



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 2

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

2.4. Приводы в автомобилях с гибридными силовыми установками (ГСУ) и электромобилях. Массовое производство гибридных автомобилей с различными типами ГСУ начало стремительно развиваться в последнем десятилетии. *Ключевым элементом ГСУ, а также силовых установок на водородных топливных элементах и традиционных дизель-электрических является комплектный электропривод, включающий обратимые электрические машины (мотор-генераторы — МГ), инверторы и систему управления. Имеется еще одна область потенциально широкого применения электропривода, очень близкая к ГСУ. Это известные двухпоточные и многопоточные трансмиссии [30–32].*

Мировое первенство в области ГСУ (в том числе на водородных топливных элементах) принадлежит компании Toyota, которая к концу 2015 года выпустила уже 8 млн. гибридных легковых автомобилей Toyota Prius I–IV поколений и других. На

рисунках 31, 32 показана ее ГЭМТ в разрезе и схема последней модели — Synergy Drive [33].

На ранних стадиях предлагались варианты ГСУ с использованием серийных переднеприводных автомобилей, содержащих ГМП, и с установкой МГ перед ГМП или на заднем мосту. Следующим логическим шагом стало размещение

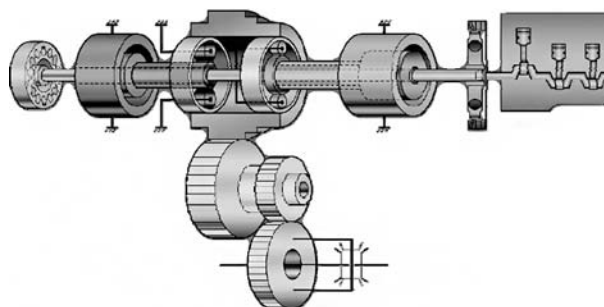


Рисунок 31 — ГЭМТ автомобиля Prius компании Toyota

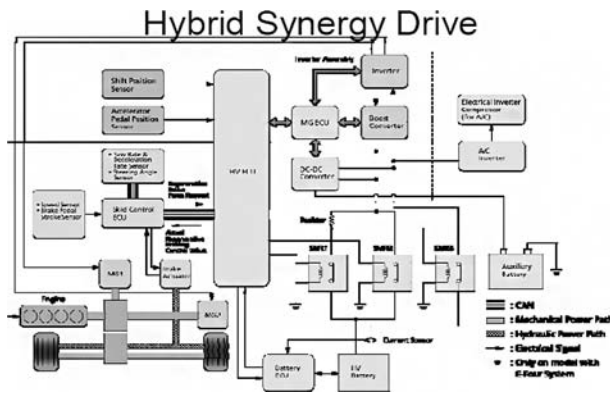


Рисунок 32 — Принципиальная схема ГЭМТ Toyota последней модели — Synergy Drive

МГ непосредственно в картере ГМП в свободном пространстве в зоне периферии тора гидротрансформатора. При этом МГ устанавливается без собственного корпуса, что позволяет легко связать его ротор и статор с элементами зубчатых механизмов и с картером ГМП. Таким образом, начался процесс «гибридизации» ГМП — встраивания в них электрических машин.

Справочно. Типичным примером гибридизации ГМП является конструкция ГЭМТ Allison по патенту 2013 года, гибридный модуль 104 которой представлен на рисунке 33 [34]. Здесь мы видим гидротрансформатор, перед которым установлены МГ 112 и фрикцион 114, посредством которого оба они могут быть отключены от ДВС. Очевидно, что эта конструкция весьма близка к описанным выше модификациям TraXon Hybrid и TraXon Torque модульной трансмиссии компании ZF Friedrichshafen AG, объединяя их в едином модуле.

Наконец, появилась идея установки в ГМП двух (и даже трех) МГ и использования их вместо гидротрансформатора, т. е. создания бестрансформаторной трансмиссии (например, компанией Ford). Переход от автономных МГ к их безкорпусной установке непосредственно в картерах ГМП или в других типах МКП — это и есть ГЭМТ. Ре-

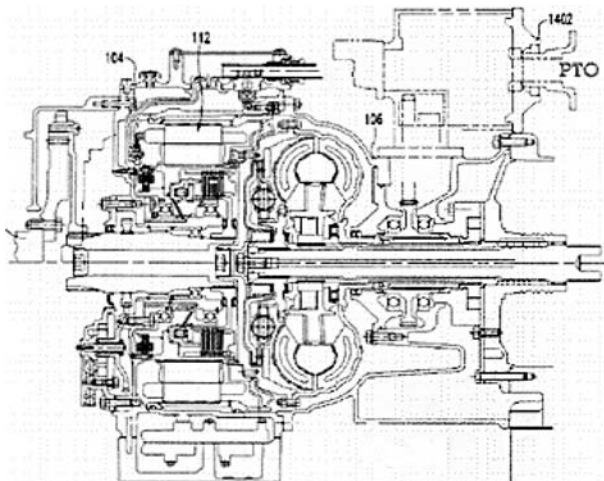


Рисунок 33 — Модуль гидротрансформатора, закрепленный на картере гидротрансформатора ГМП Allison

зультат — уменьшение габаритов, веса, упрощение конструкции ГСУ, а также необходимое для МГ жидкостное охлаждение посредством общей с ГМП системы охлаждения.

В состав ГСУ, как правило, входят различные АТ — ГМП или АМТ и даже ДСТ. Это вызвано тем, что диапазон регулирования передаточного числа электропривода (как и всех других известных типов бесступенчатых передач) недостаточен, и для его расширения необходимо еще несколько механических ступеней (на тихоходных машинах хотя бы две). Но их переключение должно быть только автоматическим, так как в ГСУ выполнение оператором ручного управления в принципе невозможно.

По этим и ряду других причин в настоящее время многопоточные многорежимные ГЭМТ с двумя МГ и двух- или трехрядными планетарными АТ — центральное направление развития ГСУ.

Справочно. В многочисленных источниках отмечается ряд существенных преимуществ такой архитектуры ГЭМТ. Назовем только некоторые основные: снижение веса электрических машин за счет их установки в ветвях кинематической схемы, передающих только часть мощности ДВС; получение режимов гибридного (с рекуперацией энергии), электрического и механического привода за счет перестройки (переключения) топологии кинематической схемы; повышение надежности и живучести ГСУ в целом за счет дублирования — возможности движения на механическом приводе при выходе из строя электрического и наоборот; решение проблемы принудительного жидкостного охлаждения МГ с помощью объединенной гидросистемы охлаждения и смазки.

Анализ показывает, что ГЭМТ — это новый перспективный вид автоматических трансмиссий, к созданию которого привели интенсивные поиски рациональных технических решений в области ГСУ, проведенных в мире за прошедшие 10–15 лет. Конструктивное сходство ГЭМТ с классической ГМП существенно облегчает создание ГСУ, так как приближает к классической и саму компоновку гибридного автомобиля [35–37].

Сегодня все ведущие компании уже имеют в производстве или готовые к производству гибриды собственной конструкции. Наряду с легковыми, это и грузовые автомобили малой и средней грузоподъемности, а также автобусы.

ГЭМТ — это единый компактный агрегат, в который входят зубчатые механизмы, фрикционы, МГ и локальная система управления. ГСУ же включает в себя ДВС, ГЭМТ, накопители энергии, инверторы, систему управления верхнего уровня.

При оценке эффективности важно учитывать, что в ГСУ размерность ДВС уменьшают по сравнению с обычной, но суммарная пиковая мощность, развиваемая при разгоне, существенно выше.

Справочно. Toyota поясняет это на примере автомобиля Toyota Prius II графиком, показанным на рисунке 34, где изображено изменение баланса мощ-

ностей ДВС и накопителя в полном цикле движения [34]. На этапе разгона с нулевой до крейсерской скорости трогание с места происходит на электроприводе до скорости, достаточной для запуска и начала работы ДВС. Далее ДВС и электропривод, питаемый от накопителя, работают вместе до достижения заданной крейсерской скорости, отдавая примерно равные величины мощности, после чего они плавно замедляются (ДВС — до крейсерской, а электропривод — до нулевой). На крейсерском этапе накопитель становится потребителем и начинает заряжаться, используя избыточную часть мощности ДВС. Наконец, при остановке выполняется дозарядка (при необходимости) накопителя за счет рекуперации кинетической энергии при торможении.

Снижение веса электрических машин в многопоточных ГЭМТ обеспечивается установкой обоих МГ в кинематических ветвях, передающих лишь часть входной мощности. При этом их сумма может быть даже меньше входной, тогда как в ГСУ последовательной схемы суммарная установленная мощность генератора и тягового электродвигателя равна удвоенной мощности ДВС (как и в дизель-генераторных электромеханических приводах). Одновременно снижаются потребная мощность, стоимость и вес инверторов и другой силовой электроники.

В 2013 году в США началось освоение ГСУ в сегменте тяжелой грузовой техники. Компания Allison, начав разработку автобусных ГЭМТ в 1989 году и производство в 2003 году, к 2013 году выпустила их уже в количестве более 5000. На этой базе к 2013 году компания первой в мире создала ГЭМТ модели H3000 (рисунок 35) для средних и тяжелых грузовых автомобилей различного назначения [36]. По приведенной информации, она дает экономию топлива до 25 % в зависимости от условий эксплуатации и особенностей ездового цикла. На 2013 год было анонсировано начало серийного производства, а также создания типоразмерного ряда таких трансмиссий. А в июле 2014 года компания объявила о начале строительства в Индианополисе завода для их производства в количестве до 20 000. Ожидается, что это также ускорит их применение и в военной технике, где уже давно и широко используются ГМП и другие АТ.

Пока развитие ГСУ шло преимущественно в сегменте легковых и легких грузовых автомо-

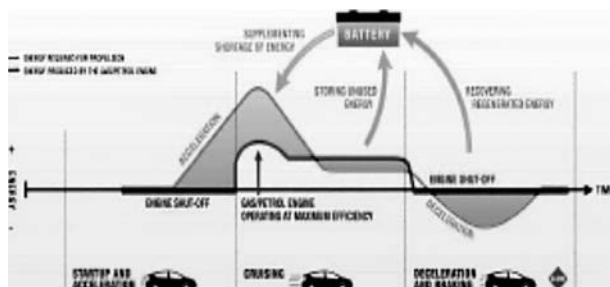


Рисунок 34 — Баланс мощностей ДВС и накопителя ГСУ автомобиля Toyota Prius II в полном цикле движения

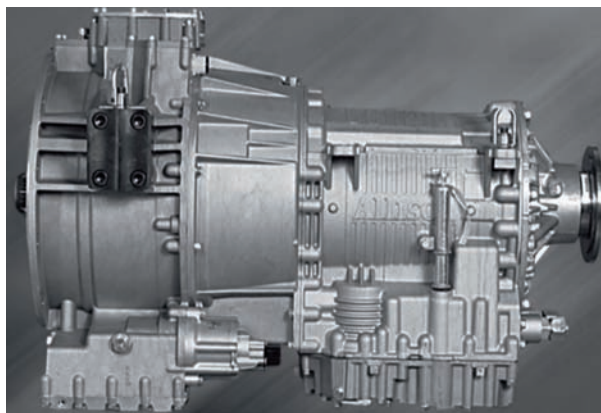


Рисунок 35 — Первая в мире ГЭМТ модели H3000 компании Allison для средних и тяжелых грузовых автомобилей

билей, оно не затрагивало белорусское машиностроение, которое традиционно специализируется на производстве тяжелых ГМП. Но с началом освоения ГСУ в сегменте машин большой грузоподъемности вся белорусская тяжелая техника оказалась в поле влияния и неизбежного воздействия этих глобальных процессов.

Выше речь шла в основном о машинах с одним ведущим мостом. Задача привода большего числа мостов усложняется. Конечно, сохраняется возможность установки за электроприводом традиционных раздаточных коробок и дифференциальных приводов ведущих колес. Их исключает индивидуальный привод каждого колеса, хотя это возвращает к двойной установленной мощности электрических машин. Идеален привод с установкой МГ непосредственно в колесе (тем более, в электромобилях). Однако проблема создания мотор-колес (особенно большой мощности) еще далека от разрешения. В полноприводных схемах применяют различные варианты установки на мостах или на поперечинах рамы одного или двух МГ, соединяемых с колесами карданными передачами. Очевидно, и здесь прогресс связан с дальнейшим развитием электропривода.

3. О техническом уровне и состоянии производства трансмиссий для тяжелой мобильной техники Беларуси и России. Промышленный и научно-технический потенциал белорусского автомобилестроения сложился в рамках межрегиональной специализации в СССР и был рассчитан на обеспечение потребностей всей страны в тяжелой колесной народнохозяйственной и специальной технике. Он ориентирован на экспорт, и в значительной степени — на рынок России, так как производство многих видов белорусских машин пока не дублируется ее собственной промышленностью. При этом около половины материалов и комплектующих для этой продукции закупается в России.

Важнейшим фактором в пользу дальнейшего развития отрасли является практически полное удовлетворение внутренних потребностей в мобильной колесной технике — грузовых авто-

мобилях, автобусах, троллейбусах, специальной, коммунальной, пожарной, строительно-дорожной, землеройной, возможность получения и экономии значительных валютных средств за счет экспорта и отказа от импорта аналогичной зарубежной. Реализация этой возможности связана с обеспечением соответствующего уровня конкурентоспособности продукции, а значит, и отрасли в целом.

Как показано в предыдущих разделах статьи, трансмиссия — второй по сложности агрегат после двигателя, а современные трансмиссии в этом отношении уже сопоставимы с ним. Более того, ДВС и трансмиссия, соединение которых в общий узел ранее было только компоновочным, в современных легковых и грузовых автомобилях органически слились в единый силовой агрегат, согласованно функционирующий под совместным управлением их взаимодействующих или интегрированных электронных систем. Пожалуй, это особенно проявилось в новом типе силовых агрегатов — гибридных. Поэтому технический уровень трансмиссии входит в число факторов, непосредственно влияющих на конкурентоспособность.

На белорусской мобильной технике применяются механические (МКП), гидромеханические (ГМП) и электрические (ЭТ) трансмиссии, которые существенно различаются по техническому уровню, объемам и специфике производства.

Наиболее многочисленными являются МКП, которые устанавливаются на большинство машин МАЗ, МЗКТ, тракторы МТЗ. Суммарное их число в прошлом значительно превышало 100 000 единиц в год. Поскольку речь идет о тяжелых трансмиссиях, данная цифра является достаточно высокой. Более половины составляют тракторные МКП. Конструктивно они входят в состав несущей системы тракторов, не поддаются унификации подобно автомобильным МКП, и поэтому, как правило, полностью изготавливаются самими производителями тракторов.

С МКП грузовых автомобилей ситуация иная. Это высокотехнологичный компактный механизм, для изготовления которого необходимы технологии высокого уровня с дорогостоящим оборудованием, и, как следствие, высокая серийность производства для обеспечения приемлемой рентабельности. Требуемый уровень серийности достигается концентрацией их производства на специализированных заводах. МКП чаще всего поставляются в сборе с ДВС. Объемы производства автомобилей МАЗ (десятки тысяч единиц) не достигают уровня рентабельного собственного производства МКП, и они традиционно закупаются в составе силовых агрегатов.

Принципиальные отличия имеет производство ГМП. В силу сложившейся межрегиональной специализации практически все производство тяжелых ГМП в СССР было сосредоточено в Беларуси. Лидером стал МАЗ, на котором было организовано производство специальных мно-

гоосных транспортных средств большой единичной мощности и грузоподъемности, перешедшее в МЗКТ (см. раздел 1). Высокая их мобильность и проходимость по грунтовым дорогам, бездорожью, снегу и пескам во многом обеспечиваются применением ГМП.

В постсоветские годы МЗКТ в рамках конверсии освоил производство широкой гаммы колесной техники народнохозяйственного назначения с силовыми агрегатами автомобилей МАЗ, в состав которых входит МКП. Соответственно снизилось производство ГМП, однако в настоящее время вновь растет их востребованность для этой техники. И сегодня МЗКТ — практически единственное в Беларуси и России предприятие, в принципе способное освоить производство широкого типоразмерного ряда новых ГМП для специальной и народнохозяйственной техники как для собственных нужд, так и для экспорта в составе машин и самостоятельно, в том числе в Россию.

Собственные конструкции и производство ГМП имеет БелАЗ. Они устанавливаются на карьерные автомобили-самосвалы с ДВС мощностью 350–700 л. с. В прошлом для таких машин завод выпускал до 3000 ГМП. Сегодня эта цифра значительно ниже. Однако имеется потребность в ГМП гораздо большей мощности — до 1500–1600 л. с.

В число крупных потребителей ГМП выходит ОАО «Амкордор», который активно расширяет производство и экспорт своей техники. В ближайшие годы количество потребных ему трансмиссий может достигнуть нескольких тысяч.

Как видно из изложенного, три из четырех белорусских заводов выпускали и продолжают выпускать различные по конструкции ГМП. В 70-х годах была предпринята попытка создать унифицированную ГМП (УГМП) для МЗКТ, БелАЗа и МоАЗа. Все три завода разработали собственные варианты УГМП. Их конструкции были различны, хотя и построены по однотипным (вальным) кинематическим схемам. Предполагалось выбрать лучшую в процессе сравнительных испытаний. Но в итоге БелАЗ поставил на производство свой (вальный) вариант УГМП, который, с модернизацией, выпускается и ныне. МоАЗ освоил свой (также вальный), но через несколько лет перешел на продукцию БелАЗ. МАЗ прекратил работы над своим вариантом вальной ГМП в связи с началом работ по заданию на новые многоосные шасси и вскоре создал для них автоматическую ГМП на базе выпускавшихся планетарных.

Сегодня импортные ГМП устанавливаются и на городских автобусах АМАЗ. БелАЗ и МЗКТ в отдельных случаях также устанавливают на свои машины импортные ГМП (в основном Allison) по заказам потребителей.

БелАЗ традиционно применяет ЭТ на сверхтяжелых карьерных самосвалах грузоподъемностью 80 тонн и более. Электрические машины для

них выпускаются в России на специально созданном производстве, а в последние годы закупаются и в дальнем зарубежье. Ввиду уникальности и высокой стоимости таких автомобилей ЭТ для них изготавливаются в небольших количествах. ЭТ также применяются на троллейбусах и трамваях, выпускаемых ОАО «Белкоммунмаш».

Для оценки перспектив применения различных типов трансмиссий на выпускаемой в республике мобильной технике необходимо учитывать следующее.

ГМП — один из самых сложных автомобильных агрегатов из числа выпускаемых в республике. Применение ГМП придает самим автомобилям целый ряд важных свойств, облегчает управление машиной. Высокие качества современной ГМП в значительной мере обеспечиваются применением МСУ, которые превращают ее в мехатронный объект.

Сегодня за рубежом практически все ГМП имеют мехатронные системы управления. В США без малого 98 % легковых автомобилей имеют автоматические ГМП. На американских и японских карьерных самосвалах ГМП охватили диапазон мощностей до 1650 л. с., выигрывая в конкуренции с ЭТ. ГМП широко применяются на зарубежных боевых машинах (танках и другой бронетехнике). Конечно, такие трансмиссии сложнее и дороже чисто механических, что, однако, с успехом окупается в эксплуатации (см. примеры в разделе 2.3). В ряде же случаев они незаменимы.

Что же касается *серийно выпускаемых белорусских ГМП*, то они были поставлены на производство более 30 лет назад. Очевидно, что эти конструкции устарели. Несколько лет назад начались и продолжаются в настоящее время работы по созданию гаммы новых трансмиссий, в том числе в рамках государственных научных программ. Практически все белорусские машиностроительные заводы приступили к созданию гибридных энергоустановок. Ведутся испытания образцов новых моделей ГМП. Таким образом, в области трансмиссий научно-производственный комплекс после длительного перерыва приступил к реализации ряда инновационных проектов. Но наступил новый кризисный период.

А что же в России? Следует констатировать, что в советский период не было организовано массовое производство автоматических ГМП для легковых автомобилей, которое во всем мире стало основой всех типов легких и тяжелых АТ. Но была развита мощная научная база по анализу, синтезу, расчету и производству механических и гидромеханических многоступенчатых передач и приводов, в которую входили военные академии и НИИ. Она была ориентирована в первую очередь на нужды бронетанковой техники. Белорусские организации, как основные производители тяжелых ГМП, поддерживали с российскими тесные

связи. Самым крупным производителем ГМП был Львовский автобусный завод, который выпускал городские автобусы с трехступенчатыми вальными ГМП для всей страны.

В постсоветский период в России инфраструктура, связанная с ГМП, в том числе научная, понесла значительные потери. В то же время потребность в ГМП для тяжелой строительной-дорожной, специальной и военной колесной и гусеничной техники там велика. Предприятия в соответствии со своими потребностями выпускают приводы с ГМП в небольших количествах. Используются и зарубежные ГМП.

Таким образом, в России сегодня еще нет собственных современных серийных АТ (в том числе и ГМП). Но в последнее время в Интернет-сообщениях о новых образцах российской военной гусеничной и колесной техники часто появляются упоминания о применении в них АТ. Так, на Параде победы 9 мая 2015 г. на Красной площади был впервые показан перспективный танк «Армата», среди инноваций которого указана роботизированная коробка передач. Там же была БМП Т15, созданная на платформе Арматы — вероятно, с той же трансмиссией. К слову, в параде впервые участвовали новые ПГРК «Ярс» на шасси МЗКТ с ГМП (рисунок 36), о которых говорилось выше. После парада в российской прессе активно публикуется информация о новых видах российской колесной и гусеничной военной техники, в числе отличий которой указывается на наличие АТ. Это бронетранспортеры, боевые машины пехоты и десанта, перспективные платформы для такой техники на базе Арматы, БМП «Курганец-25» и др. Но судя по уровню научных публикаций в открытой печати, там ситуация с АТ примерно такая же, как в Беларуси.

На наш взгляд, из сказанного совершенно очевидно, что создание современных отечественных приводов с автоматическими трансмиссиями имеет принципиальное значение для машиностроения Беларуси и России.

4. Актуальные направления создания новых конструкций приводов для перспективных типажей белорусской мобильной техники. Проведенный нами



Рисунок 36 — ПГРК «Ярс» на параде Победы в Москве 9 мая 2015 г. (фото ТАСС)

анализ показывает, что к настоящему времени масштабы применения приводов с АТ на тяжелых грузовых автомобилях, автобусах, строительной, дорожной, специальной, военной колесной и гусеничной технике приближаются к показателям легковых. Из сказанного следует, что наличие АТ собственных конструкций становится необходимым условием обеспечения конкурентоспособности выпускаемой машиностроением республики автотракторной, строительной, дорожной и специальной мобильной техники.

Оценка применимости современных приводов с АТ на выпускаемых и перспективных типах машин должна основываться на анализе их структуры по мощностям, грузоподъемности и назначению, которые существенно влияют на выбор типа АТ.

Справочно. На первом этапе применения ГСУ на грузовой технике наиболее перспективными были признаны развозные автомобили — фургоны для доставки продуктов и других товаров в городские торговые сети (они работают с частыми остановками, что наиболее выгодно для ГСУ). И уже на этом этапе известной компанией Eaton в качестве АТ в составе ГСУ (модели ЕН-6Е606В-СД) была применена ДСТ. Данная ГСУ показала экономию топлива до 50 %. Она содержит последовательно установленные сцепление, МГ мощностью 44 кВт и шестиступенчатую ДСТ. А модификация ЕН-8Е306А-УР для средних грузовых и муниципальных автомобилей дает экономию до 60 % в зависимости от вида трафика. Компания Eaton также выпускает и гидравлическую (с объемными гидромашинами) модификацию ГЭМТ для грузовых автомобилей, которая, по данным испытаний, в тяжелых условиях эксплуатации еще эффективней электрической. В качестве накопителей энергии здесь используются гидропневматические аккумуляторы высокого давления, которые имеют лучшие удельные показатели и динамику циклов зарядки-разрядки. За счет этого ГСУ, в частности, на режиме регенерации обеспечивает эффективное торможение автомобиля, что уменьшает износ основных тормозов, существенно повышая срок их службы и снижая затраты на ремонт и обслуживание.

Пристальное внимание к применению гибридных (в том числе на водороде) грузовых автомобилей проявляет армия США. По опубликованным данным, она располагает одним из крупнейших в стране автомобильным парком, насчитывающим порядка 250 000 единиц. Поэтому топливо составляет до 70 % объема прифронтовых грузовых перевозок, где стоимость одного галлона достигает 400 долл. США. ГСУ рассматривается как эффективное средство сокращения потребления топлива военной техникой и повышения мобильности армии, а значит, ее боеготовности [32].

Таким образом, с учетом высоких темпов мирового распространения приводов с АТ область их потенциального применения в республике может охватить большую часть выпускаемой техники. Это, в свою

очередь, повышает прогнозные объемы производства АТ для собственных нужд (без учета возможного прямого экспорта) до уровня окупаемости, что принципиально важно для строительства собственного специализированного завода трансмиссий.

Диапазон мощностей ДВС машин, входящих в состав перспективных типажей, весьма широк — от 150...200 до 800...1000 л. с. Разделив его условно на три интервала мощности — малой, средней и большой, а условия эксплуатации (упрощенно) — на дорожные и внедорожные, можно предварительно отметить следующие возможные области применения различных типов АТ:

ГМП — при всех интервалах мощности и дорожных условиях;

АМТ — при малых и средних мощностях в дорожных условиях;

ДСТ — при малых и средних мощностях во всех условиях;

ГЭМТ — при малых и средних мощностях во всех условиях.

Естественно, что эти рекомендации должны уточняться с учетом назначения и областей применения конкретных машин, входящих в типаж.

5. О выборе специализации нового крупносерийного производства современных приводов. Сегодня наши заводы каждый в одиночку в рамках ОКР по новым трансмиссиям решают для своих нужд однотипные научно-технические проблемы. Выход этих работ на современный уровень требует освоения большого объема новой информации, не публиковавшейся на русском языке. Решение данной задачи силами заводских инженеров-конструкторов, параллельно занятых сопровождением действующего производства, при малых объемах выпуска и финансирования, маловероятно.

В то же время наличие собственных современных АТ становится необходимым условием обеспечения конкурентоспособности отрасли.

Отсюда следует вывод о необходимости единого научно-технического центра высокой компетенции по данному направлению. Для его создания в принципе есть необходимые условия. Так, МЗКТ был и остается единственным на постсоветском пространстве предприятием, выпускающим автоматические ГМП ответственного назначения. При наличии специалистов с достаточной базовой подготовкой необходимо в первую очередь энергичное освоение современного состояния теории и техники управления ГМП, достигнутого в мире за последние годы. Поэтому представляется, что наиболее реальный путь создания такого центра — его привязка к заводу по производству трансмиссий.

Таким образом, очевидно, что наилучший выход в сложившихся условиях — создание централизованного производства АТ на специализированном заводе.

Анализ показывает, что передовые мировые компании непрерывно совершенствуют производ-

ство и буквально каждые два-три года выпускают новые модели или модификации трансмиссий с последовательным улучшением их характеристик. Цель — удержание достигнутых ведущих позиций на рынке, а с другой стороны — углубление технологического отрыва от более слабых конкурентов и закрепление их полной технологической зависимости от лидеров. Тому немало примеров в современном автомобилестроении (непосредственный впрыск топлива с системой «common rail», их связь с удовлетворением жестких норм токсичности и др.).

В этих условиях конкурентоспособность нового завода будет зависеть от того, насколько он сможет адаптироваться к такому характеру внешней среды. А это, в свою очередь, будет тесно связано с выбором номенклатуры продукции, зависящей от потенциальной структуры перспективных типов АТ и МТ, для повышения объемов производства до уровня окупаемости.

При выборе номенклатуры продукции для нового производства необходимо учитывать, что вся белорусская техника неизбежно, независимо от чьих-то желаний, в недалеком будущем столкнется на внешних рынках с машинами конкурентов, имеющими современные АТ. И даже в среднесрочной перспективе вряд ли удастся ограничиться каким-либо одним видом АТ, дистанцируясь от других, уже вышедших на рынок.

Поэтому целесообразно изначально ориентироваться на новую идеологию модульных конструкций многовариантных АТ и заказного производства конкретных моделей по индивидуальным заказам по аналогии с описанной выше технологией ZF TraXon. Разработка объединенного модульного многофункционального семейства трансмиссий для реализации выбранных актуальных типов приводов представляется наиболее верным решением.

Первостепенную роль, наряду с технологическим обеспечением, здесь будет играть интеллектуальный потенциал НИОКТР, который может быть увязан с упомянутым научно-техническим центром. Уместно также отметить, что ставка на долговременный аутсорсинг разработок при создании и сопровождении производства новой продукции здесь вряд ли жизнеспособна.

Модульное построение АТ позволяет без дополнительных капитальных затрат получать на общей сборочной линии все ее модификации: ГМП, АМТ, ДСТ и даже ГЭМТ.

С этой точки зрения в отношении ГМП очевидна наибольшая подготовленность, под которой подразумевается компетенция в конструкции, технологии и эксплуатации, а также наличие наибольшего числа внутренних потребителей, традиционно их применяющих. Кроме того, ГМП — основа и база построения ГЭМТ и ДСТ. Поэтому именно освоение производства ГМП могло бы стать первоочередной задачей.

Что касается АМТ — «роботизированной» механической коробки передач — то, по нашему мне-

нию, ее освоение «с нуля» может оказаться достаточно сложным ввиду очень малого задела собственных разработок и исследований. А необходимое здесь автоматическое управление сухим сцеплением на всех режимах, включая трогание с места, требует самой высокой точности и надежности.

В этом отношении ДСТ несколько проще: у нее два мокрых многодисковых фрикциона, которые могут быть подобраны из состава выпускаемых также ГМП. И представляется, что именно в этот период целесообразно оценить и по возможности использовать на перспективной мобильной технике преимущества ДСТ, по которым в мире в последние годы имеются очевидные достижения. Сопоставление их свойств с совокупностью вариантов требований к трансмиссиям со стороны многочисленных моделей и модификаций белорусской мобильной техники показывает, что применение ДСТ может оказаться предпочтительным для многих из них.

Однако самое важное — гибриды. В пределах модульного построения возможны различные виды архитектуры ГСУ — с одним или двумя МГ, устанавливаемыми вне коробки передач или внутри нее. Последний вариант — это и есть ГЭМТ — самая перспективная, на наш взгляд, АТ. И кроме гибридных, на базе ГЭМТ могут легко получаться различные варианты электромеханической многопоточной трансмиссии (ЭМТ) — еще одного перспективного вида АТ.

Поскольку комплектный электропривод (электрические машины и инверторы с локальными системами управления, системы управления верхнего уровня) — ключевой элемент ГСУ, ГЭМТ и ЭМТ, необходимо создание специализированного производства электромашин и сопутствующих компонентов.

Следует отметить, что Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, наряду с традиционной тематикой ГМП, выполняет в рамках программы научных исследований «Механика» ряд заданий по гибридной технике (ГСУ и ГЭМТ), а также по ДСТ. Их результаты также могут быть использованы.

6. К вопросу о научно-техническом, кадровом, организационном и финансовом обеспечении создания и освоения промышленностью республики современных приводов. Предположим, что положительное принципиальное решение по центральной проблеме создания современных приводов — организации собственного производства трансмиссий на специализированном заводе — будет принято. Первоочередным вопросом при его реализации станет создание объектов производства. В отношении новых типов АТ альтернатива очевидна: самостоятельная разработка либо приобретение лицензий. Последний вариант менее предпочтителен, так как изначально закладывает зависимость от зарубежных производителей. А это важнейшая проблема для отрасли в целом и, в том числе, для упомянутого завода.

Необходимо учитывать, что современная АТ — это мехатронный объект с высокой долей стоимости электроники и программно-алгоритмического обеспечения (в ГСУ и ГЭМТ — порядка 50 %), который *может быть отнесен к пятому технологическому укладу*. Ибо известно, что разработка алгоритмического и программного обеспечения МСУ, включающая глубокие расчетно-экспериментальные исследования динамики объекта управления и его безопасности, порой дороже, чем ее аппаратная часть. Современные МСУ АТ — интеллектуальные адаптивные системы, разработка которых — позволим себе сказать — предполагает высокий интеллект разработчика.

Известная проблема вузовской подготовки специалистов — возрастающий разрыв между объемами информации по базовому образованию и специальности, получаемым в рамках учебных программ, и объемами, реально необходимыми для успешной самостоятельной практической работы. В связи с многократным возрастанием сложности современной техники она в таких объемах в принципе не может быть изложена в программах базового образования, а только посредством дополнительной *послевузовской или специальной подготовки*. И нет никаких сомнений, что собственных специалистов требуемого уровня по рассматриваемой тематике необходимо целенаправленно готовить.

Таким образом, научно-техническое, а значит, и кадровое обеспечение разработки этих объектов производства приобретает принципиальное значение.

Поэтому освоение известных и создание собственных *ноу-хау* в этой области — дорогостоящий процесс, который не может быть выполнен на должном уровне без достаточного финансового, организационного и материального (включая создание адекватной экспериментально-исследовательской базы) обеспечения. И не может быть компенсирован, тем более, заменен аутсорсингом.

Выводы. 1. За последние 10 лет неизмеримо возросли объемы мирового производства приводов с автоматическими трансмиссиями для мобильной техники. Их конструкции кардинально изменились. *К настоящему времени все ведущие мировые компании создали и освоили массовое производство современных высокоэкономичных и надежных автоматических трансмиссий с прецизионными мехатронными системами управления как основы большинства типов приводов.*

2. Автоматические трансмиссии стремительно распространяются практически на все виды мобильной техники (невзирая на некоторое повышение начальной цены). Показательно, что даже гибридные автомобили не обходятся без автоматических трансмиссий для обеспечения оптимальных режимов работы электрических машин.

3. Создание семейств современных отечественных приводов, включающих автоматические, в том числе гибридные, модификации, — одно из основных

условий обеспечения конкурентоспособного уровня мобильной техники Беларуси и России.

4. К сожалению, на постсоветском пространстве новые конструкции автоматических трансмиссий и в целом новых приводов в серийном и массовом производстве пока не появились. Более того, *за последние годы редко появлялась актуализированная русскоязычная информация по данному направлению, и сегодня ее современный гигантский объем доступен только на иностранных языках.*

5. Можно полагать, что на ближне- и среднесрочную перспективу гидромеханические передачи останутся безальтернативными в ряде традиционных областей применения, а также войдут в область гибридных силовых установок в качестве важного компонента. Таким образом, в обозримом будущем технологии гидромеханических передач не только сохранят свое значение в мире, но и получат дальнейшее развитие как самостоятельно, так и в составе гибридных силовых установок и других типов автоматических трансмиссий.

6. Знаковым достижением в области трансмиссий для тяжелых грузовых автомобилей является создание в 2013–2014 годах гибридных электромеханических трансмиссий мощностью до 600 л. с. компаниями Allison (модель H3000), а за ней ZF Friedrichshafen AG (модель TraXon Hybrid), которые «выросли» из гидромеханических и сохранили с ними преемственность.

7. За последние годы в сегменте тяжелых гидромеханических передач впервые появились модели, обогнавшие по числу ступеней новые ГМП легковых моделей Toyota, General Motors и Mercedes. Это модель TC10 на мощность до 600 л. с. компании Allison, имеющая 10 ступеней переднего и две заднего хода, и модель TraXon компании ZF Friedrichshafen AG, предлагаемая в вариантах с 12 и 16 ступенями переднего и до четырех ступеней заднего хода. Уникальность TC10 в том, что, по заявлению компании, ее КПД впервые стал выше, чем у механических коробок передач, что обеспечит ее применение в магистральных автопоездах.

8. Обращает внимание модульная конструкция трансмиссии TraXon, состоящей из базовой коробки передач и пяти модулей. Фактически это принципиально новый тип производства таких приводов, который заслуживает самого пристального внимания при создании новых трансмиссий.

9. Одним из наиболее перспективных направлений развития гибридных силовых установок является переход от применения автономных электрических машин к их установке непосредственно в картерах гидромеханических передач или других трансмиссий, то есть, к исполнению в виде гибридных электромеханических. Это позволяет уменьшить габариты, вес и упростить конструкцию гибридной силовой установки, а также обеспечить необходимое для электрических машин жидкостное охлаждение посредством общей с гидромеханической передачей системы охлаждения.

10. Одна из тенденций последних лет — значительный рост применения автоматизированных механических коробок передач. Известные компании Daimler Trucks North America, Paccar сообщают, что в прошлом году их имела половина проданных ими тягачей. Компания Volvo сообщила, что уже сегодня продает более трех четвертей своих грузовых автомобилей с такими трансмиссиями.

11. Ведущие автомобильные компании мира обратились в последние годы к идее преселекторной механической коробки передач. Ключевой ее компонент — узел из двух фрикционных сцеплений с мехатронной системой автоматического управления, что позволяет обеспечить переключение ступеней без разрыва потока мощности и является важным преимуществом по сравнению с автоматизированными механическими.

12. Достижение современного уровня собственных выпускаемых приводов каждым заводом в одиночку затруднительно и проблематично. Выход — в объединении потенциалов — создании единого центра высокой компетенции.

13. Как показывает анализ, зарубежные компании непрерывно совершенствуют конструкции трансмиссий и почти каждые два-три года создают новые модели. В этих условиях практически нереален аутсорсинг в области НИОКР на постоянной основе.

14. Один из важных факторов, способствующих быстрому росту применения автоматических механических и преселекторных (с двумя сцеплениями на входе) трансмиссий на тяжелых грузовых автомобилях и автопоездах — переход к многоуровневому интегрированному модульному мехатронным системам управления двигателем и трансмиссий. Такие интегрированные системы значительно повышают качество и эффективность процессов управления силовым агрегатом, что способствует популярности имеющих их автомобилей.

15. Эффективным путем решения проблем создания современных приводов для выпускаемой белорусской мобильной техники представляется организация собственного централизованного производства трансмиссий со строительством специализированного завода.

Список литературы

30. Поддубко, С.Н. / Развитие мобильной техники на основе электромеханических технологий // С.Н. Поддубко, П.Л. Мариев, Л.Г. Красневский // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — 2014. — Вып. 3. — С. 12–17.
31. Гибридные энергетические установки мобильных машин — конкурентоспособное направление развития машиностроения Беларуси / А.А. Дюжев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2014. — № 2. — С. 5–14.
32. Красневский, Л.Г. Перспективы применения гибридных силовых установок в военной автомобильной технике (по материалам зарубежной печати) / 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. 77–82.
33. Case study: Toyota Hybrid Synergy Drive [Электронный ресурс]: 20110606092430_HEV_Toyota.
34. Hybrid system: Allison transmission, Ins.: Pat. US 8 545 367 B2. — Oct. 1, 2013.
35. Красневский, Л.Г. Многопоточные многорежимные гибридные электромеханические трансмиссии / Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко, П.Л. Мариев // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — 2014. — Вып. 3. — С. 64–66.
36. Overview of Allison Transmission, Inc's New Technology for Commercial Vehicles. H300 Hybrid. — Mode of access: http://www.emi-fleetmanagementsystems.com/ntea_presentations/4.pdf. — Date of access: 10.10.2016.
37. Красневский, Л.Г. Управление гибридными электромеханическими трансмиссиями: архитектура, технические средства и типовые задачи систем управления верхнего уровня / Л.Г. Красневский // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — 2013. — Вып. 2. — С. 63–68.

KRASNEVSKY 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 of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received 14 June 2016.

ON DEVELOPMENT OF AUTOMATED DRIVE SYSTEMS FOR DOMESTIC MOBILE ENGINEERING. PART 2

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

30. Poddubko S.N., Mariev P.L., Krasnevskiy L.G. Razvitie mobil'noy tekhniki na osnove jelektromekhanicheskikh tekhnologiy [Development of mobile engineering based on electromechanical technology]. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sb. nauch. tr.* [Topical Issues of Mechanical Engineering: collection of scientific articles], 2014, no. 3, pp. 12–17.
31. Dyuzhev A.A. [et al.] Gibridnye jenergeticheskie ustanovki mobil'nyh mashin — konkurentosposobnoe napravlenie razvitiya mashinostroeniya Belarusi [Hybrid power systems of mobile machines — competitive development direction of mechanical engineering in Belarus]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2014, no. 2, pp. 5–14.
32. Krasnevskiy L.G., Poddubko S.N., Nikolaev Yu.I. Perspektivy primeneniya gibridnyh silovyh ustanovok v voennoj avtomobil'noj tekhnike (po materialam zarubezhnoj pečati) [Prospects for the use of hybrid propulsion systems in military vehicles (based on foreign press)]. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sb. nauch. tr.* [Topical Issues of Mechanical Engineering: collection of scientific articles], 2014, no. 3, pp. 77–82.
33. *Case study: Toyota Hybrid Synergy Drive.* Available at: https://20110606092430_HEV_Toyota/ (accessed 10 October 2016).
34. *Hybrid system: Allison transmission, Ins. Pat. US, no. 8 545 367 B2, 2013.*
35. Krasnevskiy L.G., Poddubko S.N., Mariev P.L. Mnogopotochnye mnogorezhimnye gibridnye jelektromekhanicheskie transmissii [Multi-threaded multi-mode hybrid electromechanical transmission]. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sb. nauch. tr.* [Topical Issues of Mechanical Engineering: collection of scientific articles], 2014, no. 3, pp. 64–66.
36. *Overview of Allison Transmission, Inc's New Technology for Commercial Vehicles. H300 Hybrid.* Available at: http://www.emi-fleetmanagementsystems.com/ntea_presentations/4.pdf/ (accessed 10 October 2016).
37. Krasnevskiy L.G. Upravlenie gibridnymi jelektromekhanicheskimi transmissijami: arhitektura, tekhnicheskie sredstva i tipovye zadachi sistem upravleniya verhnego urovnja mashin [Hybrid electromechanical transmission control: architecture, hardware, and common tasks of the upper level machine control systems]. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sb. nauch. tr.* [Topical Issues of Mechanical Engineering: collection of scientific articles], 2013, no. 2, pp. 63–68.