



МЕХАНИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

УДК 629.038

Л.Г. КРАСНЕВСКИЙ, член-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф.
главный научный сотрудник¹

С.Н. ПОДДУБКО, канд. техн. наук, доц.
генеральный директор¹
E-mail: bats@ncpmm.bas-net.by

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 14.06.2016.

О СОЗДАНИИ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРИВОДОВ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ. ЧАСТЬ 1

Рассматриваются проблемы создания для отечественной мобильной техники автоматизированных приводов, в состав которых входят автоматические трансмиссии. Проведен анализ основных типов автоматических трансмиссий (гидромеханических передач, автоматизированных механических, преселекторных (с двумя сцеплениями), гибридных электромеханических) на примерах новых конструкций ведущих мировых производителей. Отмечается быстрое расширение применения приводов с такими трансмиссиями в тяжелой мобильной технике, в том числе в большегрузных магистральных автопоездах. Обсуждаются возможности и пути создания отечественных автоматизированных приводов в связи с существенным их влиянием на конкурентоспособность выпускаемой техники.

Ключевые слова: автоматизированный привод, мобильная техника, гидромеханическая передача, автоматизированная механическая трансмиссия, преселекторная коробка передач, гибридная электромеханическая трансмиссия

Введение. Приводы транспортных машин — одно из основных научно-технических направлений в тематике Объединенного института машиностроения НАН Беларуси. Под приводом мы понимаем совокупность устройств, участвующих в передаче крутящего момента от двигателя внутреннего сгорания (ДВС) к ведущим колесам. Главное среди них — автоматическая трансмиссия (АТ).

За последнее десятилетие мировое автомобилестроение достигло небывалых успехов в создании и массовом производстве классических и принципиально новых типов приводов мобильных машин. Сегодня автоматизированный привод уже в значительной степени определяет технический уровень и конкурентоспособность любой мобильной машины. Очевидно, что данная проблема приобретает первостепенное значение и для нашего машиностроения, выпускающего сотни моделей и модификаций машин.

К сожалению, за последние десятилетия на всем постсоветском пространстве не появилось в производстве ни одной новой АТ. И единственной серийной тяжелой АТ ныне остается, как и в СССР, гидромеханическая передача (ГМП) МАЗ-МЗКТ. Она была создана специально для многоосных машин, которые стали транспортной базой для подвижных грунтовых ракетных комплексов (ПГРК) «Темп-2С», «Пионер», «Тополь», «Тополь-М», «Ярс» — основы стратегического оборонного потенциала СССР и современной России.

В 2011 году в Москве была опубликована книга «Секретные автомобили Советской армии» [1]. В ней впервые приведены документы и описание этих уникальных, еще недавно совершенно секретных, сверхтяжелых машин высокой проходимости. Как сказано в книге, их создание вывело советское автомобилестроение на ведущее место в мире. В разработке их идеологии участвовал ряд НИИ, но практически ее реализовал МАЗ (ныне — МЗКТ).



Рисунок 1 — Шестиосное шасси MAZ-547A [1]

Наш институт (тогда это был ИНДМАШ АН БССР) активно участвовал в НИОКР по решению совместно с заводом ряда научно-технических проблем, возникавших при создании этой техники, и, в частности, приводов с ГМП и ее системы автоматического управления. Поэтому приведенная выше оценка в определенной степени может быть отнесена и к институту.

Опыту и урокам этого участия, имеющим прямое отношение к теме статьи (авторы которой в разное время работали в УГК-2 MAZ-EUR МЗКТ), посвящен ее первый раздел.

1. Об опыте и уроках создания и производства автоматической ГМП MAZ-MЗКТ для полноприводных колесных шасси подвижных грунтовых ракетных комплексов (ПГРК). Работы по созданию этих машин начались в середине 60-х годов. Завод выпускал четырехосные машины с трехступенчатой ГМП с ручным управлением. В тот период в США начиналось широкое применение АТ на легковых автомобилях. Но техническое задание на первую многоосную машину уже предусматривало установку АТ.

Первые шестиосные машины MAZ-547 (рисунок 1) стали транспортной базой первых в мире ПГРК «Темп-2С» и «Пионер» и основой всех последующих их поколений.

Разработанная для этих комплексов ГМП MAZ 4 + 2 и ее система автоматического управления показаны на рисунках 2, 3 [2]. Тогда ее уровень соответствовал общему мировому. Была создана новая конструкция системы автоматического и командного управления, на которую получен ряд совместных авторских свидетельств.

В начале 80-х годов США создали межконтинентальную ракету МХ со стартовым весом 88 т.

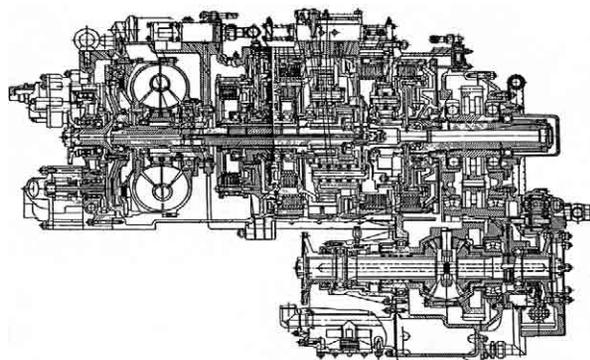


Рисунок 2 — Автоматическая ГМП MAZ 4 + 2

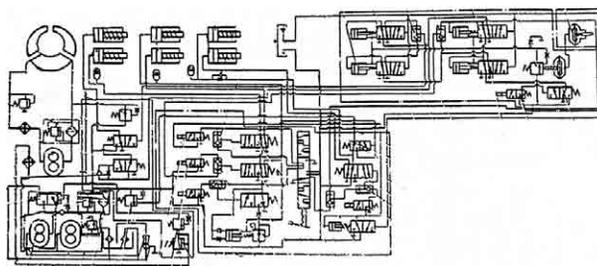


Рисунок 3 — Электрогидравлическая система автоматического и командного управления и защиты ГМП MAZ 4 + 2

Нашим ответом стала ракета «Молодец» с 10 касетными боеголовками весом более 100 т. Для ПГРК с этой ракетой MAZу было поручено создать транспортер [3]. По проекту «Целина» под руководством главного конструктора Б.Л. Шапошника были созданы не имеющие аналогов сверхтяжелые дизельные многоосные колесные транспортеры MAZ-7904 и MAZ-7906 грузоподъемностью 220 и 160 т с двухпоточными ГМП, а также транспортер MAZ-7907 с газотурбинным двигателем и электрической трансмиссией (рисунки 4, 5, 6) [1]. Они были спроектированы с нуля и изготовлены за два года.

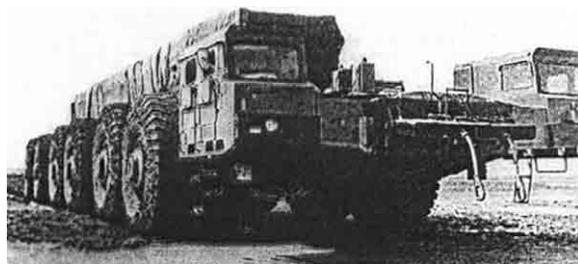


Рисунок 4 — Специальный колесный транспортер MAZ-7904



Рисунок 5 — Специальный колесный транспортер MAZ-7906



Рисунок 6 — Специальный колесный транспортер MAZ-7907 с электротрансмиссией и газотурбинным двигателем

Большая работа выполнялась институтом и для этих машин. В частности, была разработана конструкция и документация на уникальные системы синхронного командного и автоматического управления двухпоточными ГМП, принципиальная схема которых показана на рисунке 7. Испытания проходили на Байконуре. К сожалению, все работы по проекту были свернуты в связи с заключением Договора о сокращении стратегических ракетных вооружений.

Впоследствии по этим системам управления было совместно получено около 20 авторских свидетельств. Всего по данной тематике имеется около 30 совместных с МАЗом и МЗКТ авторских свидетельств (более половины — с отметками о внедрении).

В свете сказанного ценность уроков и опыта участия в названных выше работах очевидна и подтверждается тем, что эти ГМП в составе ПГРК уже много лет несут боевое дежурство. Главное, в первую очередь, в том, что так сформировались компетенция института в области приводов с ГМП и понимание их ответственной роли в такой технике, которое сохраняется и поныне. Не прерывалась работа по отслеживанию инноваций в этой области, оценке возможности их применения. В результате мы располагаем актуализированной электронной базой данных по приводам с АТ. Она берет начало от указанных выше работ, когда зарубежная информация была практически недоступна. Сегодня мы имеем информацию по нескольким поколениям основных типов трансмиссий и систем управления ведущих компаний мира. Многолетний опыт участия в проектировании, исследованиях и испытаниях тяжелых трансмиссий в составе многоосных транспортных средств стал базой разработки основ теории управления многоступенчатыми АТ, изложенной в одноименной монографии [4]. В частности, ее разделы, касающиеся анализа, прогноза и обеспечения безопасности при отказах, на протяжении многих лет подтверждаются практикой массового применения ГМП. В конечном итоге этот опыт убеждает, что для тяжелой техники высокой проходимости незаменимы ГМП во всем

их мощностном диапазоне. Наконец, он служит инструментом для анализа и оценки перспектив практического применения в приводах новых АТ и конкретных проектов.

2. Современные приводы транспортных машин: достижения последнего десятилетия и тенденции развития. 2.1. *О типах и тенденциях развития приводов.* Широко известны механические, гидромеханические, электромеханические и гибридные типы приводов. Главной тенденцией развития и главной особенностью всех современных приводов в последние годы стал стремительный рост применения АТ [5]. Среди них впервые появившиеся в массовом производстве преселекторные механические коробки передач с двумя сцеплениями — ДСТ (Dual Clutch Transmission), автоматизированные механические коробки передач — АМТ (Automated Mechanical Transmission), а также совершенно новый тип АТ — электронно-регулируемые бесступенчатые трансмиссии ЕСVТ (Electronically-Controlled Continually Variable Transmission), или в русскоязычной терминологии — гибридные электромеханические трансмиссии (ГЭМТ). При этом классические автоматические ГМП по-прежнему являются самыми массовыми и совершенными АТ. Более того, именно они стали той базой, на которой достигнуты успехи новых АТ, в том числе и гибридных, и в них широко используются основные компоненты и технологии ГМП.

Если сравнивать преимущества и недостатки ГМП и механических коробок передач (МКП), то в числе преимуществ последних — более высокий КПД, а в числе недостатков — сложность автоматизации, а также невозможность переключения ступеней без разрыва потока мощности. Последний из них, существенно ограничивающий сферу применения МКП, устранен в ДСТ. Поэтому попытки автоматизировать и МКП, и ДСТ предпринимались на протяжении многих лет. Но только после 2000 года появились совершенные АМТ, а затем и ДСТ. Это было обеспечено электроникой, а точнее — мехатроникой. Таким образом, все АТ стали мехатронными объектами. А они, в свою очередь, входят в состав мехатронной системы верхнего иерархического уровня — автомобиля (рисунок 8) [6]. Это поясняют схемой, состоящей из трех окружностей, соответствующих трем областям знаний — механике, электронике и информатике, и объединяющей их четвертой, изображающей мехатронику (рисунок 9).

В современном мире возрастает значение методов коллективного управления группами мобильных объектов, вождения конвоев за лидером, их автоматического вождения, включающего и автоматическое управление трансмиссиями. Так, например, известная компания Oshkosh (США) отмечает их особую важность для военной техники, например, для скоординирован-

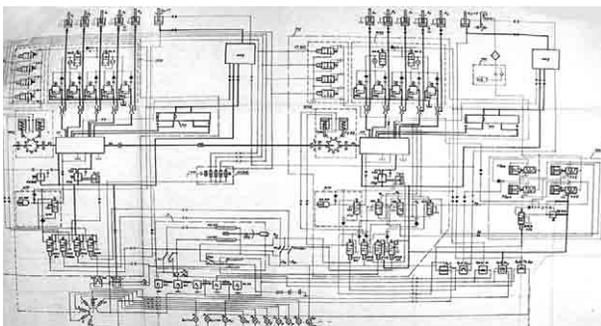


Рисунок 7 — Принципиальная схема системы синхронного командного и автоматического управления двухпоточной трансмиссией автомобилей МАЗ-7904 и МАЗ-7906

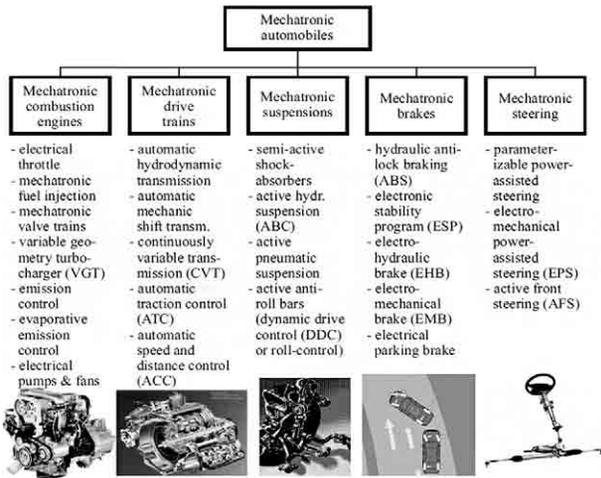


Рисунок 8 — Автомобиль как мехатронный объект

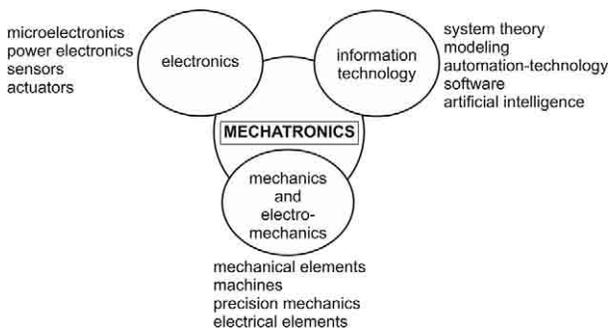


Рисунок 9 — К определению понятия «мехатроника»

ных тактических действий, таких как окружение и коллективная атака выбранного объекта и др. (рисунок 10) [7].

Рассмотрим подробнее названные выше АТ как компоненты приводов.

2.2. Гидромеханические передачи (ГМП). Широко известные преимущества ГМП — кардинальное облегчение управления автомобилем и, как следствие, значительное облегчение и сокращение сроков обучения вождению. Далее, ГМП по-прежнему остается вне конкуренции

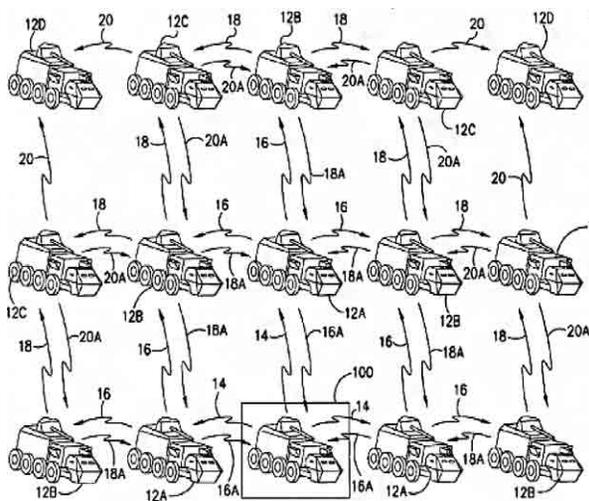


Рисунок 10 — Схема скоординированных тактических действий группы беспилотных мобильных машин, управляемых машиной-лидером 100 [9]

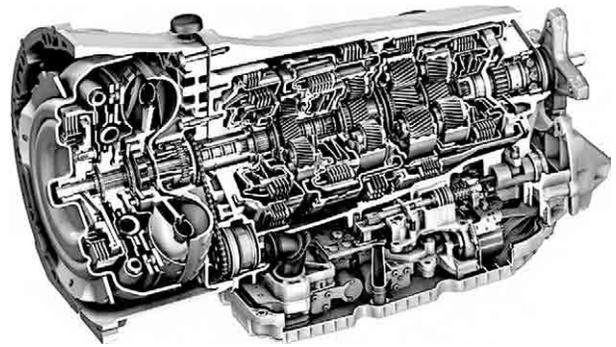


Рисунок 11 — Девятиступенчатая ГМП Mercedes-Benz 9G-Tronic

в отношении проходимости грузовых и специальных и военных машин по бездорожью [8]. Трогание с места и движение с ползучими скоростями в тяжелых условиях здесь обеспечиваются гидротрансформатором, а не за счет буксования сцепления как в МКП. При этом силовой агрегат с ГМП превосходит обычные агрегаты с МКП по долговечности.

Для повышения топливной экономичности число ступеней ГМП permanently увеличилось, особенно после топливного кризиса 80-х годов. Увеличение числа ступеней с четырех до восьми позволило в итоге повысить ее КПД на 23 %, а при использовании технологии Стоп-старт ДВС — до 27 %.

В 2013 году была представлена девятиступенчатая планетарная ГМП Mercedes-Benz 9G-Tronic [9]. На рисунках 11, 12, 13 показаны ее продольный

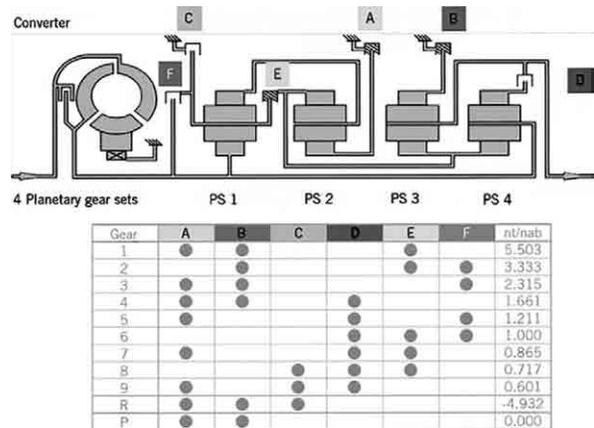


Рисунок 12 — Кинематическая схема и таблица включения элементов управления ГМП Mercedes-Benz 9G-Tronic

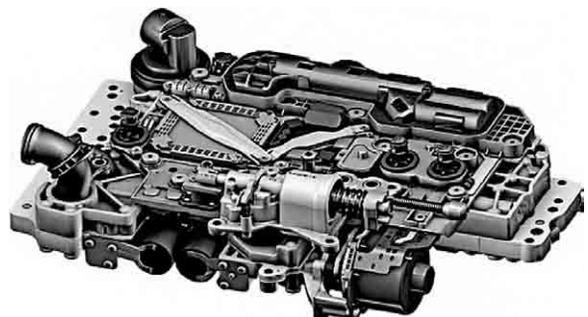


Рисунок 13 — Механизмы МСУ ГМП Mercedes-Benz 9G-Tronic

разрез, кинематическая схема и общие виды компонентов МСУ. Последние, включая блок электроники, размещаются в масляном поддоне ГМП.

По такому же пути развиваются и тяжелые ГМП. На рисунке 14 показана известная ГМП Allison 6 + 2 на мощность 800–1000 л. с. конструкции 1970 года (версия 2000 года) и ее электрогидравлическая система управления — МСУ Allison первого поколения [10].

Следует отметить созданную в 1988 году и выпускаемую в настоящее время несколькими сериями ГМП Allison WT («World Transmission» — «Всемирная Трансмиссия») — первую в США полностью автоматическую планетарную ГМП с МСУ четвертого и пятого поколений. Одна из принципиальных и не имеющая аналогов особенность ее конструкции — автоматизация сборки, позволившая снизить себестоимость по сравнению с конкурентами.

Последняя новинка Allison — ГМП TC10 на мощности до 600 л. с., о начале производства которой было объявлено в 2013 году [11, 12]. По заявлению компании, это первая в мире ГМП, которая предлагается не только для тяжелых грузовиков, но и для магистральных автопоездов. На последних ранее ГМП не применялись по соображениям топливной экономичности. Гарантия на модель TC10 — пять лет или пробег 750 000 миль. Эти высокие цифры, превышающие полный ресурс многих тяжелых трансмиссий, говорят и о том, что компания практически замыкает на себя всю техническую поддержку ее эксплуатации.

TC10 выполнена по вально-планетарной схеме с двумя промежуточными валами, имеет 10 ступеней переднего и две заднего хода. Подчеркивается, что, по данным длительной эксплуатации опытных партий, она дает экономию 5 % топлива по сравнению с МКП и АМТ, т. е. превосходит чисто механические по экономичности.

На рисунках 15, 16, 17 показаны общий вид TC10, ее кинематическая схема и исполнительная часть МСУ (по доступным патентам). Это позво-

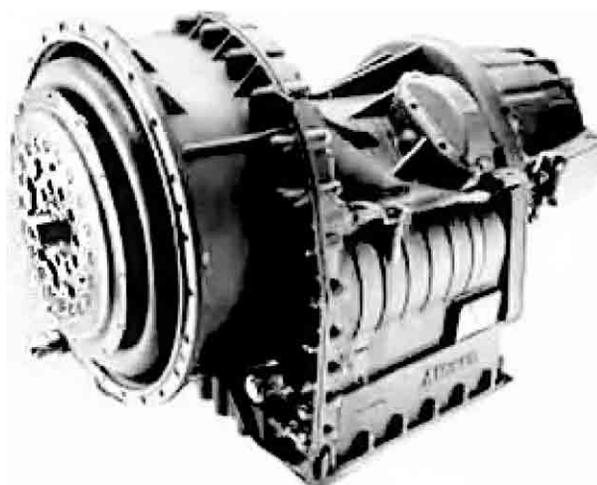


Рисунок 15 — Общий вид ГМП Allison модели TC10, 2013 год

ляет оценить различия первого и пятого поколений ее МСУ и самих ГМП. Вально-планетарная схема впервые избрана компанией, традиционно применявшей только планетарные зубчатые механизмы. Такая конструкция несколько компактней планетарных, но вместе с тем непроста в управлении и требует совершенной автоматики.

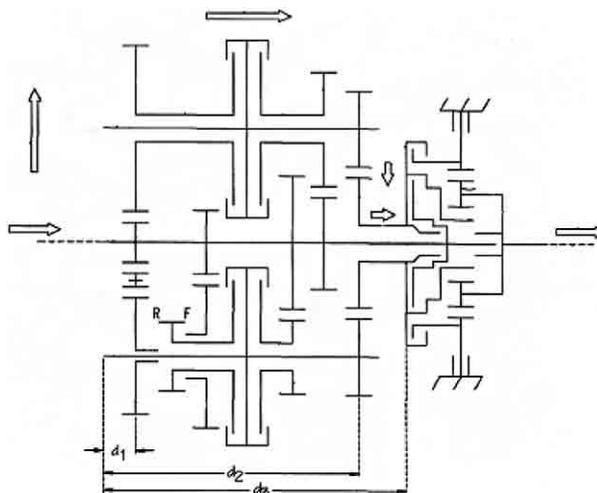


Рисунок 16 — Кинематическая схема ГМП Allison TC10

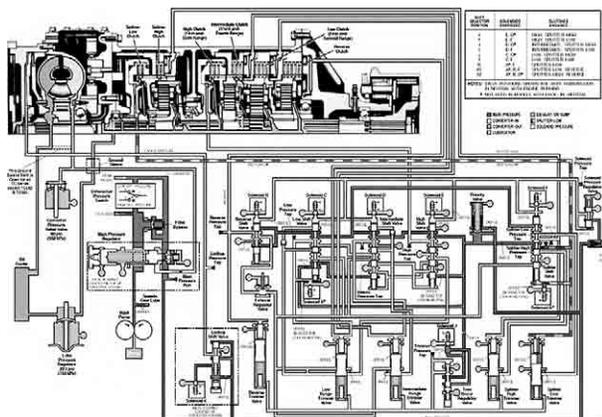


Рисунок 14 — ГМП Allison 6 + 2 на мощность 800–1000 л. с. конструкции 1970 года (версия 2000 года)

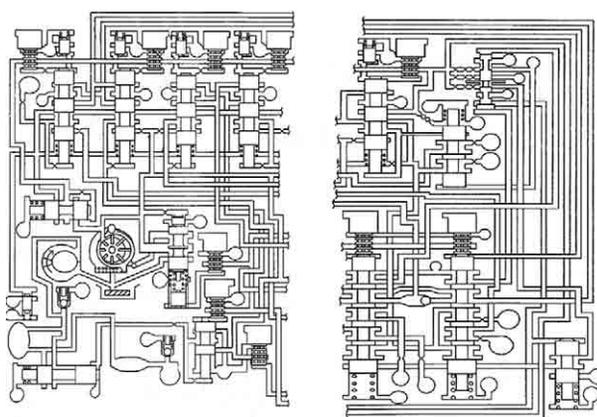


Рисунок 17 — Исполнительная часть МСУ ГМП TC10 компании Allison

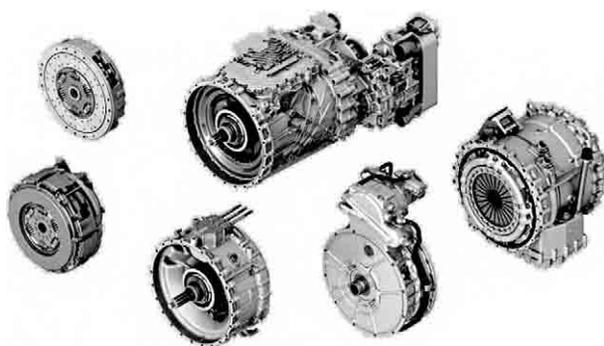


Рисунок 18 — Модульная трансмиссия TraXon компании Zahnrad Fabrik

Далеко продвинулась немецкая компания *Zahnrad Fabrik*, которая активно рекламирует свою новейшую разработку — *модульную трансмиссию TraXon* [13]. Она представляет собой платформу АТ для тяжелых грузовых автомобилей общим весом до 60 т, состоящую из пяти модулей (рисунок 18). В их числе, кроме базовой МКП, имеются гидротрансформатор, мотор-генератор, сухое одиночное и сдвоенное сцепления. С их помощью получают трансмиссии в конфигурациях АМТ, ГМП, ГЭМТ, ДСТ по заказам потребителей. По мнению компании, эта трансмиссия устанавливает новые стандарты в области эффективности, комфорта и гибкости применения.

Она будет предлагаться в 12- и 16-ступенчатом варианте с прямой или повышающей ступенью, с двумя или четырьмя ступенями заднего хода. КПД базовой МКП около 99,7 %.

Справочно. Модель *TraXon Hybrid*, предлагаемая в рамках данной платформы, по информации компании — первая гибридная трансмиссия для тяжелых грузовых автомобилей. В ней устанавливаются модули мотор-генератора мощностью 120 кВт и разделительного сцепления, которое позволяет реализовать все гибридные функции. Модель *TraXon Dual* (ДСТ) — комбинация базовой МКП и сдвоенного сцепления. Она обеспечивает переключение ступеней без разрыва потока мощности, а также применение высокого передаточного числа заднего моста, что повышает экономичность за счет снижения скорости ДВС и облегчает прохождение подъемов. Модель *TraXon Torque* — это ГМП. В ней имеется комбинация базовой МКП и модуля гидротрансформатора, который заменяет быстро изнашивающееся сцепление на тяжелых машинах с высоким крутящим моментом ДВС, а также облегчает их маневрирование на малых скоростях.

Таким образом, данную разработку можно рассматривать как принципиально новую технологию: производство семейств модульных АТ различных типов и размерностей на единой конструктивно-технологической базе вместо отдельных специализированных производств конкретных типов АТ.

Приведенная информация о показателях, достигнутых в новых моделях ГМП ведущих компа-

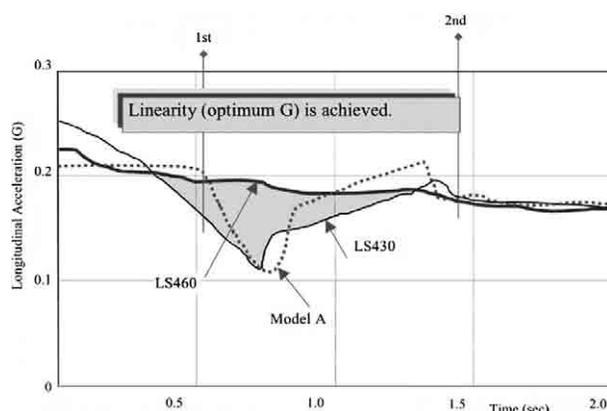


Рисунок 19 — Стабилизация ускорения при разгоне двух моделей автомобиля Lexus (Toyota) с интегрированной МСУ ДВС и ГМП (жирная линия) по сравнению с отдельными МСУ (тонкая линия)

ний, свидетельствует об успехах мирового развития теории и техники управления ГМП, особенно за последнее десятилетие. Одно из новых направлений — переход от независимых МСУ ДВС и ГМП к интегрированной МСУ силового агрегата, что существенно повышает эффективность управления. На рисунке 19 показан этот эффект для двух моделей популярного автомобиля Lexus компании Toyota [14]. Видно, как интегрированная система стабилизирует ускорение при разгоне.

В то же время в МСУ АТ все больше концентрируются функции, отвечающие за взаимодействие с водителем и внешней средой, а в конечном счете — за поведение автомобиля в транспортном потоке. Как сказал один из руководителей компании *Zahnrad Fabrik*, если двигатель называют сердцем грузового автомобиля, то трансмиссия *TraXon* — его мозг.

Из изложенного видно, что в ходе стремительного мирового развития силовых установок ГМП не только не потеряли своих позиций, но оказались в центре этих процессов. В результате, судя по практике ведущих мировых компаний, производство ГМП существенно трансформировалось. Оно ушло от строгой ориентации на производство одиночных моделей (или их типоразмерных рядов) и обрело способность производить различные типы и семейства АТ на основе унификации и блочно-модульного построения.

2.3. Автоматизированные механические коробки передач (АМТ). Современные автомобили становятся все сложнее и требуют высокой квалификации операторов. При переходе на АМТ существенно упрощается управление многоступенчатыми МКП, что важно, например, для магистральных автопоездов. Однако на тяжелой технике их применение росло довольно медленно. Поэтому тенденция последних нескольких лет, по данным американской прессы — беспрецедентный рост рынка АМТ. Компании Volvo, Daimler Trucks North America, Paccar сообщают, что в прошлом году не менее половины проданных ими тягачей имели АМТ. Владельцы автопар-

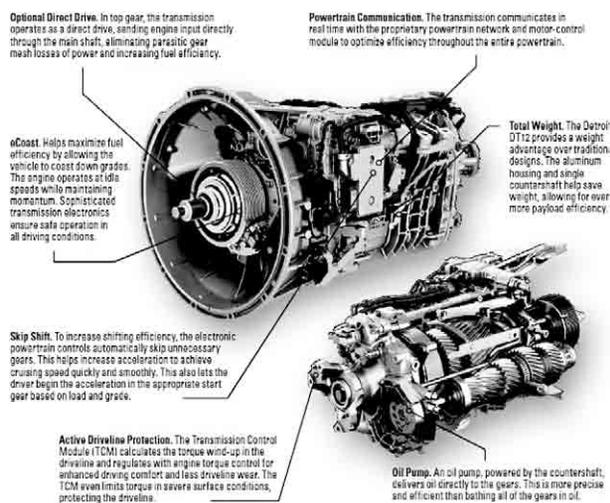


Рисунок 20 — Автоматизированная механическая коробка передач DT 12 компании Detroit Diesel

ков отмечают среднюю экономию топлива 5–7 % и, кроме того, увеличение долговечности, снижение эксплуатационных затрат, особенно по обслуживанию сцеплений. Компания Volvo сообщила, что уже сегодня продает более трех четвертей своих грузовых автомобилей с такими системами [15].

В конце 2015 года в Детройте состоялось представление новой 12-ступенчатой АМТ DT12 компании Detroit Diesel для тяжелых грузовых автомобилей и автопоездов (рисунок 20) [16]. Она имеет МСУ, интегрированную с новым экономичным дизелем DD15R и дает значительную экономию топлива при коротких и дальних перевозках. МСУ обеспечивает маневрирование на ползучих скоростях за счет точного управления сцеплением с имитацией работы гидротрансформатора, ускоренные переключения при разгоне для быстрого выхода на маршевую ступень, движение накатом со слежением за профилем дороги с помощью GPS-навигации. При этом АМТ имеет меньший вес за счет алюминиевого картера и кинематической схемы с одним промежуточным валом.

В прессе отмечается, что интегрированные МСУ ДВС и АМТ находят все большее признание у персонала крупных автопарков ввиду очевидных, ощущаемых каждым водителем преимуществ. Большинство уже почувствовало пользу от интегрированных систем управления силовым агрегатом. Как пишут, такие системы «говорят на своем собственном языке, понимающем экономию топлива, что дает владельцам автопарков еще больше оснований любить АМТ», так что даже профессионалы с многолетним стажем соглашались «пересесть» на АМТ. С другой стороны, в некоторых африканских странах ощущается нехватка профессионалов для работы на современных автопоездах, и АМТ помогают решить эту проблему.

Эксперты предсказывают АМТ блестящее будущее.

2.4. Преселекторные коробки передач (ДСТ). Это новый тип АТ, еще малоизвестный широко-

му кругу заводских специалистов и практически не освещавшийся в русскоязычных публикациях, в данном разделе доклада он рассматривается несколько подробней.

Хотя АМТ сложнее и дороже МКП с ручным управлением, они, как известно, проще, легче и меньше ГМП, не требуя при этом внешней системы охлаждения. Однако главным недостатком, ограничивающим условия их эксплуатации, является разрыв потока передаваемой мощности на ведущие колеса при переключениях ступеней. Именно этот недостаток устранен в ДСТ за счет того, что в каждом переключении одновременно участвуют оба сцепления (или фрикционные муфты), как и в ГМП.

Справочно. Устройство ДСТ легко понять, если представить, что это две параллельные МКП, совмещенные в едином картере. Она имеет два концентричных входных вала, параллельно связанных с ДВС. На каждом из них установлено сухое однодисковое сцепление или мокрая многодисковая фрикционная муфта, посредством которых входные валы поочередно связываются с двумя группами зубчатых передач, расположенных на параллельных промежуточных валах. Ведущие или ведомые шестерни зубчатых передач соединяются со своими валами посредством синхронизаторов (или, возможно, зубчатых муфт). Такая кинематическая схема позволяет в группе зубчатых передач, связанных с выключенным сцеплением, предварительно включить любую ступень, а затем включить это сцепление и выключить включенное ранее. Управляя одновременным включением и выключением сцеплений при включении каждой предварительно выбранной ступени, можно обеспечить протекание процесса без прерывания передачи крутящего момента, т. е. без разрыва потока мощности от ДВС к ведущим колесам. Это придает ДСТ совершенно новые свойства, сближающие ее с ГМП, но со значительным упрощением конструкции и снижением веса за счет отсутствия гидротрансформатора и связанной с ним системы охлаждения, а также минимального числа сцеплений или фрикционов.

Описанные выше принципы построения известны, и такие схемы МКП получили название *преселекторных*. Однако практическая их реализация стала возможной только в наши дни благодаря применению современных конструкций сцеплений и фрикционов в сочетании с совершенными и высоконадежными МСУ, отработанными и апробированными на ГМП и ДВС массового производства (подробнее см. также [17]).

Первенство здесь принадлежит компании Volkswagen, которая начала с 2003 года устанавливать на автомобилях Golf R32 и Audi TT 3.2 шестиступенчатую ДСТ (рисунок 21) [18], созданную совместно с компанией Borg Warner. Последняя создала технологию «мокрого» сцепления Dual Tronic, над которой работала с 1980 года. Именно эта технология стала одной из ключевых.

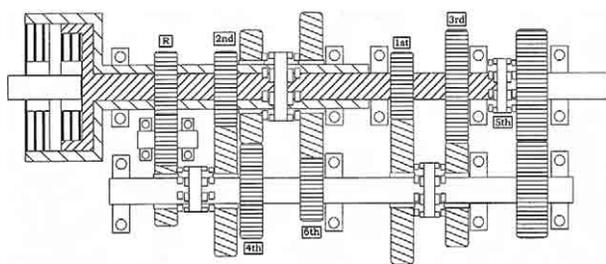


Рисунок 21 — Трансмиссия с двумя сцеплениями компании Borg Warner

Процесс переключения ступеней любой ДСТ в общем виде состоит из двух фаз. В первой *предварительно включают* желаемую ступень в группе зубчатых передач, не связанных в данный момент с включенным фрикционом. Во второй фазе одновременно плавно выключают (размыкают) этот фрикцион и включают тот, который был разомкнут. Суммарная длительность обеих фаз должна быть минимально возможной. Но при этом падение крутящего момента на выходном валу во время переключения должно быть как можно меньшим по времени и величине, а его максимальное значение (пик) в момент окончания замыкания фрикциона — также не выше допустимого.

В принципе обе эти задачи хорошо известны. В первой фазе могут быть использованы теория и техника переключения ступеней с помощью синхронизаторов, отработанные и применяемые в АМТ. Для второй фазы методы управления одиночным сцеплением, применяемые в АМТ, непригодны, и здесь ближе техника плавного переключения двух фрикционов с перекрытием, широко применяемая в ГМП. Но если переключения в АМТ в принципе выполнимы вручную, то согласованное управление моментами трения одновременно двух фрикционов осуществимо только с помощью автоматических устройств (что имеет место и в ГМП). Это означает, что *необходимо автоматизировать полностью весь процесс, включая выбор законов автоматических переключений и кончая проблемами, диктуемыми спецификой данной конструкции*. При этом процесс автоматического управления фрикционами осуществляется на фоне жесткого контроля нагрева, что ограничивает допустимое время их буксования.

Следует заметить, что эти на первый взгляд простые операции выполняются, как принято говорить, в реальном масштабе времени — на движущейся с большой скоростью машине, и любая ошибка, даже погрешность может привести к тяжелым последствиям. Таким образом, очевидно, что здесь необходим специализированный программно-алгоритмический управляющий комплекс для автоматического выполнения всех операций переключения ступеней с учетом отмеченных выше и ряда других особенностей с соответствующим аппаратным обеспечением. В совокупности это и есть МСУ ДСТ.

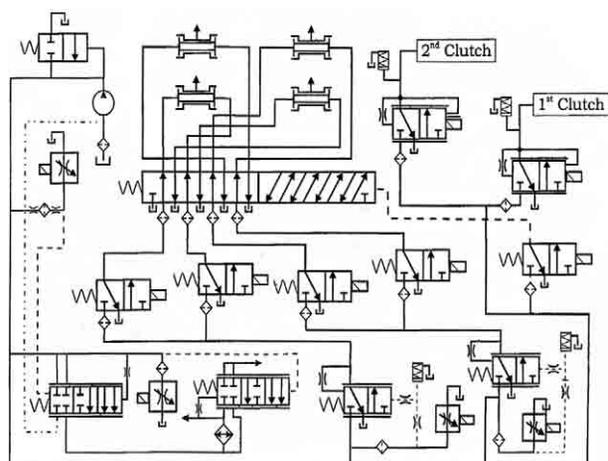


Рисунок 22 — Электрогидравлическая система ДСТ 6 + 1 Borg Warner, 2006 год

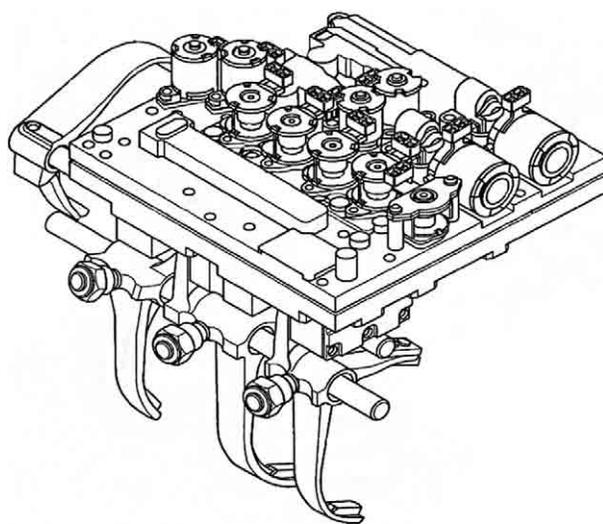


Рисунок 23 — Интегрированный модуль объединенной электрогидравлической системы ДСТ Borg Warner

Общая принципиальная схема и конструкция интегрированного модуля МСУ с электрогидравлическими исполнительными устройствами ДСТ 6 + 1 Borg Warner показана на рисунках 22, 23 [19].

Алгоритмы управления ДСТ. Процесс переключения пары сцеплений показан на рисунке 24. Здесь сплошные падающие линии — изменение момента трения первого или второго сцепления при их выключении, а восходящие пунктирные — то же при включении. Верхняя штрих-пунктирная линия — изменение крутящего момента ДВС, а нижняя — суммарный момент, передающийся на входной вал от обоих буксующих сцеплений. Как видим, он несколько меньше момента ДВС. Если скорость входного вала изменять (за счет управления буксованием) по возрастающей прямой, ДВС будет недогружен, и его скорость резко возрастет по верхней кривой линии, а в конце этой фазы ее придется гасить. Для исключения этого явления предлагают методы адаптивного управления.

В числе наиболее сложных — процесс автоматического переключения вниз под нагрузкой, осо-

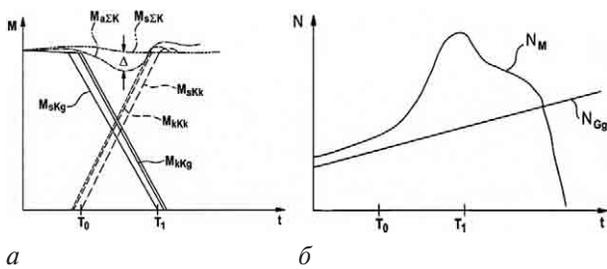


Рисунок 24 — Характеристики переключения ступеней ДСТ:
 а — изменение крутящих моментов; б — изменение скоростей ДВС и входного вала ПрКП

бенно — переключение вниз с пропуском ступени (например, с шестой на четвертую). В известных конструкциях оно сопровождается ударом и по сравнению с автоматическими ГМП воспринимается как жесткое, некомфортное переключение.

Компанией Borg Warner предложен метод, обеспечивающий в этом случае высокую плавность переключения.

Справочно. На рисунке 25 показаны графики 300 и 350, иллюстрирующие этот метод. Одна из его особенностей — изменение скорости ДВС в процессе переключения по заданному профилю путем регулирования его нагружения за счет управления буксованием обоих сцеплений. Это хорошо видно на графиках. Линии 306 (пунктирная) и 310 изображают требуемую и фактическую скорости ДВС. Они совпадают. Подъем этой скорости начинается в момент времени, отмеченный линией 336. Он вызван тем, что момент трения включенного первого сцепления (линия 312) уменьшается на участке 314, и оно начинает буксовать. В это же время подается давление и во второе сцепление (участок 318 линии 316), которое также начинает буксовать с малым моментом. Этот же принцип используется на последующих этапах, когда выполняются манипуляции с синхронизаторами (здесь не показаны), и в конечном итоге включается низшая ступень, связанная с тем же первым вновь включившимся сцеплением, что и до переключения [20].

Выбор момента и подача команды на переключение ступеней осуществляется с помощью хранящихся в памяти МСУ законов автоматиче-

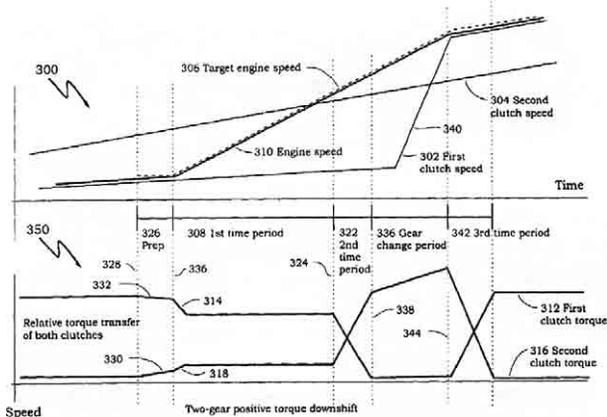


Рисунок 25 — Графики изменения скоростей и крутящих моментов ДСТ при переключении вниз с пропуском ступени

ского управления ДСТ по двум параметрам — скорости движения автомобиля и перемещению педали акселератора.

Остановимся на комплексе алгоритмов управления синхронизаторами во время переключений ДСТ Borg Warner, показанной на рисунке 21, с помощью системы управления по рисунку 22. Особенности данного процесса — мониторинг положения актюаторов синхронизаторов, определение усилия, необходимого для их выключения и включения с учетом разности скоростей, а также вычисление и установление требуемого давления в гидроцилиндрах актюаторов [21].

К 2010 году компании Borg Warner и Fiat (вошедших в концерн Chrysler) создали ДСТ с сухими и мокрыми сцеплениями для легковых и легких грузовых автомобилей (рисунок 26). А Chrysler и Ford создали совместную с Getrag компанию по строительству в США завода ДСТ мощностью 800 000 шт. в год.

Но время, прошедшее после 2003 года, фактически стало периодом испытаний ДСТ как нового сложного объекта, впервые вступившего в массовую эксплуатацию. И, как было и с другими типами АТ в начальные периоды, проявились как мелкие, так и серьезные недостатки конструкции, устранение которых потребовало от производителей значительных усилий и финансовых затрат.

Справочно. Так, вскоре после DSG-6 Volkswagen начала устанавливать на новые автомобили семиступенчатую DSG-7. И тут возникли проблемы в эксплуатации — сначала по семиступенчатой, а затем, с нарастанием пробегов, и с шестиступенчатой. Появились жалобы на неадекватное поведение трансмиссии после долгого стояния в пробках, на дребезг и рывки при трогании с места с положения «паркинг» и переключениях первой — второй ступеней, на замедленное выполнение команд на переключение. При этом наблюдался повышенный износ сцеплений, особенно сухих. Достоинства и недостатки эмоционально обсуждались на форумах в Интернете. Признавая высокое качество и малое время переключений ступеней при нормальной работе, отмечалось, что они, по всеобщему мнению, жестче по сравнению с массовыми ГМП. Ремонты таких трансмиссий выполнялись, естественно, за счет изготовителей. При этом в большинстве случаев они заключались в перепрограммировании памяти МСУ и изредка — в замене всего мехатронного блока (получившего на форумах кличку «мехатро-

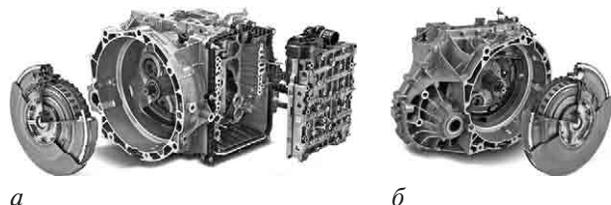


Рисунок 26 — ДСТ с многодисковыми мокрыми сцеплениями Fiat-Chrysler: а — вид спереди; б — вид сзади

ник»). Компания Fiat Chrysler в 2014 году отозвала 19 500 автомобилей Fiat 500L. Сроки гарантии на такие трансмиссии были увеличены до пяти лет. А в США столкнулись с тем, что американцы привыкли к комфортным автоматическим переключениям ступеней в ГМП, и их предпочтение, скорее всего, останется за классическими ГМП и бесступенчатыми вариаторами. А компании Chrysler и Ford в 2015 году даже вышли из совместного предприятия с Getrag [22].

Согласно опубликованной информации, основные проблемы по шестиступенчатым вариантам были сняты без значимых конструктивных изменений — за счет совершенствования программно-алгоритмического обеспечения МСУ. Вместе с тем, этот процесс доводки позволил сделать ряд выводов, имеющих значение для последующего развития ДСТ.

Первый заключается в том, что людям, привыкшим к вождению современных комфортабельных автомобилей с ГМП, и мало знакомым с ручным управлением МКП, трудно привыкнуть к жестким динамичным ДСТ.

Второе. Многие из выявленных недостатков похожи на проблемы, которые могут быть связаны с работой МСУ, т. е. с автоматическим управлением (например, замедленные реакции системы на команды управления, цикличность переключений низших ступеней, износ фрикционов при стоянках с рычагом контроллера в положении «движение»). Следует отметить, что это еще одно подтверждение ключевой роли МСУ.

Третье. Управление ДСТ имеет отличия от управления АМТ и классическими ГМП, которые обусловлены их конструктивными особенностями и, видимо, еще не до конца отработаны (в частности, интерфейс «водитель — трансмиссия»), что с очевидностью для специалистов проявляется в некоторых выявленных недостатках. Эти выводы ценны как для теории, так и в практических работах по применению ДСТ на грузовой технике.

Каковы же перспективы дальнейшего развития данного типа трансмиссий? Если рассматривать распространение ДСТ по странам и континентам, то по сравнению с настройками в США совершенно иная ситуация в Европе, Китае и других странах Азии. Они не избалованы классическими автоматами комфортабельных машин и привычны к рычагу управления МКП. Поэтому здесь ожидается быстрый рост применения ДСТ.

Известная компания Eaton одной из первых начала применение автоматических трансмиссий, в том числе ДСТ, на грузовых автомобилях. На рисунке 27 показан опубликованный ею в 2014 году прогноз развития технологий тяжелых трансмиссий до 2020 года: от МКП к АМТ и, наконец, на последнем этапе — к ДСТ. Этот этап обозначен как революция [23]. За ним, по мнению авторов, последует переход к гибридным силовым установ-

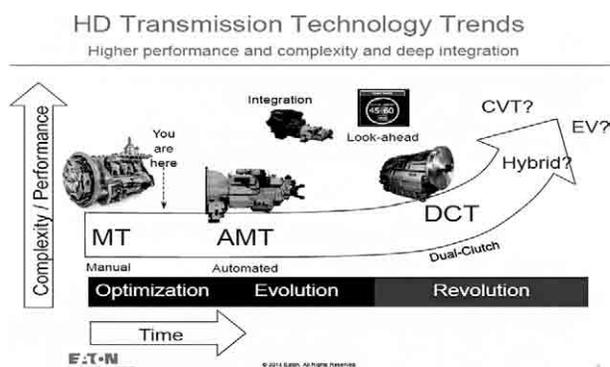


Рисунок 27 — Компания Eaton: прогноз тенденций развития технологий тяжелых трансмиссий до 2020 года

кам, а возможно, и к электромобилям. Необходимо подчеркнуть, что некоторые компании уже заявили о намерении полного перехода на ДСТ.

Приведем примеры новых моделей ДСТ, созданных известными компаниями буквально в последние два-три года [24–28].

Компания Honda первой в мире создала и к 2014 году начала производство для легковых автомобилей восьмиступенчатой ДСТ с гидротрансформатором.

Концерн Volkswagen, после завершения описанных выше проблем со своими ДСТ, объявил, в отличие от американцев, что отныне откажется от МКП, классических ГМП и вариаторов в пользу ДСТ. И с 2015 года почти все модели концерна (Audi, Volkswagen, Skoda) перешли на ДСТ S-tronic (рисунок 28), DSG-7 и DSG-6. В целом показатели комфорта, управляемости, динамика и топливная экономичность у Audi с ДСТ находятся на высоком уровне. При этом указывают, что они требуют квалифицированного обслуживания.

Компания IAV разработала для компактных и средних легковых автомобилей семиступенчатую ДСТ модульной конструкции, которая позволяет получать обычную и гибридную модификации и дает экономию объема, веса и стоимости.

Компания Kia впервые показала на автомобильной выставке 2014 года в Женеве свою новую семиступенчатую ДСТ как новый путь развития корейских трансмиссий. Ее появление на автомобилях Kia ожидали в 2015 году.

На гоночных автомобилях Porsche, Lamborghini, McLaren также начали активно применять ДСТ.

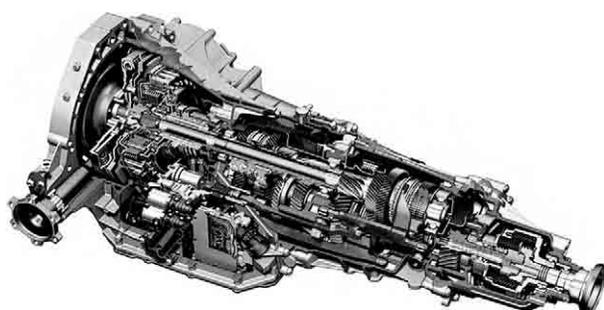


Рисунок 28 — Семиступенчатая ДСТ Audi S-tronic

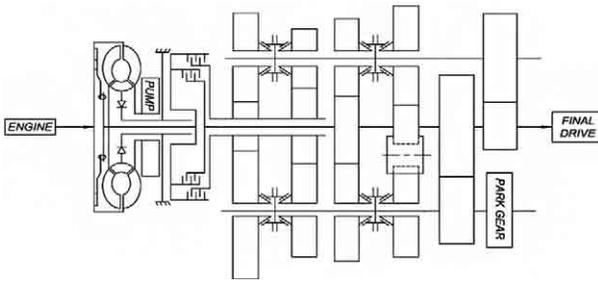


Рисунок 29 — Гидромеханическая ДСТ 7 + 1 General Motors

Основные причины — достижение очень малого (до 0,2 с) времени переключения без разрыва потока мощности, снижение веса.

Сложнее вопрос о применении гидротрансформаторов в ДСТ легковых автомобилей. Но обращает внимание позиция General Motors, которая на протяжении нескольких последних лет активно патентует такие конструкции (см., например, рисунок 29) [29]. И отмеченный выше на легковых автомобилях увеличенный износ сцеплений может быть устранен на грузовых автомобилях для тяжелых условий эксплуатации только применением гидротрансформаторов.

Как видно из приведенной выше информации, даже в самых последних моделях сохраняется двухосная схема с шестью ступенями переднего хода (реже трехосная с семью). При этом семи- и восьмиступенчатые схемы предназначены для легковых автомобилей, максимальные скорости которых превышают скорости грузовых вдвое и более, а значит, для них требуются и большие числа и диапазоны передаточных чисел.

Что касается конструкции сдвоенных сцеплений, то опыт последних лет массовой эксплуатации внес ясность: сухие однодисковые сцепления — удел легковых автомобилей малого класса. Уже при увеличении крутящего момента ДВС до уровня автомобилей среднего класса достаточной работоспособностью обладают только многодисковые маслоохлаждаемые фрикционы, хотя при этом по сравнению с сухими несколько снижается КПД за счет введения гидростанции и потерь во фрикционных. Применяется как концентричное, так и соосное расположение пары фрикционов. Для снижения поперечных габаритов и унификации предпочтительней соосное, но окончательный выбор зависит от конкретного объекта применения.

Подтверждается и наша рекомендация о модульном построении структуры семейства ДСТ, а также о включении в состав семейства гибридной модификации.

Список литературы

1. Кочнев, Е.Д. Секретные автомобили Советской Армии / Е.Д. Кочнев // М.: Яуза: Эксмо, 2011.
2. Труханов, В.М. Справочник по надежности специальных подвижных установок / В.М. Труханов // М.: Машиностроение, 1997. — 200 с.
3. «Наш ответ Рейгану» ржавеет в центре Минска // Комсомольская правда в Белоруссии. — 2011. — 13–19 янв.
4. Красневский, Л.Г. Управление гидромеханическими многоступенчатыми передачами мобильных машин / Л.Г. Красневский // Минск: Наука і тэхніка, 1990. — 256 с.
5. Красневский, Л.Г. Состояние и перспективы развития автоматических трансмиссий мобильных машин / Л.Г. Красневский // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — 2012. — Вып. 1. — С. 115–121.
6. Rolf Isermann. Mechatronic Systems — Innovative Products with Embedded Control / Rolf Isermann. — Mode of access: <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/mechatronic-systems-innovative-products-with-embedded-control-Kj1mHCodXU/>.
7. Vehicle Diagnostics Based on Information Communicated Between Vehicles: pat. 8947531 USA / Oshkosh Corp.; publ. date: 03.02.2015.
8. Красневский, Л.Г. Развитие конструкций гидромеханических передач большой мощности / Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко, Ю.И. Николаев // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — 2014. — Вып. 3. — С. 83–87.
9. Nine-Speed Automatic Transmission 9g-Tronic by Mercedes-Benz // ATZ. — 2014. — Vol. 116. — Pp. 20–25.
10. Transmission and controls: pat. 3505907 US / General Motors Corp. — Apr. 14, 1970.
11. Allison Transmission Offers 5 percent Better Fuel Economy with TC10 for Tractor Trucks / Allison Transmission. — 2013. — Mode of access: <http://ir.allisontransmission.com/phoenix.zhtml?c=227924&p=RssLanding&cat=news&id=1798551>.
12. Electro-hydraulic control system with three-position dog clutch actuator valve: pat. US7736269B2 US / GM Global Technology Operations, Ins. — publ. date: 15.06.2010.
13. TraXon from ZF a modular automatic heavy transport transmission // Diesel. News.com.au. — May 22, 2013.
14. Development of smooth up-shift control technology for automatic transmissions with integrated control of engine and automatic transmissions / Takaaki Tookura [et al.] // SAE 2007-01-1310.
15. Integrated Powertrain Debuts from Detroit. Fuel Smarts. — May 22, 2014 — Equipment. Trucking Info.
16. DT12™ Automated Manual Transmission / Detroit Diesel Corp. — Mode of access: https://www.demanddetroit.com/pdf/transmissions/0814-DT12_transmission_brochure.pdf.
17. Красневский, Л.Г. Мехатронные системы управления — ключевой компонент внедрения преселекторных коробок передач / Л.Г. Красневский // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2012. — Вып. 1. — С. 108–113.
18. Method of controlling a dual clutch transmission: pat. 681997 B2 USA / Borg Warner, Ins. — publ. date: 16.11.2004.
19. Integrated control module for a dual clutch transmission: pat. 7127961 B2 USA / Borg Warner, Ins. — publ. date: 31.10.2006.
20. Method of controlling a dual clutch transmission: pat. 6887184B2 USA / Borg Warner, Ins. — publ. date: 03.05.2005.
21. Method for controlling the positioning of the synchronizers of a dual clutch transmission: pat. 6883394 USA / Borg Warner, Ins. — publ. date: 26.04.2005.
22. Missed shift: once-promising dual-clutch transmissions lose favor in US // Automotive News. — December 2015. — Mode of access: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1386295>.
23. Transmission potential to contribute to CO2 reduction 2020 and beyond line haul perspective // Eaton. July 22, 2014. — Mode of access: http://www.theicct.org/sites/default/files/Tom%20Stoltz_Eaton.pdf.
24. Honda's new eight-speed DCT uses a torque converter // Automotive Engineering September 2, 2014. — Mode of access: <http://articles.sae.org/13432/>.
25. Audi's 7-speed dual-clutch transmission to debut in European Q5, S5. — Mode of access: <http://www.leftlanenews.com/audis-7-speed-dual-clutch-transmission-to-debut-in-european-q5-s5.html>
26. Modular Seven-speed Hybrid Dual-clutch Transmission. IAV // Source: MTZ worldwide Edition: 2013-11. — Mode of

- access: <http://www.atzonline.com/Artikel/3/16897/Modular-Seven-speed-Hybrid-Dual-clutch-Transmission.html>.
27. Kia unveils its first seven-speed dual-clutch transmission / Kia Cars; News. March 4, 2014. — Mode of access: <http://www.automotiveworld.com/news-releases/kia-reveals-new-powertrain-technologies-2014-geneva-motor-show/>.
28. The dry double clutch has become established on the automatic transmission market / K.-L. Kimmig, P. Shaefer Buhrlé, K. Henneberger // Shaefer SYMPOSIUM. — 2010.
29. Multispeed transmission with countershaft gearing: pat. 7644639B2 USA / GM Global Technology Operations; publ. date: 12.07.2010.

KRASNEVSKIY Leonid G., Corresponding Member of the NAS of Belarus,
D. Sc. in Eng., Prof.
Chief Researcher¹

PODDUBKO Sergei N., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.
General Director¹
E-mail: bats@ncpmm.bas-net.by

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences, Minsk, Republic of Belarus

Received 14 June 2016.

ON DEVELOPMENT OF AUTOMATED GEAR SYSTEMS FOR DOMESTIC MOBILE ENGINEERING. PART 1

This article addresses the problem of creating automated drives with automatic transmissions for domestically produced mobile machines. An analysis of main types of automatic transmissions (hydromechanical, automated mechanical, dual clutch, hybrid electromechanical) has been carried out using the examples of new designs by the leading world manufacturers. The article points out rapidly expanding application of drives with such transmissions in mobile machines, including heavy duty and heavy weight line-haul trucks. It also discusses ways and possibilities of creating domestically produced drives in connection with their influence on the competitiveness of the produced machines.

Keywords: *automated drive, mobile machines, hydromechanical transmission, automated mechanical transmission, dual clutch transmission, hybrid electromechanical transmission*

References

- Kochnev, E.D. *Sekretnye avtomobili Sovetskoy Armii* [Secret vehicles of Soviet Army]. Moscow, Jauza: Jeksmo, 2011.
- Truhanov, V.M. *Spravochnik po nadezhnosti special'nyh podvizhnykh ustanovok* [Guide on the reliability of special mobile units]. Moscow, Mashinostroenie, 1997. 200 p.
- «Nash otvet Rejganu» rzhaveet v centre Minska “Our response to Reagan” is resting in the center of Minsk. *Komsomol'skaja pravda v Belorussii* [Komsomolskaya Pravda in Belarus], 2011.
- Krasnevskiy, L.G. *Upravlenie gidromehaničeskimi mnogoštapenčatymi peredachami mobil'nyh mashin* [Managing multi-stage hydromechanical transmissions of mobile machines]. Minsk, Navuka i tehnika, 1990. 256 p.
- Krasnevskiy, L.G. Sostojanie i perspektivy razvitija avtomatičeskikh transmissij mobil'nyh mashin [Status and prospects of development of automatic transmissions of mobile machines]. *Aktual'nye voprosy mashinovedenija* [Topical Issues of Mechanical Engineering], Minsk, 2012, no. 1, pp. 115–121.
- Rolf Isermann *Mechatronic Systems – Innovative Products with Embedded Control*. Available at: <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/mechatronic-systems-innovative-products-with-embedded-control-Kj1mHCodXU/>.
- Vehicle Diagnostics Based on Information Communicated Between Vehicles. Patent US, no. 8947531, 2015.
- Krasnevskiy, L.G., Poddubko S.N., Nikolaev Ju.I. Razvitie konstrukcij gidromehaničeskikh peredach bol'shoj moshhnosti [Development of the designs of hydromechanical transmission of high power]. *Aktual'nye voprosy mashinovedenija* [Topical Issues of Mechanical Engineering], Minsk, 2014, vol. 3, pp. 83–87.
- Nine-Speed Automatic Transmission 9g-Tronic by Mercedes-Benz*. ATZ, 2014, vol. 116, pp. 20–25.
- Transmission and controls*. Patent US, no. 3505907, 1970.
- Allison Transmission Offers 5 percent Better Fuel Economy with TC10 for Tractor Trucks*. Allison Transmission. Available at: <http://ir.allisontransmission.com/phoenix.zhtml?c=227924&p=RssLanding&cat=news&id=1798551>.
- Electro-hydraulic control system with three-position dog clutch actuator valve. Patent US, US7736269B2, 2010.
- TraXon from ZF a modular automatic heavy transport transmission*. Diesel. Available at: News.com.au.
- Takaaki Tookura [et al.] Development of smooth up-shift control technology for automatic transmissions with integrated control of engine and automatic transmissions., SAE 2007-01-1310.
- Integrated Powertrain Debuts from Detroit. Fuel Smarts. — May 22, 2014 — Equipment. Trucking Info.
- DT12™ Automated Manual Transmission. Detroit Diesel Corp. Available at: https://www.demanddetroit.com/pdf/transmissions/0814-DT12_transmission_brochure.pdf.
- Krasnevskiy, L.G. Mehatronnye sistemy upravlenija – ključevoj komponent vnedrenija preselektornyh korobok peredach [Mechatronic control system – a key component of the implementation of preselection transmission] *Aktual'nye voprosy mashinovedenija* [Topical Issues of Mechanical Engineering], Minsk, 2012, no. 1, pp. 108–113.
- Method of controlling a dual clutch transmission*. Patent US, no. 6819997 B2, 2004.
- Integrated control module for a dual clutch transmission*. Patent US, no. 7127961 B2, 2006.
- Method of controlling a dual clutch transmission*. Patent US, no. 6887184B2, 2005.

21. Method for controlling the positioning of the synchronizers of a dual clutch transmission. Patent US, no. 6883394, 2005.
22. *Missed shift: once-promising dual-clutch transmissions lose favor in US* Automotive News. Available at: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1386295>.
23. *Transmission potential to contribute to CO2 reduction 2020 and beyond line haul perspective*. Eaton, 2014. Available at: http://www.theicct.org/sites/default/files/Tom%20Stoltz_Eaton.pdf.
24. Honda's new eight-speed DCT uses a torque converter. *Automotive Engineering*, 2014. Available at: <http://articles.sae.org/13432/>.
25. Audi's 7-speed dual-clutch transmission to debut in European Q5, S5. Available at: <http://www.leftlanenews.com/audis-7-speed-dual-clutch-transmission-to-debut-in-european-q5-s5.html>
26. *Modular Seven-speed Hybrid Dual-clutch Transmission*. IAV. MTZ worldwide Edition, 2013. Available at: <http://www.atonline.com/Artikel/3/16897/Modular-Seven-speed-Hybrid-Dual-clutch-Transmission.html>.
27. *Kia unveils its first seven-speed dual-clutch transmission*. Kia Cars; News, 2014. Available at: <http://www.automotiveworld.com/news-releases/kia-reveals-new-powertrain-technologies-2014-geneva-motor-show/>.
28. Kimmig K.-L., Shaefer Buhle P., Henneberger K. *The dry double clutch has become established on the automatic transmission market*. Shaefer SYMPOSIUM, 2010.
29. Multispeed transmission with countershaft gearing. Patent US, no. 7644639B2, 2010.