



Функции надёжности электромеханических усилителей рулевого управления¹



Илья ДЕНИСОВ
Ilya V. DENISOV

Алексей СМIRHOV
Aleksy A. SMIRNOV



Денисов Илья Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия. Смирнов Алексей Александрович – магистрант кафедры автомобильного транспорта ВГУ им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия.

Reliability Functions of Electromechanical Power Steering

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 92)

Подавляющее большинство новых автомобилей комплектуется электромеханическими усилителями (ЭМУ) рулевого управления ввиду их явных преимуществ. Вместе с тем ещё не до конца изучен вопрос о технической эксплуатации узла, сочетание в котором электронных и механических систем не позволяет в полной мере использовать существующие методы и средства контроля работоспособности автомашины, её фактического технического состояния. В связи с этим особо актуальны разработка нормативов управления техническим состоянием на основе диагностической информации, систематизация научных достижений в этой области, проблемы повышения надёжности рулевого ЭМУ в эксплуатации. Результаты проводимого исследования легли в основу этой обзорной статьи и могут стать подспорьем в создании методики управления безотказностью узла.

Ключевые слова: автомобиль, рулевое управление, электромеханический усилитель, управление техническим состоянием, надёжность, эксплуатация.

ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И ОТКАЗЫ

В работе [1] установлено, что наибольшее количество дефектов автомобиля приходится на систему электрооборудования и составляет около 22–30 % отказов – это примерно 224–318 неисправностей на тысячу автотранспортных средств (АТС). Причём устройства, имеющие в своём составе электромеханические преобразователи (стартеры, ЭМУ РУ, генераторы, электродвигатели), дают значительную долю нарушений работоспособности (40–45 %). Так, отказ электромеханических усилителей рулевого управления является одной из наиболее часто встречающихся неисправностей ВАЗ-21703.

Впрочем, неисправности и некорректное функционирование ЭМУ РУ встречаются не только у автомобилей отечественного производства.

Например, в [2] приводится информация о потере работоспособности ЭМУ у KIA cee'd, Mazda 2, Mazda 6, Hyundai Verna из-за дефектов датчика момента. У машин марки Mitsubishi Lancer основной причиной отказа ЭМУ РУ оказался сбой в алгоритме работы блока управ-

¹ Окончание. Начало в «МТ», 2017, № 4, с. 58–69.

ления, а для узла, использующегося в Hyundai Elantra, характерен стук шестерни усилителя.

Вероятность повреждения резистора на плате блока управления ЭМУ РУ послужила причиной отзывной кампании автомобилей Toyota Highlander, реализованных с 10 октября 2014 года в РФ. Отмечается [3], что под отзыв попало 4279 машин.

Концерн General Motors отозвал 6,3 тысячи седанов Chevrolet Caprice Police Pursuit, поставленных полиции США с 2014 по 2016 год, по причине того, что в них мог быть установлен дефектный усилитель руля, отключающийся во время движения [4].

Возвращаясь к вопросу о надёжности ЭМУ, выпускаемых в РФ, следует отметить, что среди усилителей, устанавливаемых на первые партии автомобилей Lada Kalina, исправно функционировали лишь 50 %. Около 35 % машин были оснащены неработоспособным ЭМУ РУ. А на оставшиеся 15 % приходились весьма серьёзные неисправности, связанные с заклиниванием рулевого механизма, случаями самопроизвольного вращения и т.д. [2].

В диссертационной работе [5] приводится исследование гарантийной базы неисправностей автомобиля Lada Granta, по результатам которого автором сделан вывод о том, что наименее надёжным узлом в системе электрооборудования является именно ЭМУ РУ. Показатель его надёжности 47,7 %, что составляет примерно 18 % от общего количества отказов элементов системы.

Безусловно, проблема низкой надёжности ЭМУ РУ в эксплуатации потребовала проведения научных исследований, направленных на изучение особенностей конструкции узла, алгоритмов программного управления, а также характера формирования командных решений электронным блоком управления (ЭБУ) в ответ на внешние возмущающие воздействия. Их цель — установление причин потери усилителем работоспособного состояния. Результатом выполненных проектов стали различные гипотезы.

Так, например, отмечается [6], что электромагнитное воздействие на датчики узла и блок управления безредукторного ЭМУ РУ оказывает негативное воздействие на корректное функционирование узла. В частности, при неправильном определении входного момента $M_{вх}$ датчиком ЭБУ генерирует команду на создание дополнительного компенсирующего момента M_k на рулевом валу, что, в свою оче-

редь, приводит к самопроизвольному вращению руля при движении АТС и неконтролируемому повороту управляемых колёс.

В случае возникновения программного сбоя в микропроцессоре ЭБУ происходит искажение передаваемых сигналов, вследствие чего бортовая система диагностики не может определить, является ли узел исправным, и выдаёт команду на его отключение. Также при электромагнитном воздействии на ЭМУ РУ могут проявляться ухудшение управляемости и усложнение манёвра автомобилем.

В [7] установлено, что снижение надёжности редукторного ЭМУ РУ приводит к возникновению следующих неисправностей:

- заклинивание рулевого механизма;
- поломка рулевой рейки;
- самопроизвольное вращение рулевого колеса;
- стук в редукторе при вращении рулевого колеса;
- отказ датчика момента;
- потеря работоспособности ЭБУ.

Изучение указанных дефектов ЭМУ РУ, разработка современных методов диагностирования технического состояния узла приобретают всё большую актуальность. Это связано ещё и с тем, что существующие функции диагностирования (бортовая — по световому индикатору и с использованием сканер-тестера) не позволяют детально отслеживать изменение параметров механической части ЭМУ [8]. К тому же подобные вопросы следует решать только в авторизованном сервисном центре. Грамотно выполнить диагностические воздействия собственными силами невозможно [7].

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ БЕЗРЕДУКТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Исследование ЭМУ РУ зарубежными учёными ведётся с начала 90-х годов прошлого века, что находит своё отражение в большом количестве патентов на конструкцию усилителя и способы управления. Следует отметить значительный вклад японских исследователей Yasuo Shimizu, Atsuhiko Yoneda, Hitoshi Shiobara, Takashi Kuribayashi, Hirofumi Matsuoka в решение задач проектирования ЭМУ РУ различных конструкций [9].

Накопленный к настоящему моменту опыт научных исследований отечественных учёных в области изучения технических параметров и эксплуатационных характеристик ЭМУ РУ позволяет сгруппировать имеющиеся резуль-



таты по двум направлениям: теоретические и экспериментальные.

Среди теоретических исследований необходимо в первую очередь выделить работы В. Н. Козловского и Р. А. Малеева, посвящённые аспектам проектирования и производства ЭМУ РУ.

Так, в [10] ими рассмотрены вопросы создания математических моделей, способных прогнозировать надёжность узла. Отмечается, что для достижения высокого качества конечного продукта необходимо в допроизводственный период обеспечить количественную оценку ключевых параметров будущих изделий, вариация размерных значений которых может привести к существенным изменениям технических характеристик ЭМУ РУ.

В [11] внимание уделено созданию в интегрированной математической среде Matlab имитационной математической модели, преобразующей информацию об отказах ЭМУ в показатели надёжности. В результате выполненного анализа авторами установлено, что наибольшая доля дефектов ЭМУ приходится на неисправности электронной системы управления, датчиков момента и положения ротора, а значительное количество неисправностей связано с отклонениями размерных параметров активной зоны ЭП от требований технических условий.

Вопросы, касающиеся особенностей конструкции и совершенствования системы управления ЭМУ РУ, нашли своё отражение в работах новосибирских учёных Б. М. Боченкова, Г. Л. Никулина, М. В. Тюрина, Г. А. Французовой и др.

Например, в [12] авторами представлены основные электронные компоненты, применяемые в ЭБУ, подробно описаны структурная схема и принципы работы узла, созданного в ОАО «Автоэлектроника» (г. Калуга) – главном поставщике усилителей на сборочный конвейер автозавода.

В [13] предложен способ, повышающий динамическую точность управления ЭМУ РУ, суть которого заключается в решении двух задач: алгебраического формирования управляющего сигнала на выработку компенсирующего момента электродвигателя на основании измеряемых величин и усовершенствования измерительной системы.

В [9] рассмотрены вопросы повышения эффективности функционирования ЭМУ РУ на основе использования высокоточных эле-

ментов измерительной системы. Автором предложен алгоритм формирования сигнала на создание выходного момента ЭМУ РУ, обеспечивающий высокую статическую и динамическую точность, определён критерий оценки качества усилителя при проведении сравнительных испытаний, с помощью которого находится динамическая погрешность в заданном диапазоне частот. Разработана конструкция ЭМУ РУ с датчиком момента на основе магнитоупругого эффекта, обеспечивающим увеличение точности измерения и воспроизведения момента при обработке реакции со стороны дороги с частотой до 20 Гц по сравнению с существующими аналогами.

Стоит в этом ряду выделить и отдельные научные работы, посвящённые решению частных задач проектирования, моделирования, расчёта и исследования функционирования ЭМУ РУ.

К примеру, исследования в [14] связаны с математическим моделированием магнитоэлектрических вентильных двигателей для ЭМУ РУ легковых автомобилей.

Вопросы разработки функциональной блок-схемы ЭМУ РУ на базе частотно-управляемого асинхронного двигателя, её реализации и принципов работы рассмотрены в [15].

В [16] показаны существующие типы шаговых электрических двигателей, а также выполнен анализ их конструктивных особенностей с целью использования аналоговых ЭД в конструкции ЭМУ РУ. Установлены требования к параметрам выбираемого электродвигателя в соответствии с действующей внешней нагрузкой. Получены выражения величины вращающего момента шагового двигателя, используемого в качестве исполнительного элемента усилителя РУ с винтовыми и реечными рулевыми механизмами.

Экспериментальные исследования ЭМУ РУ безредукторного типа нашли своё отражение в [17, 18]. Их авторы разработали и сконструировали специальный стенд, схемы подключений к нему, платы управления, индикации, а также пульт управления. Устройство предназначено для проверки электрических и механических параметров усилителей руля.

Рассматриваемая экспериментальная установка позволяет проводить испытания усилителя в автоматическом и ручном режимах при температурах от минус 40°С до плюс 65°С при относительной влажности воздуха 95±3%. В качестве режимов испытания предлагается

использовать циклы нагрузки. При этом за один цикл принимается имитация знакопеременного вращения входного вала двигателя на угол, соответствующий трём оборотам рулевой колонки автомобиля влево и трём оборотам вправо. Стенд обеспечивает генерацию входной информации для ЭБУ, а именно: сигналы датчика положения ротора и датчика скорости. Кроме того, установка позволяет задавать разные значения нагрузок по моменту усилия на выходном валу – 12, 20, 32 Нм и двух скоростей – 5 и 10 км/ч. Отмечается, что разработанное устройство нашло практическое применение в ПО «Север».

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕДУКТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Заметный теоретический вклад в изучение системы редукторного ЭМУ РУ внес В. В. Королев [19]. Автором были разработаны и предложены:

- обобщённая модель системы ЭМУ РУ, отличающаяся учётом совместного влияния параметров автомобиля и вентильно-индукторного электропривода узла и позволяющая проводить проектирование систем усилителей на базе методологии законов регулирования компенсирующего воздействия;

- своё понимание взаимосвязи между реакциями управляемых колёс, моментами в РУ и компенсирующим моментом, развиваемым вентильно-индукторным электроприводом, чтобы определить необходимые компенсационные воздействия со стороны электропривода в процессе движения автомобиля, снабжённого усилителем;

- математическая модель вентильно-индукторного двигателя, отличающаяся от ранее известных меньшей трудоёмкостью компьютерного моделирования и позволяющая более рационально производить построение привода за счёт уточнённой взаимосвязи между удельной проводимостью воздушного зазора и взаимным расположением зубцов статора и ротора;

- система ЭМУ РУ, улучшающая технико-эксплуатационные свойства автомобиля, качество управляемого движения.

Внимания заслуживают работы В. И. Доманова, А. В. Доманова и их коллег, направленные на изучение проблем управления ЭМУ РУ. Авторами предложена система, особенность которой в применении узла коррекции, учитывающего условия эксплуатации автомобиля,

а также индивидуальные особенности водителя. Корректирующими выбраны сигнал индивидуальной настройки и подстроечный сигнал, пропорциональный скорости автомобиля. Отмечается, что применение упреждающей коррекции позволяет расширить область устойчивости ЭМУ более чем в два раза по сравнению с традиционной структурой [20].

В [21] проанализировано влияние внешних усилий на ЭМУ РУ. Установлено, что для снижения нагрузки на водителя и момента сопротивления со стороны дороги необходимо иметь возможность изменять характеристику датчика момента в зависимости от скорости движения автомобиля. Формирование такой характеристики может быть выполнено аналоговым или программным способами.

В [22] исследована работа ЭМУ РУ при действии случайных сигналов, а также проведено сравнение различных структур управления узлом по уровню дисперсии выходного сигнала.

Принцип функционирования ЭМУ в режимах городского, загородного движения и парковки представлен в [23]. В другой публикации [24] даётся сравнение конструктивных особенностей электрогидроусилителя и ЭМУ РУ марки Servoelectric. В [25] целью исследования является разработка модели системы РУ автомобиля с ЭМУ. Авторы демонстрируют функциональную схему редукторного усилителя с вентильно-индукторным двигателем.

Следует отметить работу [26], в которой установлены основные функции, выполняемые системой управления электродвигателем ЭМУ РУ. Данный набор воздействий заложен в алгоритм ЭД, для корректной реализации которого предлагается оснащать блок управления 32-разрядным микроконтроллером фирмы Atmel, удовлетворяющим по своим технико-экономическим показателям всем требованиям, предъявляемым к системам ЭМУ РУ автомобилей категории М1.

Среди основных направлений научных разработок – совершенствование алгоритма функционирования ЭБУ. Например, в [27] с целью изучения поведения АТС, оснащённого редукторным ЭМУ руля, подвергнут анализу алгоритм работы микроконтроллера, а также выполнено моделирование в среде Matlab. В результате получены теоретические зависимости суммарного и компенсирующего моментов от угла поворота рулевого вала и скорости движения автомобиля. В статье [28] проведено



аналитическое исследование ЭМУ РУ и синтез алгоритмов управления путём разработки математической и цифровой моделей.

Созданием новой модели датчика входного момента, принцип работы которого основан на эффекте Холла, занимался В. С. Мульгин [29]. В основу измерения усилия, прикладываемого к рулевой колонке, автором предлагается заложить зависимость изменения расстояния между датчиком Холла и магнитом от степени скручивания торсиона.

Экспериментальные исследования характеристик датчика входного момента, используемого в конструкции ЭМУ РУ, выполнены А. И. Архиповым [30]. По результатам испытаний на автоматизированном стенде установлено, что выходные сигналы датчика, передаваемые по двум каналам, имеют форму меандра частотой 2 кГц и амплитудой 5 В. При этом в зависимости от угла скручивания торсиона происходит изменение скважности сигналов от 20 до 80 %, а при отсутствии момента на входном валу значение скважности составляет 50 %.

В настоящее время ведущие мировые автопроизводители разрабатывают усилители РУ безвального типа. Под термином «безвальный» понимается такая система, которая не имеет механической связи между колонкой руля и рулевым механизмом, то есть когда осуществляется так называемое «управление по проводам». Конструкционно безвальный усилитель РУ представляет собой систему с двумя согласованными электроприводами – на РК и рулевой рейке, без механического соединения между собой. Один из них работает в следящем режиме и обеспечивает поворот управляемых колёс в соответствии с сигналом от датчика положения РК. Другой привод формирует момент на РК, пропорциональный моменту на валу рулевого механизма, обеспечивая так называемое «чувство дороги» и осуществляя возврат РК в нейтральное положение при его отпускании (режим самовозврата) [31].

Отмечается, что разрабатываемая система обладает рядом преимуществ. Ей свойственно:

- отсутствие жесткой конструкционной привязки кабины АТС и механизма РУ к поворачиваемым колёсам;
- возможность управления автомобилем совместно с электронными системами, в том числе бортовым компьютером;
- компактность по сравнению с традиционными вальными усилителями;

– низкая трудоёмкость технического обслуживания и ремонта при меньшем количестве механических деталей.

Созданием проводных систем РУ занимаются многие отечественные и зарубежные фирмы, работающие в области автомобилестроения. Однако серийно выпускаемых образцов пока не существует, как отсутствуют и публикации, раскрывающие принцип построения и состав проектируемых систем [32].

ВЫВОДЫ

В ходе выполненного обзора установлено, что оснащение транспортных средств категории М1 электромеханическими усилителями руля остаётся одним из перспективных направлений в отрасли автомобилестроения.

Выявлены основные требования, предъявляемые к ЭМУ РУ, определены функциональные задачи, которые он должен решать, рассмотрены компоновочные схемы и особенности функционирования узла в составе транспортной машины, а также проанализирован отечественный опыт разработки устройств и их подготовки в серийный выпуск. В силу ряда обстоятельств современные автомобили оснащают преимущественно безредукторными усилителями колоночного типа.

Суммированы основные отказы и неисправности ЭМУ РУ, встречающиеся в процессе его эксплуатации, а также определено, что встроенная система самодиагностики мехатронного узла не позволяет отслеживать изменение его технического состояния в условиях эксплуатации.

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований ЭМУ РУ безредукторного и редукторного типов свидетельствует о преимущественном внимании к аспектам проектирования, функционирования, прогнозирования и моделирования характеристик узла и отдельных элементов, входящих в конструкцию усилителя. И это, несомненно, актуализирует тему надёжности узла в эксплуатации, делает неизбежной саму необходимость продолжения исследований с большим акцентом на качественные характеристики ЭМУ автомобильного руля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козловский В. Н. Обеспечение качества и надёжности системы электрооборудования автомобилей / Дис... док. техн. наук. – Тольятти, 2010. – 440 с.
2. Электроусилители рулевого управления: особенности и недостатки. [Электронный ресурс]: <http://>

www.zr.ru/content/articles/120125- elektrousiliteli_ rulevogo_upravlenija_osobennosti_i_nedostatki/. Доступ 18.05.2017.

3. В России началась отзывная кампания внедорожника Toyota Highlander. [Электронный ресурс]: <http://www.zr.ru/content/news/784124-v-rossii-pod-otzyv-popali-avtomobili-toyota-highlander/>. Доступ 18.05.2017.

4. General Motors отозвал более 6 тысяч полицейских автомобилей. [Электронный ресурс]: <http://news.drom.ru/General-Motors-40361.html>. Доступ 18.05.2017.

5. Полякова Е. В. Разработка и внедрение системы оценки качества и конкурентоспособности автомобилей // Дис... канд. техн. наук. – Тольятти, 2016. – 159 с.

6. Николаев П. А., Куклина А. В. Испытания электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля к электромагнитному воздействию // Технологии электромагнитной совместимости. – 2015. – № 2. – С. 38–41.

7. Емельянов В. В., Васильев В. И. Устройство для ускоренных испытаний на надёжность электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля // Вестник Курганского государственного университета. – 2014. – № 2. – С. 75–76.

8. Васильев В. И., Емельянов В. В. Метод диагностирования автомобильного рулевого управления с электро-механическим усилителем // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 5.

9. Тюрин М. В. Повышение эффективности безредукторного электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля // Дис... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2009. – 167 с.

10. Козловский В. Н., Малеев Р. А. Прогнозирование стабильности технических характеристик электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля // Грузовик. – 2008. – № 1. – С. 13–15.

11. Козловский В. Н., Малеев Р. А. Анализ надёжности автомобильного электро-механического усилителя рулевого управления // Грузовик. – 2008. – № 12. – С. 37–38.

12. Печников А., Трубин В. Электро-механический безредукторный усилитель руля: принципы работы и применяемые электронные компоненты // Вестник электроники. – 2011. – № 1. – С. 4–8.

13. Боченков Б. М., Тюрин М. В. Пути повышения динамической точности управления электро-механическим усилителем рулевого управления // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 3. – С. 3–10.

14. Ефимов В. В. Численное и экспериментальное моделирование электро-механических компонентов автоэлектронных систем // Автореф. дис... канд. техн. наук. – Чебоксары, 2011. – 24 с.

15. Прохоров В. А., Девочкин О. В. Электроусилитель рулевого управления автомобилем // Известия Московского государственного технического университета. – 2014. – № 2. – С. 58–61.

16. Огороднов С. М., Синичкин С. Г. Расчёт усилителя рулевого управления с шаговым электрическим двигателем для транспортных средств // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. – 2012. – № 4. – С. 182–191.

17. Гурова Е. Г., Вахитов Р. Н., Козицын Ю. А., Колчиненко О. А. Проверки на надёжность усилителя электро-механического рулевого управления Lada Kalina // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 136–138.

18. Гурова Е. Г., Вырвин А. Н., Мингазеев С. М., Сергеев А. А. Стенд прогона на проверку усилителя электро-механического рулевого управления Lada Kalina // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 138–139.

19. Королев В. В. Система электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Тольятти, 2005. – 20 с.

20. Доманов В. И., Доманов А. В. Анализ и синтез систем управления электро-механическим усилителем руля // Вестник УлГТУ. – 2008. – № 3. – С. 51–56.

21. Доманов В. И., Доманов А. В. Влияние внешних усилий на электроусилитель руля автомобиля (ЭУР) // Современные научно-технические проблемы транспорта: Сб. научных трудов V международной науч.-техн. конференции. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – С. 30–33.

22. Доманов А. В., Доманов В. И., Сергеев А. В. Влияние случайных сигналов на работу электроусилителя рулевого управления // Электроснабжение и электро-оборудование. – 2013. – № 4. – С. 22–25.

23. Шалаев Д. В. Алгоритм работы электроусилителя руля // Актуальные проблемы развития науки и образования: Сб. научных трудов международной науч.-практ. конференции. – Часть 1. – М.: АР-Консалт, 2014. – С. 101–103.

24. Арсенюк С. А. Электрогидроусилитель и электро-усилитель рулевого управления // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: Сб. научных трудов международной науч.-практ. конференции. – Часть 3. – СПб., 2016. – С. 33–37.

25. Насибуллин Р. Т., Сергеев В. А., Сунгатов И. З. Модель системы электро-механического усилителя рулевого управления // Новые задачи технических наук и пути их решения: Сб. статей международной науч.-практ. конференции. – Уфа: Аэтерна, 2015. – С. 67–69.

26. Косенко Е. О., Архипов А. И. Стратегия построения цифровых систем управления электроприводом усилителя руля // Закономерности и тенденции развития науки: Сб. статей международной науч.-практ. конференции. – Уфа: Омега Сайнс, 2015. – С. 26–28.

27. Крюков А. И., Палагута К. А., Широков Л. А. Моделирование работы усилительной электро-механической системы рулевого управления // Машиностроение и инженерное образование. – 2013. – № 4. – С. 37–45.

28. Арефьев В. А. Математическая модель электро-усилителя руля // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2005. – № 32. – С. 123–129.

29. Мульгин В. С. Разработка датчика усилия рулевого управления // Автомобиль и электроника. Современные технологии. – 2013. – № 1. – С. 41–44.

30. Архипов А. И. Исследование датчика момента // Роль технических наук в развитии общества: Сб. статей международной науч.-практ. конференции. – Уфа: Аэтерна, 2015. – С. 4–6.

31. Антонов И. П. Разработка системы безвального усилителя рулевого управления // Материалы 53-й международной научной студенческой конференции МНСК-2015: Мехатроника и автоматизация. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2015. – С. 42.

32. Антонов И. П., Боченков Б. М. Разработка системы безвального усилителя рулевого управления // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8/3. – С. 454–457.

Координаты авторов: **Денисов И. В.** – denisoviv@mail.ru, **Смирнов А. А.** – AlexiFoX@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 13.01.2017, актуализирована 18.04.2017, принята к публикации 21.04.2017.

