

УДК 629.33

Анализ конструкций коробок передач колесных машин для эксплуатации в тяжелых условиях

Васильев В. В.^{1,*},

[*vasily11891@yandex.ru](mailto:vasily11891@yandex.ru)

профессор, д.т.н. Котиев Г. О.¹,

Горбатовский А. В.²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²ОАО «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия

В отечественном автомобилестроении давно обозначилась необходимость перехода от коробок передач с ручным управлением к автоматическим. Опыт в создании автоматических трансмиссий и уровень развития технологий несравнимо мал по отношению к ведущим зарубежным производителям (Allison, ZF, Eaton и др.). Актуальна проблема обоснованного выбора типов конструкций редукторной части и системы управления. Эффективность применения той или иной коробки передач зависит от ее приспособленности к условиям эксплуатации и качества отработки переходных процессов. В работе проанализированы особенности протекания процессов переключений у наиболее распространенных видов автоматических коробок передач. Сопоставлены конструктивные возможности реализации «идеального» переключения (без разрыва потока мощности) и стратегии смены передач. Приведен обзор характерных проблем при достижении указанных целей и пути их решения.

Ключевые слова: бесступенчатая трансмиссия, автоматическая коробка передач, синхронизация, переключение, сцепление, система управления, трансмиссия с двойным сцеплением, гидротрансформатор

При автоматизации коробок передач (КП) параллельно решаются 2 задачи: стратегическая и тактическая. Целью первой является своевременное формирование сигналов на переключение передач и блокировку гидродинамического трансформатора (ГДТ) при его наличии, исходя из условий обеспечения высоких показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности; второй – непосредственное управление исполнительными механизмами, исходя из условий минимизации динамических нагрузок и повышения плавности движения при соблюдении ограничений по условиям работы этих силовых элементов. Качество решения первой задачи влияет на установившиеся режимы работы трансмиссии и оптимальность использования возможностей двигателя, второй – на неуставившиеся режимы. Несмотря на кратковременность, действие по смене ступени в КП значительно влияет на долговечность трансмиссии и двигателя, разгонные качества (из-за потери скорости во время переключений), комфорт пассажиров и

сохранность перевозимого груза. Ведущие зарубежные автопроизводители на сегодняшний день добились высочайшего качества переходных процессов в планетарных гидромеханических передачах (ПГМП) (рис. 1), при котором о смене передачи водитель может узнать лишь по изменению показаний тахометра.

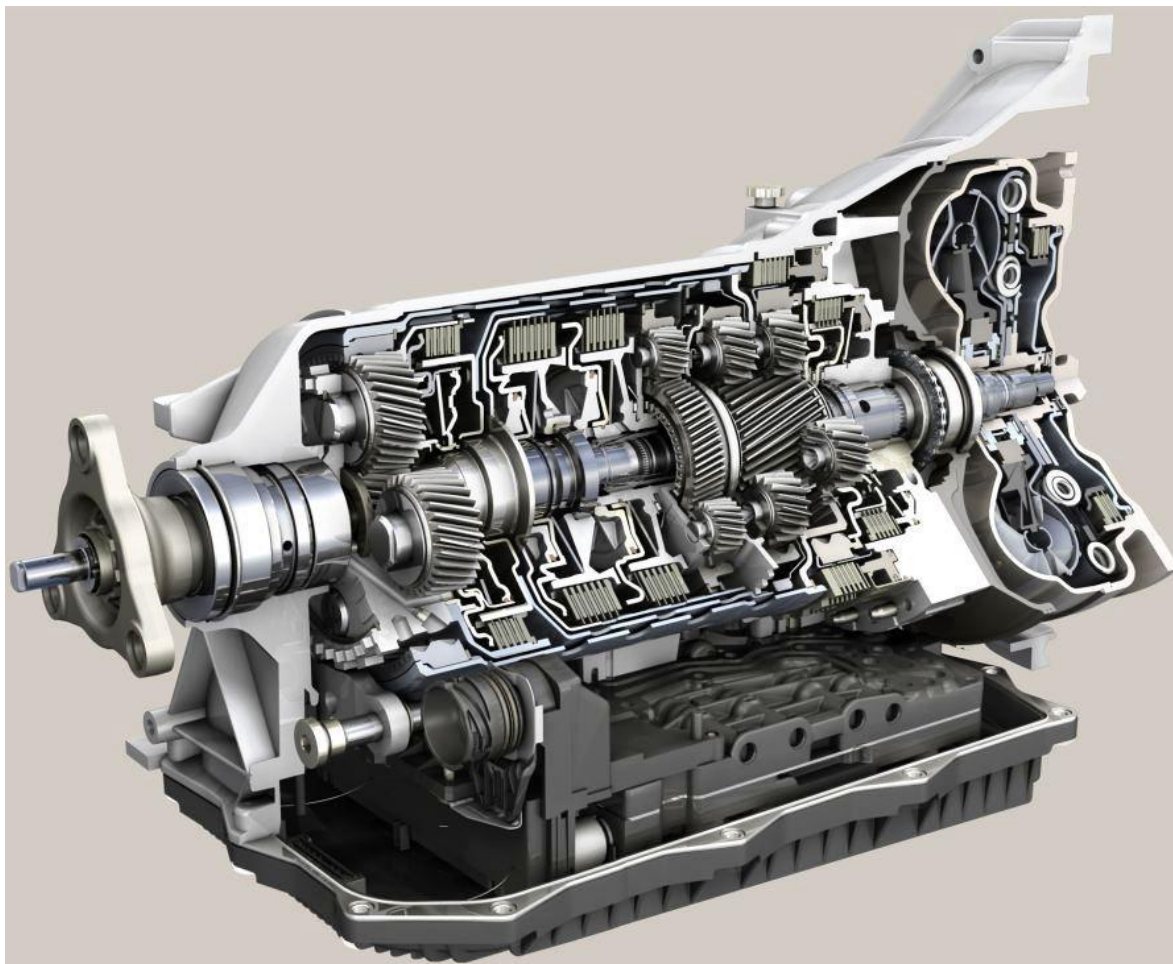


Рис.1. 8-ступенчатая ПГМП “ZF 8HP”

Главными недостатками ПГМП остаются высокая стоимость и сложность ремонта в сравнении с другими видами автоматических КП (АКП). Это обусловлено наличием высокоточной электронно-гидравлической системы управления, не менее 3-х дорогих в изготовлении косозубых планетарных механизмов и нескольких пакетов фрикционных дисков. Менее дорогими, но не такими комфортабельными являются другие типы АКП:

- коробки передач с двумя сцеплениями;
- бесступенчатые трансмиссии (с ременным или тороидальным вариатором);
- автоматизированные механические коробки передач (международное название АМТ), иногда встречается название «роботизированные»;
- ГМП типа ГСК (ГДТ – сцепление – коробка передач) или АМТ с ГДТ (рис. 2), а по советской терминологии – ДГП (диапазонная гидropередача).

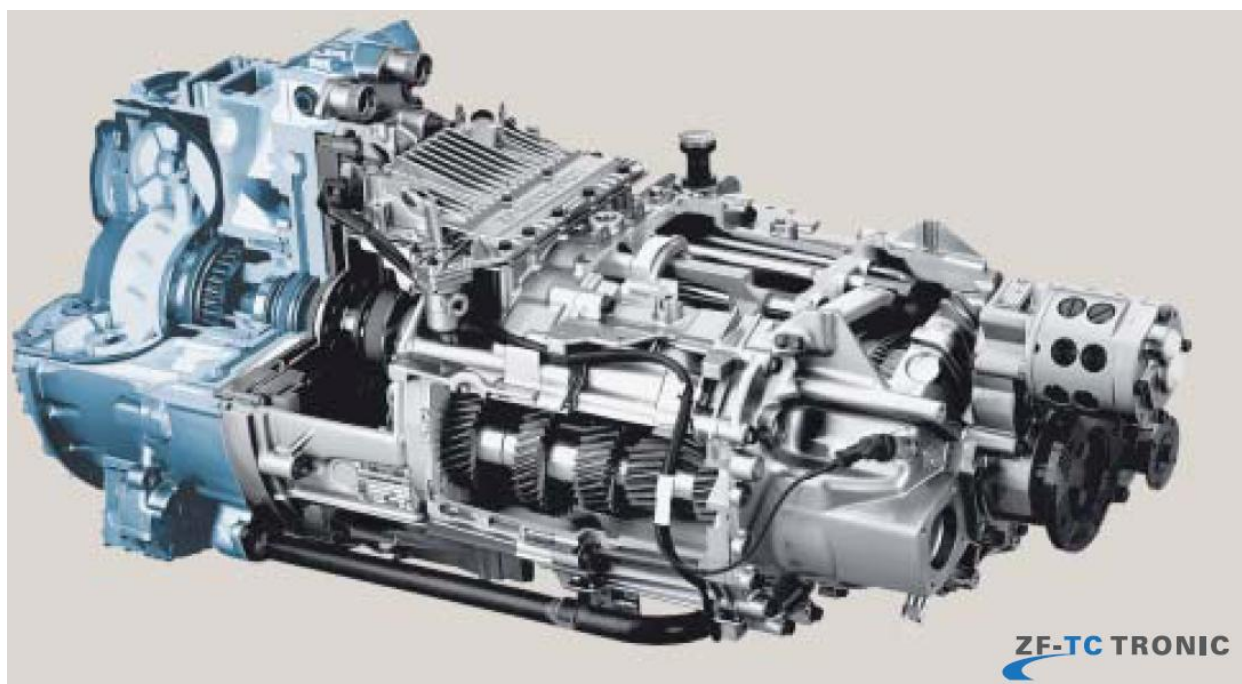


Рис. 2. ГМП типа ГСК «ZF TC-Tronic»

В условиях бездорожья характер переходного процесса переключения имеет гораздо большее значение, т.к. от него зависит сохранение подвижности колесных машин (КМ). Потеря подвижности может происходить в случаях недостаточного для преодоления дорожного сопротивления крутящего момента на колесе либо избыточного – приводящего к срыву грунта и снижению сцепления с ним. Идеальной для бездорожья трансмиссией мог бы стать вариатор с ГДТ с наименьшим количеством переключений и наибольшим за счет автоматичности силовым диапазоном в пределах одной ступени. Однако, в настоящее время не существует вариаторов для мощностей свыше 250 л.с. и способных выдерживать длительный перегрев. Область применения бесступенчатых трансмиссий ограничена легковыми автомобилями.

Наличие ГДТ в ГМП повышает проходимость за счет плавности старта с места и расширения силового диапазона каждой передачи. Негативное для проходимости резкое изменение крутящего момента на колесе или обнуление (при разрыве потока мощности) происходит из-за смены передаточного числа и особенностей переходного процесса переключения передач. Влияние первой причины можно снизить за счет применения плотного ряда передаточных чисел, что легко достигается в вальных КП. В планетарных КП изменить соотношение передаточных чисел смежных передач сложнее [1], особенно если сохранять при этом кинематическую схему. Переход на другую схему повлечет за собой новые технологические проблемы на производстве. Сокращение времени переключения с 1 с. до 0,1 с. приводит к повышению средней скорости на маршруте в тяжелых условиях примерно в 2 раза, к снижению расхода топлива – в 1,56 раз [2]. Несмотря на растущее с уменьшением времени переключения число смен передач и примерное равенство суммарного времени переключений, эффект улучшения

эксплуатационных показателей значителен. Последнее свидетельствует о том, насколько весомее в тяжелых условиях возможность переключения на соответствующую передачу и последующее движение на ней, нежели общее число включений или суммарное время переключений и связанные с ними местные потери темпа движения автомобиля. Из сказанного следует, что повышение плотности ряда – фактор, улучшающий показатели движения в тяжелых условиях. И это особенно относится к низким передачам, поскольку трудности с переключением возникают при больших сопротивлениях на малых скоростях. Значит, автомобили для тяжелых условий должны иметь повышенную плотность ряда для низких передач и малые затраты времени на переключение, хотя частые переключения могут сказаться на комфорте при плохом качестве переходного процесса и есть нюанс с разнообразием тяжелых условий: как говорилось выше, срыв колес в буксование на деформируемых опорных поверхностях нежелателен. Чем лучше переходной процесс переключения и чем плотнее ряд передаточных чисел, тем менее важным становится решение проблемы цикличности переключений – устранения лишних смен передач при часто изменяющихся дорожных условиях.

В ПГМП процессы смены передач под нагрузкой содержат несколько стадий, для каждой из которых требуются различные законы нарастания нажимных усилий на фрикционы.

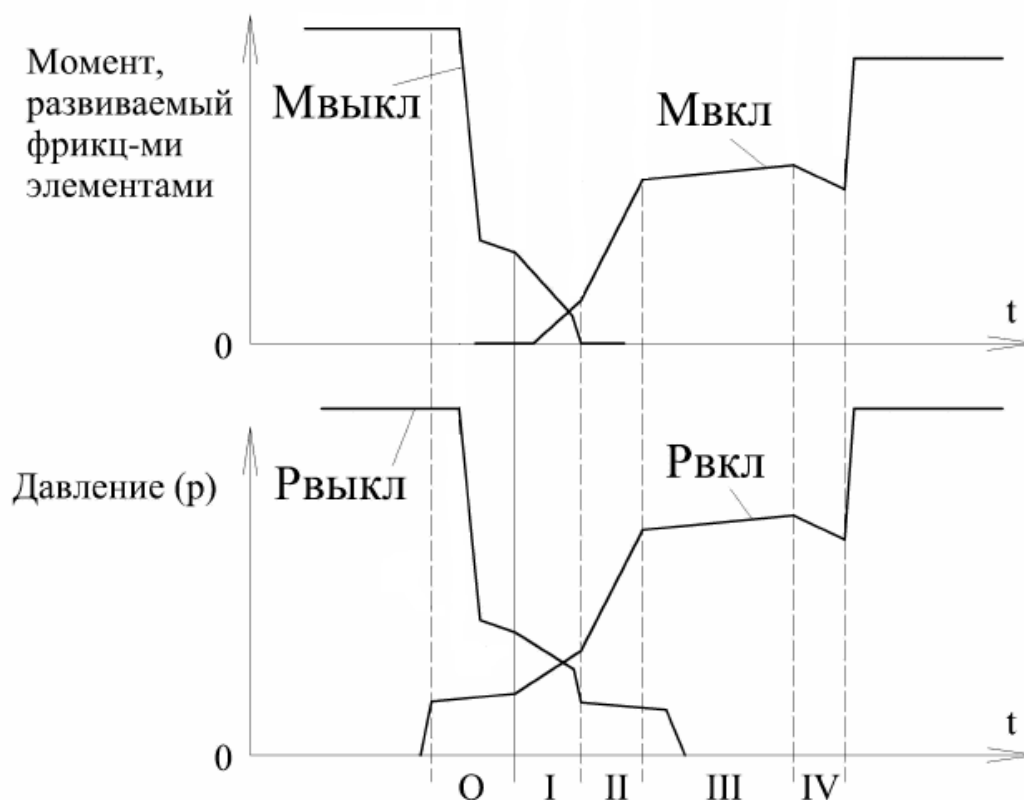


Рис. 3. Пример законов изменения давления в бустерах ПГМП и моментов трения, развиваемых их фрикционами: $M_{выкл}$ – момент выключаемого фрикциона, $M_{вкл}$ – включаемого, $R_{выкл}$ – давление в выключаемом бустере, $R_{вкл}$ – во включаемом.

На схематизированном графике рисунка 3 [3] приведен пример изменения моментов трения и давлений в бустерах на различных этапах переключения:

этап 0: подготовка фрикционного элемента выключаемой передачи к выключению, а включаемой передачи – к включению;

этап I: плавная передача момента от выключаемого элемента к включаемому;

этап II: увеличение с определенной расчетной интенсивностью момента трения включаемого фрикциона;

этап III: активная фаза буксования до необходимого уровня синхронизации звеньев КП;

этап IV: уменьшение момента трения на завершающей стадии буксования с целью снизить колебания упругого момента трансмиссии.

Для формирования этих законов в соответствии с этапами системе управления помимо показаний датчиков угловых скоростей требуется информация об отличии управляемого объекта от эталонного (расчетного). Существенное значение имеют различия объектов управления в пределах полей допусков, рассеяние параметров характеристик электрогидравлических клапанов, изменения температуры масла. От степени износа дисков и температуры зависят силовые характеристики фрикциона [4]. Таким образом, при производстве ПГМП необходима калибровка системы управления под каждую КП и самоадаптация на протяжении периода эксплуатации.

На бездорожье и при динамичном движении машины для рационального использования мощности двигателя часто необходимо переключаться, минуя 1 или более передачу, т.к. последовательные переключения лишние и ведут к потере времени. В ПГМП в таких переключениях могут работать сразу 4 фрикциона – 2 включаются, 2 выключаются. Задача синхронного управления в этом случае значительно усложняется, т.к. согласуются действия не двух, а четырех исполнительных элементов. Для АМТ с центральной или индивидуальной синхронизацией нет разницы между сменой ступени последовательно или с переходом через передачи. При преодолении бездорожья «в раскачку» у ПГМП возрастает риск выхода из строя из-за многократного включения одних и тех же фрикционов, приводящего к тепловой перегрузке дисков.

Конструкции с двойным сцеплением создавались именно с целью устранить разрыв потока мощности. Требования к точности синхронного управления сцеплениями здесь гораздо более строгие, чем в других АКП, т.к. отсутствует компенсация ошибок управления за счет разблокированного ГДТ или отсоединения ведущих частей коробки от двигателя. Большой суммарный момент трения фрикционов способен затормозить ДВС при его работе на частичных характеристиках. Малый момент трения при большой подаче топлива, наоборот, может привести к ненужному ускорению двигателя, инерционность и постоянная времени которого существенно отличается от переключаемых в КП элементов. Помимо этого, сложность выполнения переключения также обусловлена ступенчатым изменением передаточного отношения редуктора с переходом через нейтраль. Пока присутствует регулируемое буксование отключаемого сцепления, не

допускается переводить КП в нейтральное положение, т.к. иначе произойдет разрыв потока мощности. Передачу невозможно выключить, пока момент трения не опустится до определенного значения. Должен точно выбираться момент времени для выключения синхронизатора, т.к. усилие, передаваемое через выключаемое сцепление, влияет на его долговечность.

При последовательном алгоритме переключения (выключение сцепления – синхронизация – включение сцепления) в ГМП типа ГСК продолжительность процесса меньше чем в АМТ за счет того, что значительная часть работы буксования воспринимается ГДТ и допустим бросок сцепления. Применение ГДТ с невысоким коэффициентом трансформации позволяет облегчить сцепление или даже перейти от двухдискового к однодисковому. Облегчение сцепления возможно за счет того, что в такой конструкции оно частично освобождено от основной функции – плавного выравнивания скоростей двигателя и трансмиссии при начале движения. Алгоритмы управления для трансмиссий типа ГСК содержат запрет на повышение оборотов двигателя при старте с места пока сцепление полностью не замкнуто, чтобы минимизировать его работу буксования [5]. Несмотря на это при трогании за счет передачи момента к колесам через замыкающееся сцепление могут происходить ощутимые дергания КМ от остановки разогнанной турбины. Эта проблема ликвидируется, если КП автоматическая, т.к. с АКП включение передачи на месте и начало движения происходит при задействованных тормозах. Дергания исключены. Для роботизированных же КП без ГДТ необходимо разрабатывать адаптивные законы управления моментной характеристикой сцепления [6].

Доля общей работы буксования, приходящаяся на ГДТ составляет 35-95% [7] в зависимости от момента инерции деталей, связанных с турбинным валом; большие значения соответствуют меньшим моментам инерции. Наиболее существенного эффекта можно достичь, используя сцепление с малым моментом инерции ведущих частей, встроенного в корпус ГДТ [7]. Наличие разблокированного ГДТ приводит к значительному уменьшению колебаний угловой скорости вала двигателя и более стабильному троганию и разгону из-за эффективного демпфирования динамических нагрузок. Экспериментальные исследования по сравнению КП с ручным управлением и ДПП с этой же КП показали сокращение времени переключения на 30-35% [8].

При автоматизации трансмиссий на базе уже имеющихся отечественных вальных КП актуален вопрос выбора принципиальной схемы управляющих элементов: с перекрестным или с параллельным их расположением. Для равномерной загрузки синхронизаторов и получения минимально возможного времени синхронизации при включении всех передач следует создавать конструкцию второго типа с разными площадями поршней. Другой вариант – общий тормоз-синхронизатор на промежуточном валу для переключений вверх плюс центральная синхронизация с управлением оборотами двигателя для переключений вниз (пример - ZF AS-Tronic, рис. 4). Конструкция может ухудшить подвижность КМ в случае отказа электроники КП, т.к. переключаться без сцепления и синхронизаторов, не снижая ресурс КП, способен только очень опытный

водитель. С другой стороны, наличие инерционных синхронизаторов накладывает ограничения на скорость перемещения управляющих штоков, т.к. при быстром включении происходят пробои [9]. КМ с ПГМП при вышедшей из строя электронике имеют слабую подвижность независимо от квалификации водителя, т.к. могут использоваться только 1-я и задняя передачи [10]. Одновременное управление двумя или более фрикционными возможно только с помощью автоматических устройств. Это относится и к КП с двойным сцеплением.

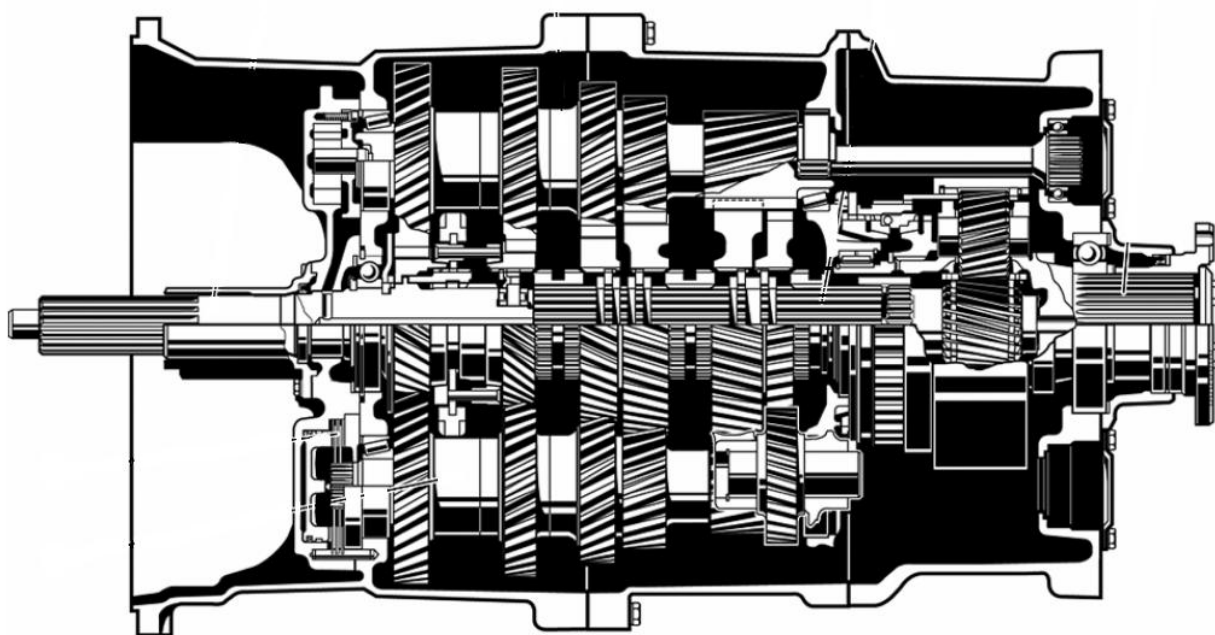


Рис. 4. АМТ «ZF AS-Tronic»

В литературе часто встречается мнение о том, что прерывание потока мощности между двигателем и колесами существенно ухудшает опорную проходимость и в этом плане ГМП с переключениями под нагрузкой предпочтительнее, чем вальные коробки с индивидуальными синхронизаторами [11]. Это сопоставление зачастую используют при сравнении ГМП с АМТ, умалчивая о том, что переключения в АМТ отличаются от переключений, выполняемых водителем вручную. Обзор литературы показал, что специальные сравнительные испытания по проходимости не проводились. Известно, что процессы, осуществляемые водителем при переключениях передач, не являются оптимальными. Неоправданно велико время выключения сцепления, а также время, протекающее с момента выключенного сцепления до начала синхронизации новой передачи. Время синхронизации составляет 24...43% от общего времени переключения передач [12]. Всегда имеет место задержка на включение сцепления. К моменту отпускания педали сцепления имеется разность угловых скоростей двигателя и первичного вала коробки передач; в случае перехода на низшие эта разность примерно в 3 раза выше, чем при переключении вверх. Наличие указанной разности увеличивает время

включения сцепления, и вызывает буксование последнего. В АМТ автоматизация переключения уменьшает работу буксования сцепления в 8-20 раз, а время буксования – на 30-60% [12]. Это достигается выравниванием угловых скоростей ведущей и ведомой частей сцепления за счет согласованного управления двигателем, моторным тормозом, синхронизаторами. Время переключения при работе с пневмоприводом может быть существенно сокращено по сравнению с работой на ручном приводе без превышения при этом допустимых давлений на трущиеся поверхности синхронизаторов. При переключении с помощью ручного привода прикладываемая нагрузка в основном носит пиковый характер, в то время как изменение усилия при электропневматическом приводе носит плавный характер, определяемый изменением давления по времени. Как показали сравнительные испытания среднее значение максимальных величин усилия на синхронизаторе при ручном управлении в 2,3 раза больше, чем при электропневматическом и при этом время переключения передачи при ручном приводе больше в 1,5—2,2 раза. Последнее объясняется плавным нарастанием нагрузки при электропневматическом управлении, что обеспечивает большую работу по сравнению с неравномерным, пиковым приложением нагрузки. Величина момента синхронизации может достигать 20—30% от максимального крутящего момента двигателя. Это говорит о том, что использование сравнительно мощных синхронизаторов может привести к существенному уменьшению разрыва потока мощности. Несмотря на приведенные выше возможности оптимизировать и ускорить переключения в последовательном алгоритме, при индивидуальной синхронизации замкнуть сцепление можно только после включения передачи. В АМТ с центральной синхронизацией время разрыва сокращается в основном за счет того, что к моменту включения передачи сцепление уже замкнуто – переключение заканчивается замыканием зубчатой муфты. Кроме этого, скорость замыкания сцепления здесь не лимитируется допустимыми динамическими нагрузками, как при последовательном алгоритме.

В настоящее время на зарубежных грузовых автомобилях с АМТ или ГМП типа ГСК наиболее распространено применение центральной синхронизации комбинированного типа: при переключениях вверх промежуточный вал затормаживается общим многодисковым тормозом, при переключениях вниз – разгоняется двигателем при замкнутом сцеплении после выключения передачи.

Переключение вниз и разблокировка ГДТ инициируется системой управления в случаях увеличения дорожного сопротивления или при желании водителя интенсивно ускориться. При ухудшении дорожных условий в КП с заблокированным ГДТ вначале происходит его разблокировка, а если этого недостаточно, то далее переключение на низшую ступень. Непосредственно перед сменой передачи ГДТ работает на режиме трансформации момента, значит при снятии нагрузки с турбинного вала, он разгонится, тем самым выполнив частично или полностью синхронизацию, необходимую для включения низшей передачи. Таким образом, для переключения вниз дополнительного разгона ДВС, как в АМТ, может и не потребоваться, а разгон промежуточного вала КП

пройдет быстрее за счет большого начального значения крутящего момента на турбине. Это является преимуществом ДПП над АМТ. Конструктивным недостатком ГМП типа ГСК является повышенный из-за ГДТ момент ведения сцепления, который при неполном выключении сцепления может привести к трудности или даже невозможности включения передачи на неподвижном транспортном средстве.

Совершенство отработки команд алгоритмов в АМТ с центральной синхронизацией связано со временем и точностью срабатывания исполнительных механизмов КП, мощностными и тормозными характеристиками ДВС. Ошибки несоответствия временных упреждений для команд от электронного блока управления и расчетных рассогласований угловых скоростей синхронизируемых элементов могут приводить к значительному росту динамических нагрузок. Базовые алгоритмы в системах центральной синхронизации строятся на основании допущения о неизменности дорожных условий за период переключения. Рассогласование синхронизируемых звеньев, при котором нужно подавать команду на включение зубчатой муфты, зависит в первую очередь от быстроты срабатывания исполнительных механизмов, во вторую – от величины дорожного сопротивления ψ , а также от ряда других факторов, но в меньшей степени. При резком увеличении и уменьшении ψ , что характерно для бездорожья, замыкание зубчатой муфты может произойти с большими динамическими нагрузками. Для этих случаев в алгоритм добавлено повторное отключение сцепления. Возможно, в ДПП связь между двигателем и трансмиссией через ГДТ позволит исключить это действие, приводящее к небольшому, но снижению скорости. Но пока отечественных исследований на тему процесса переключения в ДПП не проводилось.

Заключение

Считается, что обеспечение подвижности КМ в условиях бездорожья реализуется за счет переключений без разрыва потока мощности и это решается различными по своей сложности и стоимости методами и средствами. В ПГМП достигается высочайшее качество переходного процесса путем использования высокотехнологичных и дорогостоящих элементов конструкции с прецизионным синхронным управлением. В ДСТ идут на удешевление за счет отказа от ГДТ и сокращения числа фрикционных пар до минимума, что приводит к необходимости еще более сложного, чем в ПГМП управления двигателем и КП. При всём этом КП с переключениями под нагрузкой из-за особенностей систем управления проигрывают по надежности и по подвижности КМ в экстремальных условиях вальным коробкам: МТ, АМТ и ГМП типа ГСК. Последние за счет наличия ГДТ обладают положительными свойствами, обеспечивающими проходимость: большим силовым диапазоном в пределах одной передачи и возможностью более просто и быстро осуществлять переключения передач.

В отношении проблем проходимости и обеспечения безразрывности переключения, ГМП типа ГСК — это компромиссный вариант между АМТ и КП с 2-мя или более фрикционными. Несмотря на конструктивную невозможность полностью исключить разрыв потока мощности конструкции ГМП типа ГСК обладают большим потенциалом в

направлении совершенствования переходного процесса переключения. Поглощение энергии буксования ГДТ позволяет сократить время замыкания муфты. Более легкое сцепление и особенности работы ГДТ дают возможность ускорить синхронизацию. В результате, общая продолжительность переключения может быть меньше, чем в АМТ. В этой связи, задача сравнительного исследования подвижности КМ в условиях бездорожья с разными типами АКП методами математического моделирования является актуальной.

Работа выполнена в рамках договора №9905/17/07-к-12 между ОАО «КАМАЗ» и «Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана» при финансовой поддержке Российской Федерации и Минобрнауки.

Список литературы

1. Антипенко Г.Л., Тарасик В.П. Состояние и перспективы развития трансмиссий мобильных машин // Автомобильная промышленность. 2014. № 3. С. 12-17.
2. Котиков Ю.Г., Борисенко А.Н., Барун В.Н., Азаматов Р.А. Влияние длительности переключения передач на показатели работы грузового автомобиля в тяжелых дорожных условиях // Автомобильная промышленность. 1984. № 3. С. 16-17.
3. Курочкин Ф.Ф., Нагайцев М.В., Котиев Г.О. К вопросу об обеспечении требуемого «перекрытия» передач при переключении в автоматических коробках передач транспортных машин // Журнал Автомобильных Инженеров (Журнал ААИ). 2008. № 2. С. 36-41.
4. Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. М.: Астрель, 2003. 336 с.
5. Тарасик В. П. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами: монография. Минск: Технопринт, 2004. 512 с.
6. Захарик Ю.М. Анализ и синтез систем автоматического управления сцеплениями грузовых автомобилей: монография. Минск: Технопринт, 2005. 201 с.
7. Нарбут А.Н., Халиков Р.Т. Влияние моментов инерции на работу буксования сцепления в гидромеханической передаче типа гидротрансформатор-сцепление-коробка передач // Труды МАДИ. № 173. М.: МАДИ, 1979. С. 35-41.
8. Халиков Р.Т. Экспериментальные исследования совместной работы гидротрансформатора и автомобильного сцепления // Известия ВУЗов. Энергетика. 1980. № 6. С. 81-85.
9. Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W. Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application. Springer Berlin Heidelberg, 2011. 717 p.
10. Тарасик В.П. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин. Могилев: Белорусско-Российский университет, 2010. 511 с.
11. Транспортные машины высокой проходимости: вопросы теории, проектирования, испытаний: сб. науч. тр. / под ред. П.А. Саломатина. М.: МАДИ, 1994. 117 с.
12. Черванев А.Д. Проблемы автоматизации управления ступенчатыми трансмиссиями автомобилей // Основные направления НИР и ОКР по выбору рациональных параметров и эксплуатационных качеств автомобильной техники: сб. ст. Минск, 1976. С. 64-65.

Analyzing the Wheeled Vehicle Gearbox Structures for Running in Harsh Conditions

V.V. Vasiliev^{1,*}, G.O. Kotiev¹,
A.V. Gorbatovski²

[*vasily11891@yandex.ru](mailto:vasily11891@yandex.ru)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

²OJSC KAMAZ, Naberezhnye Chelny, Russia

Keywords: continuously variable transmission, automatic gearbox, synchronizing, shifting, clutch, control system, dual clutch transmission, torque converter

In domestic automotive industry the need for transition from transmission with manual control to automatic gearboxes (GB) emerged long ago. Regarding the leading foreign manufacturers (Allison, ZF, Eaton, etc.), an experience in design of automatic transmissions and the level of technological development is incomparably small. Thus, to have an informed choice of the gearbox structure types and control system is a relevant problem. Application efficiency of this or other gearbox depends both on its adaptability to the actual operating conditions and on the quality of transition refinement. This paper analyzes the special features of the gear change process in the most common types of automatic gearboxes. Constructive feasibilities of an "ideal" gear change (without power loss) and strategies for gear shifting are compared. The paper offers an overview of common problems when achieving these goals and the ways to solve them. An automatic transmission of the particular type used in the wheeled vehicles under off-road conditions determines the probability of maintaining their mobility. This is due to the phenomenon of wheel's breakdown to slipping caused by sharp increase of torque on the wheel. Planetary hydro-mechanical transmissions (AT) provide continuous input torque to the wheels, but they are expensive and difficult to manufacture and use. Besides, to provide a high number of density ratios in them is more complicated than in the automated and manual transmissions (AMT). This is important when moving long in the lower gears under difficult conditions. Compared with AT dual clutch transmissions due to design features require even more precise and fast control system of actuators and engine. Automation of constant-mesh or synchromesh transmissions provides a significant reduction in the duration of interruption in torque delivery. If it is not enough to increase mobility in the harsh conditions, a rational choice is to use a transmission type of TCCT (torque converter – clutch – (constant-mesh or synchromesh) transmission). Adding the torque converter to AMT increases the durability of clutch and synchronizers. It reduces the amount of gear changes and duration of interruption in torque delivery. Thus, the cost and repair complexity of such a transmission is much lower than those of AT. For almost 15 years there

were no domestic scientific publications about economically perspective TCCT transmission. The fully automatic TCCT has been never investigated in domestic science.

References

1. Antipenko G.L., Tarasik V.P. The state and prospects of development of transmissions of mobile machines. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2014, no. 3, pp. 12-17. (in Russian).
2. Kotikov Yu.G., Borisenko A.N., Barun V.N., Azamatov R.A. Effect of duration of gear change on the performance of truck in heavy traffic conditions. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 1984, no. 3, pp. 16-17. (in Russian).
3. Kurochkin F.F., Nagaitsev M.V., Kotiev G.O. Providing the required "overlap" when switching gears in automatic transmissions of transport cars. *Zhurnal Avtomobil'nykh Inzhenerov = Zurnal AAI*, 2008, no. 2, pp. 36-41. (in Russian).
4. Kharitonov S.A. *Avtomaticheskie korobki peredach* [Automatic transmissions]. Moscow, Astrel' Publ., 2003. 336 p. (in Russian).
5. Tarasik V. P. *Intellektual'nye sistemy upravleniya avtotransportnymi sredstvami* [Intelligent control systems of motor vehicles]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2004. 512 p. (in Russian).
6. Zakharik Yu.M. *Analiz i sintez sistem avtomaticheskogo upravleniya stseplenyami gruzovykh avtomobilei* [Analysis and synthesis of automatic control systems of clutch of trucks]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2005. 201 p. (in Russian).
7. Narbut A.N., Khalikov R.T. The influence of moments of inertia on slipping clutch job in the hydromechanical transmission type "torque converter-clutch-gearbox". *Trudy MADI = Proceedings of the Moscow Automobile and Road Construction University - MADI. No. 173*. Moscow, MADI Publ., 1979, pp. 35-41. (in Russian).
8. Khalikov R.T. Experimental studies of joint operation of torque converter and automobile clutch. *Izvestiya VUZov. Energetika*, 1980, no. 6, pp. 81-85. (in Russian).
9. Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W. *Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application*. Springer Berlin Heidelberg, 2011. 717 p. (in Russian).
10. Tarasik V.P. *Diagnostirovanie gidromekhanicheskikh peredach mobil'nykh mashin* [Diagnosing of hydromechanical transmission of mobile machines]. Mogilev, Belarusian-Russian University Publ., 2010. 511 p. (in Russian).
11. Salomatin P.A., ed. *Transportnye mashiny vysokoi prokhodimosti: voprosy teorii, proektirovaniya, ispytaniy: sb. nauch. tr.* [Transport vehicles with high cross: theory, design, testing: collected articles]. Moscow, MADI Publ., 1994. 117 p. (in Russian).
12. Chervanev A.D. Problems of automation control of stepped-ratio transmission of cars. *Osnovnye napravleniya NIR i OKR po vyboru ratsional'nykh parametrov i ekspluatatsionnykh kachestv avtomobil'noi tekhniki: sb. st.* [The main directions of research and development works at the choice of rational parameters and operational qualities of automotive vehicles: collected articles]. Minsk, 1976, pp. 64-65. (in Russian).