

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](mailto: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.

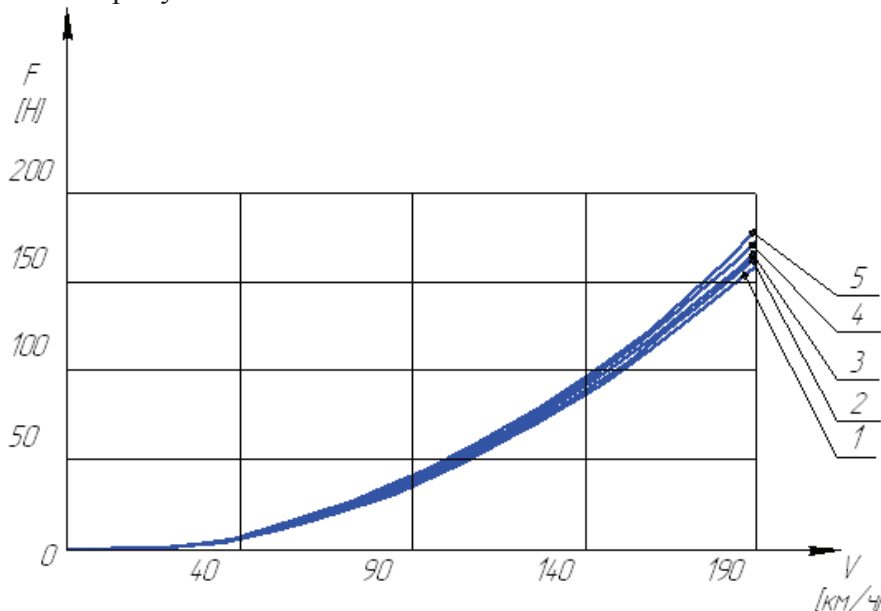
Для обеспечения оптимального пятна контакта с дорогой при загрузке автомобиля автопроизводитель задает в конструкции необходимые значения давления воздуха в шинах передней и задней осей автомобиля. Но эти значения соответствуют минимальному и максимальному давлению в шинах, которое необходимо выставить 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 загрузка;  $p_{min}$  – минимальное давление соответствующее  $m_{min}$ ;  $m_{max}$  – максимальная загрузка;  $p_{max}$  – 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.

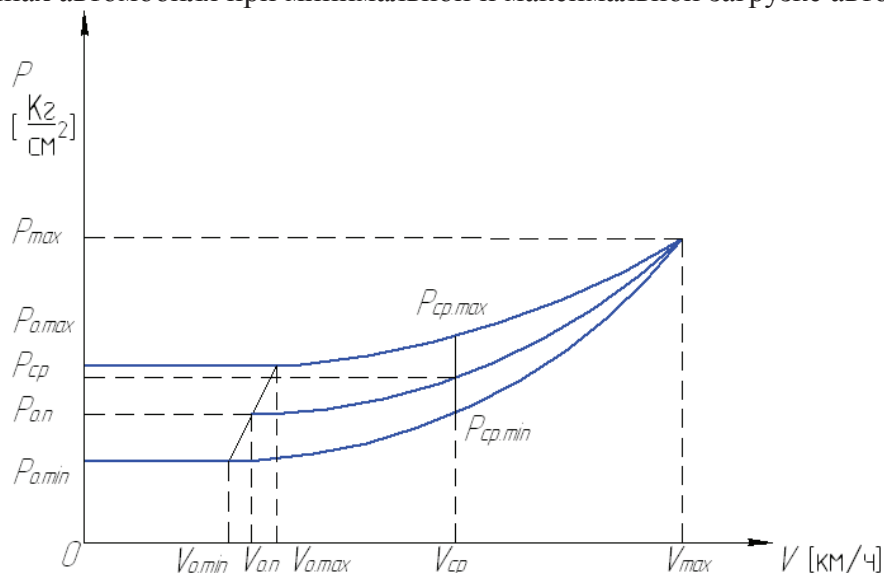
Также из графика (рисунок 1) видим, что до скорости движения автомобиля 40 км/ч центробежная сила практически не изменяется и остается постоянной. Далее наблюдается заметное ее увеличение по параболе. Под действием центробежной силы нарушается пятно контакта шины автомобиля с опорной поверхностью. Можно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

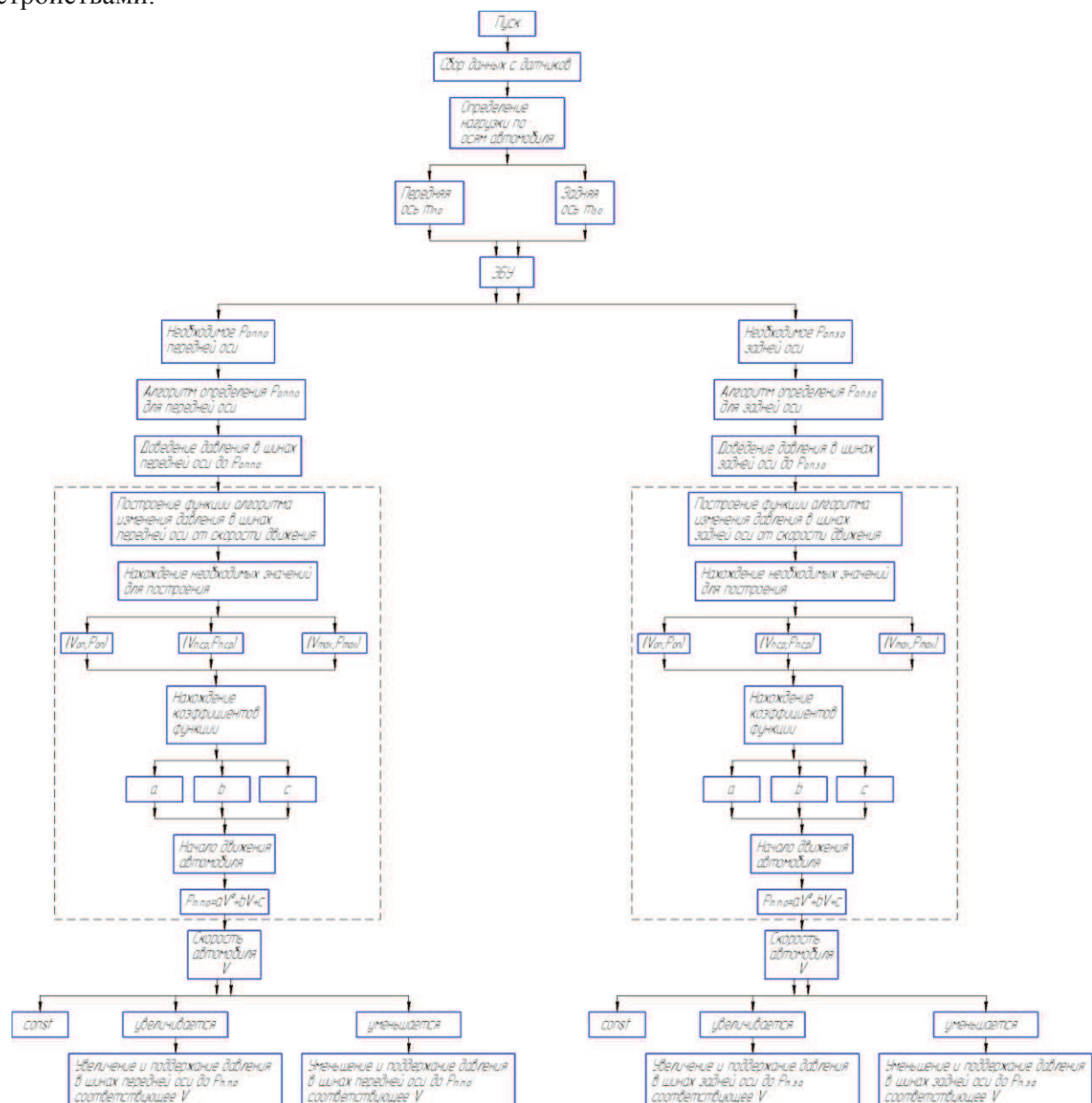


Рисунок 3. Алгоритм управления давлением воздуха в шинах легкового автомобиля в зависимости от скорости его движения

### 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](mailto: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