

Как нам представляется, необходимость привлечения эмпирической зависимости (3) связана со стремлением использовать соотношения подобия для центробежных насосов, в то время как, в действительности, при сравнении обточенных и необточенных рабочих колеса речь идет о центробежных насосах разного конструктивного исполнения, когда принципы подобия не выполняются ни по одному показателю, а именно: по расстоянию между дисками в рабочем колесе и по величине зазора между языком и внешним диаметром рабочего колеса, которое изменяется более существенно (на порядок и более), чем расстояние между дисками рабочего колеса. Именно последнее обстоятельство и вызывает изменение вида функциональной зависимости отношения подач модельного и натурального насосов, вместо ожидаемой квадратичной, следующей из геометрического подобия, к прямой пропорциональности, которая наблюдается в опытах.

Таким образом, в процессе преподавания при изложении вопросов подобия центробежных насосов в качестве расчетных соотношений следует использовать зависимости (1) и (2) (например, при пересчете характеристик центробежных насосов на другую частоту вращения), а при изменении области использования центробежных насосов путем обточки рабочих колес – зависимости (3) и (4), которые не являются следствием теории подобия, но приближенно соответствуют опытным данным.

Литература

1. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов // Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. М.: «Издательский дом Альянс». 2009. 423с.
2. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат. 1986. 320 с.

О необходимости управления давлением воздуха в шинах легковых автомобилей в зависимости от степени их загрузки

к.т.н. доц. Красавин П.А., Смирнов А.О.
Университет машиностроения,
(495) 223-05-23, доб. 1587, avt@mami.ru

Аннотация. В статье рассмотрена необходимость учёта степени загрузки легковых автомобилей при внедрении и использовании системы автоматического управления давлением воздуха в шинах всех колёс и представлен алгоритм управления давлением воздуха в шинах легкового автомобиля в зависимости от скорости его движения.

Ключевые слова: автомобиль, давление воздуха, автоматическое управление, пневматическая шина, пятно контакта, центростремительная сила, степень загрузки.

О необходимости нормирования давления воздуха в пневматических шинах, автоматического управления им без участия человека, и о последствиях несоблюдения данных норм ранее говорилось не раз. Всем известно, что корректировка давления воздуха в шинах в зависимости от условий движения автомобиля является до сих пор открытым вопросом, требующим более тщательного изучения. В предлагаемой статье речь пойдёт о шинах легковых автомобилей.

В конструкции любого автомобиля автопроизводитель закладывает определенные пятна контакта шины автомобиля с дорожным полотном. Но эти оптимальные пятна контакта колеса и дороги изменяются под действием многих факторов, два из которых самые значимые: загрузка автомобиля и скорость движения автомобиля.

Для обеспечения оптимального пятна контакта с дорогой при загрузке автомобиля автопроизводитель задает в конструкции необходимые значения давления воздуха в шинах передней и задней осей автомобиля. Но эти значения соответствуют минимальному и максимальному давлению в шинах, которое необходимо выставить при минимальной и макси-

мальной загрузке автомобиля соответственно. Но как было сказано ранее, существует множество значений m_n , входящих в предел $m_{min} \leq m_n \leq m_{max}$, которым заданные автопроизводителем давления p_{min} и p_{max} , соответствующие значениям m_{min} и m_{max} , не будут удовлетворять (m_{min} – минимальная нагрузка; p_{min} – минимальное давление соответствующее m_{min} ; m_{max} – максимальная нагрузка; p_{max} – минимальное давление соответствующее m_{max}).

Было установлено, что изменение пятна контакта от загрузки автомобиля в допустимом автопроизводителем диапазоне $m_{min} \leq m_n \leq m_{max}$ можно считать линейным. Также была выведена зависимость, что для каждого m_n существует оптимальное значение p_n , которое будет обеспечивать оптимальное пятно контакта:

$$p_n = m_n \left(\frac{p_{min} - p_{max}}{m_{min} - m_{max}} \right) + \left[p_{max} - m_{max} \left(\frac{p_{min} - p_{max}}{m_{min} - m_{max}} \right) \right]. \quad (1)$$

Вторым фактором, влияющим на изменение пятна контакта, является скорость движения автомобиля. С увеличением скорости движения автомобиля линейно возрастает угловая скорость вращения колес. С ростом угловой скорости колеса увеличивается центробежная сила, действующая на шину. Под действием центробежной силы изменяется пятно контакта шины с опорной поверхностью. Было установлено, что процесс увеличения центробежной силы для различных типоразмеров шин легковых автомобилей практически идентичен. Процесс изменения центробежной силы для различных типоразмеров шин показан на рисунке 1.

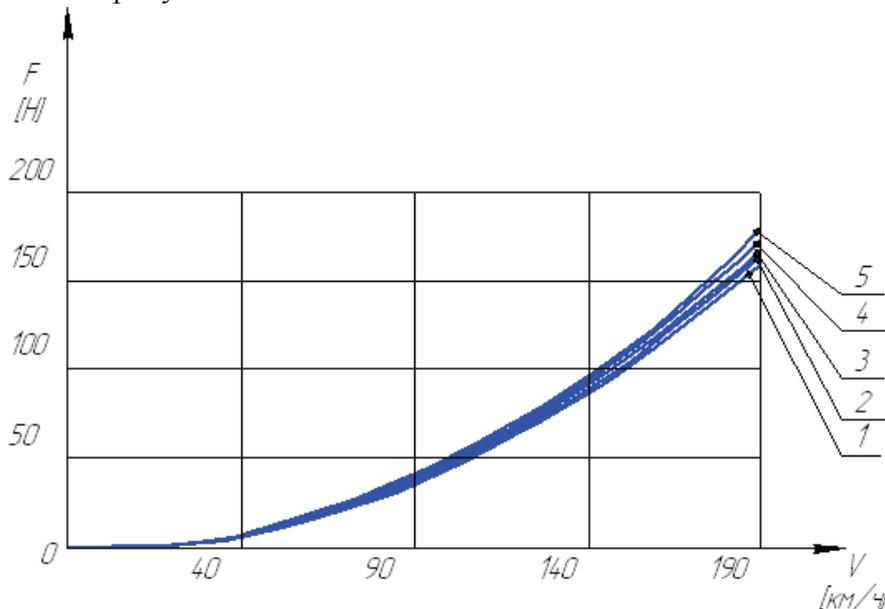


Рисунок 1. Зависимость центробежной силы, действующей на брекер и протекторный слой шины, от скорости автомобиля: 1 – шина размерностью 205/55/R15; 2 – шина размерностью 215/60/R16; 3 – шина размерностью 205/55/R16; 4 – шина размерностью 215/55/R16; 5 – шина размерностью 215/45/R16

На основании рисунка 1 можно смело утверждать, что увеличение центробежной силы имеет квадратичную зависимость и может быть представлено в виде следующей формулы:

$$F_n = 0,47V^2 + 0,67V + 0,27, \quad (2)$$

где: F_n – центробежная сила, действующая на шину в пятне контакта шины с опорной поверхностью,

V – скорость движения автомобиля.

Также из графика (рисунок 1) видим, что до скорости движения автомобиля 40 км/ч центробежная сила практически не изменяется и остается постоянной. Далее наблюдается заметное ее увеличение по параболе. Под действием центробежной силы нарушается пятно контакта шины автомобиля с опорной поверхностью. Можно утверждать,

что изменение пятна контакта шины описывается такой же зависимостью, что и изменение центробежной силы.

Для сохранения оптимального пятна контакта при движении автомобиля с высокими скоростями автопроизводитель рекомендует повышать давление в шинах от номинального значения на 10...15%. Но в реальной жизни движение автомобиля с заранее запланированной постоянной скоростью практически невозможно. Зачастую происходит неравномерное или смешанное движение с изменением скорости от начала движения до максимальной скорости и от максимальной скорости до полной остановки автомобиля. В городской зоне происходит умеренное движение с частыми остановками, а вне населенных пунктов скорости движения автомобилей, как правило, значительно возрастают, вплоть до максимально возможных, определяемых параметрами их силовых установок.

Предварительное принудительное повышение давления в шинах, т.е. перед началом движения, не всегда оправдано и небезопасно. Автомобиль на заведомо «перекаченных» и «непрогретых» шинах с момента начала движения до достижения оптимальной скорости может повести себя непредсказуемо. Заранее заданное заведомо избыточное давление воздуха в шинах может спровоцировать заметное ухудшение устойчивости, управляемости, комфортабельности, увеличение тормозного пути, а следовательно, и снижение безопасности автомобиля в целом. Системы автоматического регулирования давления в шинах автомобиля в зависимости от изменения скорости автомобиля до сих пор в мире не существует.

Зная зависимость изменения центробежной силы, действующей на шину, от скорости движения автомобиля, можно построить график оптимального увеличения давления в шинах автомобиля в зависимости от скорости движения, а также разработать алгоритм автоматического регулирования давления в шинах. Данное мероприятие позволит сохранять оптимальное пятно контакта шины с опорной поверхностью, а следовательно, улучшит показатели устойчивости и управляемости автомобиля. Но, т.к. в реальной жизни автомобиль движется не всегда с минимальной или максимальной нагрузкой, а чаще всего нагрузка меняется в диапазоне $m_{min} \leq m_n \leq m_{max}$, притом непредсказуемо, поэтому для начального m_n существует начальное p_{no} . На рисунке 2 изображен график оптимального изменения повышения давления в шинах автомобиля при минимальной и максимальной нагрузке автомобиля.

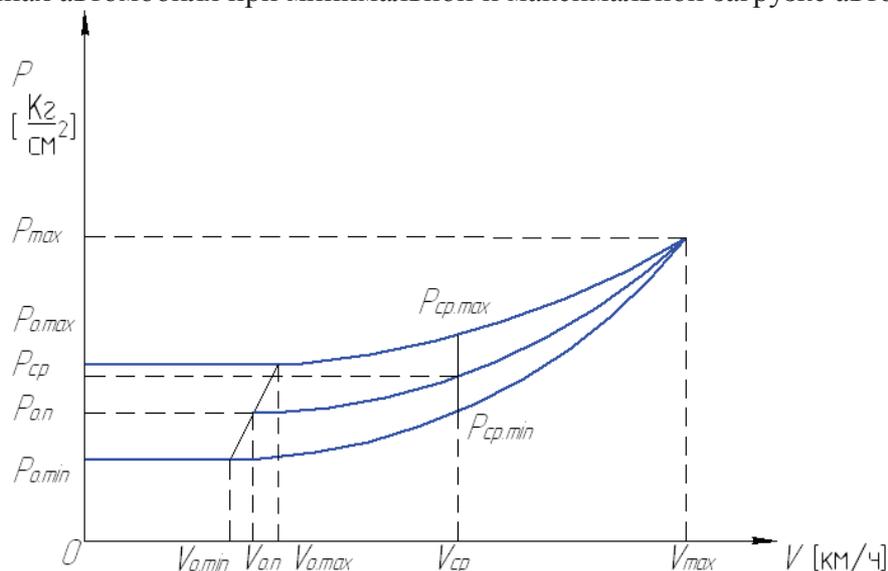


Рисунок 2. Желаемое изменение значения давления воздуха в шине в зависимости от скорости автомобиля

На этом рисунке приняты следующие обозначения: $p_{o,min}$ — минимальное давление в шинах, соответствующее минимальной нагрузке автомобиля; $p_{o,max}$ — минимальное давление в шинах, соответствующее максимальной нагрузке автомобиля; $p_{o,n}$ — начальное давление в шине автомобиля, соответствующее данной нагрузке автомобиля, входящее в предел $m_{min} \leq m_n \leq m_{max}$; $V_{o,min}$ — скорость автомобиля с минимальной нагрузкой, до которой давление в

шинах остается неизменным и соответствует $p_{o.min}$; $V_{o.max}$ – скорость автомобиля с максимальной загрузкой, до которой давление в шинах остается неизменным и соответствует $p_{o.max}$; $V_{o.n}$ – скорость автомобиля с загрузкой, входящей в диапазон $m_{min} \leq m_n \leq m_{max}$, до которой давление в шинах остается неизменным и соответствует $p_{o.n}$; V_{cp} – скорость автомобиля, входящая в диапазон $V_{o.max} \leq V_{cp} \leq V_{max}$. $V_{cp} = const$ (Задается автопроизводителем самостоятельно. Данное значение скорости необходимо задать для дальнейшего построения алгоритма автоматического регулирования давления в шинах.); $p_{cp.min}$ – давление в шинах, соответствующее минимальной загрузке автомобиля при скорости V_{cp} ; $p_{cp.max}$ – давление в шинах, соответствующее максимальной загрузке автомобиля при скорости V_{cp} ; $p_{cp.n}$ – давление в шинах, соответствующее начальному давлению $p_{o.n}$ при скорости V_{cp} ; V_{max} – максимальная скорость автомобиля; p_{max} – давление в шинах при скорости V_{max} .

Значения скорости $V_{o.n}$ находим по формуле:

$$V_{o.n} = p_{o.n} \frac{V_{o.max} - V_{o.min}}{p_{o.max} - p_{o.min}} + (V_{o.max} - p_{o.n}) \frac{V_{o.max} - V_{o.min}}{p_{o.max} - p_{o.min}}, \quad (3)$$

а значения давления $p_{cp.n}$ – по формуле:

$$p_{cp.n} = \frac{p_{o.n} - p_{o.min}}{d} + p_{cp.min}, \quad (4)$$

где: $d = const$ - коэффициент данного уравнения, находится следующим образом:

$$d = \frac{p_{o.max} - p_{o.min}}{p_{cp.max} - p_{cp.min}}. \quad (5)$$

Для каждого начального p_{no} существует своё квадратичное уравнение для построения графика изменения давления p_n во время движения автомобиля в зависимости от изменения скорости движения автомобиля:

$$p_n = aV^2 + bV + c, \quad (6)$$

где: p_n – давление воздуха в шине;

V – скорость автомобиля;

a ; b ; c – коэффициенты данного уравнения.

Коэффициенты уравнения a , b , c находятся следующим образом:

$$a = \frac{p_{max} - \frac{V_{max}(p_{cp.n} - p_{o.n}) + V_{cp.n}p_{o.n} - V_{o.n}p_{cp.n}}{V_{cp.n} - V_{o.n}}}{V_{max}(V_{max} - V_{o.n} - V_{cp.n}) + V_{o.n}V_{cp.n}}, \quad (7)$$

$$b = \frac{p_{cp.n} - p_{o.n}}{V_{cp.n} - V_{o.n}} - a(V_{o.n} + V_{cp.n}), \quad (8)$$

$$c = \frac{V_{cp.n}p_{o.n} - V_{o.n}p_{cp.n}}{V_{cp.n} - V_{o.n}} + aV_{o.n}V_{cp.n}. \quad (9)$$

Зная принципы изменения давления в шинах в зависимости от скорости автомобиля, обеспечивающие оптимальные показатели пятна контакта шины с дорогой, а также уравнение, по которому осуществляется данное изменение, можно построить алгоритм автоматического регулирования.

Алгоритм автоматического регулирования давления в шинах автомобиля в зависимости от скорости его движения изображен на рисунке 3.

Представленный алгоритм работает по следующему принципу. После запуска двигателя автомобиля идет сбор данных с датчиков о параметрах давления воздуха (газа) в каждой шине автомобиля и нагрузках, приходящихся на переднюю и заднюю оси автомобиля. После этого электронный блок управления определяет начальные давления $p_{o.n. n.o.}$ для шин передней оси и $p_{o.n. з.o.}$ для шин задней оси автомобиля по формуле (1). Исполнительные устройства доводят необходимые значения давлений в каждой шине автомобиля до соответствующих

$p_{o.n. n.o.}$ для шин передней оси и $p_{o.n. з.о.}$ для шин задней оси соответственно. После начала движения автомобиля, имея значения $p_{o.n. n.o.}$ и $p_{o.n. з.о.}$, электронный блок управления для шин каждой оси автомобиля может построить функцию по формуле (6), по которой будет происходить доведение и корректировка давления в шинах каждой из осей автомобиля с увеличением скорости, предварительно рассчитав коэффициенты a по формуле (7), b по формуле (8) и c по формуле (9). Величина $p_{n.n.o}$ соответствует необходимому задаваемому давлению в шинах для передней оси и $p_{n.з.о.}$ – необходимому задаваемому давлению в шинах для задней оси. Далее осуществляется постоянная корректировка и поддержание заданного давления в каждом из колес, т.е. непосредственное управление давлением воздуха в шинах всех колес. При отклонении заданного значения давления p_n от соответствующего скорости V_n хотя бы в одной из шин происходит автоматическая корректировка давления исполнительными устройствами.

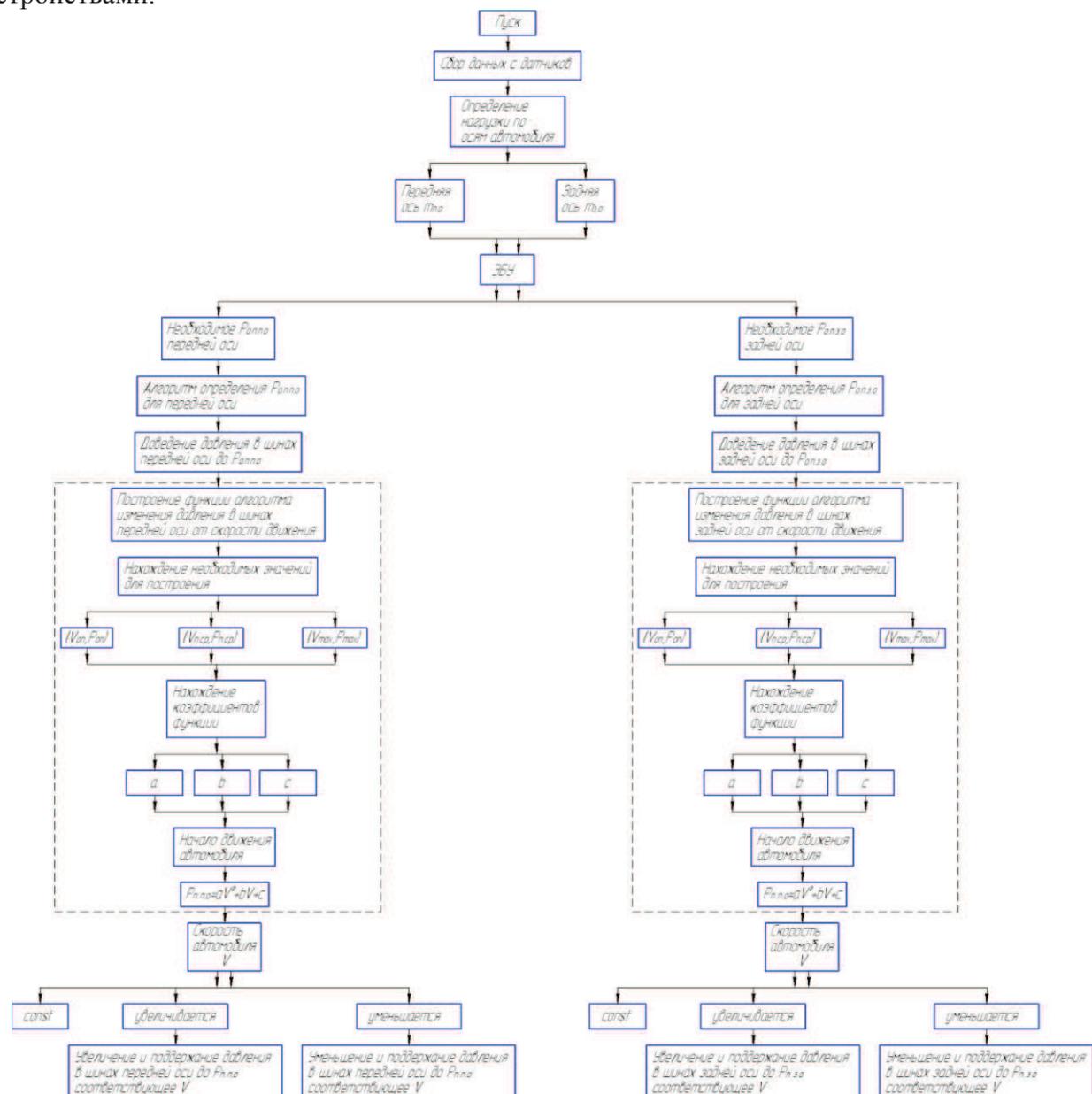


Рисунок 3. Алгоритм управления давлением воздуха в шинах легкового автомобиля в зависимости от скорости его движения

Литература

1. MICHELIN: «Проверь давление в шинах!» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.michelin.ru/rn/front/act?id=T4986&lang=RU&codeRubrique=200501120_90654 affich.jsp?news

2. Больше воздуха! (Исследование Nokian Tyres) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://koleso.topof.ru/news.php>
3. Давление в шинах - национальная проблема США [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.unityre.kz/index.php?p=news>
4. Системы проверки давления в шинах: NHTSA [Электронный ресурс]. - [2007]. - Режим доступа: <http://alflash.com.ua/Learn/tpn.pdf>
5. Сычёв А.В. Проблемы давления в шинах в России и за рубежом / А.В. Сычёв, И.М. Рябов // Ежегодная XVIII международная. Интернет - конференция молодых учёных и студентов по современным проблемам машиноведения (МИКМУС-2006): тез. докл. конф., 27-29 дек. 2006 г. / Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН - М., 2006. - С. 24.
6. Красавин П.А., Смирнов А.О., Тимаев Д.М. О необходимости управления давлением воздуха в шинах легковых автомобилей. Известия МГТУ МАМИ, – М, 2013, Т. 1, № 1, с. 91-96.

Технология HiL как инструмент создания автомобильных многоприводных силовых агрегатов

Куликов И.

Университет машиностроения

8(495)223-05-23 (1204), i.kulikov.mami@gmail.com

Аннотация. В статье проведен анализ применения технологии аппаратно-программного моделирования технических систем (технология HiL) в разработке силовых агрегатов с индивидуальным приводом колес или осей. Приводится краткий обзор функций этих силовых агрегатов, характеризуются наиболее трудные задачи, решаемые в процессе их создания, и инструменты их решения, которые дает технология HiL. Описаны основные принципы аппаратно-программного моделирования автомобиля с помощью агрегатного стенда и технологии HiL. В качестве примеров приведены исследования и разработки ведущих зарубежных фирм (LuK, Froude Hofmann, Horiba), НТЦ «Автомобили с КЭУ», ФГУП НАМИ и фирмы «НАМИ-Сервис» в областях индивидуального привода колес и HiL-систем.

Ключевые слова: Hardware-in-the-Loop, HiL, многоприводные автомобили, силовые агрегаты, управление моментами на осях и колесах, математическое моделирование.

Многоприводные системы с независимым управлением моментами на колесах или осях

Концепции привода отдельных осей и отдельных колес автомобиля от индивидуальных силовых агрегатов в последние годы становятся все более актуальными. Очевидно, что в первую очередь это связано с развитием технологии тягового электрического привода, который считается самым перспективным силовым агрегатом для автомобилей, предназначенных для пассажирских и коммерческих перевозок. Удельные (на 1 кВт мощности) массогабаритные показатели современных электродвигателей позволяют компоновать их в трансмиссии автомобиля в количестве, достаточном для привода не только каждой оси, но и нередко каждого колеса, обеспечивая при этом требуемые тяговые и скоростные характеристики автомобиля.

Электрические силовые агрегаты, обеспечивающие раздельное независимое управление моментами на колесах разных бортов и предназначенные для пассажирских и коммерческих автомобилей, в основном осуществляют функции активной безопасности. В качестве примера можно привести модуль электропривода фирмы LuK с устройством несимметричного управления тягой на правом и левом колесах (рисунок 1).

В этом модуле имеется одна силовая электромашинка, планетарный дифференциал и соединенное с ним устройство несимметричной тяги, которое представляет собой планетарную