

УДК 629.3

*С. А. Рынкевич*

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСМИССИЙ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ  
МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

UDC 629.3

*S. A. Rynkevich*

**AUTOMATION OF TRANSMISSIONS OF HYDROFICATED MOBILE  
MACHINES**

**Аннотация**

Рассмотрена мобильная машина как иерархическая структура и выделены основные аспекты автоматизации ее механизмов. Описаны условия эксплуатации и режимы работы транспортных объектов. Приведены этапы и главные характеристики автоматизации гидрофицированных механизмов мобильных машин. Обосновано перспективное направление автоматизации – проектирование автомобилей с комбинированной энергетической установкой. Рассмотрены типовые схемные решения гибридных транспортных средств.

**Ключевые слова:**

автоматизация, мобильная машина, гидрофицированные механизмы, трансмиссия, комбинированная энергетическая установка, гибридный автомобиль.

**Abstract**

The article considers the mobile machine as a hierarchical structure, and the basic aspects of automation of its mechanisms are shown. The operating conditions and modes of work of transport facilities are described. Stages and main characteristics of automation of hydroficated mechanisms of mobile machines are presented. The designing of vehicles with a combined power plant is proved to be a promising area of automation. Typical schematics of hybrid vehicles are studied.

**Key words:**

automation, mobile car, hydroficated mechanisms, transmission, combined power plant, hybrid car.

***Мобильная машина как объект  
автоматизации***

Мобильная машина (ММ) представляет собой сложную, иерархически организованную систему взаимодействующих, информационно связанных и целенаправленно функционирующих элементов и подсистем. По своему назначению ММ как система охватывает ряд взаимообусловленных аспектов: энергетический, устойчивости и управляемости, безопасности и надежности, виброзащиты, улучшения условий труда и комфортабельности водителя и пас-

сажиров, управления движением, навигации и связи, информации и сервиса. Каждый из этих аспектов занимает важное место и неразрывно связан с другими аспектами, хотя и имеет разную значимость.

ММ функционирует в условиях внешней среды. Они чрезвычайно разнообразны и определяются параметрами дорожных, эксплуатационно-технических, природно-климатических характеристик, маршрутами и фазами движения, режимами нагружения, различными ситуациями, ограничениями и т. д. В

связи с этим необходимо, чтобы автомобиль был хорошо приспособлен к любой среде. Для этого нужно одновременно управлять всеми подсистемами автомобиля и учитывать поведение человека как элемента всей системы: непредсказуемость водителя при воздействии на органы управления ММ, его психофизическое и эмоциональное состояние, степень усталости, квалификацию и т. д. Естественно, что при автоматизации всей системы следует не только учитывать логику водителя, но и осуществлять управление на качественно новом уровне,

основанном на человекоподобных рассуждениях.

Переходя от функционального назначения элементов системы к структурным взаимосвязям, каждый аспект будем считать подсистемой мобильной машины. На рис. 1 представлено иерархическое дерево, отображающее аспекты проблемы автоматизации и основные подсистемы ММ, на примере автотранспортных средств (АТС), к которым относятся легковые и грузовые автомобили и автобусы.



Рис. 1. Функциональная схема видов автоматизации мобильной машины как технического объекта

Автоматизация любого из упомянутых аспектов представляет собой чрезвычайно сложную проблему и вместе с тем имеет большое значение для обеспечения высокого технического уровня АТС. Одновременное решение всей проблемы в целом невозможно в силу ее многогранности, поэтому имеет смысл поэтапности [1].

В качестве примера рассмотрим энергетический аспект проблемы как один из наиболее значимых. Он включает в себя решение задачи оптимального управления процессами получения, преобразования и передачи энергии от его источника – двигателя – к движите-

лю. Данное обстоятельство позволяет разрешить широкий круг вопросов, связанных с повышением показателей эффективности АТС: производительности, средней скорости, топливной экономичности, управляемости, проходимости и т. д. Для этого необходимо результативно управлять всеми подсистемами АТС, которые причастны к отмеченным процессам.

Энергетические режимы автомобиля определяются источником энергии и механизмами ее передачи и преобразования. Они характеризуются нагрузочными и скоростными режимами механизмов и систем АТС.

Рассмотренная система для решения поставленной задачи располагает следующими средствами. Во-первых, можно эффективно, обеспечивая высокий КПД, управлять режимами двигателя и теми подсистемами, которые осуществляют получение энергии. Сюда входят: регулирование подачи компонентов рабочей смеси (топлива и воздуха) в цилиндры, управление процессами смесеобразования, фазами газораспределения, регулирование зажигания, управление процессом сгорания смеси, циркуляцией и выпуском отработанных газов и т. д. Во-вторых, можно рационально распорядиться энергией и передать ее на движитель с минимальными затратами и потерями. Для этого нужно управлять трансмиссией и теми подсистемами, которые преобразуют параметры потока энергии (моментов и угловых скоростей) и передают ее на движитель и вспомогательные механизмы. В-третьих, поскольку речь идет о регулировании скорости, к управлению причастна и тормозная система. Здесь важно обеспечивать проходимость и устойчивость автомобиля, процессы трогания, замедления, торможения и т. д. Это так или иначе связано с управлением трансмиссией и двигателем путем привлечения средств тормозной системы.

Следует отметить, что в управлении всей системой непосредственное участие принимает человек. Он управляет скоростными режимами, задавая их исходя из внешних условий, контролирует безопасность движения, предотвращает аварийные ситуации, прогнозирует дорожную обстановку. При этом водитель располагает средствами управления всей системой. Ими являются: педаль акселератора, которая задает режимы двигателя и скорость движения автомобиля; органы управления трансмиссией (рычаг переключения передач, педаль сцепления и др.) и тормозной системой (педаль тормоза, рычаг стояночного тормоза).

Таким образом, объектами управ-

ления энергетического аспекта являются механизмы и системы двигателя, трансмиссии и тормозной системы автомобиля. При этом необходимо в комплексе решать задачи управления скоростью движения АТС при обеспечении наименьших затрат энергии (снижении расхода топлива и уменьшении потерь тепловых, механических, гидравлических).

Проблема автоматизации автотранспортных средств обнаружилась сразу же с их появлением. Одновременно стали создаваться различные устройства автоматизированного и автоматического управления. Любой автомобиль изначально располагает потенциальными возможностями, способствующими его автоматизации. С возникновением более совершенных конструктивных решений, новых технологий и средств автоматизации эти возможности неуклонно увеличиваются.

К первым системам автоматизированного управления АТС, возникшим еще в самом начале появления автомобилей и развиваемым по мере совершенствования конструкций последних, следует отнести устройства регулирования частоты вращения коленчатого вала двигателя, количества подачи топлива и его качества, угла опережения зажигания, следящие системы рулевого и тормозного приводов. Позже были созданы системы автоматического управления коробкой передач, сцеплением и т. д.

Процесс автоматизации АТС развивался с учетом исторического опыта, накопленного человеком при создании автотранспортной техники. Многие идеи и технические решения появились в результате наблюдения за поведением водителя при управлении автомобилем. Рассмотрим, к примеру, алгоритм управления АТС водителем. Последовательность его действий в процессе переключения передач следующая: вначале он осуществляет уменьшение подачи топлива, отпуская педаль акселератора, затем – нажатие на педаль сцепления с переводом рукоятки избирателя режи-

мов ступеней из положения, соответствующего выключаемой передаче, в положение включаемой смежной передачи, после чего, плавно отпуская педаль сцепления, постепенным нажатием на педаль акселератора увеличивает подачу топлива. Этот простейший алгоритм положен в основу ряда автоматических устройств.

В соответствии с рис. 1 прослеживается несколько направлений, по которым ведутся работы по автоматизации АТС. Автоматизации подвержены все основные системы и механизмы АТС: двигатель, трансмиссия, рулевое управление, тормозная система, подвеска и т. д. В настоящее время на серийно выпускаемых машинах используется ряд автоматических систем. Среди них системы управления:

- режимами работы двигателя и переключением ступеней коробки передач (рис. 2);
- заданной скоростью движения АТС;
- вращающимися моментами, обеспечивая полное использование сцепных возможностей ведущих колес;
- тормозными моментами, обеспечивая оптимальный режим скольжения колес, соответствующий максимальному коэффициенту сцепления их с дорогой;
- положением центра масс АТС по отношению к опорной поверхности дороги;
- оптической осью фар в зависимости от нагрузки на задние колеса;
- подвеской с отслеживанием неровностей опорной поверхности дороги;
- рулевой подсистемой, обеспечивая стабилизацию управляемых колес и исправление ошибок водителя для предотвращения заноса АТС из-за резкого поворота рулевого колеса, а также:
  - системы стабилизации вертикальной оси АТС при боковом крене;
  - системы активной безопасности, фиксирующие возможность наезда АТС на препятствие, устраняющие столкно-

вение с ним или смягчающие последствия столкновения;

- системы, обеспечивающие контроль, диагностику и защиту механизмов АТС;
- системы управления движением, обеспечивающие регулирование направления транспортных потоков и движения отдельных АТС;
- системы интенсификации движения автомобилей на автомагистрали, поддерживающие минимальное расстояние между АТС;
- системы автонавигации, автоматического вождения АТС и многие другие.

В настоящее время для АТС разрабатываются новейшие системы распознавания изображений и текстовой информации, визуализации местности, технического зрения, восприятия акустической информации и т. д.

Условия эксплуатации и режимы работы ММ чрезвычайно разнообразны и определяются множеством обстоятельств. Ими являются условия эксплуатации, типовые режимы и характеристики маршрутов. Условия эксплуатации бывают дорожными, природно-климатическими, эксплуатационно-техническими. ММ работают в различных типовых режимах, которые включают в себя фазы движения машины: разгон, установившееся равномерное движение, замедление, торможение, остановки. Фазы движения являются элементами ездовых циклов. Все разнообразие условий эксплуатации не поддается точному математическому описанию, относится к случайным событиям и на практике воплощается в реальные маршруты движения. Маршруты классифицируются по различным признакам. В зависимости от рельефа местности маршруты бывают равнинные, горнохолмистые, горные и высокогорные; в зависимости от условий применения транспортного средства – магистральные, городские, карьерные и др. Если иметь в виду дороги с совершенство-

ванным покрытием, то можно выделить три характерных типа маршрутов по сложности условий их эксплуатации: магистральные, горные и городские. Различают комбинированные маршру-

ты, например, магистрально-холмистые, горно-холмистые, а также пригородные, межрайонные, местные и т. д., которые относятся к частным случаям типовых маршрутов.

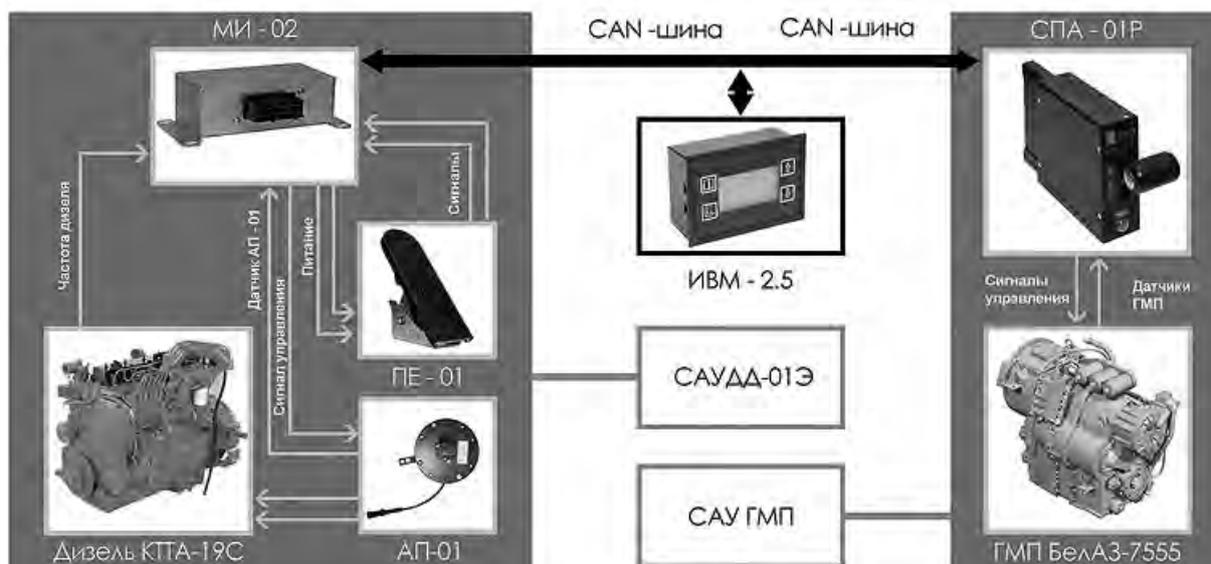


Рис. 2. Пример конфигурации промышленной системы управления режимами работы двигателя и переключением ступеней коробки передач карьерной мобильной техники (разработка компании «Стрим-тех»)

Рассмотренные обстоятельства оказывают непосредственное влияние на формирование тягово-скоростных и топливно-экономических показателей эксплуатируемого АТС, а также обеспечение его безопасности и надежности. В связи с этим необходимо осуществлять дифференцированный их учет при синтезе алгоритмов управления, применении комплексных исследований их воздействия на показатели эффективности и качества, научно-технического прогнозирования на стадии проектирования перспективных систем управления. Ориентация на уже достигнутый уровень обеспечения высоких технико-экономических показателей АТС, решения вопросов гарантии надежности и безопасности, управляемости и устойчивости, виброзащиты и комфортабельности и т. д. является не всегда оправданной ввиду неточности учета фактических режимов движения, неучета и

недоучета всего многообразия факторов и условий работы АТС и их подсистем.

Дорожные условия – один из важнейших факторов, оказывающих непосредственное влияние на выбор оптимальных характеристик управления энергетическими режимами АТС. Например, дорожные условия эксплуатации автомобилей-самосвалов значительно отличаются от дорожных условий эксплуатации автомобилей общего назначения. Условия эксплуатации строительных самосвалов по своему многообразию намного превосходят условия, в которых эксплуатируются остальные автомобили. Частое изменение объектов строительства, мест загрузки и разгрузки затрудняет создание хороших дорожных условий на подъездных участках. Широкая география эксплуатации таких машин и особенности их целевого использования (районы Крайнего Севера, Сибири, Урала, Дальнего Востока,

угольные бассейны, шахты, карьеры) приводит к тому, что математическое ожидание коэффициента сопротивления движению  $m_v$  изменяется в широких пределах: от 0,022 (асфальтобетонные дороги) и 0,045...0,08 (грунтовые дороги различного качества) до 0,16...0,45 (бездорожье и заболоченная местность).

Среди рабочих объектов, формирующих дорожные условия автосамосвалов, отдельно следует выделить строительные карьеры. В них дороги представлены различными типами. К ним относятся основные дороги, которые простираются от карьера к дробильным или щебеночным заводам; забойные дороги, пролегающие непосредственно в карьерах от основных дорог к погрузочным средствам; отвальные дороги, соединяющие отвалы с местами вскрышных работ.

Важной характеристикой эксплуатации ММ является расстояние перевозки грузов. Проведенные исследования условий эксплуатации ряда автомобилей, например, автомобилей-самосвалов МАЗ, БелАЗ, показывают, что наибольшее число этих машин эксплуатируется на маршрутах, протяженность которых составляет 2...12 км [1].

Карьерные автомобильные дороги для большегрузных самосвалов отличаются от автомобильных дорог общего пользования относительно небольшой длиной, сложными профилем и планом трассы с крутыми уклонами, частым чередованием спусков и подъемов, поворотами с малым радиусом кривизны, большой интенсивностью движения, малой рядностью, а также большой несущей способностью, т. к. они рассчитываются на высокие осевые нагрузки транспортных средств. Постоянные дороги строятся в соответствии с нормами и правилами при проектировании автомобильных дорог с учетом значительных масс сверхтяжелых самосвалов. Продольные уклоны постоянных дорог составляют 5...8 %. На соединительных дорогах небольшой протяженности продольные уклоны дорог со

щебеночным и гравийным покрытием могут достигать 9...10 %, на временных – 12...14 %. При затяжных подъемах предусматриваются участки с уклоном не более 2 % и длиной 80...100 м через каждые 500...600 м дороги.

Наряду с глубинными широко распространены нагорные карьеры, горно-геологические условия и параметры которых отличаются от параметров карьеров глубинного типа. Дороги нагорных карьеров характеризуются резким колебанием продольных уклонов и наличием большого количества поворотов и серпантинов, составляющих в среднем 50 % общей протяженности трасс.

#### **Автоматизация гидрофицированных механизмов мобильных машин**

В конструкциях современных мобильных машин – автомобилях, тракторах, строительно-дорожных машинах – широкое применение получили гидрофицированные механизмы, в том числе гидромеханические передачи (ГМП) и механические трансмиссии [2].

На современном этапе развития транспортной техники происходит быстрая смена выпускаемых моделей при интенсификации процессов модификации мобильных машин, возрастании числа новых разработок, что обеспечивает подвижным объектам более высокие потребительские качества и конкурентоспособность на рынках сбыта.

Разрабатываемые мобильные машины и их механизмы должны превосходить существующие, иметь высокие показатели технического уровня и эффективности их использования. Результативное и надежное функционирование мобильных машин может быть обеспечено лишь путем применения самых совершенных принципов, методов и технических средств определения их технического состояния, т. е. современных методов управления и диагностирования. Причем для качественного оп-

ределения технического состояния механизмов мобильных машин, оперативной постановки технического диагноза, своевременного выявления опасных отклонений параметров, обнаружения отказов и скрытых дефектов, предотвращения появления неисправностей и прогнозирования остаточного ресурса необходимо использовать современные принципы и подходы, основанные на экспериментальных и теоретических методах исследований и новых способах обработки результатов анализа и эксперимента.

Широко применяемые на машинах бесступенчатые передачи (БП) позволяют плавно и непрерывно изменять вращающие моменты на ведущих колесах и скорость движения автомобиля в зависимости от нагрузки, дорожных условий и управляющих воздействий водителя на педаль акселератора. Использование БП улучшает функциональные свойства ММ, облегчает и упрощает управление, повышает технико-экономические показатели, технический уровень и конкурентоспособность АТС. Динамическая характеристика мобильной машины с БП приближается к гиперболическому виду, т. е. к идеальной форме, что способствует ее приспособляемости к изменяющимся нагрузкам, повышению средней скорости движения и производительности. Плавное и непрерывное преобразование параметров потока энергии, подводимой к ведущим колесам, влечет за собой снижение их буксования, оказывает положительное влияние на проходимость, уменьшает динамические нагрузки на механизмы трансмиссии и двигатель и за счет этого значительно увеличивает их срок службы. Вместе с тем БП, по сравнению с механическими ступенчатыми коробками передач, гораздо сложнее по конструкции, требуют более совершенных технологических процессов производства, технического обслуживания и ремонта, что приводит к увеличению производственных и эксплуатационных за-

трат и необходимости использования обслуживающего персонала более высокой квалификации. Недостатками современных бесступенчатых передач являются сравнительно низкий КПД и ограниченный диапазон регулирования вращающего момента и скорости. В связи с этим их обычно используют в сочетании с механическими зубчатыми передачами, позволяющими повысить КПД трансмиссии и получить нужный диапазон регулирования.

В зависимости от типа бесступенчатой передачи различают следующие виды трансмиссии: гидромеханические (ГМТ), гидрообъемно-механические (ГОМТ), электромеханические (ЭМТ). Одним из существенных достоинств этих видов трансмиссий является то, что они адаптированы к автоматическому управлению процессами трансформации параметров потока энергии, передаваемой к ведущим колесам. Гидродинамические передачи обладают свойством саморегулирования и представляют собой автоматические трансформаторы механической энергии. Гидрообъемные и электрические передачи несаморегулируемые. Их потенциальные возможности в полной мере могут быть реализованы лишь при использовании систем автоматического управления. Применение гидромеханических передач (ГМП) в конструкции автомобилей увеличивает срок службы двигателя и трансмиссии, а также повышает проходимость и комфортабельность за счет более плавного изменения момента на ведущих колесах, трогания с места и разгона.

Основная проблема автоматизации управления/диагностирования гидрофицированными мобильными машинами связана с многообразием и сложностью происходящих при функционировании процессов. Для ее решения необходимо использование технологий и методов, базирующихся на других подходах, отличных от тех, которые опираются на принципы классической теории автома-

тического управления.

Применение таких технологий позволяет выйти на новый уровень проектирования автоматических устройств – уровень создания мехатронных бортовых систем (МБС), благодаря чему решится ряд проблем.

Во-первых, появляется возможность создания систем управления/диагностирования, использующих большое количество информации различной физической природы. Во-вторых, возникают условия для формирования и реализации гибких алгоритмов, позволяющих системам приспосабливаться к изменению разнообразных ситуаций и условий эксплуатации. В-третьих, упрощается конструкция автоматических систем и снижается стоимость создаваемых изделий. В-четвертых, появляются возможности использования программ управления/диагностирования в режиме реального времени. В-пятых, системы наделяются интеллектуальными качествами, приобретая способность к обучению (самообучению). Это выражается в расширении и значительном пополнении базы знаний таких систем в процессе эксплуатации объекта диагностирования; накоплении и осмыслении информации; запоминании и распознавании различных ситуаций, в том числе проявлений неисправностей, причин и условий их возникновения.

Применительно к сфере автомобиле- и тракторостроения разрабатываемые МБС и такая их разновидность, как системы технического диагностирования, должны обеспечивать следующие функции:

- оперативное определение технического состояния основных механизмов ММ в текущий момент времени;
- диагностирование параметров элементов и механизмов трансмиссии, тормозной системы, подвески, гидропривода;
- непрерывный контроль основных параметров механизмов и их элементов (температуры, давления масла в

магистралях и фрикционах, расхода рабочей жидкости и др.);

- идентификация и предотвращение опасных ситуаций, связанных с управлением автомобилем и функционированием его механизмов;
- осуществление защиты от ошибочных управляющих действий водителя;
- анализ информации о текущих процессах с выдачей водителю сигналов отклонений от технических требований;
- обеспечение приема информации от других измерительных систем по любому из стандартных интерфейсов;
- выдача результатов диагностирования в текстовом и графическом видах;
- отображение текущего состояния машины в графическом режиме на дисплее в удобном для водителя или оператора виде.

***Перспективный уровень автоматизации транспортной техники – проектирование автомобилей с комбинированной энергетической установкой***

Автомобили с комбинированной энергетической установкой (КЭУ) отличаются от традиционных наличием двух двигателей (ДВС и электрического). Преимуществом таких автомобилей является то, что они обладают меньшим расходом топлива и меньшей токсичностью отработавших газов, что весьма актуально для крупных городов с большой интенсивностью дорожного движения.

В Республике Беларусь гибридные технологии начинают активно развиваться. Так, например, завод ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» готов участвовать в научно-технических разработках по следующим перспективным направлениям:

- создание автоматических гидромеханических коробок передач (трансмиссий) с электроустановками (без гидротрансформатора);

– создание гибридных автоматических гидромеханических коробок передач (трансмиссий) с мотор-генераторами.

Гидродинамические трансформаторы (ГДТ) имеют как преимущества, так и недостатки. Рассмотрим основные недостатки гидротрансформатора:

– пробуксовывание гидротрансформатора является причиной высоких потерь, например, для колесного погрузчика во время загрузки в кузов;

– низкая скорость транспортного средства;

– высокая частота вращения колчатого вала двигателя для того, чтобы обеспечить мощностью всю работающую «гидравлику»;

– высокое проскальзывание (что эквивалентно большим потерям) ГДТ и ГМП.

В то же время гидротрансформатор наделяет ММ значительными преимуществами:

– низкие скорости транспортного средства также для ступенчатой трансмиссии;

– увеличение вращающего момента;

– выносливость конструкции.

Преимущества трансмиссии без гидротрансформатора:

– меньший расход топлива;

– возможность применения двигателя внутреннего сгорания меньшей мощности и малых габаритов.

В связи с этим не легкой задачей для будущих автомобильных систем является достижение (или, по возможности, улучшение) рабочих характеристик и функциональности гидротрансформаторов.

Таким образом, гибридный автомобиль – автомобиль, использующий для привода ведущих колёс более одного источника энергии.

Современные автопроизводители часто совмещают применение двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя, что позволяет избежать работы ДВС в режиме малых нагрузок, а

также реализовать рекуперацию кинетической энергии, повышая топливную эффективность силовой установки. Другой распространённый вид «гибридов» – автомобили, в которых ДВС совмещён с двигателями, работающими на сжатом воздухе.

Первоначально идея «электрической коробки передач», т. е. замены механической коробки передач электрическими проводами, была воплощена на железнодорожном транспорте и в большегрузных карьерных самосвалах. Применение этой схемы обусловлено сложностями механической передачи значительного и при этом изменяемого крутящего момента на колеса транспортного средства. Двигатели внутреннего сгорания обладают определённой нагрузочной характеристикой (зависимостью отдаваемой мощности от частоты вращения вала), которая имеет оптимальные показатели только в узком интервале, который, как правило, смещён в сторону больших значений частоты вращения вала. Частично этот недостаток компенсируют, применяя механические коробки передач, которые, однако, ухудшают общий КПД системы за счёт собственных потерь. Дополнительной сложностью является невозможность изменения направления вращения вала ДВС для обеспечения заднего хода машины.

В то же время нагрузочная характеристика электродвигателя практически равномерна во всём диапазоне рабочих частот. Такой двигатель может быть мгновенно запущен, остановлен и реверсирован, а также не требует холостого хода, что позволяет исключить из трансмиссии механизм сцепления, – а в некоторых случаях и полностью избавиться от ряда элементов трансмиссии, разместив электродвигатели непосредственно в колёсах (мотор-колесо).

В случае применения электротрансмиссии двигатель, работающий на обычном топливе, вращает электрогене-

ратор; вырабатываемый ток через систему управления передаётся на электродвигатели, которые и приводят в движение транспортное средство. Здесь уместно сравнение такого типа привода с размещённой на электромобиле электростанцией, вырабатывающей электричество для его движения. Схема работы гибридного автомобиля в целом аналогична, но значительно модифицирована добавлением промежуточного накопителя энергии – как правило, аккумуляторной батареи, имеющей меньшую, чем у «чистого» электромобиля, ёмкость и, соответственно, меньшую массу.

Гибридный автомобиль сочетает в себе преимущества электромобиля и автомобиля с двигателем внутреннего сгорания: большой коэффициент полезного действия электромобилей (80...90 % по сравнению с 35...50 % у автомобилей с ДВС) и большой запас хода на одной заправке автомобиля с ДВС.

Ввиду определенных преимуществ автоматических гидромеханических коробок передач в гибридных автомобилях (трансмиссиях) целесообразно применять именно эти передачи.

Рассмотрим типовые схемы гибридных транспортных средств в зависимости от различных классификационных признаков.

*Способы подключения двигателей и накопителя к приводу.*

Последовательная схема: по сути, является модификацией электромеханической трансмиссии с добавлением промежуточного накопителя. Двигатель внутреннего сгорания механически соединён только с электрогенератором, а тяговый электродвигатель – только с колёсами. Пример: «Шевроле-вольт» (в электрической передаче двигатель вращает генератор, а электромоторы – колёса. Пример – автомобили БелАЗ, трактор ДЭТ-250).

Параллельная: и двигатель внутреннего сгорания, и электродвигатель

механически соединены с колёсами посредством дифференциала, который обеспечивает возможность как их работы по отдельности, так и совместно. Эта схема используется в автомобилях с Integrated Motor Assist («Хонда»). Характеризуется простотой (возможно применение вместе с механической коробкой передач) и низкой стоимостью.

Последовательно-параллельная: двигатель внутреннего сгорания, генератор и электродвигатель механически связаны друг с другом и с колёсами посредством планетарного редуктора, что позволяет произвольно изменять потоки мощности между этими узлами. Схема реализована в автомобилях с Hybrid Synergy Drive («Тойота»), например, «Тойота-приус».

Типы накопителей энергии.

Электрические:

- на основе электрохимических аккумуляторов;
- на основе инерционных накопителей.

Механические:

- на основе пневматических аккумуляторов или гидроаккумуляторов с пневматическим накопителем;
- на основе инерционных накопителей.

В качестве промежуточного накопителя, помимо аккумуляторных батарей, также могут использоваться батареи конденсаторов и ионисторы (суперконденсаторы). В случае применения накопителя энергии значительной ёмкости гибридный автомобиль имеет возможность двигаться без включения двигателя внутреннего сгорания – в «режиме электромобиля» («Шевроле-вольт»). В случае, если зарядка накопителя может производиться не только от основного двигателя, но и от электрической сети, говорят о «подключаемом гибриде» (англ. Plug-in Hybrid).

Главное преимущество гибридного автомобиля – снижение расхода топлива и уровня токсичности вредных отработавших газов, что достигается пол-

ной автоматизацией управления работой двигателей с помощью бортового компьютера – начиная от своевременного отключения двигателя во время остановки в транспортном потоке с возможностью немедленного возобновления движения без его запуска исключительно на запасённой в накопителе энергии и заканчивая более сложным механизмом рекуперации – использование кинетической энергии движущегося автомобиля при торможении для зарядки накопителя при работе электродвигателя в режиме электрогенератора. Как и в случае с электромеханической трансмиссией, двигатель внутреннего сгорания, как правило, работает на оптимальных режимах.

Следует отметить, что трансмиссия автомобиля с параллельной гибридной установкой очень схожа с трансмиссией обычного автомобиля с двига-

телем внутреннего сгорания.

На самые ранние модели автомобиля «Хонда-инсайт» устанавливалась механическая коробка передач с ручным переключением. Далее на смену ей пришла бесступенчатая коробка передач (CVT), чаще называемая вариатор. Подобный вариатор нередко используется и в стандартных автомобилях с двигателем внутреннего сгорания.

На автомобиле «Мерседес-бенц С400» Blue HYBRID (рис. 3) устанавливается обычная семиступенчатая автоматическая гидромеханическая коробка передач 7G-TRONIC, применяемая во многих автомобилях «Мерседес-бенц» класса S. В этой коробке передач для согласованной работы с электродвигателем КЭУ был только перестроен блок управления коробки передач и размещен дополнительный электрический масляный насос.

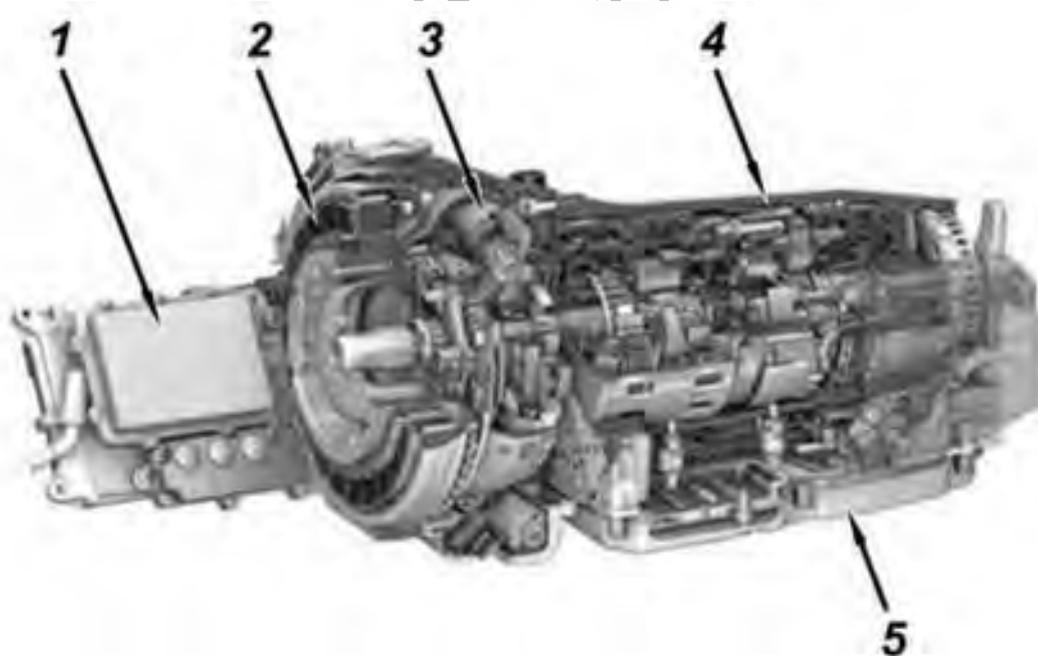


Рис. 3. Гибридная автоматическая семиступенчатая коробка передач 7G-TRONIC автомобиля «Мерседес-бенц С400» BlueHYBRID: 1 – электронный блок управления (ЭБУ) коробкой передач; 2 – мотор-генератор; 3 – гидротрансформатор; 4 – механическая часть коробки передач с планетарными рядами; 5 – электрогидравлический блок управления коробкой передач

На рис. 3 показано, что мотор-генератор расположен в картере гидротрансформатора. Конструкция коробки передач в целом компактна и имеет хороший дизайн.

### **Выводы**

1. Автоматизация механизмов гидрофицированных мобильных машин вышла на новый уровень, что обусловлено совершенствованием средств и методов сбора, обработки, анализа и передачи информации и разработкой на этой платформе компактных и надежных бортовых

систем.

2. Важным этапом автоматизации трансмиссий мобильных машин является создание автомобилей с комбинированной энергетической установкой (КЭУ).

3. Перспективным направлением автоматизации в Республике Беларусь является проектирование автоматических гидромеханических трансмиссий с электроустановками (без гидротрансформатора) и гибридных автоматических гидромеханических коробок передач (трансмиссий) с мотор-генераторами.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : Технопринт, 2004. – 512 с. : ил.
2. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н. Н. Горбатенко [и др.] ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. П. Тарасика. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с. : ил.

*Статья сдана в редакцию 16 сентября 2015 года*

**Сергей Анатольевич Рынкевич**, д-р техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.  
E-mail: rynkev@tut.by.

**Sergey Anatolyevich Rynkevich**, DSc (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.  
E-mail: rynkev@tut.by.