

УДК: 338.45.01

Б.Н. БЕЛОУСОВ, д-р техн. наук

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия

Д.Б. ИЗОСИМОВ, канд. техн. наук

ОАО «Русэлпром-электропривод», г. Москва, Россия

Т.И. КСЕНЕВИЧ, канд. физ.-мат. наук

Институт общей физики им. А.М. Прохорова, г. Москва, Россия

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ПРОБЛЕМЫ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ ПРИ СОЗДАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С МЕХАТРОННЫМИ МОДУЛЯМИ

В статье излагаются взгляды авторов на современное развитие авто- и сельхозмашиностроения. Проведен краткий анализ основных технических тенденций мирового автомобиле- и тракторостроения, на базе которых возможно строить техническую политику развития двух важнейших отраслей экономики страны. Материал статьи основывается на результатах комплексных теоретических и экспериментальных исследований по созданию тягово-транспортных средств (ТТС) — автомобилей и тракторов — будущего, отвечающих современным и перспективным требованиям их активной и экологической безопасности.

Ключевые слова: ВТО, автомобилестроение, транспортные средства будущего, автомобиль, трактор, мехатроника, модуль

Введение. Все больше набирает ход обсуждения факта вступления России в ВТО в элите российского автопрома. Это касается решений конференций ААИ, НАМИ и других уважаемых организаций. Однако в них нет даже намека на анализ технических тенденций развития, определения критических для автопрома технологий и перечня приоритетных направлений развития науки и техники в Российской Федерации в его интересах. Такие документы есть у РАН, и почему бы уважаемым организациям, какими являются ААИ и НАМИ, не конкретизировать эти общие для науки документы в русле перспектив развития авто- и тракторостроения для реализации «Стратегии развития автомобильной промышленности до 2020 года». Поэтому, чтобы нас не обвиняли в голом критиканстве, мы предлагаем свое видение и обоснование основных направлений развития науки и техники в интересах реализации долгосрочной стратегии развития авто- и тракторостроения.

Суть проблемы. В начале 2000-х на страницах многих журналов (зарубежных и российских) развернулась дискуссия инженеров о том, с каким автомобилем мир войдет в ХХII век. В ходе дискуссии были выделены три группы основных факторов, которые могут повлиять на конструкцию автомобилей в будущем. Эти группы: политические (координация законодательства, техрегулирование и создание единого экономического пространства и т. п.); экономические (топливный резерв и инфраструктура его использования, уровень и распределение благосостояния, степень урбанизации или субурбанизации; соотношение применимость/стоимость имеющихся технологий, включая технологии, связанные с безопасностью транспорта и т. п.);

группа социальных факторов (модели поведения людей, способы проведения досуга, стоимость машин и топлива, проблемы окружающей среды (в той мере как их воспринимает общество), общественные нормы, принятые по отношению к транспортным средствам и т. п.).

Однако дискуссия не затронула системные технические факторы возможного развития автомобиля-трактора. Подобное происходит и в связи со вступлением России в ВТО. Это обстоятельство тогда подвигло коллектив научно-производственного центра «Специальное машиностроение» (НПЦ СМ) МГТУ им. Н.Э. Баумана обратить свое внимание на изучение системной, комплексной технической проблемы создания тягово-транспортного средства (ТТС) — автомобиля/трактора — будущего. К тому времени НПЦ СМ уже выполнил целый ряд фундаментальных и прикладных исследований, касающихся развития транспортных средств. Подобную дискуссию в России в то время инициировал академик И.П. Ксенович.

Глубокое изучение всех аспектов, высказанных в ходе дискуссии, позволили сформулировать главную проблему, имеющую свои внешние и внутренние противоречия. А именно: перед современным авто- и тракторостроением стоит глобальная проблема — создание ТТС (автомобиля, трактора) будущего. К внешним противоречиям относится необходимость выполнения требований, оформленных законодательно, к активной и экологической безопасности ТТС как одному из самых массовых объектов, используемым обществом в настоящее время. Способность ТТС обеспечивать существующие и перспективные требования по

активной и экологической безопасности является главным условием, определяющим все остальные потребительские свойства автомобиля и трактора, и тем самым его конкурентоспособность. Следует отметить, что эти требования имеют устойчивую тенденцию к ужесточению.

Таким образом, перед авто- и сельхозмашиностроением стоят задачи, которые традиционными для них методами и техническими решениями они не могут выполнить. Нужны принципиально новые технические решения в конструкции ТТС, обеспечивающие выполнение текущих и перспективных запросов общества. Такие технические решения разработаны быть не могут, так как нет разработанных соответствующих научных положений, закономерностей и принципов прикладной науки — теории автомобиля, трактора. В этом заключаются внутренние противоречия обозначенной выше глобальной проблемы.

Эта проблема актуальна и для сегодняшнего состояния упомянутых отраслей всех стран мира. Ко всему прочему следует заметить, что она носит междисциплинарный характер и охватывает практически все стороны жизнедеятельности современного человека.

Краткий анализ современных технических тенденций развития мирового автомобиле- и тракторостроения. Исследования, проведенные НПЦ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана за последнее десятилетие, позволили системно сформулировать свои взгляды на решение глобальной проблемы, а также на решение локальных проблем и научных задач, разрешающих внутренние противоречия глобальной проблемы. Рассмотрим основные технические тенденции развития наземного транспорта за рубежом.

1. Выявлен устойчивый процесс изменения конструкции наземных тягово-транспортных средств (ТТС), качественного изменения их структуры и состава основных силовых устройств на основе интеграции электронных, электрических, гидравлических, пневматических и механических элементов и существенного повышения роли электроники и систем управления, то есть широкое внедрение мехатронных систем и модулей в конструкцию автомобиля-трактора. Первой мехатронной системой автомобиля можно считать современную тормозную систему.

Мехатроника начала свое внедрение в конструкцию транспортных средств (ТС) с наиболее простого — с внедрения функциональных компонентов управляемых систем. Прежде всего, это были сенсоры и датчики, затем приводы. Следующий этап — симбиоз механики и механических, а также гидравлических, электромеханических и других систем ТС. Этот процесс уже идет полным ходом и стимулируется он прежде всего постоянным ужесточением законодательных требований к ТС по активной и экологической бе-

зопасности. Современный этап можно характеризовать как переход от основанного на декомпозиции модульного построения технических систем к системно оптимизированным единым структурам ТС. Процесс начался с проникновения отдельных компонентов в конструкцию ТС. Затем слияния их в единую структуру, реализующую функциональные компоненты в единой целевой функции подобно мультиагентным системам в компьютерных сетях. Эта тенденция распространяется далее и на силовые компоненты. Примеров тому можно привести много. Этот процесс подробно рассмотрен в докладе [1].

Можно отметить, что в настоящее время пока существует определенный разрыв между уровнем развития силовой и управляющей электроники. Этот разрыв легко ликвидируется подключением к решению проблемы автоэлектроники предприятий оборонного комплекса.

Таким образом, уже сейчас конструкция основных систем современных зарубежных ТТС [2]: силовая установка, трансмиссия, рулевое управление, система поддрессоривания, тормозная система и др. представляет собой сложные технические решения, которые строятся на разных физических принципах и, с точки зрения механики, являются гибридными и не могут быть математически описаны однозначно. При этом иногда даже в терминологии нет единого подхода и понимания. Применению единой терминологии при проектировании ТТС с мехатронными системами является одной из важных задач прикладной механики — теории автомобиля/трактора. Иными словами, современное ТТС есть сложная система мехатронных модулей. Этот фактор и определяет технический междисциплинарный характер этой проблемы.

2. Проектированием немеханической части (электронной, электрической, гидравлической, пневматической и др.) систем ТТС занимаются специалисты из соответствующих областей знаний. Однако применительно к объекту, то есть к ТТС, основные технические требования и принципы, методологию применения в конструкции, например автомобилей, гибридных систем как систем мехатронных модулей формируют автомобилисты-механики. В этом уже накоплен огромный опыт проектирования, который требует обобщения и осмысления. Уже сейчас этот опыт позволяет сделать главный вывод: механическое использование достижений механики не может дать положительного эффекта. Требуется теория, описывающая закономерности функционирования как отдельных систем ТТС, их взаимосвязей, так и объекта в целом. Только на базе этих закономерностей может быть построено алгоритмическое и программное обеспечение эффективной работы мехатронных систем ТС. Итак, основное направление развития современной конструкции

ТТС к ТТС будущего лежит в области широкого использования в конструкции мехатронных модулей и мехатронных систем. Их эффективное использование требует строго алгоритмического и программного обеспечения, построенного на базе закономерностей прикладной механики — теории автомобиля (трактора). Создание подобной теории как уточнения существующей теории автомобиля и трактора является одной из главных задач прикладной механики. И этот тезис должен найти свое отражение в руководящих документах, определяющих развитие отрасли в стране.

3. С учетом направлений развития ТТС, говоря об энергетике, можно говорить о необходимости создания бортовых энергетических комплексов (БЭК) тягово-транспортного средства. Многие автомобилестроители уже на этапе Евро-4 сделали ставку на мехатронные системы SCR — Selective Catalyst Reduction и EGR — Exhaust Gas Recirculation — технологии (рисунок 1 и рисунок 2). Однако, при возрастании требований до Евро-5, Евро-6 и выше потребуются создание принципиально новой энергетической установки, например электрохимического генератора (ЭХГ) на топливных элементах (рисунок 3). Недостатки энергоустановок ТТС на основе первичных теп-

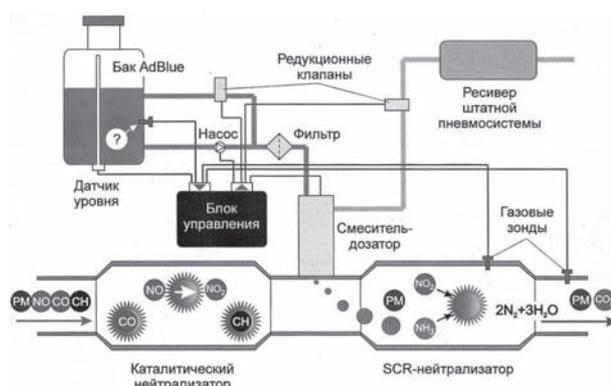


Рисунок 2 — Принципиальная схема системы SCR

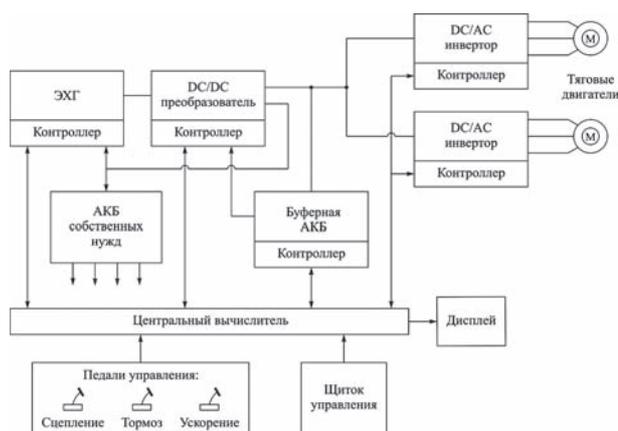
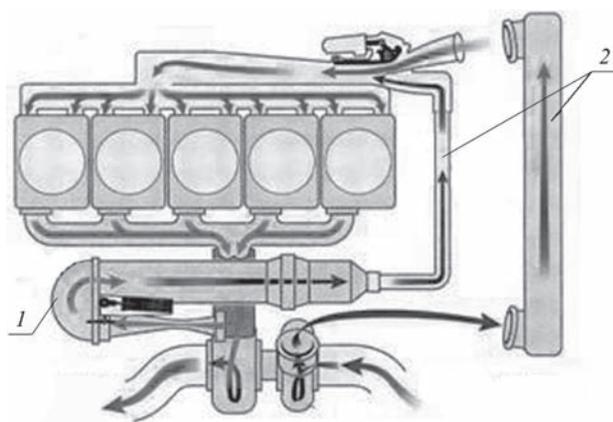
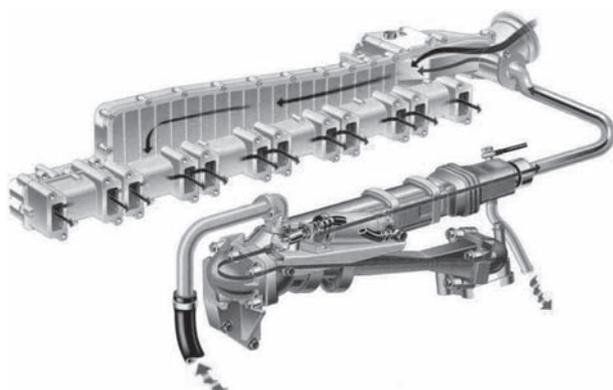


Рисунок 3 — Состав и структура энергетического и управляющего тягового оборудования



а



б

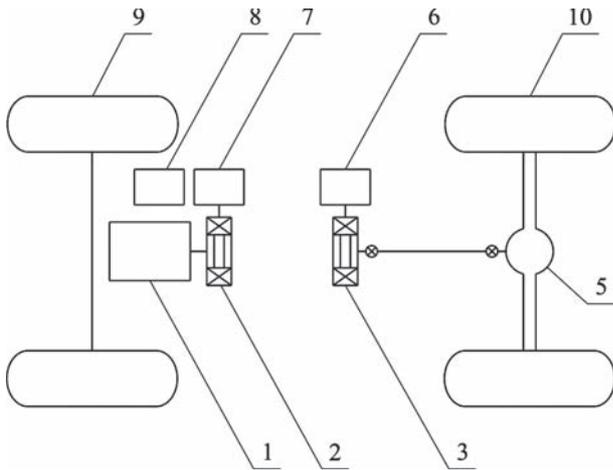
Рисунок 1 — Система EGR:

а — принципиальная схема системы EGR;

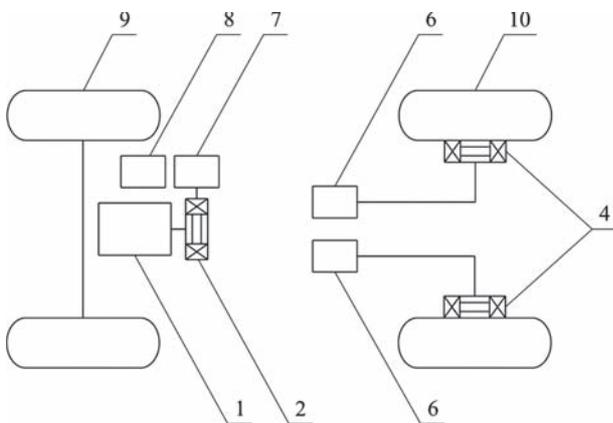
б — конструкция системы EGR (двигатель Scania DC-9);

1 — блок рециркуляции выхлопных газов; 2 — охладители

ловых двигателей определяются тем, что любая тепловая машина имеет принципиальное ограничение экономичности (термический КПД по циклу Карно не более 30 %). И дальнейшее применение традиционных тепловых машин, кроме всего прочего будет определять соотношение качество/стоимость. Уже сейчас ДВС с системами, снижающими вредные выбросы, представляют собой громоздкие и дорогостоящие агрегаты. Поэтому огромное внимание в настоящее время уделяется комбинированным энергоустановкам (КЭУ, рисунок 4). Этот процесс можно рассматривать только как первый шаг в переходе к принципиально новым ЭУ. В англоязычной литературе, например, ТС с комбинированными энергоустановками принято называть «гибридными электромобилями» (Hybrid Electric Vehicle): гибридными, потому что в энергоустановке используется источник различного типа (вместо теплового двигателя может использоваться и какой-либо электрохимический источник, например, батарея топливных элементов); 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



a



б

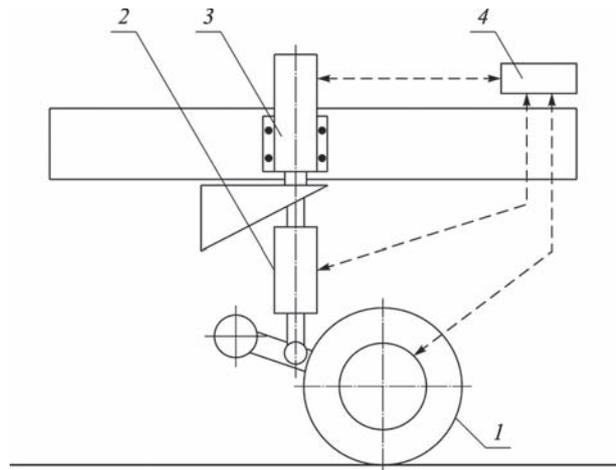
Рисунок 4 — Последовательная кинематическая схема гибридного автомобиля: *a* — схема с «мотор-мостом»; *б* — схема с мотор-колесами; 1 — ДВС; 2 — мотор-генератор; 3 — тяговый электродвигатель; 4 — мотор-колесо; 5 — главная передача моста; 6, 7 — инверторы; 8 — АКБ; 9 — передний мост; 10 — задний мост

называют «автомобилем с КЭУ»; в противном случае, если вместо теплового двигателя используется какой-либо другой источник энергии, например, электрохимический генератор — «электромобилем с КЭУ».

4. Создание комплексов мехатронных колесных модулей (рисунок 5) в составе автомобиля/трактора, которые кроме функций несущей системы и обеспечения движения ТТС, выполняют ряд следующих важных функций:

- управление поворотом колеса по заданному закону при криволинейном движении ТТС — система всеколесного рулевого управления (ВРУ);
- управление уровнем колебаний — как функции вибрационной защиты экипажа и монтируемого на ТТС оборудования и аппаратуры — регулируемая система поддресоривания (РСП) колес;
- управление стабилизацией горизонтирования корпуса.

Значимость данных функций для мехатронного колесного модуля заключается в следующем.



a



a

Рисунок 5 — Мехатронный колесный модуль: *a* — функциональная схема базового мехатронного модуля (1 — электромотор-колесо; 2 — гидропневматический амортизатор; 3 — привод рулевого управления; 4 — система автоматического управления — стрелками указаны каналы управления мехатронного модуля); *б* — подвеска в сборе с колесом на платформе

Важность модульности конструкции автомобиля/трактора признана всеми. ТТС довольно часто применяются в сложных дорожных и климатических условиях. Поэтому использование в конструкции всеколесного рулевого управления, которое существенно повышает маневренные свойства машины, значительно расширяет диапазон применения ТТС. Например, система всеколесного ру-

левого управления позволяет осуществлять поворот транспортного средства восемью способами: относительно каждой из осей и плоскопараллельным («крабовым») движением [2]. Кроме того, система поддрессирования должна постоянно обеспечивать горизонтирование корпуса машины при движении по местности для исключения потери боковой устойчивости — переворачивания. Управление уровнем колебаний повышает скорость движения машины по местности. Известно, что при движении по дорогам и местности требуются различные значения параметров системы поддрессирования. Поэтому система управления колесного модуля обеспечивает изменение характеристики подвески колеса при переходе машины с местности на дорогу и с дороги на местность.

При этом следует подчеркнуть, что обе эти системы (ВРУ и РСП) входят в систему обеспечения активной безопасности как автомобиля, так и любой мобильной сельхозмашины.

Эти функции мехатронного колесного модуля обеспечиваются электрогидравлическими приводами различных типов. Подобные привода хорошо встраиваются и в систему удаленного теле-радиоуправления машинами (рисунок 6).

Рулевой привод, как основная подсистема системы автоматического управления движением автомобиля или транспортной системы сельхозмашины, предназначен для передачи управляющего воздействия системы автоматического управления к объекту управления — управляемым колесам при криволинейном движении.

Наличие бортового компьютера в системах ВРУ и РСП обязательно. Алгоритмы функционирования их и рабочие программы являются обычно авторскими секретами фирмы [3—5].

Сущность системы ВРУ заключается в том, что положение полюса поворота задается программно в виде необходимой функции. Полюс поворота перемещается по базе в зависимости от угла поворота рулевого колеса. Этим достигается высокая устойчивость движения при малой кривизне траектории и хорошая управляемость при маневрировании.

Несомненным положительным качеством такой системы является привычный для водителя режим управления автомобилем или трактором.

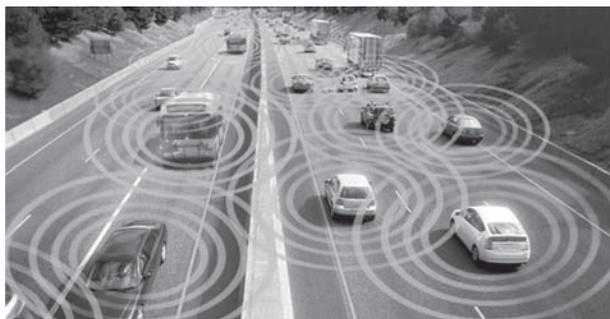


Рисунок 6 — Схема связи системы безопасности

Применение мехатронного колесного модуля с электрогидравлическим приводом рулевого управления позволяет отказаться от громоздкой системы промежуточных рычагов и тяг. Кроме того, схемы с бортовой компьютером легко реализуют любые алгоритмы управления, беря на себя полностью или частично функцию управления криволинейным движением транспортного средства.

Заключение. В качестве заключения можно сказать следующее. Дальнейшее развитие ТТС связано с созданием мехатронных систем и с использованием на их основе новых способов распределения и передачи мощности от ДВС к колесу.

Гибриды не могут быть универсальной панацеей снижения выбросов, область их наиболее эффективного применения ограничивается транспортом, предназначенным для езды с частыми разгонами/торможениями, а также случаями, когда реализация традиционной механической передачи затруднена, и предпочтительна электромеханическая трансмиссия (например, мощные тракторы, тяжелые грузовики и многозвенные автопоезда). Большое значение имеет рациональный выбор типажа гибридных транспортных средств. Необходима разработка концепции создания комплектных электромеханических устройств, алгоритмов управления и программных средств [6]. Стоит отметить, что эти вопросы требуют отдельного тщательного исследования.

В создании ТТС с КЭУ российская и белорусская промышленность не имеет существенного отставания от зарубежных производителей, и при определенной заинтересованности государства и производителей, страны могут получить вполне конкурентоспособную продукцию. При этом для реализации этого направления развития ТТС прикладная наука Российской Федерации и Республики Беларусь имеет достаточно солидный научный задел, которой пока остается неустребованным.

Будущее автомобиля/трактора связано с созданием гибких мехатронных транспортных средств (МТУ) с электрическим или гидрообъемным приводом колес. Именно в области создания гибких МТУ наши страны имеют существенные достижения отдельных разработчиков-организаций и могут пока составить конкуренцию зарубежным разработкам.

Таким образом, можно сказать, что ТТС будущего — это подвижный робот различного назначения. Конструктивная реализация этого процесса невозможна без развития прикладной механики — теории автомобиля-трактора и интеграции соответствующих областей науки и техники. Только на основе совместной программы, построенной на базе основных тенденций развития современного транспортно-тягового средства, предприятия авто-

и сельхозмашиностроения Российской Федерации и Республики Беларусь могут создать конкурентоспособную продукцию.

Список литературы

1. Белоусов, Б.Н. Основные задачи прикладной механики наземных тягово-транспортных средств с мехатронными системами / Б.Н. Белоусов // Механика 2011: сб. науч. тр. V Белорус. конгресса по теорет. и прикладной механике, Минск, 26—28 окт. 2011 г.: в 2 т. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. — Минск, 2011. — Том I. — С. 120—126.
2. Белоусов, Б.Н. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет / Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов; под общ. ред. Б.Н. Белоусова. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 728 с.
3. Белоусов, Б.Н. Как российскому автопрому стать конкурентоспособным в условиях ВТО? Ч. 1 / Б.Н. Белоусов, Т.И. Ксеневиц. — Режим доступа: <http://www.rusaen.ru/index.php/auth/login.html>.
4. Белоусов, Б.Н. Как российскому автопрому стать конкурентоспособным в условиях ВТО? Ч. 3 / Б.Н. Белоусов, Т.И. Ксеневиц, Д.Б. Изосимов. — Режим доступа: <http://www.rusaen.ru/index.php/main/item/articles/69.html>
5. Белоусов, Б.Н. Как российскому автопрому стать конкурентоспособным в условиях ВТО? Ч. 2 / Б.Н. Белоусов, Т.И. Ксеневиц, Д.Б. Изосимов. — Режим доступа: <http://www.rusaen.ru/index.php/main/item/articles/57.html>
6. Florentsev, S.N. Design philosophy of complete traction electric equipment sets for hybrid vehicles / S.N. Florentsev, D.V. Izosimov, I.P. Ksenevich // 10th International Conference on Engine and Vehicles ICE 2011, September 11—15, Capri, Italy.

Belousov B.N., Izosimov D.B., Ksenevich T.I.

Main trends and challenges of creating ground traction-transport vehicles with mechatronic systems

The modern development of the agricultural machine is presented in the article. The results are based on the results of comprehensive theoretical and experimental studies on the creation of towing vehicle — trucks and tractors — the future to meet current and future requirements for their active and environmental safety.

Поступила в редакцию 02.08.2012.