

УДК 681.5, 629.33

ББК А22

***АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ  
ТРАНСМИССИИ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ И  
ВЫРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ***

***Еличев К.А.***

*к.т.н., доцент,*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
Пенза, Россия*

***Пинт Э.М.***

*к.т.н., профессор,*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
Пенза, Россия*

**Аннотация.** Проведен анализ конструкции гибридной силовой установки, в которую входят кроме двигателя внутреннего сгорания (ДВС) различные электронные блоки управления движением. Конструкция электромеханической трансмиссии рассматривалась на примере карьерного самосвала БелАЗ-75600. В результате анализа проведенных исследований на предмет эффективности действия системы управления трансмиссией был выявлен ряд недостатков. На этом основании разработаны и сформулированы рекомендации по устранению этих недостатков, предложена схема полноприводного транспортного средства, в котором могут быть реализованы эти рекомендации.

**Ключевые слова:** специальная колесная техника, гибридная силовая установка, электромеханическая трансмиссия, асинхронный двигатель, угловой редуктор, полноприводное транспортное средство.

***ANALYSIS OF ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION  
CONSTRUCTION FOR SPECIAL WHEELED EQUIPMENT AND  
DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS ON ITS IMPROVEMENT***

***Elichev K.A.***

*candidate of technical sciences, associate professor,  
Penza State University of Architecture and Construction,  
Penza, Russia*

***Pint E.M.***

*candidate of technical sciences, professor,  
Penza State University of Architecture and Construction,  
Penza, Russia*

**Annotation.** The analysis of the design of a hybrid power plant, which includes, in addition to the internal combustion engine (ICE), various electronic traffic control units. The design of the electromechanical transmission was considered on the example of the BelAZ-75600 mining dump truck. As a result of the analysis of the conducted studies on the effectiveness of the transmission control system, a number of shortcomings were identified. On this basis, recommendations for eliminating these shortcomings were developed and formulated, a four-wheel-drive vehicle scheme was proposed in which these recommendations could be implemented.

**Key words:** special wheeled vehicles, hybrid power plant, electromechanical transmission, asynchronous motor, angular gearbox, all-wheel drive vehicle.

В настоящее время наиболее проработанными являются электромеханические трансмиссии для специальной колесной техники.

Для анализа была выбрана последовательная схема гибридной силовой установки в состав которой входят:

асинхронные электродвигатели;

блок преобразования энергии и управления;

блок силовой коммутации; пульт управления;  
блок управления режимами электромашин;  
распределительная панель;  
блок аккумуляторных батарей (рис. 1).

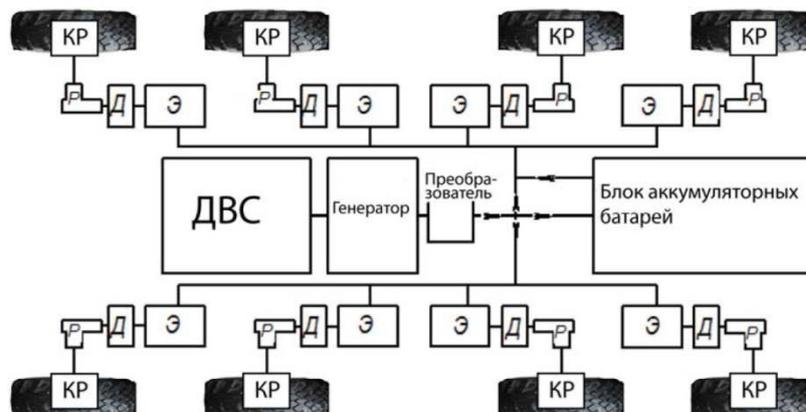


Рис. 1– Принципиальная схема шасси

Э – электродвигатель; Д – демультипликатор; Р– угловой редуктор; КР – колесный редуктор.

Для обеспечения требуемых тягово-скоростных качеств в приводе каждого колеса был применен угловой редуктор (рис.2).

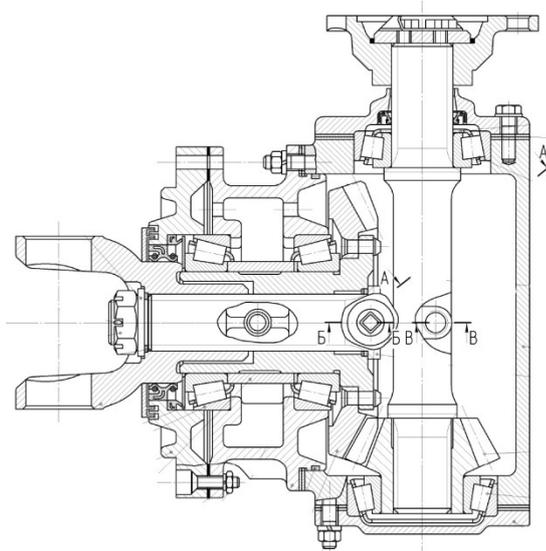


Рис. 2 – Угловой редуктор

Угловые редукторы обеспечивают увеличение момента и его передачу под прямым углом от электродвигателей к колесам. Угловые редукторы на задней оси снабжены дополнительно механизмом стояночного тормоза.

В результате применения в трансмиссии угловых редукторов и коробки передач с демультпликатором позволило снизить стоимость электропривода и использовать стандартные тяговые электродвигатели с диапазоном оборотов от 0 до 2500 об/мин. Результаты, характеризующие тягово-скоростные качества шасси с предложенной трансмиссией на основании стендовых испытаний представлены на рис.3 [1].

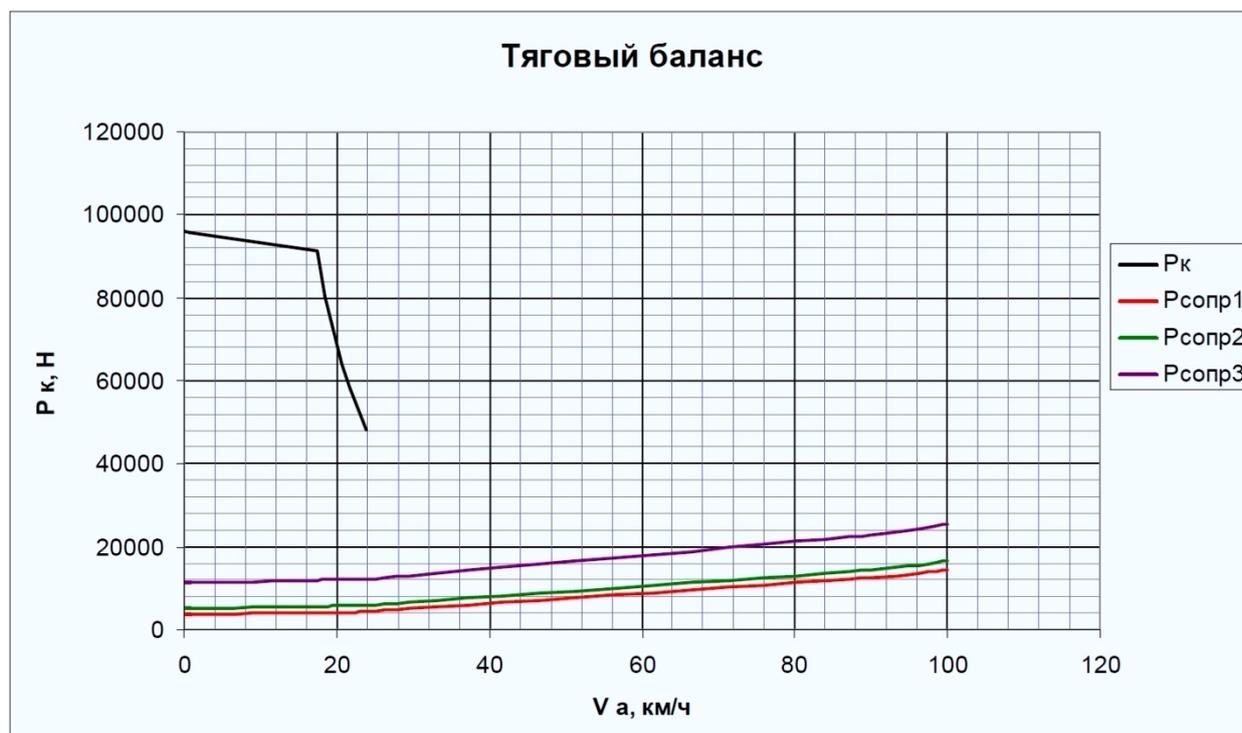


Рис.3 – Сила тяги  $P_k$  на колесах

$P_{сопр1}$  – сила сопротивления движению по дороге с асфальтовым покрытием;

$P_{сопр2}$  – сила сопротивления движению по дороге с покрытием из булыжника;

$P_{сопр3}$  – сила сопротивления движению по дороге с покрытием из рыхлого грунта.

Среди них необходимо выделить следующие полученные параметры:

- максимальная скорость – 79,5 км/ч (асфальт), 71,0 км/ч (рыхлый грунт);
- время разгона до 60 км/ч – 18 с (асфальт), 28 с (рыхлый грунт);
- максимальный угол преодолеваемого подъема – 23°46'.

Конструкцию электромеханической трансмиссии рассмотрим на примере карьерного самосвала БелАЗ-75600, грузоподъемностью 320т., предназначенного для перевозки горной массы и других сыпучих грузов на открытых разработках месторождений полезных ископаемых по различным дорогам в различных климатических условиях эксплуатации [2].

Самосвал приводится в движение посредством дизельного двигателя, соединенного с генератором и системой тягового привода переменного тока. Самосвал оснащен шестью колесами. Два передних колеса являются управляемыми и неприводными. Четыре задних колеса сгруппированы попарно и являются приводными [3]. Каждая пара колес приводится в движение посредством асинхронного электродвигателя переменного тока и редуктора. Отдельные инверторы обеспечивают независимое управление каждым задним колесным мотором, что является необходимым по причине чрезвычайно большой разницы в числе оборотов колес при повороте на небольшой скорости.

В состав самосвала входят (рис. 4):

- четырехтактный дизельный двигатель 2 с газотурбинным наддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, преобразующий тепловую энергию сгорающего в их цилиндрах топлива в механическую. Система очистки воздуха производится через трехступенчатые фильтры с элементами сухого типа. Выпуск отработавших газов осуществляется через один выхлопной коллектор в платформу с правой стороны. Система смазки – циркуляционная, под давлением, с "мокрым" поддоном. Система охлаждения – жидкостная, с принудительной циркуляцией. Система пуска – пневмостартерная;

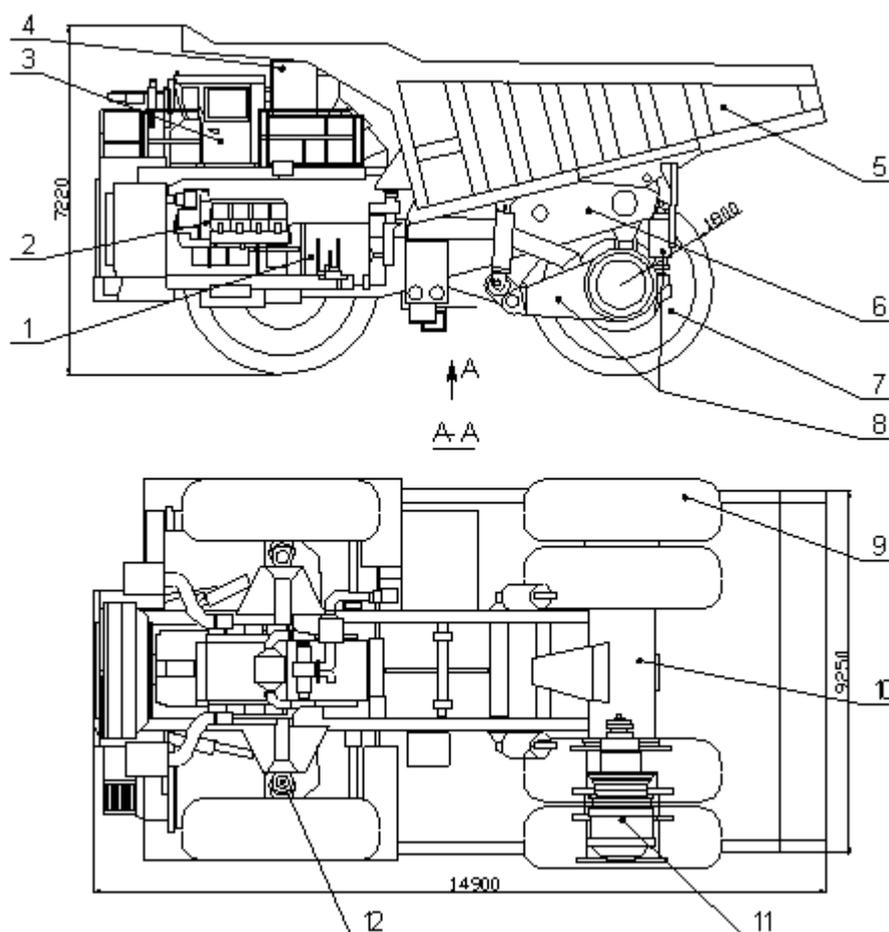


Рис.4 – Общий вид самосвала БелАЗ-75600

- тяговый генератор 1 является источником питания электроэнергией для тяговых электродвигателей. Он жестко закреплен с дизелем и установлен на подмоторную раму. Ротор генератора соединен с коленчатым валом через упругую муфту [4, 5].

- тяговые электродвигатели 11, вместе с корпусом колесного редуктора установлены на балке заднего моста 10, преобразуют электроэнергию, получаемую от генератора, в механическую, и через колесные редукторы передают ее на ведущие колеса 9. Вал якоря электродвигателя одним концом соединен с торсионным валом ведущей шестерни редуктора мотор-колеса, а ко второму концу (со стороны коллектора) крепиться барабан тормозного механизма стояночной тормозной системы.

- электрошкаф 4 содержит аппаратуру управления и регулирования.

- кабина самосвала 3;
- платформа 5, ковшевого типа;
- рама 6 воспринимает ударную нагрузку, усилия на скручивание и излом, кроме того, она является несущим элементом для всех узлов и агрегатов шасси.
- упругую связь рамы с мостами и колесами шасси осуществляет простая по конструкции и надежная в эксплуатации подвеска 8, 12. Подвеска смягчает толчки и удары при движении по неровностям дороги и обеспечивает высокую плавность хода.
- бездисковые колеса 9 надежно передают усилия и моменты между мостами автомобиля и дорогой. Пневматические шины с карьерным рисунком повышают сцепление колеса с дорогой, уменьшают шум при движении и снижают удельную нагрузку на поверхность дороги.

Анализ результатов исследования рассмотренных трансмиссий на предмет эффективности действия системы автоматического адаптивного управления трансмиссией показал:

- существующая система управления электротрансмиссией в случае небольших различий по условию работы ведущих колес шасси практически не требует корректировки;
- в случае, когда движение исследуемого шасси характеризуется существенным различием условий работы ведущих колес, желательно в системе управления электротрансмиссией предусмотреть корректирующую цепь, обеспечивающую блокировку возможности раскручивания ведущего колеса, работающего в условиях плохого сцепления с опорной поверхностью.

На основе проведенного исследования и полученных результатов сформулированы следующие рекомендации и выводы:

- в качестве двигателя в мотор-колесе возможно использование электродвигателей при условии улучшения характеристик упругих и демпфирующих элементов для устранения негативных последствий из-за увеличения неподрессоренных масс, проведения конструкционных мероприятий по герметизации электропривода колес;

- при разработке и совершенствовании конструкции подвески перспективных высококомобильных колесных модульных платформ с пневмогидравлическими упругодемпфирующими элементами использовать математическую модель, в которой скорость машины задается не принудительно изменением координаты центра масс кузова, а формируется моделированием процесса взаимодействия ведущих колес с опорным основанием. Это позволяет более адекватно представлять движение машины по неровностям, а также моделировать преодоление препятствий, процессы буксования и юза с учетом характеристик шины и сцепных свойств грунта.

Схема полноприводного транспортного средства, в котором могут быть реализованы разработанные авторами рекомендации, представлены на рис. 5.

В соответствии с этой схемой транспортное средство содержит четыре безредукторных электродвигателя 1, 2, 3 и 4, причем электродвигатели, расположенные на одной оси 1 и 2 (M2), и двигатели, расположенные на другой оси 3 и 4 (M1), являются идентичными. Двигатели 3 и 4 являются разгонными и имеют реверсивную схему подключения электропитания. Двигатели 1 и 2 являются маршевыми. Электропривод также содержит источник электропитания 5 и блок управления 6 (контроллер). Источником электропитания может быть генератор 8 дизель-электрической установки 5 шасси или резервный комплект батарей 7, имеющих возможность включаться попеременно, каждый из которых рассчитан на питание всех электродвигателей.

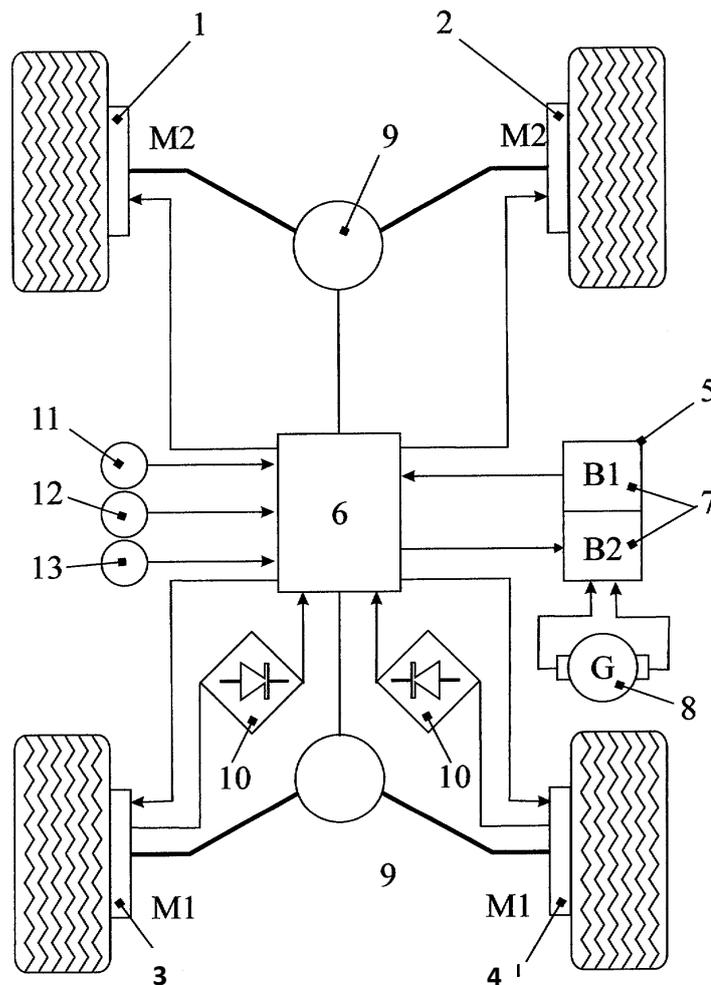


Рис.5 – Общая схема полноприводного транспортного средства

Транспортное средство также содержит систему поворота колес 9 и блок выпрямления тока 10, включающийся в режиме работы разгонного электродвигателя, как электрогенератора. Переключение электрических цепей, выбор скоростного режима и управление транспортным средством осуществляют через контроллер 6. Причем ряд функций может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме. Контроллер осуществляет управление по сигналу соответствующих датчиков по величине скорости 11 (или частоте вращения электродвигателей), величине тока в электрических цепях 12, угле поворота 13 и т.д.

Каждый из моторов транспортного средства является мотор-колесом и содержит:

- по крайней мере, один круговой магнитопровод, на котором закреплено четное количество постоянных магнитов с одинаковым шагом;
- круговую раму, отделенную от магнитопровода воздушным промежутком и несущую четное число электромагнитов, расположенных попарно, напротив друг друга;
- средство переключения полярности питания электромагнитов. При этом, могут быть использованы электродвигатели различных конструкций: щеточный импульсно-инерционный, бес коллекторный импульсно-инерционный, квадрат электродвигатель и т.д.

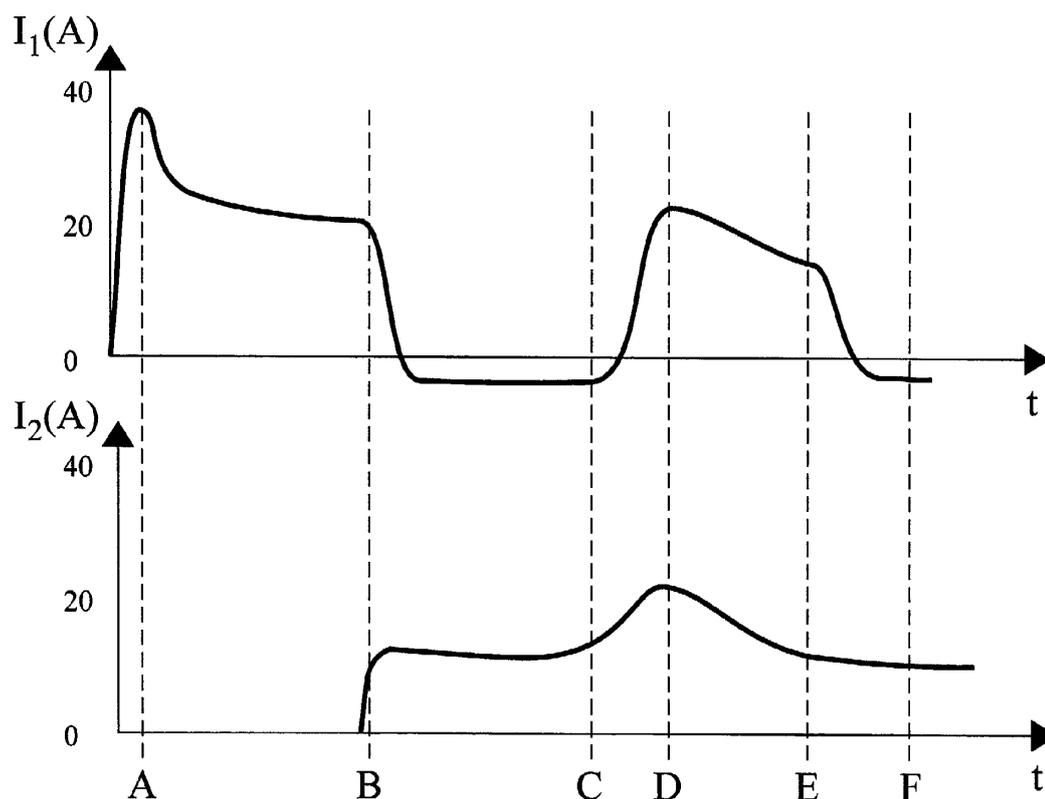


Рис.6 – Временная диаграмма, показывающая изменение тока в цепи электродвигателей, при разгоне и движении транспортного средства

Существенным является требование, чтобы количество фаз  $M_1$  одного электромотора (или нескольких идентичных электромоторов, расположенных на одной оси) и количество фаз  $M_2$  другого электромотора (или соответственно нескольких идентичных электромоторов) удовлетворяли соотношению  $M_1 > M_2$ . Здесь под фазой подразумевается пара диаметрально противоположных электромагнитов. Мотор, имеющий количество фаз  $m_1$ , является разгонным, и будет использоваться при наборе транспортным средством скорости от 0 до 40...60 км/ч. Мотор, имеющий количество фаз  $M_2$ , является маршевым и обеспечивает движение транспортного средства со скоростью свыше 50 км/ч. Предпочтительно, чтобы количество постоянных магнитов  $N_1$  разгонного электромотора и количество постоянных магнитов  $N_2$  маршевого электромотора удовлетворяли соотношению  $N_1 > N_2$ .

Полноприводное транспортное средство, выполненное в соответствии с предложенной схемой, может иметь различное конструкционное исполнение и содержать разное количество мотор-колес.

### **Библиографический список:**

1. Кулаков Н.А., Селифонов В.В., Черанёв С.В. Выбор оптимальной конструкции механической части электрической трансмиссии специального колесного шасси 8x8 // Известия МГТУ «МАМИ». – 2010. – № 1. – С. 78-82.
2. Кулаков Н.А., Лепешкин А.В., Черанев С.В. Разработка и исследование математической модели полноприводного четырехосного автомобиля с электротрансмиссией. М., МАМИ. Научный рецензируемый журнал Известия МГТУ «МАМИ», № 2 (12), 2011. С. 95-105.
3. Кычкин А.В. Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе беспроводных датчиков // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 1. – С. 15-20.

4. Кычкин А.В. Интеллектуальная информационно-диагностическая система для исследований кровеносных сосудов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2013. – № 3. – С. 114-123.

5. Лепешкин А.В. Критерии оценки энергоэффективности многоприводных колесных машин. – М., «Автомобильная промышленность», 2010, № 10, с. 19-23.