



МЕХАНИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

УДК 629.038

А.А. ДЮЖЕВ, канд. техн. наук; П.Л. МАРИЕВ, д-р техн. наук;
Л.Г. КРАСНЕВСКИЙ, чл.-корр. НАН Беларуси;
С.Н. ПОДДУБКО, канд. техн. наук; А.В. БЕЛЕВИЧ
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

ГИБРИДНЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН — КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ БЕЛАРУСИ

На основе анализа состояния и тенденций развития мирового производства автомобилей с гибридными силовыми установками показано, что в последние два-три года начался процесс распространения таких установок на средние и тяжелые грузовые автомобили и другую мобильную технику — на ту область, в которой находится вся продукция белорусского машиностроения. Представлены основные положения разработанной Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси программы координации работ в области гибридных технологий, которая будет способствовать ускорению интеграции в это быстро развивающееся глобальное направление.

Ключевые слова: гибридные силовые установки, мобильные машины, тяговый электропривод

Введение. В области транспорта — одного из главных потребителей энергоресурсов — начало нынешнего века ознаменовалось стремительным развитием технологии гибридных силовых установок как эффективного средства снижения потребления жидкого углеводородного топлива и загрязнения окружающей среды. За последнее десятилетие их внедрение стало главным направлением технического прогресса мирового автомобилестроения и привело к созданию принципиально новых конструкций автомобилей с гибридными (комбинированными) и электрическими силовыми установками (ГСУ и ЭСУ), в том числе с ГСУ на водородных топливных элементах. Фундаментальное их отличие от классических установок с одиночным двигателем внутреннего сгорания (ДВС) — наличие источника электрической энергии в качестве основного (в ЭСУ) или дополнительного. В ГСУ источниками энергии являются ДВС, электрические генераторы, химические источники тока (аккумуляторные батареи) и/или суперконденсаторы, в ЭСУ — аккумуляторные батареи и/или суперконденсаторы, в водородных ГСУ — батарея топливных элементов с источником водорода. Также во всех ГСУ и ЭСУ имеется электрическое устройство рекуперации энергии торможения.

Таким образом, электропривод на современном этапе научно-технического прогресса стал общим ключевым компонентом новейших технологий в области транспорта, которые можно коротко обозначить как электрическую, гибридную и водородную. В сущности, речь идет о новой глобальной технологии получения на борту автомобиля механической энергии для его движения [1].

Наиболее экономичными и экологичными являются ГСУ с топливными элементами на водороде. КПД топливного элемента — около 50 %. Считается, что совместно с рекуперацией энергии торможения КПД такой ГСУ может быть поднят до 75 %, т. е. почти в три раза по сравнению с ДВС. Учитывая неограниченные запасы водорода в природе и экологическую чистоту процесса, переход к водородной энергетике рассматривается как один из наиболее реальных путей кардинального снижения потребления жидкого углеводородного топлива и улучшения экологии, в том числе и на транспорте. Создано большое число образцов автомобилей на топливных элементах, и работы в этом направлении активно продолжаются. Однако массовому их внедрению должно сопутствовать создание соответствующей инфраструктуры — производства достаточных объемов водорода и доставки его массовому потребителю, что требует времени и

значительных затрат. *Полагают, что за требуемое для решения этой задачи время будет детально отработан электропривод в составе ГСУ и ЭСУ, которые не только экономичны, но и могут стать переломным этапом к эре водорода.*

Электромобили также идеальны с точки зрения экологии. Однако высокая стоимость, вес и проблемы подзарядки электрических накопителей энергии пока ограничивают области их применения сравнительно малыми мощностями или особыми требованиями эксплуатации. В то же время быстрый прогресс аккумуляторных батарей способствует развитию электромобилей.

В силу изложенного, ГСУ за последние годы вышли на ведущие позиции в развитии мирового автомобилестроения. Практика массовой эксплуатации легковых гибридных автомобилей подтвердила, что они позволяют экономить до 20–30 % жидкого топлива. Наибольший эффект ГСУ дают на автомобилях, работающих с частыми остановками, так как обеспечивают накопление кинетической энергии торможения с возвратом ее при последующем разгоне. Другое преимущество — значительное снижение токсичности выхлопных газов, достигаемое за счет целого ряда их конструктивных особенностей. Передовые страны включили освоение технологий ГСУ в число национальных приоритетов и оказывают этому направлению государственную поддержку.

За последние четыре–пять лет отношение к ГСУ, к конкретным работам и инвестициям в этой области кардинально изменилось. Легковые автомобили с ГСУ уже в массовом производстве. На повестке дня тяжелая мобильная техника. Уже не найти ни одной серьезной автомобильной компании, которая не вела бы такие работы. *В свете изложенного очевидно, что развитие НИОКР в данной области сегодня актуально для всех обладающих развитым машиностроением стран, к которым относится и Беларусь.*

О современном состоянии и перспективах развития ГСУ.

Легковые автомобили с ГСУ. Автомобильный электропривод известен очень давно. Первый электромобиль был построен в 1839 году, а первая гибридная энергоустановка запатентована в 1906 году. Однако только в конце 1997 года японская компания Тойота первой в мире начала массовое производство гибридных легковых автомобилей модели «Тойота Приус». Выпускается уже четвертое поколение «Приусов», а общее их число достигло нескольких миллионов. На сегодняшний день практически все ведущие компании имеют в составе своих модельных рядов такие автомобили, в обиходе кратко именуемые «гибридами».

Одной из главных причин растущей популярности ГСУ является тот эффект, который дает сложение мощностей ДВС и электрического источника энергии. Использование при разгоне транспортного средства энергии, накопленной при его торможении, уже само по себе дает экономию топлива. Но, как известно, в крейсерском режиме движения автомобиль исполь-

зует лишь около 25 % мощности ДВС. Поэтому в ГСУ оказывается возможным снизить вплоть до 50 % номинальную мощность ДВС, а значит, уменьшить габариты, потери, и при этом использовать экономичные режимы его работы, а также отключение при кратковременных остановках (режим «старт-стоп»).

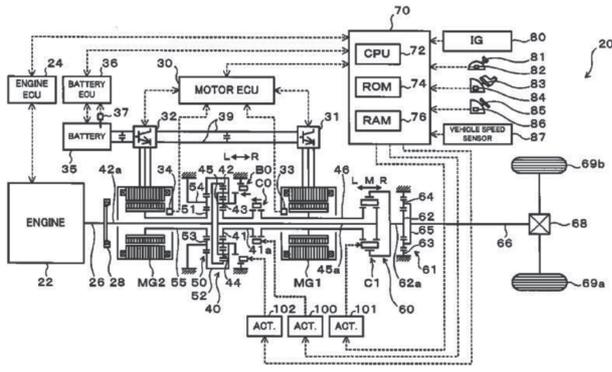
При всем разнообразии конструкций известны три типовые кинематические схемы ГСУ — последовательная, параллельная и комбинированная. В первой связь между ДВС и ведущими колесами только электрическая. Две другие позволяют приблизиться к традиционным конструкциям автомобилей массового производства и снизить стоимость. В этих рамках отработаны и поставлены на поток варианты исполнения «микро-», «легких» и «полных» гибридов с соответствующей градацией мощности — от очень малой до средней и большой [2].

Таким образом, архитектура ГСУ может варьироваться в достаточно широких пределах. Однако проведенный нами анализ [3], [4] показал, что в последние годы *наметилась четкая тенденция — применение комбинированной схемы с установкой обратимых электрических машин — мотор-генераторов (МГ) — в общем картере с автоматической коробкой передач.* Другими словами, процесс гибридизации привел к созданию гибридных автоматических трансмиссий. В дословном переводе с английского [2] «electronic-Continuously Variable Transmission» (сокращенно e-CVT) это «электронные бесступенчатые трансмиссии». Для русской терминологии представляется более подходящим термин «гибридная электромеханическая трансмиссия» (далее — ГЭМТ).

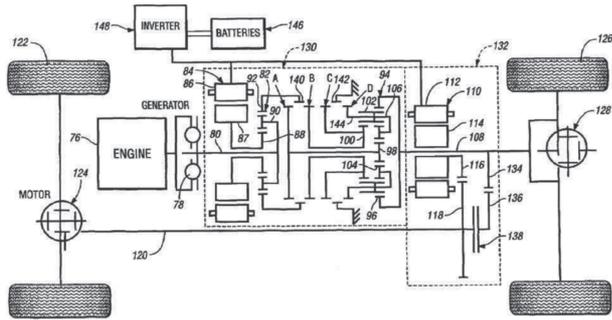
ГЭМТ — новый перспективный вид автоматических трансмиссий, к созданию которых привели поиски рациональных технических решений в области ГСУ. На данном этапе применение ГЭМТ как основы структуры ГСУ *выдвигается в число новых формирующихся в мировом автомобилестроении направлений.* В качестве примера на рисунке 1 приведены кинематические схемы ГЭМТ компаний Тойота [5], Форд [6], Хонда [7] и на рисунке 2 — Джeneral Моторс (Аллисон) [8]. Единство их архитектуры представляется очевидным. Они защищены большим количеством патентов, хотя на рисунках указано только по одному из них.

ГЭМТ — это единый компактный агрегат, в который входят бескорпусные МГ, зубчатые механизмы, многодисковые фрикционы и локальная мехатронная система управления. ГСУ же включает в себя ДВС, ГЭМТ, накопители энергии и систему управления верхнего уровня. Следует отметить, что применение ГЭМТ прослеживается и на грузовых автомобилях (см. далее).

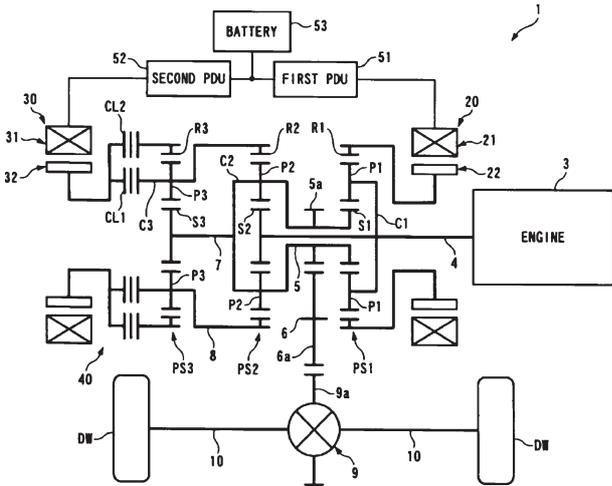
ГСУ — ярко выраженный мехатронный объект, который не может функционировать без комплекса электронных систем управления, составляющих значительную долю ее «ноу-хау» и стоимости. Это сложнейшие многоуровневые мехатронные системы. В этой области, например, Тойота уже владеет более чем 4 000 патентами США на свои конструкции. И в со-



а



б



в

Рисунок 1 — Гибридная электромеханическая трансмиссия:
 а — ГЭМТ компании Тойота ([5], 2011 г.);
 б — ГЭМТ компании Форд ([6], 2009 г.);
 в — ГЭМТ компании Хонда ([7], 2011 г.)

ответствии с принципами неприкосновенности интеллектуальной собственности такую же защиту собственных конструкций ГСУ имеют Дженерал Моторс, Форд и другие участники этого рынка.

Говоря о перспективах, уместно упомянуть о новом электромобиле премиум-класса американской компании Тесла, который стал главным событием прошедшего года в области гибридов как самое яркое воплощение их возможностей. Его пробег на одной зарядке литий-ионных батарей емкостью 85 кВт·ч достиг 350 миль, суммарная мощность двух МГ 416 л.с., разгон до 100 км/ч — 4,3 с. Стандартная зарядка бата-

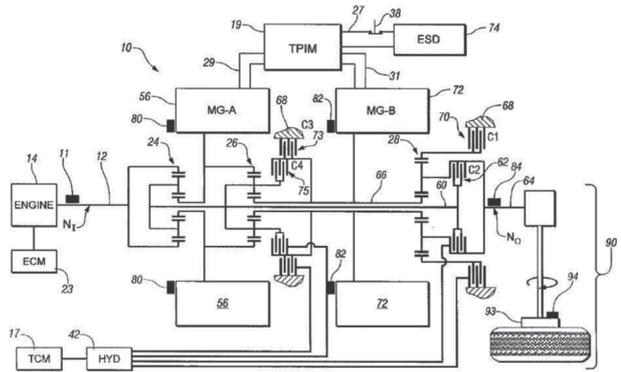


Рисунок 2 — ГЭМТ компании Дженерал Моторс. Аллисон ([8], 2012 г.)

рей в домашних условиях длится 6 ч, но стоит порядка 7 долл. — в 10 раз дешевле бензина. Скоростная зарядка на специальных станциях фирмы в разы быстрее, но там же можно и заменить разряженный комплект батарей за 1,8 мин за 60–80 долл., как за обычную заправку бензином. При этом владельцы освобождаются от транспортного налога, налога на добавленную стоимость, платы за регистрацию [9].

Итак, за прошедшие полтора десятилетия именно на легковых автомобилях отработаны теория и техника, получен колоссальный практический опыт производства и эксплуатации ГСУ, что является фундаментальной научно-технической базой для их распространения на грузовые автомобили и другие виды тяжелых мобильных машин.

Автобусы. Как известно, основным объектом применения ГСУ долгое время считался рейсовый автобус, эксплуатируемый в условиях режимов движения современного города, для которых характерны невысокие средняя и максимальная скорости, большое число остановок и малые расстояния между ними. Именно на таких режимах хорошо проявляется эффект регенеративного торможения, так как доля накопленной энергии в суммарных ее затратах на разгоны с остановки до скорости транспортного потока становится очень существенной. Серийному производству предшествовали многолетние всесторонние испытания и опытная эксплуатация как одиночных автобусов, так и их партий в США и Европе. Так, компания Дженерал Моторс (Аллисон) в 1989 году приступила к разработке таких ГСУ, а в 2003 году начала их производство для городских и междугородных автобусов и к настоящему времени выпустила уже в количестве более 5000 [10].

На сегодняшний день крупнейшими рынками сбыта автобусов с ГСУ являются США и Канада. Основные поставщики — компании Дженерал Моторс (Аллисон), Итон, ИСЕ (ISE), БАЕ (США), Сименс, Мерседес, Фойт, Цанрадфабрик (Германия), Вольво (Канада). В отношении конструкций ГСУ примечательно, что половина названных компаний выпускает последовательные ГСУ, а другая — параллельные или комбинированные. Но при этом как у одних, так и у других четко просматривается стремление к преем-

ственности с предшествующим производством. Так, например, в последовательных ГСУ автобусные компании устанавливают на ДВС генератор, а на ведущий мост — высокоскоростные МГ с редукторами. Все компании, специализирующиеся на производстве трансмиссий, — Аллисон, Итон, Цанрадфабрик, Вольво — начинали с их гибридизации, устанавливая блок МГ между ДВС и ГМП. При этом в последней сохранялся даже гидросансформатор. В дальнейшем его место в картере трансмиссии занял бескорпусной МГ. Его ротор и статор закреплены на элементах ГМП, что и превратило ее в ГЭМТ. Появились различные варианты такой компоновки (см., например, [11]). Но сохранение многоступенчатой трансмиссии в составе ГСУ стало правилом. При этом Цанрадфабрик наряду с ГЭМТ для автобусов и среднетоннажных грузовых автомобилей также выпускает электрический порталный мост с двумя бортовыми МГ, которые посредством редукторов связаны с колесными планетарными передачами. Мост предназначен для автобусов с ГСУ последовательной схемы, а в перспективе и для электробусов.

По опубликованным данным, названные выше компании выпустили к 2011 году около 10 000 различных типов автобусов с ГСУ, а в 2012–2013 годах начало увеличиваться число заказов на такие машины от транспортных компаний крупных городов, в том числе и в Европе.

На территории СНГ тематика гибридных автобусов появилась только в последние годы. Первые экспериментальные образцы автобусов с гибридными силовыми установками выпущены несколькими предприятиями России.

Из рассмотренных материалов следует, что в Европе, США и Канаде производство автобусов с ГСУ вышло на промышленный уровень. При этом реально достигнутая на сегодняшний день экономия топлива составляет от 20 до 30 % в зависимости от режима эксплуатации и достигается с использованием ГСУ всех типов (последовательной, параллельной и комбинированной).

Средние и тяжелые грузовые автомобили. Термин «гибриды» уже привычен слуху каждого автомобилиста, и даже в Минске «живые» гибриды — не диковинка. Но пока их массовое производство распространялось лишь на легковые автомобили, актуальность этой тематики для белорусского машиностроения, традиционно специализирующегося на тяжелой колесной технике, казалась весьма далекой.

По данным статистики, в 2002 году в США было 223 млн легковых транспортных средств (легковых и спортивных автомобилей, пикапов, мотоциклов) и около 6 млн коммерческих грузовых автомобилей. Из них около 396 000 относились к классу 4 (полный вес до 16 000 фунтов). И если первые потребили за год 137 млрд галлонов топлива, то вторые — 37. Т. е., менее 3 % популяции транспортных средств было израсходовано 27 % общего количества топлива.

Таким образом, стало очевидно, что применение ГСУ на грузовых автомобилях с точки зрения экономии топлива и снижения вредных выбросов значительно эффективней, чем на легковых. И кардинальное изменение ситуации в этом плане произошло, на наш взгляд, в 2013 году. Компания Аллисон (входившая до последнего времени в состав Дженерал Моторс) — крупнейшая в мире по производству тяжелых гидромеханических передач (ГМП) и гибридных автобусных передач — первой в мире объявила о создании ГЭМТ для средних и тяжелых грузовых автомобилей различного назначения (рисунок 3), которая разработана на базе опыта их применения на транзитных автобусах (см. выше). По приведенной информации, новая ГЭМТ дает экономию топлива до 25 % в зависимости от условий эксплуатации и особенностей ездового цикла. На 2013 год было анонсировано начало ее серийного производства, а также создание типоразмерного ряда таких трансмиссий [14]. В это же время ведущая немецкая компания в области трансмиссий Цанрадфабрик также показала новое семейство автоматических трансмиссий ТраХон (рисунок 4) для средних и тяжелых грузовых автомобилей, которое включает и гибридную модификацию [15].

Пристальное внимание к применению гибридных (в том числе на водороде) грузовых автомоби-

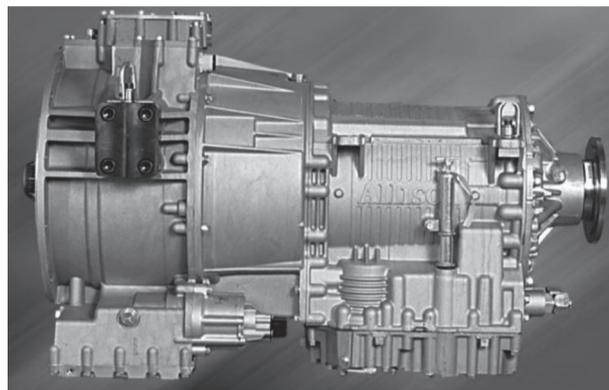


Рисунок 3 — Гибридная трансмиссия модели H3000 компании Allison для средних и тяжелых грузовых автомобилей (производство с 2013 года) [13]

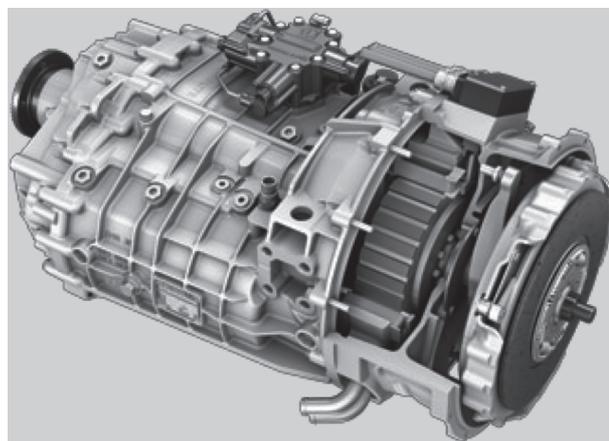


Рисунок 4 — Гибридная трансмиссия модели HyTronic компании ZF для грузовых автомобилей [12], [15]

лейлы проявляет армия США. По опубликованным данным, она располагает одним из крупнейших в стране автомобильным парком, насчитывающим порядка 250 000 единиц. Поэтому три из четырех главных потребителей жидкого топлива на театре военных действий — это грузовые автомобили. По тем же данным, топливо занимает до 70 % объема прифронтовых грузовых перевозок, а стоимость одного галлона, доставленного в этот район, возрастает почти на два порядка и достигает 400 долл. [16]. *Это объясняет высокую заинтересованность в применении ГСУ, которые позволяют не только сократить расходование топлива военной техникой, но и рассматриваются как эффективное средство повышения мобильности, а значит, боеготовности армии.*

Ожидаемая экономия топлива, созданного компанией Дженерал Моторс для армии тяжелого грузового автомобиля с ГСУ параллельной схемы с дизелем мощностью 210 л.с., составляет 25 % по сравнению с обычным и до 40 % по сравнению с бензиновым [17]. Еще привлекательней сократить потребление топлива в три раза при переходе на водородные ГСУ. В этой связи следует отметить, что упомянутый автомобиль уже имеет вспомогательную энергетическую установку на водородных топливных элементах мощностью 5 кВт для питания мощных электронных систем и оборудования, а также может работать в стационарном режиме как электрогенератор мощностью до 30 кВт для питания внешних потребителей. Водород получают на борту путем электролиза воды с использованием электроэнергии от ГСУ.

Следует отметить, что на первом этапе наиболее перспективным для внедрения ГСУ были признаны развозные грузовые автомобили — фургоны для доставки продуктов питания и других товаров в городские торговые сети. Они, как и городские автобусы, работают с частыми остановками и короткими пробегами. С другой стороны, это категория машин, достаточно многочисленная для окупаемости их производства. В продаже уже имеется ряд таких моделей. Например, компания Итон выпустила ГЭМТ модели ЕН-6Е606В-СД для пикапов и низкопольных городских развозных автомобилей полным весом до 15 т, обеспечивающую экономию топлива до 50 %. Она содержит ГСУ параллельной схемы с последовательно установленными сцеплением, МГ пиковой мощностью 44 кВт и шестиступенчатой преселекторной коробкой передач [17]. А ее модификация ЕН-8Е306А-УР для средних грузовых и муниципальных уборочных автомобилей того же полного веса дает экономию до 60 % в зависимости от вида трафика. Кроме того, компания Итон также выпускает и *гидравлическую модификацию ГЭМТ для грузовых автомобилей*, которая, по данным испытаний, в тяжелых условиях эксплуатации эффективней электрической. В качестве накопителей энергии здесь используются гидропневматические аккумуляторы высокого давления, которые имеют лучшие удельные по-

казатели 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.

В то же время отмечается, что даже в США одним из препятствий на данном начальном этапе стала недостаточная взаимная информированность производителей и потребителей грузовых автомобилей о потенциале производства, потребностях рынка, стоимости новых гибридов и возможных предпочтениях со стороны государства. По образному выражению, *здесь сложилась известная ситуация курицы и яйца*. Производители, имея готовые к производству модели, ждут, пока наберется достаточное число заказов для достижения рентабельности при приемлемых для потенциальных покупателей ценах, а последние далеко не всегда имеют ясное представление о ГСУ и не решаются инвестировать в такую технику, не имея точных данных о сроках ее окупаемости. А она, в свою очередь, сильно зависит от затрат на топливо в эксплуатации: при оптимистических и пессимистических прогнозах поведения цен на топливо срок окупаемости может изменяться в два раза и более. По сообщениям, здесь также важна роль армии как крупного потребителя, заказы которого, финансируемые из бюджета, будут способствовать решению названных проблем.

Опираясь на опыт массового производства и эксплуатации гибридных легковых автомобилей, США вступили в фазу активного применения ГСУ на средних и тяжелых грузовых автомобилях. Опубликованные данные последних двух-трех лет показывают, что к настоящему времени ведущие производители грузовых автомобилей создали различные гибридные модификации и практически подготовились, а некоторые уже и приступили к их производству.

О перспективах применения гибридных силовых установок в Беларуси. Тяговый электропривод хорошо известен в республике. Он широко применяется на автомобилях БелАЗ, троллейбусах и трамваях Белкоммунмаш и МАЗ. В середине 80-х годов прошлого века на МАЗе был создан сверхтяжелый полноприводный колесный транспортер с электроприводом как один из вариантов транспортной базы стратегических подвижных грунтовых ракетных комплексов. Все карьерные самосвалы особо большой грузоподъемности ПО «БелАЗ» оснащаются дизель-генераторными силовыми установками с генераторами и тяговыми электродвигателями большой мощности. Ввиду отсутствия в республике собственного производства они постоянно закупаются по импорту. Первоначально это были машины постоянного тока. К настоящему времени созданы модификации наиболее востребованных самосвалов БелАЗ грузоподъемностью 136 т и 240 т с перспективным электроприводом переменного тока, а новые 360-тонный и 450-тонный самосвалы были сразу созданы с таким

приводом. Для сохранения конкурентоспособности и укрепления своих позиций на мировом рынке БелАЗ должен перевести на такой привод всю выпускаемую технику с электромеханическими трансмиссиями. Для этого необходим соответствующий типоразмерный ряд комплектных электроприводов переменного-переменного тока.

К настоящему времени уже все белорусские машиностроительные предприятия в той или иной степени пришли к необходимости применения в выпускаемой технике тягового электропривода. Минский тракторный завод создал экспериментальные образцы тракторов с электроприводом, которые были награждены медалью на международной выставке в Ганновере в 2009 году. Белкоммунмаш создал образец троллейбуса, снабженный современным электроприводом и накопителем энергии, обеспечивающими автономное движение на участках без контактной сети. Троллейбусы на базе своих моделей автобусов создал и Минский автозавод. По заданию ГНТП «Машиностроение» ОИМ НАН Беларуси и МАЗом совместно создан многозвенный автопоезд с дизель-электрическим приводом тягача и активных прицепных звеньев.

Если учесть, что возможность установки накопителей, позволяющих реализовать режим рекуперации энергии торможения, на упомянутых новых образцах машин представляется естественной, то можно констатировать, что наша промышленность вплотную подошла к созданию собственных гибридных автомобилей и тракторов в русле самых передовых тенденций мирового технического прогресса.

К сожалению, проблема заключается в том, что практически весь упомянутый электропривод является импортным, преимущественно российским. Но российские организации сегодня не могут предложить законченные и практически отработанные конструктивные решения по гибридным установкам, которые находились бы на уровне передовых зарубежных образцов. Не представляется реальной и поставка их из дальнего зарубежья по крайней мере потому, что неизбежно потребовалась бы дорогостоящая адаптация.

Ускоренное развитие работ в области гибридной техники и гибридных технологий призвано обеспечить реализацию стратегических приоритетов, изложенных в концепции Программы развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года. *В этих условиях становится целесообразной организация собственного производства комплектных электроприводов как нового перспективного и высокотехнологического научно-технического направления.*

В соответствии с поручением Совета Министров от 20.05.2013 № 07/540-200 нашим институтом разработана Программа координации работ в области в гибридных технологий (далее — Программа). Она содержит комплекс мер, направленных на координацию работ по созданию и разви-

тию научной, технической и технологической базы в области гибридной техники и гибридных технологий в Республике Беларусь, на объединение усилий организаций и предприятий в интересах ускоренного формирования индустрии новых наукоемких импортозамещающих компонентов.

Таким образом, программа направлена на реализацию новых подходов к созданию перспективной энергоэффективной автомобильной, тракторной, карьерной, дорожно-строительной техники, городского электротранспорта, сельскохозяйственных и специальных машин, соответствующих современным экологическим стандартам. Создаваемые в рамках программы компоненты (электрические генераторы, системы преобразования тока, накопители электрической энергии и др.) также смогут успешно использоваться в альтернативной энергетике и других секторах экономики.

Предварительная оценка потенциальной внутренней потребности белорусского машиностроения в комплектных приводах для перспективных моделей новой техники (без учета потенциальных возможностей роста экспорта) составляет около 4 500 единиц, а с учетом экспорта эта цифра может превысить 10 000. При таких объемах становится целесообразным собственное производство комплектных гибридных приводов как перспективное высокотехнологичное направление.

В программе дана прогнозная оценка возможностей выпуска отдельных составляющих ГСУ, которая определена с учетом заделов НИОКР и наличия производственных мощностей.

Развитие гибридных технологий будет происходить поэтапно. При этом на первом этапе предусматривается усиление роли НИОКР по созданию опытных образцов компонентов.

Прогноз обеспеченности потребностями в комплектующих изделиях гибридных и электрических приводов для планируемых к выпуску перспективных мобильных машин на период до 2020 года дан в приведенной ниже таблице.

Заключение. Современные гибридные технологии преобразования энергии различных бортовых источников в механическую энергию движения автомобиля (в том числе рекуперации кинетической энергии торможения) позволяют кардинально повысить КПД этого процесса. Этим обусловлен их выход на уровень глобального направления развития мирового автомобилестроения. Ключевым компонентом таких технологий является электропривод.

В последние два-три года начался процесс распространения ГСУ на средние и тяжелые грузовые автомобили и другую тяжелую мобильную технику, т. е. на типы и диапазоны мощностей, в которых находится вся продукция белорусского машиностроения.

Разработанная Программа координации работ в области гибридных технологий будет способство-

Таблица — Прогноз обеспеченности потребности в комплектующих изделиях гибридных и электрических приводов для планируемых к выпуску перспективных мобильных машин на период до 2020 года

Наименование изделий	Обеспеченность потребности по годам, %			
	2013	2014	2015	2020
Тяговые электродвигатели, генераторы	0	Опытные образцы	20	60
Автоматизированные системы управления	40	50	60	80
Преобразователи тока	15	20	60	100
Накопители энергии, суперконденсаторы	0	Опытные образцы	10	80
Гибридные гидромеханические трансмиссии	0	0	Опытные образцы	100

вать ускорению интеграции нашей промышленности в это перспективное быстро развивающееся высокотехнологичное направление.

Производственный потенциал республики позволяет организовать собственное производство модельных рядов базовых компонентов комплектных тяговых электроприводов для ГСУ. Эта продукция, обладающая к тому же высокой добавленной стоимостью, снимет или значительно ослабит существующую полную зависимость от их импорта и станет основой для создания и производства новых конкурентоспособных моделей отечественной мобильной техники. Поэтому ориентация на импортные компоненты ГСУ в данной области бесперспективна.

Что касается освоения электропривода, то оно должно рассматриваться в контексте его ключевой роли на длительную перспективу при освоении всего шлейфа гибридных технологий.

Список литературы

1. Красневский, Л.Г. Технологии гибридных силовых установок — перспективные технологии производства автомобильной техники // Л.Г. Красневский // Перспективные технологии / под ред. В.В. Клубовича. — Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2011. — С. 166–186.
2. Hybrid Electric Vehicle Propulsion System Architectures of the e-CVT Type / John M. Miller // IEEE Transactions on Power Electronics. — 2006. — Vol. 21, No 3.
3. Красневский, Л.Г. Новая технология гибридных силовых установок мобильных машин — гибридные электромеханические трансмиссии // Л.Г. Красневский // Перспективные материалы и технологии // под ред. В.В. Клубовича. — Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2013. — С. 302–317.
4. Красневский, Л.Г. Состояние и перспективы развития автоматических трансмиссий мобильных машин / Л.Г. Красневский // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. — Вып. 1. — Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2012. — С. 125–121.
5. Power output apparatus and hybrid vehicle: US Pat. № 7,938,208 B2 / Toyota Jidosha K.K. — 2011. — May 10.
6. Electric hybrid powertrain system: US Pat. № 7,572,201 B2 / Ford Global Technologies, LLC. — 2009. — Aug. 11.
7. Power unit: US Pat. № 8,043,181 B2 / Honda Motor Co. — 2011. — Aug. 25.
8. Method and apparatus for securing an operating range state mechanical transmission: US Pat. № 8,099,219 B2 / GM Global Technology Operations LLC, Daimler AG, Chrysler LLC. — 2012. — Jan 17.
9. Tesla Motors уничтожит традиционный автопром США к 2015 году // Детали мира. — 2013. — 31 мая.
10. Allison Transmission to Unveil Fully-Automatic Hybrid for Commercial Vehicles / Allison Transmission — Investor Relations — News Release. — 2013. — March 5.
11. The Application of Electric Drive Technologies in City Buses. Zlatomir Zivanovic and Zoran Nikolic. — Mode of access: <http://dx.doi.org/10.5772/51770> — Date of access: 2012.
12. Electric Motors for Hybrid Drives [Electronic resource]. — Mode of access: http://www.zf.com/media/media/en/productfinder_media/cars/cars_powertrain_modules_hybrid_technology/pdf_10/pkw_nkw_a_hybrid_2011_en_5c.pdf.
13. Overview of Allison Transmission, Inc's New Technology for Commercial Vehicles. H300 Hybrid [Electronic resource]. — Mode of access: http://www.emi-fleetmanagementsystems.com/ntea_presentations/4.pdf
14. Top News // Automotive Engineering. — 2013. — February 5. — P. 3.
15. TraXon from ZF a modular automatic heavy transport transmission // Diesel. News.com.au. — 2013. — May 22.
16. GM reveals fuel-efficient military truck to army // ROSCRAVLER.com. 10.03.2014.
17. Eaton patented low profile hybrid electric system improves fuel economy up to 50 percent while reducing emissions and noise in pick-up and delivery applications requiring reduced vertical spatial claims [Electronic resource]. — Mode of access: <http://www.eaton.com>. — Date of access: 2014.

Djuzhev A.A., Mariev P.L., Krasnevskiy L.G., Poddubko S.N., Belevich A.V.

Hybrid propulsions of mobile machines is competitive direction of Belarus mechanical engineering

An analysis of the status and trends of the global production of cars with hybrid powerplants shows, that over the past two or three years these powerplants began to spread to medium and heavy trucks, as well as other vehicles. The above field encompasses the entire Belarusian machine-building industry. The article sets out the main provisions of the program of work coordination developed by the Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS. The aim of this program is to promote integratoin in this rapidly growing global field.

Keywords: hybrid powerplants, mobile machines, drag-out electrodrive

Поступила в редакцию 26.05.2014.