



МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

УДК 629.3-822, 629.3-522.2

Д.С. БЕЛАБЕНКО

начальник отдела гидромеханических передач

E-mail: megainventor@yandex.ru

ОАО «Минский завод колесных тягачей», г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 23.02.2016.

ТИПЫ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Рассмотрены исполнительные механизмы, применяемые в современных гидромеханических передачах, и их влияние на плавность переключения передач, коэффициент полезного действия, компактность конструкции. Проведен сравнительный анализ различных типов исполнительных механизмов на предмет актуальности применения в современных конструкциях гидромеханических передач, оснащенных мехатронной системой управления.

Ключевые слова: гидромеханическая передача, исполнительные механизмы, мехатронная система управления

Введение. Гидромеханические коробки передач (ГМП) широко применяются в трансмиссиях автомобилей. Областью применения ГМП является тяжелая автомобильная техника, колесные и гусеничные автомобили высокой проходимости, городской транспорт, строительная и коммунальная автомобильная техника, карьерные самосвалы, легковые автомобили. ГМП в основном применяют на автомобильной технике мощностью до 1000 л. с., однако есть случаи применения ГМП и при мощности до 1600 л. с. [1]. Широкое распространение ГМП на автомобильной технике обусловлено не только преимуществами, которыми они обладают (повышенная проходимость, возможность маневрировать на низких скоростях, более высокая долговечность по сравнению с механическими коробками передач), но и наличием современных мехатронных систем управления (МСУ).

Перечисленные преимущества обусловлены наличием в ГМП гидродинамической муфты (ГМ) или трансформатора (ГДТ), так как эти элементы позволяют бесступенчато изменять частоту вращения или крутящий момент на ведущих колесах автомобиля при фиксированной передаче в редукторе в отличие от механических коробок передач.

К недостаткам ГМП относят высокую стоимость, массу и расход топлива из-за низкого КПД [2]. Однако применение ГМП на технике, предназначенной для движения по труднопроходимой местности, в некоторых случаях позволяет снизить расход топлива (там, где автомобили с механической коробкой буксуют, ГМП позволяет двигаться, экономя топливо). Также высокая стоимость ГМП может компенсироваться за счет снижения количества запчастей, требующих замены при эксплуатации в течение службы автомобиля до капитального ремонта, так как ГМП способствует снижению динамических нагрузок.

МСУ обеспечивают переключение передач, блокировку ГДТ и диагностику ГМП. Качество переключения передач и блокировки ГДТ (плавность и время процесса) обеспечивается конструкцией исполнительных механизмов (ИМ) или алгоритмом заложенной в микропроцессорный блок программы. Системы управления ГМП значительно прогрессировали. Первые ГМП имели командную систему управления с гидравлическим (например, ГМП-543) [3] или электрическим (например, ЛАЗ-НАМИ-698) [4] приводом. Затем широко распространились ГМП, система управле-

ния которых была основана на гидравлической автоматике, когда сигналы о скорости и нагрузке на двигатель передавались с помощью давления рабочей жидкости [5]. Подробно об аппаратной части системы управления, основанной на гидравлической автоматике, описано Харитоновым С.А. [6]. К таким ГМП относятся, например, ГМП 42RH и 46RH компании Chrysler. Дальнейшим этапом в развитии систем управления стало применение микропроцессорных блоков управления. Современные МСУ строятся на базе микропроцессорных блоков и дискретных или пропорциональных электромагнитных клапанов, которые подают рабочую жидкость под давлением к ИМ, обеспечивая плавное переключение передач.

Несмотря на низкий КПД, в сравнении с механическими коробками передач, ГМП имеют большой потенциал к его повышению за счет оптимизации кинематической схемы, алгоритма управления и сокращения времени использования режима разблокирования ГМ или ГДТ. Принимая во внимание описанные гибридные электромеханические трансмиссии в работе [5], можно отметить, что совершенствование редукторной части ГМП, в том числе и ИМ, актуально, а его результаты могут быть использованы при построении коробок передач, способных снижать расход топлива за счет рекуперации энергии.

На фоне непрерывного совершенствования систем управления ГМП принципиальная конструкция ИМ ГМП не изменялась на протяжении всей истории. Например, ГМП компании Chrysler модели 42RE и 46RE и ГМП компании Ford модели 4ADL-E с электронной системой управления пришли на смену моделям 42RH, 46RH и 4ADL соответственно с гидравлической системой управления без изменения конструкции редуктора и ИМ [6, 7, 8]. Конструкция последних зависит от компоновки конкретной модели. Типы применяемых ИМ обусловлены задачами, которые ставят при конструировании ГМП.

Обзор исполнительных механизмов ГМП и анализ их дальнейшего развития. Простейшим вариантом исполнения ГМП является ГМ или ГДТ, соединенные с классической механической трехвальной коробкой передач. В качестве таких примеров выступают коробки передач, оснащенные узлами VIAB [9] и WSK [10], производство которых осуществляют компании Voith и Zahnrad Fabrik соответственно. В первом случае используется ГМ, во втором — ГДТ. На рисунке 1 показана конструкция ГМП ZF-TRANSMATIC с применением узла WSK компании Zahnrad Fabrik. Переключение передач осуществляется зубчатыми муфтами с синхронизаторами. Данный тип ГМП применяется на тягачах, работающих в тяжелых условиях и с большими грузами. ГМ или ГДТ в этом случае используется только для трогания автомобиля с места, чтобы повысить срок службы сухого фрикционно-

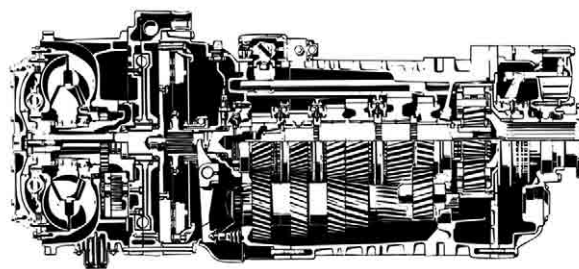


Рисунок 1 — ГМП ZF-TRANSMATIC с применением узла WSK компании Zahnrad Fabrik

го сцепления, и позволяет производить остановку автомобиля при включенной передаче и работающем двигателе без отключения сцепления. Управление переключением передач может осуществляться автоматически и вручную.

Применение зубчатых синхронизированных муфт переключения передач не обеспечивает требуемую плавность и безразрывность потока мощности при переключении передач. Использование описанной конструкции позволяет снизить стоимость ГМП и возможно в специфических условиях эксплуатации, когда не требуется постоянное наличие крутящего момента на ведущих колесах.

Работа ГМП в более тяжелых условиях эксплуатации требует применения ИМ, способных производить плавное переключение передач и обеспечивать сокращение практически до нуля разрыва потока мощности, передаваемой от двигателя к колесам автомобиля. Поэтому в качестве элементов управления в ГМП используются фрикционные устройства: ленточные тормоза и многодисковые фрикционные муфты, муфты свободного хода различной конструкции [6]. Фрикционные многодисковые муфты могут использоваться в качестве тормоза, когда одна из полу муфт соединена с корпусом ГМП [11]. Так как в конструкциях ГМП имеется гидравлический насос для прокачки масла через ГДТ и систему охлаждения, то использование для переключения передач давления рабочей жидкости, которое он создает, является рациональным решением.

Таким образом, наиболее распространенными в ГМП являются фрикционные ИМ, управляемые гидравлическим приводом. Наличие гидропривода обеспечивает быстрое действие ИМ, а фрикционные элементы — плавность переключения.

Устройство ленточного тормоза рассмотрено в различных источниках, например [6]. Ленточные тормоза имеют множество недостатков: необходимость регулировки; неравномерное прилегание ленты к поверхности барабана; малое значение тормозного усилия из-за низкой величины площади трения; зависимость тормозного момента от направления вращения барабана [6]. Несмотря на ряд усовершенствований, ленточные тормоза до сих пор уступают другим ИМ, вынуждая производителей ГМП отказываться от их применения в пользу последних.

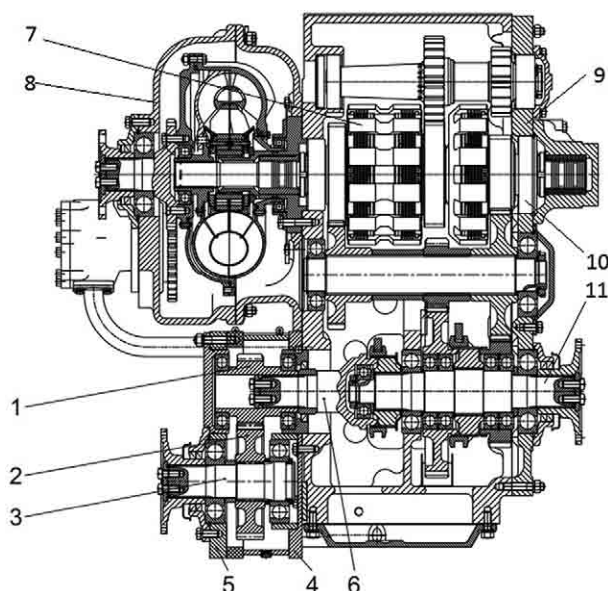


Рисунок 2 — ГМП серии У35615 производства ОАО «АМКОДОР»: 1 — шестерня ведущая привода отключаемого выходного вала; 2 — шестерня ведомая привода отключаемого выходного вала; 3 — отключаемый выходной вал; 4 — картер привода отключаемого выходного вала; 5 — крышка картера привода отключаемого выходного вала; 6 — промежуточный вал привода отключаемого выходного вала; 7 — многодисковые фрикционные муфты; 8 — ГДТ; 9 — картер ГМП; 10 — турбинный вал; 11 — выходной вал

В современных конструкциях ГМП в качестве ИМ широко применяются многодисковые фрикционные муфты и тормоза, что объясняется не только возможностью создавать значительные площади трения и обеспечивать передачу муфтой повышенного крутящего момента (по сравнению с ленточными тормозами), но и достаточно легко осуществить охлаждение и смазывание поверхностей трения при разомкнутом состоянии. Конструкция и работа многодисковых фрикционных муфт и тормозов рассмотрены в различных источниках, например [3, 4, 6, 11, 12, 13].

В ГМП с вальным редуктором применяют только многодисковые фрикционные муфты, которые соединяют один из валов с ведомыми или ведущими шестернями [11]. Одним из примеров может служить применяемая на погрузчиках ГМП У35615 производства ОАО «АМКОДОР», которая показана на рисунке 2 [13].

Многодисковые фрикционные тормоза применяются в ГМП с планетарным редуктором, где для передачи момента требуется затормозить одно или несколько звеньев планетарного механизма. Одним из примеров применения многодисковых фрикционных тормозов может служить ГМП производства ОАО «МЗКТ», применяемая с двигателями мощностью 430 л. с. Устройство ГМП показано на рисунке 3. ГМП содержит три многодисковых фрикционных тормоза, каждый из которых при подаче в бустер рабочей жидкости под давлением останавливает коронную шестерню соответствующего планетарного ряда.

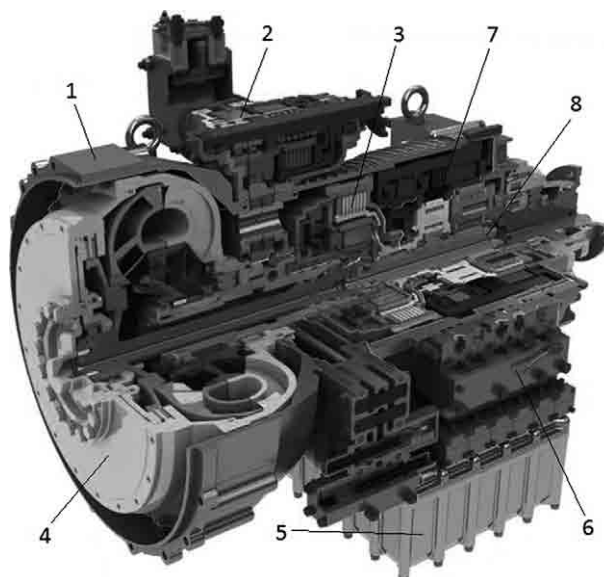


Рисунок 3 — ГМП ОАО «МЗКТ», работающая с двигателями мощностью 430 л. с.: 1 — картерные детали; 2 — коробка отбора мощности; 3 — многодисковые фрикционные муфты; 4 — ГДТ; 5 — поддон; 6 — система управления; 7 — многодисковые фрикционные тормоза; 8 — редуктор, состоящий из трех планетарных рядов

Анализ, проведенный в [6], показывает, что в качестве отжимных устройств в многодисковых фрикционных муфтах и тормозах могут применяться центральная цилиндрическая пружина, центральная тарельчатая пружина, несколько цилиндрических пружин, расположенных по периферии.

В современных конструкциях шестиступенчатых ГМП мировых производителей Allison и Zahnrad Fabrik, показанных на рисунках 4 и 5 соответственно, применяются все типы отжимных устройств [14], [15]. Стоит отметить, что ГМП, представленные на рисунках 3, 4 и 5, выполнены по одинаковой кинематической схеме, однако имеют очень заметные конструктивные отличия. ГМП компании Allison (см. рисунок 4) является хронологически первой среди рассматриваемых коробок передач. Ее производство началось в 1990-х годах. За два с половиной десятка лет ГМП Allison со-

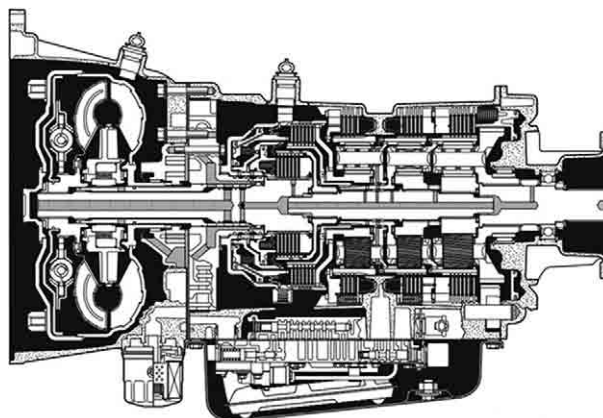


Рисунок 4 — Конструкция ГМП Allison 1000 с отводящими цилиндрическими пружинами, расположенными по периферии

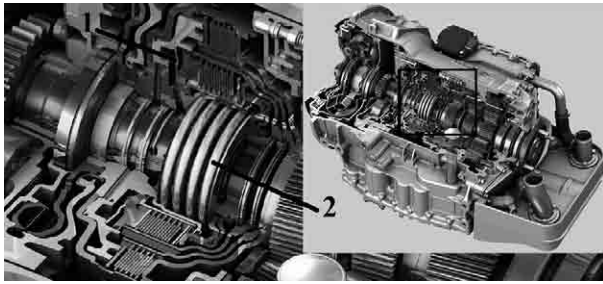


Рисунок 5 — Конструкция ГМП Zahnrad Fabrik EcoLife:
1 — тарельчатая пружина;
2 — центральная цилиндрическая пружина

вершенствовалась: улучшались конструкционные материалы, качество изготовления, развивалась система управления. Однако, принципиальная конструкция ГМП сохранилась.

Особенностью ГМП компании Allison является выполнение бустеров многодисковых фрикционных тормозов первого и второго планетарных рядов заодно с картером. Такое решение позволяет уменьшить габариты и массу ГМП. Использование отжимных пружин, расположенных по периферии, требует изготавливать их с повышенной точностью для приложения равномерного усилия по всей окружности поршня.

В конструкции ГМП ОАО «МЗКТ» также применены отжимные пружины, расположенные по периферии, что является наиболее простым и надежным решением, которое хорошо себя показало на практике и применяется с момента производства самых первых ГМП на ОАО «МЗКТ». Как видно из рисунка 3, бустера многодисковых фрикционных тормозов первого и второго планетарного ряда конструктивно выполнены отдельно от картера. Такое решение позволяет производить замену редуктора без полной разборки ГМП.

ГМП компании Zahnradfabrik, показанную на рисунке 5, начали выпускать в 2011 году. Для исключения необходимости точного изготовления пружин в конструкции применены центральная цилиндрическая пружина и тарельчатая пружина. Таким образом, применены типы отжимных устройств, позволяющих сократить размеры и массу ГМП и более рационально использовать внутреннее пространство для размещения деталей.

Применение тарельчатых отжимных пружин является традицией, которую можно проследить, если обратить внимание на ранее разработанное компанией Zahnradfabrik семейство ГМП Ecomat (рисунок 6).

Как видно из описания ГМП ОАО «МЗКТ», Allison, Zahnradfabrik, одни и те же ИМ имеют конструктивные особенности, которые зависят от достигаемых целей: уменьшение габаритов, уменьшение массы, повышение уровня ремонтнопригодности, использование хорошо проверенных конструктивных элементов.

Следующим типом ИМ, который применяется в ГМП, является муфта свободного хода (МСХ).

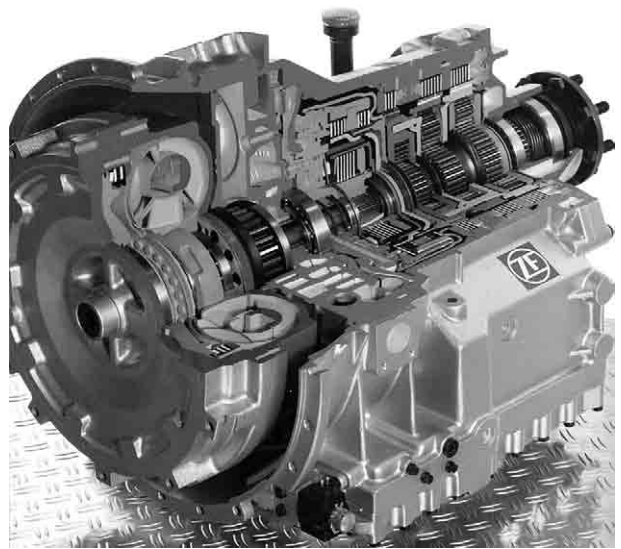


Рисунок 6 — ГМП ZF-Ecomat компании Zahnrad Fabrik

МСХ представляет собой автоматический ИМ, который передает или не передает крутящий момент между ведущими и ведомыми деталями в зависимости от относительных скоростей вращения этих деталей. В ГМП применяются роликовые и кулачковые МСХ.

Анализ, проведенный в работе [6], показывает, что МСХ широко использовались в конструкциях ГМП легковых автомобилей, имеющих четыре и пять передач. Например, в ГМП 5HP30 компании Zahnradfabrik, которая выпускалась до 2003 года, использовались две МСХ.

МСХ не обеспечивают комфортное переключение передач. Их габариты сопоставимы с габаритами многодисковых фрикционных муфт и тормозов. Поэтому с появлением современных МСУ более распространенными ИМ стали многодисковые фрикционные элементы, обеспечивающие комфортное переключение передач [5].

В 2001 году начался выпуск шестиступенчатой ГМП 6HP26 (выпускалась до 2009 года) компании Zahnrad Fabrik, которая в отличие от модели 5HP30 не имела МСХ в механическом редукторе [6, 16]. Все последующие разработки компании Zahnrad Fabrik ГМП 8HP и 9HP не имеют МСХ в механическом редукторе. Применение МСХ традиционно закрепилось в ГДТ всех современных ГМП. Эта автоматическая муфта хорошо себя зарекомендовала для остановки реакторного колеса ГДТ в режиме трансформации.

Кроме привычных для ГМП фрикционных ИМ нашли применение и зубчатые муфты, не оснащенные синхронизаторами, которые используются в ИМ механических вальных коробок передач легковых автомобилей и мотоциклов.

В 2013 году компания Zahnrad Fabrik начала выпуск девятиступенчатой ГМП ZF9HP, которая предназначена для применения на легковых автомобилях. Для снижения веса и габаритов в переключении передач кроме многодисковых фрикци-

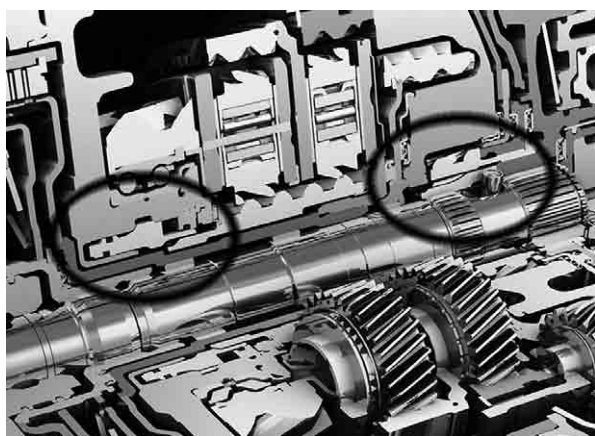


Рисунок 7 — Зубчатые муфты ГМП ZF9HP

онных муфт и тормозов задействованы две зубчатые муфты (рисунок 7) [17, 18]. На рисунке 8 представлена кинематическая схема ГМП ZF9HP, в таблице показана схема работы ИМ на каждой передаче [19]. Включаемые ИМ на каждой передаче отмечены знаком «+». Как видно, ГМП имеет четыре степени свободы. При переключении на соседнюю передачу изменяется состояние только двух ИМ (одного включаемого, второго выключаемого). К тому же данная схема позволяет реализовать переключение через одну передачу с сохранением того же условия (между нечетными передачами, второй и четвертой, шестой и восьмой).

Зубчатая муфта 7, расположенная в передней части ГМП (на рисунке 7 показана слева), включается на передачах переднего хода с первой по четвертую и на передаче заднего хода [17]. Зубчатая муфта 8, расположенная в задней части ГМП (на рисунке 7 показана справа), включается на передачах переднего хода с первой по седьмую [17]. Особенностью зубчатой муфты 7 является то, что она выполнена заодно с поршнем ее гидропривода. Поршень зубчатой муфты 8 установлен в полем турбинном валу, который проходит через всю ГМП. Как видно из рисунков 9 и 10 все зубья на шлицах муфт и ответных деталях имеют в передней части фаску и через один зуб уменьшенную длину, что упрощает процесс включения передачи [18].

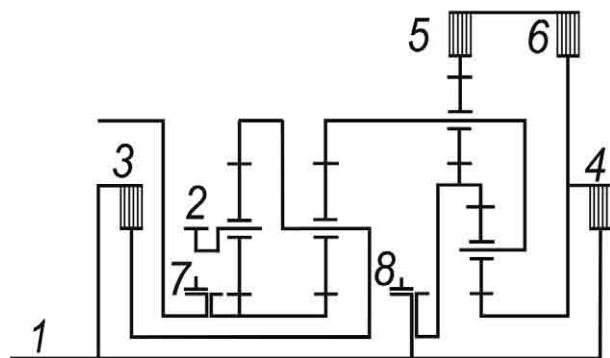


Рисунок 8 — Кинематическая схема ГМП ZF9HP: 1 — входной вал; 2 — выходное зубчатое колесо; 3, 4 — фрикционная муфта; 5, 6 — фрикционный тормоз; 7, 8 — зубчатая муфта

Таблица — Схема работы ИМ на каждой передаче

Номер передачи	T1	T2	Ф1	Ф2	ЗМ1	ЗМ2
1		+			+	+
2	+				+	+
3			+		+	+
4				+	+	+
5			+	+		+
6	+			+		+
7		+		+		+
8	+	+		+		
9		+	+	+		

Благодаря применению зубчатых муфт достигается экономия топлива до 16 % при движении автомобиля с постоянной скоростью 120 км/ч по сравнению с шестиступенчатыми ГМП [20]. Такое повышение экономичности объясняется тем, что зубчатые муфты на девятой передаче отключены и не создают сопротивления вращению в отличие от фрикционных элементов. Момент сопротивления за счет трения ведения создает только один многодисковый фрикционный тормоз 5 (в шестиступенчатых ГМП, представленных на рисунках 3, 4, 5, на высшей передаче в свободном состоянии находятся три фрикционных элемента).



Рисунок 9 — Шлицы зубчатой муфты ЗМ1

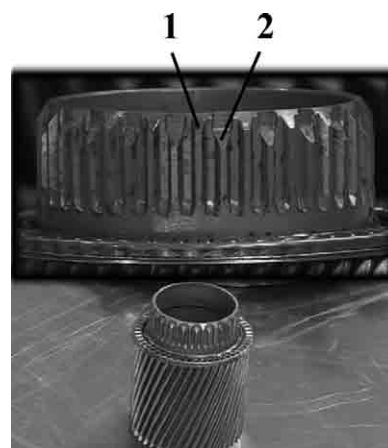


Рисунок 10 — Ответные шлицы муфты ЗМ1 на солнечной шестерне: 1 — зуб нормальной длины; 2 — укороченный зуб

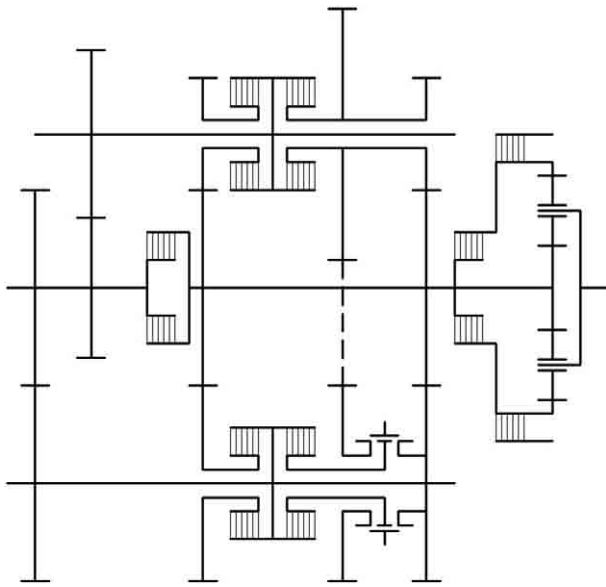


Рисунок 11 — Кинематическая схема девятиступенчатой ГМП компании General Motors

Компания General Motors также имеет разработки в области девятиступенчатых коробок передач. В патенте US2008/0182719A1 [21] представлена кинематическая схема (рисунок 11), которая содержит зубчатую муфту, задействованную на передаче заднего хода и на передачах переднего хода с первой по седьмую. Восьмая и девятая передачи реализуются при включении только многодисковых фрикционных элементов. В патенте General Motors используется много решений, аналогичных ГМП ZF9HP: в качестве ИМ используются зубчатые муфты, которые не задействованы на высших передачах; масляный насос лопастного типа с регулируемой подачей; реализованы кинематические схемы с четырьмя степенями свободы, для переключения передач используются два ИМ (один включается, второй выключается).

В 2013 году компания Allison объявила о начале производства новой десятиступенчатой ГМП, построенной по вально-планетарной схеме [22]. На выставке NPTC 2015 был представлен макет ГМП TC10 с вырезом в карете, фотография которой представлена на рисунке 12 [23]. Как видно,



Рисунок 12 — ГМП TC10 компании Allison Transmission

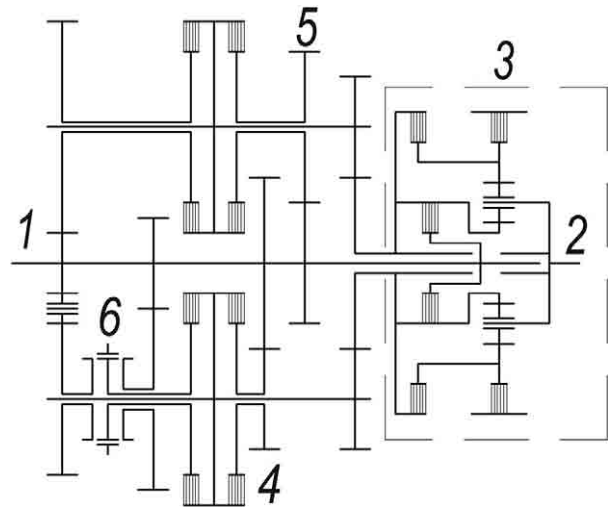


Рисунок 13 — Кинематическая схема десятиступенчатой ГМП компании Allison Transmission: 1 — входной вал; 2 — выходной вал; 3 — демультипликатор; 4, 5 — пары зубчатых колес; 6 — зубчатая муфта

в качестве ИМ в ГМП TC10 применяются многодисковые фрикционные элементы. Однако, стоит обратить внимание на патент US2010/029431A1 [24] компании Allison, в котором представлена кинематическая схема, показанная на рисунке 13. Ранее в научных публикациях отмечалось сходство этой схемы с имеющейся информацией о новой ГМП компании Allison [22].

Сравнивая фотографию с кинематической схемой, можно отметить, что на рисунке 12 видны промежуточный вал 1 и ведущий вал 2 (обозначения по рисунку 13). Как можно заметить, конструкция демультипликатора 3, расположение фрикционных муфт и зубчатых колес вальной коробки передач соответствуют кинематической схеме, за исключением наличия третьего зубчатого колеса (см. рисунок 12) на промежуточном валу 1 и последовательности расположения зубчатых пар 4 и 5. Исходя из фотографии ГМП TC10, дополнительное зубчатое колесо промежуточного вала 1 не входит в зацепление с зубчатым колесом ведущего вала, так как имеет с ним одинаковое направление зубьев. По указанному несоответствию кинематической схемы можно сделать предположение, что место размещения зубчатой муфты 6 не соответствует указанному на рисунке 13 с незначительным изменением кинематической схемы вальной части ГМП.

Кинематическая схема, которая удовлетворяет вышеприведенным предположениям и сходна с конструкцией, представленной на рисунке 12, содержится в патентах компании Allison US2015/032347A1 [26] и US2015/314786A1 [27]. Упомянутая кинематическая схема представлена на рисунке 14.

Можно сделать вывод, что в ГМП TC10 в качестве ИМ кроме многодисковых фрикционных муфт применяется зубчатая муфта (аналогично патентам US2008/0182719A1 [21] и US2010/029431A1 [23]).

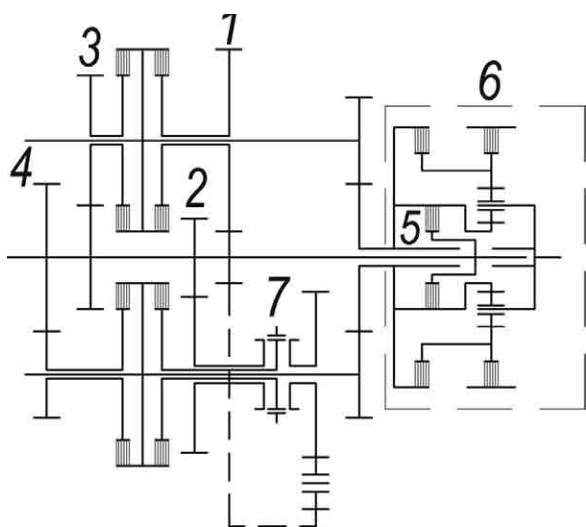


Рисунок 14 — Кинематическая схема десятиступенчатой ГМП компании Allison Transmission, соответствующая конструкции ГМП ТС10: 1 — пара зубчатых колес первой и шестой передач; 2 — пара зубчатых колес второй и седьмой передач; 3 — пара зубчатых колес третьей и восьмой передач; 4 — пара зубчатых колес пятой и десятой передач; 5 — фрикционная муфта четвертой и девятой передач; 6 — демультипликатор; 7 — зубчатая муфта передачи заднего хода

Выводы. Обобщая рассмотренные выше конструкции, можно сказать, что для переключения передач в современных зарубежных и отечественных ГМП применяются следующие ИМ:

- многодисковые фрикционные муфты (тормоза);
- фрикционные ленточные тормоза;
- МСХ;
- зубчатые муфты.

Конструкция всех описанных ИМ современных МСУ широко известна и остается неизменной в общих чертах на протяжении длительного периода. Отличие их проявляется в виде конкретных технических решений, связанных с компоновкой различных моделей ГМП. Широкое распространение в современных ГМП с числом передач шесть и выше получили многодисковые фрикционные муфты и тормоза благодаря наличию у них преимуществ, позволяющих осуществлять плавное переключение передач под нагрузкой. Также перспективным является применение зубчатых муфт с целью снижения расхода топлива на длительно используемых режимах эксплуатации.

Применение зубчатых муфт с синхронизаторами также распространено для условий эксплуатации, допускающих переключение передач с разрывом потока мощности. Данное решение позволяет значительно удешевить конструкцию ГМП и применить серийно производящиеся механические коробки передач с ручным или автоматическим управлением.

Использование ленточных тормозов и МСХ для ГМП с количеством передач шесть и более малоэффективно, потому что большое количество передач предполагает включение одних и тех же ИМ на разных передачах (не исключено, что с разным направлением передаваемого крутящего момента).

Как показывают три технических решения компаний Zahnrad Fabrik, General Motors и Allison, рассмотренных последними, повышение КПД в ГМП с многодисковыми фрикционными элементами возможно за счет поиска рациональной кинематической схемы, обеспечивающей минимальное количество ИМ, находящихся в разомкнутом состоянии на всех передачах, особенно на часто используемых.

Список литературы

1. Красневский, Л.Г. Защитные устройства современных гидромеханических передач / Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко, А.А. Мацкевич // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012. — № 1. — С. 26–28.
2. Гзовский, М. Программа передач / М. Гзовский // За рулем. — 2003. — № 12. — С. 90–92.
3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации колесного тягача МАЗ-538 / под общ. ред. Г.А. Домрачева [и др.]; М-во обороны СССР. — М.: Воен. изд-во М-во обороны СССР, 1968. — 320 с.
4. Гидромеханическая передача автобуса / В.В. Баранов [и др.]. — М.: Транспорт, 1977. — 133 с.
5. Красневский, Л.Г. Прецизионное управление автоматическими трансмиссиями: итоги 50 лет развития / Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко // Механика машин, механизмов и материалов. — 2015. — № 4. — С. 5–12.
6. Харитонов, С.А. Автоматические коробки передач / С.А. Харитонов. — М.: Астрель: АСТ, 2003. — 479 с.
7. Dodge RAM 1981–1994 (D/W) // DRIVE2RU. Сообщество машин и людей. [Электронный ресурс]. — 2016. — Режим доступа: <https://www.drive2.ru/c/2406553/>. — Дата доступа: 03.01.2016.
8. АКПП Ford / Mazda A4LD-E, 4R44E, 4R55E, 5R44E, 5R55E (C3) // Трансмиссионная Компания АТР SHOP. — 2006–2016. — Режим доступа: <http://www.transakpp.ru/232/main/ford/a4ld.html>. — Дата доступа: 03.01.2016.
9. Протасов, С. Нет предела совершенству. Новые разработки — компоненты трансмиссии / С. Протасов // Основные средства. — Режим доступа: http://www.os1.ru/article/service/2009_04_A_2010_06_25-15_28_07/. — Дата доступа: 05.01.2016.
10. ZF-TRANSMATIC. Узел передачи гидротрансформатор — разделительное сцепление WSK 400/440: рук-во по эксплуатации. — Германия: ZF Friedrichshafen AG, MKS-K, 2001. — 38 с.
11. Тарасик, В.П. Фрикционные муфты автомобильных гидромеханических передач / В.П. Тарасик. — Минск: Наука и техника, 1973. — 320 с.
12. Многодисковая фрикционная муфта: пат. 15562 Респ. Беларусь: МПК F16D 13/52 / Д.С. Белабенко, С.С. Ковалев; заявитель Беларус. нац. техн. ун-т. — № а 20091834; заявл. 22.12.09; дата публ. 30.08.11.
13. Гидромеханические передачи серии У35615: рук-во по эксплуатации / В.В. Одинцов, М.А. Пономаренко, Л.А. Самушенко. — 2-е изд., доп. и перераб. — Минск: АМКОДОР, 2010. — 68 с.
14. Mechanic's Tips. 1000 and 2000 Product Family Transmissions. MT3190EN. — USA : Allison Transmission, General Motors Corporation, March 01, 2004. — 58 p.
15. ZF Technology for Buses. Automatic Transmission. EcoLife in the Coach // ZF Motion and mobility. — Mode of access: http://www.zf.com/corporate/en_de/products/product_range/buses/buses_coach_ecolife.shtml. — Date of access: 19.01.2016.
16. Automatic transmission parts catalog. 2011 / Raybestos Powertrain. — [S. l.: s. n.], 2011. — 251 p.
17. Легков, А.И. Работа коробки передач ZF9HP / А.И. Легков // Концепт. — 2014. — Спец. вып. № 10. — Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2014/14620.htm>. — Дата доступа: 15.01.2016.
18. Dog Clutch Demo — ZF 9HP 9-Speed Transaxle Operation — Part 1 of 2. — Mode of access: <http://tubethe.com/watch/8aChAGYtmZk/dog-clutch-demo-zf-9hp-9-speed->

- transaxle-operation-part-1-of-2.html. — Date of access: 08.05.2016.
19. The ZF 9HP automatic transmission at a glance. — Mode of access: <http://www.car-engineer.com/the-zf-9hp-automatic-transmission-at-a-glance/>. — Date of access: 08.05.2016.
 20. World's First 9-Speed Automatic Transmission. — Mode of access: http://www.zf.com/corporate/en_de/products/innovations/9hp_automatic_transmission/9hp_automatic_transmission.html. — Date of access: 19.01.2016.
 21. Electro-hydraulic control system with multiplexed trim valves for a transmission: Pat. 2008/0182719 A1 US, Int.Cl. F16H 61/26 / Charles F. Long, Bryan H. Hagelskamp; General Motors Corp. — № 2008/0182719A1; filed Jan. 26, 2007; pub. Jul. 31, 2008.
 22. Красневский, Л.Г. Развитие конструкции гидромеханических передач большой мощности / Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко, Ю.И. Николаев // Актуальные вопросы машиноведения. — 2014. — Вып. 3. — С. 83–87.
 23. Photos: NPTC 2015 Annual Education Management Conference and Exhibition Day 1. — Mode of access: http://fleetowner.com/equipment/photos-nptc-2015-annual-education-management-conference-and-exhibition-day-1#slide-0-field_images-158091. — Date of access: 07.05.2016.
 24. Gear assembly for multi-speed countershaft transmission: Pat. 2010/0029431 A1 US, Int.Cl. F16H 37/06 / Dane L. Rodgers; Allison transmission Inc. — № 2010/0029431A1; filed Jul. 30, 2008; pub. Feb. 4, 2010.
 25. Allison Transmission. Tractor. — Mode of access: <http://www.allisontransmission.com/transmissions/vocational-applications/tractor>. — Date of access: 11.05.2016.
 26. Double transition shift control in an automatic powershifting transmission: Pat. 2015/0032347 A1 US, Int.Cl. F16H 61/02 / John Andrew Byerly, John P. Kresse, Mark A. Rains, Jeffrey K. Runde; Allison transmission Inc. — № 2015/0032347A1; filed May. 1, 2014; pub. Jan. 29, 2015.
 27. Method of optimizing vehicle performance based on countershaft acceleration: Pat. 2015/0314786 A1 US, Int.Cl. B60W 30/188 / John P. Kresse, Avery T.Sheets; Allison transmission Inc. — № 2015/0314786A1; filed Jul. 13, 2015; pub. Nov. 5, 2015.

BELABENKO Dmitriy S.

Head of Hydromechanical Transmission Division

E-mail: megainventor@yandex.ru

JSC “Minsk Wheel Tractor Plant”, Minsk, Republic of Belarus

Received 23 February 2016.

ACTUATOR TYPES OF MODERN HYDROMECHANICAL TRANSMISSIONS OF DOMESTIC AND FOREIGN MANUFACTURERS

Reviewed actuators used in modern hydromechanical transmissions and their influence on smoothness of gearshift, efficiency factor, compact design. Analyzed different actuator types. Identified ones that have advantages for use in modern constructions of the hydromechanical transmission, equipped with mechatronic control system.

Keywords: *hydromechanical transmission, actuators, mechatronic control system*

References

1. Krasnevskiy L.G., Poddubko S.N., Matskevich A.A. Zashchitnye ustroystva sovremennykh gidromekhanicheskikh peredach [Safeguarding constructions of modern hydromechanical transmissions]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials]. 2012, no.1, pp. 26–28.
2. Gzovskiy M. *Programma peredach* [Transmission program]. Za rulem [At the wheel], 2003, no. 12, pp. 90–92.
3. Domrachev G.A. [et al.] *Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii kolesnogo tyagacha MAZ-538* [Technical description and manual of wheel tractor MAZ-538]. Moscow, Voen. izd-vo M-va oborony SSSR, 1968. 320 p.
4. Baranov V.V. [et al.] *Gidromekhanicheskaya peredacha avtobusa* [Bus hydromechanical transmission]. Moscow, Transport, 1977. 133 p.
5. Krasnevskiy L.G., Poddubko S.N. Pretsizionnoe upravlenie avtomaticheskimi transmissiyami: itogi 50 let razvitiya [Precision control of automatic transmissions: the summary of 50 years development]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials]. 2015, no. 4, pp. 5–12.
6. Kharitonov S.A. *Avtomaticheskie korobki peredach* [Automatic transmissions]. Moscow, Astrel: AST, 2003. 479 p.
7. *Dodge RAM 1981–1994 (D/W)*. Soobshchestvo mashin i lyudey [Community of cars and people]. Available at: <https://www.drive2.ru/c/2406553/> (accessed 03 January 2016).
8. *Ford and Mazda automatic transmission A4LD-E, 4R44E, 4R55E, 5R44E, 5R55E (C3)*. Transmissionnaya Kompaniya ATP SHOP [Transmission Company ATP SHOP]. Available at: <http://www.transakpp.ru/232/main/ford/a4ld.html/> (accessed 03 January 2016).
9. Protasov S. *Net predela sovershenstvu. Noveye razrabotki – komponenty transmissii* [There is no limit to perfection. New developments – the components of the transmission]. Osnovnye sredstva: zhurn. o spetstekhnike i avtotransporte [Fixed assets: The magazine about special machines and vehicles]. Available at: http://www.osl.ru/article/service/2009_04_A_2010_06_25-15_28_07/ (accessed 05 January 2016).
10. *ZF-TRANSMATIC. Converter and clutch WSK 400/440: operating instructions*. Germany, ZF Friedrichshafen AG, MKS-K, 2001. 38 p.
11. Tarasik V.P. *Friktsionnye mufty avtomobilnykh gidromekhanicheskikh peredach* [Automotive hydromechanical transmission clutches]. Minsk, Science and technics, 1973. 320 p.
12. Belabenko D.S., Kovalev S.S. *Mnogodiskovaya friktsionnaya mufti* [Multiplate clutch]. Pat. RB, no. 15562, MPK F16D 13/52 /BNTU. 2009.
13. Odintsov V.V., Ponomarenko M.A., Samuschenko L.A. *Gidromekhanicheskaya peredacha serii U35615: ruk-vo po ekspluatatsii* [Hydromechanical transmission Y35615 series: manual]. Minsk, AMKODOR, 2010. 68 p.
14. *Mechanic's Tips. 1000 and 2000 Product Family Transmissions. MT3190EN*. — USA, Allison Transmission, General Motors Corporation, 2004. 58 p.
15. *ZF Technology for Buses. Automatic Transmission. EcoLife in the Coach*. ZF Motion and mobility. Available at: http://www.zf.com/corporate/en_de/products/product_range/buses/buses_coach_ecolife.shtml/ (accessed 19 January 2016).
16. *Automatic transmission parts catalog*. Raybestos Powertrain, 2011. 251 p.

17. Legkov A.I. *Rabota korobki peredach [Work of Gearbox ZF9HP]. Kontsept [Concept]*. Available at: <http://e-koncept.ru/2014/14620.html/> (accessed 15 January 2016).
18. *Dog Clutch Demo*. ZF 9HP 9-Speed Transaxle Operation. Available at: <http://tubethe.com/watch/8aChAGYmZk/dog-clutch-demo-zf-9hp-9-speed-transaxle-operation-part-1-of-2.html/> (accessed 08 May 2016).
19. *The ZF 9HP automatic transmission at a glance*. Available at: <http://www.car-engineer.com/the-zf-9hp-automatic-transmission-at-a-glance/> (accessed 08 May 2016).
20. *World's First 9-Speed Automatic Transmission*. Available at: http://www.zf.com/corporate/en_de/products/innovations/9hp_automatic_transmission/9hp_automatic_transmission.html/ (accessed 19 January 2016).
21. Charles F. Long, Bryan H. *Electro-hydraulic control system with multiplexed trim valves for a transmission*. Patent US, no. 2008/0182719A1, Int.Cl. F16H 61/26 Hagelskamp, General Motors Corp., 2008.
22. Krasnevskiy L.G. Poddubko S.N., Nikolaev Y.I. *Razvitie konstrukcii gidromehaniicheskikh peredach bol'shoj moshhnosti [Hydromechanical drives of high power]. Aktual'nye voprosy mashinovedeniya [Topical issues of mechanical engineering]*, 2014, no. 3, pp. 83–87.
23. *Photos: NPTC 2015 Annual Education Management Conference and Exhibition Day 1*. Available at: http://fleetowner.com/equipment/photos-nptc-2015-annual-education-management-conference-and-exhibition-day-1#slide-0-field_images-158091/ (accessed 07 May 2016).
24. Dane L. Rodgers *Gear assembly for multi-speed countershaft transmission*. Patent US, no. 2010/0029431A1, Allison transmission Inc., 2010.
25. *Allison Transmission. Tractor*. Available at: <http://www.allison-transmission.com/transmissions/vocational-applications/tractor/> (accessed 11 May 2016).
26. John Andrew Byerly, John P. Kresse, Mark A. Rains, Jeffrey K. Runde *Double transition shift control in an automatic powershifting transmission*. Patent US, no. 2015/0032347A1, Int.Cl. F16H 61/02, Allison transmission Inc., 2015.
27. John P. Kresse, Avery T. Sheets *Method of optimizing vehicle performance based on countershaft acceleration*. Patent US, no. 2015/0314786A1, Int.Cl. B60W 30/188; Allison transmission Inc., 2015.