**Вариоколесо и его перспективы для автомобилей**

Нурбей Гулиа, Мартин Ференц, Сергей Юрков

Механические бесступенчатые передачи – вариаторы, в последнее время находят себе все большее применение на автомобилях. В основном, это вариаторы с гибким звеном – тянущим или толкающим, которые по ряду причин имеют ограниченные перспективы в качестве коробок передач автомобилей. На наш взгляд, в этом качестве перспективны планетарные дисковые вариаторы, имеющие по сравнению с упомянутыми существенно большие долговечность, КПД на высших передачах, простоту и компактность. Подробный сравнительный анализ вариаторов – дисковых и с гибким звеном, как и описание принципа действия нового планетарного дискового вариатора, изложены в статье Н.В.Гулиа, А.Е.Власова и С.А.Юркова «Механическая бесступенчатая передача для грузовых автомобилей и автобусов. Перспективы использования».

Компактность новых вариаторов, цилиндричность их формы, органически свойственная им автоматичность, а также дистанционное управление режимом («жесткостью») этой автоматичности, позволяют встраивать вариатор в ступицу ведущего колеса автомобиля, в том числе и совместно с бортовой понижающей передачей. В результате получается новый тип ведущего колеса автомобиля, названный нами сокращенно вариоколесом, и обладающий оригинальными эксплуатационными свойствами, повышающими потребительские свойства автомобиля и его конкурентноспособность. По нашему мнению, это, в основном, касается автомобилей с несколькими ведущими осями, тягачей специального назначения, в том числе и землеройных машин, а также автобусов, то есть тех автомобилей, где считается перспективным использование электрических или гидравлических мотор-колес.

Если сравнивать вариоколеса с мотор-колесами, то они обеспечивают сходные эксплуатационные преимущества – бесступенчатое изменение частоты вращения и момента колеса, отсутствие потребности в межколесных и межосевых дифференциалах при сохранении непрерывного тягового усилия на колесах, применение, при необходимости, независимой подвески ведущих колес. При этом если вариоколесо в общем, требует несколько более усложненного подвода мощности в сравнении с мотор-колесами, то гораздо меньше габариты, масса, сложность, стоимость устройства, как встроенного в колесо, так и располагаемого на шасси (генератор или насос, преобразователи, система управления), а также существенно больший КПД, являются несомненными преимуществами вариоколеса.

Как будет показано ниже, подвод вращения при весьма низких моментах, меньше момента двигателя без коробки передач, к вариоколесу, не требует пространства заметно большего, чем подвод мощности проводами или по трубам жидкостью. В принципе, возможен подвод мощности и гибкими валами в рукавах, даже внешне мало отличающимися от кабелей или гибких шлангов.

Ввиду того, что авторы не являются специалистами по многоосным автомобилям и транспортной спецтехнике, и занимаются, в основном, автобусами, здесь будут рассмотрены, главным образом, перспективы использования вариоколес для городских автобусов, и лишь частично упомянуты эти перспективы для других видов транспортных средств. В частности, особые удобства и перспективы представляют вариоколеса для автомобилей, тракторов и тягачей, имеющих большие колеса, например, крупных самосвалов, тягачей, бульдозеров, скреперов и т.д.). Крутящий момент, передаваемый вариатором, зависит от куба его диаметра, поэтому для больших колес возможно использование даже однодисковых вариаторов без дополнительного бортового редуктора. Мощность, передаваемая дисковыми вариаторами может достигать 500 и выше кВт для одного агрегата.

Вариоколесо на основе двухскатных бездисковых колес для шин типа 12.00-20 (типичных для больших городских автобусов типа «Икарус»), представлено на рис.1.

Рис. 1. Вариоколесо на основе двухскатных бездисковых колес (рисунки в формате AutoCAD, 235 кб)

Низкомоментная, то есть рассчитанная на номинальный крутящий момент, примерно половинный от крутящего момента двигателя, полуось 1 приводит во вращение центральные фрикционные диски 2, сжимаемые пакетом тарельчатых пружин 3. Промежуточные конические диски 4, ось 5 которых, соединена с водилом 6, контактируют также с неподвижными внешними фрикционными дисками 7, посаженными в корпус 8 и сжимаемыми плоскими дисковыми пружинами 9. (Конструкция данного вариатора защищена патентом России №2140028 от 26.05.98, автор Н.В.Гулиа). Крутящий момент от водила 6 через систему автоматического регулирования с принудительной установкой режимов передается на прорезной диск 10 (выходное звено вариатора) штатного бортового планетарного редуктора. Полумуфта 11 выполнена с возможностью принудительного вывода из зацепления с помощью винта 12.

Система автоматического регулирования вариатора, защищена патентом №2138710 от 16.06.98. (автор Н.В.Гулиа), основана на равновесии сил, действующих со стороны фасонных прорезей в прорезном диске 10 и пружин сжатия 13 на ролики 14, оси которых соединены с поворотными рычагами 15, перемещающими оси 5 промежуточных дисков 4 в радиальном направлении, что вызывает изменение передаточного отношения вариатора. Режим автоматического регулирования зависит от поджатия пружин 13, осуществляемого сервомотором 16, в данном случае типа Д-400В, мощностью 400Вт при 8000об/мин (24В), с планетарным или волновым понижающим редуктором 17 с передаточным отношением 150 и конической передачей 18, приводящей винты 19 системы управления с гайкой 20. Следует заметить, что эта система предусматривает и чисто принудительное регулирование передаточного отношения вариатора, что целесообразно при низких (ползучих) скоростях движения машины.

При крайнем периферийном (верхнем) положении дисков 4 понижающее передаточное отношение данного вариатора – 9,91, а при их центральном (нижнем) положении – 1,27. Понижающее передаточное отношение бортового редуктора – 3,7, и таким образом общее передаточное отношение механизма вариоколеса варьируется между 36,7 и 4,7. Если принимать частоту вращения полуоси при трогании с места 800об/мин, то при максимальном передаточном отношении вариоколесо будет вращаться с частотой около 20об/мин (с учетом неизбежного скольжения в передаче) и скорость автобуса будет при этом около 1м/с или 3,6км/ч, что соответствует реальным условиям трогания с места. При частоте вращения полуоси – 2000об/мин и минимальном передаточном отношении скорость автобуса около 22м/с или 76км/ч, что достаточно для городского автобуса.

Расчетный КПД вариатора при трогании автобуса с места около 0,8, а при максимальной скорости – 0,96, что следует из планетарной схемы вариатора и реальных значений КПД фрикционных контактов дискового вариатора. Описываемый вариатор рассчитан на момент входа 600Нм, при этом максимальное тяговое усилие на колесе может достигать 3,5...40кН, что при нагрузке на ведущую ось 9т находится на пределе сцепления. Такие тяговые возможности рациональны для грузовых автомобилей и машин повышенной проходимости, а для автобусов намного превосходят требуемые значения. При этом следует отметить, что контактные напряжения в вариаторе достигают лишь половинных от допустимых, оставляя резерв почти восьмикратного повышения передаваемого момента, либо уменьшения вдвое диаметра вариатора, что следует из точечного исходного контакта передачи. КПД вариатора, правда, при этом несколько падает.

Система управления может обеспечивать принудительное регулирование передаточного отношения при скоростях движения до 10км/час с высокой точностью выдерживания скорости (маневрирование на стоянках и т.д.) и автоматической коррекцией передаточных отношений левого и правого вариоколес в зависимости от угла поворота управляемых колес. При регулярном движении автобуса регулировке подвергается только режим автоматического управления: при сильном сжатии пружины 13 он «жесткий», то есть передаточное отношение вариатора слабо повышается при возрастании дорожных сопротивлений; при слабом сжатии пружины 13 он «мягкий», то есть передаточное отношение вариатора, и связанная с ним скорость движения машины, сильно изменяется с возрастанием дорожных сопротивлений. При этом повороты машины не требуют межколесных дифференциалов в трансмиссии, так как небольшое изменение частот вращения колес вызовет на любом режиме лишь слабое изменение тяговых усилий на колесах, что почти не отразится на кинематике и динамике поворота. При возможности проскальзывания колес (например, при гололеде) это свойство будет играть лишь положительную роль, как и в случае мягких грунтов для машин повышенной проходимости, как бы заменяя дифференциал повышенного трения. Заметим, что в отличие от большинства автоматических передач, здесь градаций регулировки режимов движения может быть как угодно много. Сервомотор при этом включается только для изменения режима движения, то есть достаточно редко.

Как и мотор-колеса, вариоколеса могут использоваться как для обычных схем силовых агрегатов с приводом только от двигателя, так и для гибридных схем, включающих накопитель энергии. На наш взгляд, в гибридных схемах как с тепловыми двигателями, так и с топливными элементами в качестве основных источников энергии, в качестве накопителей энергии целесообразно использование накопителей механической энергии – супермаховиков. Для случаев использования тепловых двигателей, выделяющих энергию в виде вращения вала, и потреблении этой энергии в виде вращения полуоси ведущего колеса, целесообразность использования накопителя, где энергия запасается также в виде вращения – супермаховика, очевидна. Для случаев же использования топливных элементов эта целесообразность обоснована в статье Н.В.Гулиа и С.А.Юркова «Новая концепция электромобиля». Следует заметить, что и для упомянутой концепции использование вариоколес эквивалентно использованию вариатора в трансмиссии, причем первое предпочтительнее для электробуса из условий компоновки.

Рис. 2. Принципиальная схема гибридного силового агрегата автомобиля (автобуса) с использованием вариоколес (рисунки в формате AutoCAD, 235 кб)

Принципиальная схема наиболее общего случая – гибридного силового агрегата автомобиля (автобуса) с использованием вариоколес представлена на рис.2. Здесь двигатель 1 со сцеплением 2 приводит во вращение как ведущую шестерню 3 главной передачи, так и супермаховик 4 через соответствующую передачу с муфтой сцепления. Главная передача содержит реверс в виде зубчатой или кулачковой муфты 5, подключающей полуосевые колеса переднего 6 или заднего 7 хода к полуоси 8, приводящей вариоколеса 9. В серединном положении муфты 5 включена нейтраль.

Выше уже было упомянуто, что передаточное отношение главной передачи близко к единице, поэтому момент на ней и ее габариты весьма невелики; в частности, момент, передаваемый полуосью практически вдвое меньше момента на первичном валу трансмиссии после сцепления. Для сравнения можно отметить, что конические колеса 3, 6 и 7 по размерам близки к ведущим шестерням главных передач легковых автомобилей, рассчитанных на близкий крутящий момент. Аналогичные размеры будут иметь и подшипники этих колес; таким образом пространство по высоте, занимаемое данной главной передачей – реверсом вполне может вписаться в толщину пола автобуса, т.е. высоту несущих элементов.

Здесь не рассматривается принцип работы гибридного силового агрегата автомобиля, об этом можно прочесть, в частности, в журнале «Грузовик...» (№1, 2000г.) в статье Н.В.Гулиа и С.А.Юркова «Гибридные силовые агрегаты автомобилей», где приводится их подробный анализ. Заметим, что для превращения гибридной схемы в обычную следует лишь устранить супермаховичный накопитель и соответствующий привод к нему. Двигатель в этом случае будет примерно в 2 раза мощнее, чем в гибриде. Для превращения схемы по рис.2 в схему электромобиля новой концепции, следует устранить двигатель со сцеплением, а супермаховичный накопитель снабдить встроенным разгонным электродвигателем, питаемым от любого источника электроэнергии, в частности, от топливных элементов (статья Н.В.Гулиа и С.А.Юркова «Новая концепция электромобиля».

Рис. 3. Схема компоновки автобуса с мотор-колесами и независимой подвеской (рисунки в формате AutoCAD, 235 кб)

Применение вариоколес может обеспечить существенные компоновочные преимущества даже в сравнении с мотор-колесами. Рассмотрим, например, наиболее перспективную схему компоновки автобуса, имеющего низкий уровень пола – всего 320мм, с мотор-колесами и независимой подвеской фирмы ZF (рис.3). Ширина прохода 900мм – это все, что может обеспечить схема с мотор-колесами. Следует иметь в виду, что генератор и частотные преобразователи (либо инверторы), имеющие значительные массы и габариты, обязательно присутствуют в конструкции.

Рис. 4. Схема компоновки автобуса с вариоколесами и независимой подвеской (рисунки в формате AutoCAD, 235 кб)

В схеме с вариоколесами (рис.4) благодаря малым осевым размерам, не выходящим за осевые габариты колеса, при той же высоте пола обеспечивается увеличенная примерно на 300мм ширина прохода, устраняются тяговые двигатели мотор-колес, генератор, преобразователи; повышается КПД привода и диапазон изменения крутящего момента, особенно важные в гибридной схеме, где требуется двойное прохождение энергии через привод – от накопителя к колесам и при рекуперации энергии в обратном направлении. Максимальный крутящий момент, передаваемый вариатором, значительно превосходит развиваемый тяговым двигателем данных размеров, что обеспечивает высокие тяговые усилия и динамику машины.

При этом подвод вращения к вариоколесу 1 может быть осуществлен, в случае независимой подвески, не зависящим от положения пола или изменений его высоты (кстати, весьма небольших у регулируемой пневмоподвески автобуса). Достигается это фиксацией главной передачи 5 и полуосей 2 в полу машины 3 и связи их с входным валом вариоколеса качающимся цилиндрическим редуктором 4, как показано на рис.4 справа. Пол может в этом случае занимать различные по высоте положения относительно дороги, соответственно 3а и 3б, с передачей вращения от полуосей на вход вариоколеса. Обкат цилиндрических колес качающегося редуктора, теоретически изменяющий передаточное отношение от главной передачи но обод колеса, практически не влияет (как и поворот машины) на момент, передаваемый вариоколесом из-за «мягкой» характеристики вариатора. Заметим, что для машин повышенной проходимости данная схема может быть «перевернута» на 180 градусов и низкий клиренс, целесообразный для автобусов, заменен на высокий, необходимый для хорошей проходимости.

Применение вариоколес из-за возможностей несложного достижения высоких передаточных чисел (бортовым редуктором, вариатором, качающимся редуктором) позволяет использовать быстроходные малогабаритные двигатели без риска увеличения передаточного числа и радиальных габаритов главной передачи, с сохранением ее передаточного числа, близкого к единице и выполнением минимальных радиальных габаритов быстроходной низкомоментной главной передачи – реверса, которую целесообразно выполнять конической с круговым зубом.

Можно считать перспективным замену сцепления двигателя высокомоментным синхронизатором с размещением сцепления с пневматическим управлением непосредственно в вариоколесе, в свободном пространстве между бортовым редуктором и ободом колеса, что должно повысить ресурс всей трансмиссии, так как нагружение ее происходит при уже создавшемся масляном клине.