилизации ежегодно выделять до 5 тыс. т кобальта и никеля из отработанных акку-

муляторных батарей, и эти технологии, по мнению руководства компании, в будущем станут важнейшим источником сырья для промышленности по производству аккумуляторных батарей [15].

Китайское руководство отчётливо понимает, что успех в области развития автомобильного транспорта, использующего альтернативные источники энергии, в первую очередь, зависит от возможности создания высокоэффективной, доступной и относительно недорогой общенациональной системы электрозарядных станций. Для побуждения провинциальных властей к расширению своих сетей электрозарядных станций с начала 2016 г. правительство Китая стало предоставлять местным властям субсидии в размере 4,5 тыс. юаней за каждую построенную электрозарядную колонку. С 2012 г. Государственная электросетевая корпорация Китая (ГЭКК), основной подрядчик строительства национальной сети электрозарядных установок для электромобилей, приступила к строительству этой сети в основных крупных мегаполисах Китая, включая Пекин, Шанхай, Тяньцзинь, Шэньчжэнь, Сямэнь, Гуанчжоу, Ухань, Чунцин, Урумчи, Наньчан и др. В 2017 г. правительство инвестировало более 50 млн юаней в строительство 214 тыс. электрозарядных станций и 160 тыс. электрозарядных колонок [16], и в начале 2018 г. общее количество построенных за эти годы электрозарядных станций составило более 325 тыс. единиц, количество электрозарядных колонок — 445 723 единицы (213 903 общественных и 231 820 частных) — по показателю числа электрозарядных станций и колонок Китай занимает первое место в мире [17]. В среднем соотношение общего числа электрозарядных колонок в Китае к общему числу электромобилей составляет 1/3,8, т.е. приблизительно на 1 электрозарядную колонку приходится 4 автомобиля, использующих альтернативные источники энергии. При сравнении равноценного пробега в 300 км на одной зарядке/заправке транспортного средства стоимость зарядки (0,5 юаня за 1 кВт/ч, или 28 юаней за полную зарядку) по сравнению со стоимостью бензина для заправки автомобиля с ДВС оказывается в 6—7 раз меньше (правда, зимой это соотношение несколько сокращается в силу охлаждения аккумуляторных батарей) [18]. Согласно решению Государственного совета КНР "О плане развития производства автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, на период 2013—2020 гг." в конце 2020 г. в Китае должно быть установлено 3 млн электрозарядных колонок [19].

Скорость расширения сети электрозарядных станций поражает — в период 12-й пятилетки сетью электрозарядных станций были оснащены около 20 тыс. км скоростных автомобильных магистралей, проходящих через Шанхай, города региона Пекин—Тяньцзинь—Хэбэй и промышленные центры дельты реки Янцзы, а среднее расстояние поездки между электрозарядными станциями не превышало 50—70 км, в Китае ежемесячно вводились в строй около 6 тыс. электрозарядных колонок [20]. Государственная электросетевая корпорация Китая (ГЭКК или *SGCC — State Grid Corporation of China*) планирует в конце 2018 г. закончить установку новых современных электрозарядных станций на всём протяжении скоростной автомобильной магистрали Пекин—Сянган—Аомэнь протяжённостью около 2,3 тыс. км (пересекающая страну с севера на юг), а также на скоростных шоссе Пекин—Шанхай, Пекин—Далянь, Шэньян—Хайкоу, Ляньюньган—Урумчи, Циндао—Иньчуань возвести подобные станции подзарядки электромобилей. Электрозарядные станции будут располагаться на магистралях через каждые 50...70 км, каждая станция будет иметь шесть зарядных генераторов на 140 кВт/ч, а каждый генератор будет способен заряжать до 10 машин одновременно, сама заправка будет продолжаться не более 15 минут, а стоимость сотавит около 40 юаней (6 долл) [21]. Научно-исследовательский центр автомобильной корпорации *BYD* активно разрабатывает технологию быстрой заправки, которая при помощи более мощных электрических кабелей сможет обеспечить полную зарядку электромобилей за полчаса, обеспечить 80%-ное пополнение батареи за 15 минут, а заправить аккумулятор наполовину сможет за 3...5 минут. Крупная китайская автомобильная корпорация "Чери", являющаяся участником государственной программы развития промышленности альтернативной энергетики, планирует создать в Китае широкую сеть электрозарядных станций, где водители электромобилей имеют возможность не только осуществлять обычную зарядку аккумуляторов, но также и поменять разряженные аккумуляторные батареи на заряженные, что становится своего рода разновидностью мгновенной зарядки аккумуляторной батареи [22].

В период 13-го пятилетнего плана социально-экономического развития страны ГЭКК совместно с 19 китайскими операторами, занимающимися распространением электрозарядных станций и колонок по территории КНР (среди которых *China Southern Power Grid*, *Qingdao Teld New Energy*, *China Potevio*, *Star Charge*, *Shenzhen Clou Electronics* и др.), намерена инвестировать более 300 млрд юаней в расширение национальной сети электрозарядных станций [23], что обеспечит в период 2018—2020 гг. дополнительное строительство 12 тыс. электрозарядных станций и около 0,5 млн электрозарядных колонок для обеспечения зарядки 5 млн электромобилей, а сеть электрозарядной инфраструктуры охватит более 250 городов Китая и скоростные автодороги общей протяжённостью более 50 тыс. км [24]. Зарубежные компании активно внедряются на рынок электрозарядных станций в Китае с целью стимулирования продаж своих электромобилей. К примеру, американский концерн "Тесла" построил в Пекине и Экономической зоне Пудун (Шанхай) 50 крупных электрозарядных станций, а в начале 2018 г. сетью электрозарядных станций американской компании (более 800 единиц) было охвачено более 170 городов Китая [25].

В начале 2018 г. в Пекине эксплуатировалось 112,6 тыс. электрозарядных колонок (80,8 тыс. частных и 31,8 тыс. государственных) и 6,4 тыс. электрозарядных станций, которые располагаются на расстоянии не более 5 км одна от другой в пределах 6-го транспортного кольца Пекина. Время полной заправки электромобиля в столице в среднем составляет около 1 часа, а стоимость зарядки — меньше 30 юаней (5 долл.) [26]. В Пекине также функционируют 290 станций быстрой замены аккумуляторных батарей для электромобилей, что значительно повысило эффективность использования городского транспорта на электрической тяге и

электротакси в Пекине. На сегодняшний день инфраструктура электрозарядных станций столицы Китая позволяет обеспечивать потребности в заправке более 40 тыс. электромобилей, и тем не менее муниципальные власти города планируют, что количество электрозарядных колонок в столице к 2020 г. возрастёт до 350 тыс., а городские власти Шанхая утверждают, что количество электрозарядных колонок в мегаполисе возрастёт в 10 раз и превысит 250 тыс. единиц [27]. В ноябре 2017 г. в Шанхае (рядом со станцией метро Сунцзян) открылась самая большая в КНР фотоэлектрическая станция для зарядки автомобилей, использующих новые источники энергии, которая была спроектирована и построена китайской инвестиционной компанией "Теллус Пауэр Груп". На станции используются экологически чистые технологии и фотоэлектрические панели, обладающие такими свойствами, как звукоизоляция, теплоизоляция, защита от ветра, гидроизоляция, влагоустойчивость, сопротивляемость к негативным климатическим условиям и т.п. Стены новой электрозарядной станции площадью в 2,5 кв. м сделаны из стекла и содержат около 1 тыс. фотоэлектрических панелей. Рядом возведена автостоянка, где имеется более 50 парковочных мест, установлены 44 электрозарядные колонки для зарядки электромобилей, сама зарядка занимает всего 20 минут и ежедневно можно заряжать более 400 электромобилей. Ежегодно фотоэлектрическая зарядная станция будет вырабатывать 100 тыс. КВт/ч электроэнергии, что позволит обеспечить экономию 40 т угля, сокращать на 100 т выбросы углекислого газа, 1,5 т оксидов азота и 3 т диоксида серы [28].

Таким образом, реализация принятой Госсоветом КНР "Программы развития автомобилестроения на основе энергосбережения и новой энергетики (2011—2020)" в части развития новых типов инновационных энергоносителей позволит перейти к полномасштабному производству принципиально новых видов источников альтернативной энергии, повысить их ёмкость, снизить их габариты и себестоимость, потеснить на мировом рынке ведущих западных производителей инновационных аккумуляторов для нового поколения "зелёных автомобилей". Масштабное развитие национальной сети электрозарядных станций позволит обеспечить приоритетную задачу Программы Госсовета КНР — предоставить в 2020 г. удобную, быструю и относительно недорогую заправку 5-миллионного парка автомобилей, использующих альтернативные источники энергии, а развитие промышленности переработки аккумуляторных батарей позволит обеспечить не менее грандиозную задачу, поставленную руководством КПК перед автомобильной промышленностью на основе новой энергетики, — превратить Китай в *страну* с самыми большими в мире экологически чистыми территориями.

Литература

1. Extending lead in the market for green cars. URL: http://www.china.org.cn/business/2017-06/30/content_41126107.htm.
2. Build next generation of batteries or lose jobs, auto executives tell Europe. URL: http://www.globaltimes.cn/content/1066462.shtml (By Reuters — Global Times Source: Reuters-Global Times Published: 2017/9/14).
3. Robert Blain, Chen Yingqun (China Daily). Taking the pole position. URL: http://africa. chinadaily.com.cn/weekly/2017-12/15/content_35308105.htm.
4. China further opens auto batteries to foreign investment. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-12/08/content_27606664.htm.
5. Li Fusheng (China Daily). Customers charged up about new choices for electric cars. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-09/25/content_32446029.htm.
6. Ань синьнэнюань цичэ гуйцзюй чжицзао синьнэнюань цичэ (Стандарты производства аккумуляторов для автомобилей, использующих новые источники энергии) (按新能源汽车 规矩造新能源汽车) // Цзинцзи цанькаобао (Газета экономическое обозрение) (经济参考报). 25.06.2017; Тишэн чаньнэн хэ цзишу мэньканьгунсиньбу чжэнцю цичэдунли дяньци гуйфань ицзянь (Повышение производственной мощности и технического порога мощности. Министерство промышленности и информации ищет стандартные решения совершенствования автомобильных батарей) (提升产能和技术门槛工信 部征求汽车动力电池规范意见新华汽车 综合) // Цичэ юньшу (ежемесячный журнал Министерства транспорта КНР "Автомобильный транспорт"). Пекин. 2017, № 7. С. 11—12.
7. Hao Yan (China Daily). Subsidies to encourage better battery tech. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-11/27/content_35042743.htm.
8. Ань синьнэнюань цичэ гуйцзюй чжицзао синьнэнюань цичэ (Стандарты производства аккумуляторов для автомобилей, использующих новые источники энергии) (按新能源汽车 规矩造新能源汽车) // Цзинцзи цанькаобао (经济参考报). 25.06.2017.
9. Digital economy gives quality edge to growth, innovation. URL: http://www.chinadaily.com.cn/a/201801/08/WS5a52b387a31008cf16da5987.html.
10. Superfast battery can fully charge in seconds. URL: http://www.chinadaily.com.cn/cndy/2017-12/26/content_35379010.htm; Chinese scientists develop fast-charging aluminum-graphene battery. URL: http://www.chinadaily.com.cn/a/201712/23/WS5a3e612ea31008cf16da315d.html.
11. Wuhan to house China's first industry park for developing hydrogen fuel cells. URL: http://www.chinadaily.com.cn/a/201712/24/WS5a3f7cc4a31008cf16da3260.html.
12. Sun Hui (Chinadaily.com.cn). High-tech graphene products lead to smart life. URL: http://www. chinadaily.com.cn/regional/chongqing/liangjiang/2017-09/13/content_31977567.htm.
13. Новый автобус на водородном топливе представили в Центральном Китае. URL: http://russian.china.org.cn/business/txt/2017-12/29/content_50174154.htm.
14. Первый в Китае промышленный парк по разработке и производству водородных топливных элементов будет построен в Ухане. URL: http://russian.china.org.cn/business/txt/2017-12/24/content_50159860.htm.
15. China faces green vehicle battery challenge. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-11/27/content_35056831.htm.
16. E-vehicles to zoom on chargers. URL: http://www.china.org.cn/business/2017-12/11/content_40267571.htm.
17. Charging piles for electric cars mushrooming in China. URL: http://www.china.org.cn/business/2017-12/11/content_50096807.htm.
18. Li Fusheng (China Daily). Customers charged up about new choices for electric cars. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-09/25/content_32446029.htm.
19. Zheng Yiran (China Daily). EV charging network to expand. URL: http://www.chinadaily.com.cn/a/201801/19/WS5a613492a3106e7dcc1352f8.html.
20. Li Fusheng (Chinadaily.com.cn). China has the most public EV charging stations worldwide. URL: http://www.chinadaily.com.cn/a/201801/11/WS5a5759d9a3102c394518e9e1.html.
21. Over 110,000 electric car charging poles installed in Beijing. URL: http://www.globaltimes.cn/content/1082748.shtml (Source: Xinhua Published: 2017/12/30).
22. Li Fusheng (China Daily). Business innovation also key to e-car development. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-10/26/content_18638362.htm.
23. Ду Синь. Чжутуй синьнэнюань цичэ фачжань (Ду Синь. Стимулировать развитие автомобилей, использующих новые источники энергии) (杜鑫. 助推新能源汽车发展) // Гунжэнь жибао (工人日报). 18.01.2018.
24. Ду Синь. Чжутуй синьнэнюань цичэ фачжань (Ду Синь. Расширение сети электрозарядных колонок будет стимулировать развитие автомобилей, использующих новые источники энергии) (杜鑫. 助推新能源汽车发展) // Гунжэнь жибао (工人日报). 12.12.2017.
25. Global automakers expand presence in China's e-cars market. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-10/25/content_33696738.htm; Tesla builds huge charging station in Beijing. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-11/23/content_34889064.htm.
26. Over 110,000 electric car charging poles installed in Beijing. URL: http://www.chinadaily.com.cn/a/201801/02/WS5a4b2096a31008cf16da4a63.html.
27. Shanghai to build 10 times more vehicle charging piles by 2020. URL: http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-04/06/content_24320855.htm.
28. В Китае открыли крупнейшую фотоэлектрическую станцию для зарядки электрокаров. URL: http://russian.people.com.cn/n3/2017/1117/c31518-9294147.html.

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Чириканова Е.А. — Тенденции развития лизинговых сделок в РФ 1

АСМ-факты 3

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Петрушов В.А. — К вопросу о транспортной экологии 4

Сливинский Е.В., Радин С.Ю. — Модернизация ГРМ четырёхтактного автомобильного ДВС 8

Белоусов Б.Н., Келлер А.В., Бахмутов С.В., Харитончик С.В., Бердников А.А. — Основные особенности формирования трансмиссии активного многозвенного автопоезда 10

Балабин И.В., Веселов И.В., Каспаров А.А., Чабунин И.С. — Совершенствование конструкции обода колеса для шин регулируемого давления 16

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Герасимов А.Р., Гришанова Я.О. — Некоторые задачи автомобильного транспорта, решаемые с помощью методов теории вероятности и математической статистики 19

Суходоля А.В., Одинокова И.В., Смирнов К.Н., Гаевский В.В., Холодова А.О. — Факторы возникновения коррозии автомобилей 23

Топалиди В.А., Юсупов У.Б. — Нормирование ресурса шин грузовых автомобилей в карьерных условиях . . . 27

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Тарасик В.П. — Моделирование режима испытаний на управляемость и устойчивость автомобиля при входе в поворот 29

ИНФОРМАЦИЯ

За рубежом

Чэнь Сяо, Сазонов С.Л. — Китай активно развивает систему заправок для "зелёных" автомобилей 35

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 09.09.2019. Подписано в печать 30.10.2019.
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.