

УДК 629.3

С. А. Рынкевич

УПРАВЛЕНИЕ И ДИАГНОСТИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ БОРТОВОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ: ЭТАПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

UDC 629.3

S. A. Rynkevich

CONTROL AND DIAGNOSTICS OF MOBILE MACHINES BASED ON ON-BOARD MICROELECTRONICS: STAGES AND PROSPECTS

Аннотация

Приведен обзор конструктивных схем планетарных гидромеханических коробок передач различных мобильных машин отечественного и зарубежного производства. Описаны технические решения ведущих зарубежных фирм, специализирующихся на производстве гидромеханических коробок передач, обеспечивающих функции автоматизации управления и диагностирования.

Ключевые слова:

гидромеханическая передача, планетарная коробка передач, кинематическая схема, передаточное число, мобильная машина.

Abstract

The paper presents a review of design diagrams of planetary hydromechanical gearboxes for different mobile machines of domestic and foreign make. It also describes engineering solutions of leading foreign companies, specializing in the production of hydromechanical gearboxes, which provide the control and diagnosing automation functions.

Key words:

hydromechanical transmission, planetary gearbox, kinematic diagram, gear ratio, mobile machine.

Гидромеханические трансмиссии и многоступенчатые коробки передач мобильных машин: проблемы их эксплуатации

В конструкциях автомобилей, тракторов, строительно-дорожных и других мобильных машин широкое применение получили гидрофицированные механизмы, в том числе гидромеханические передачи (ГМП), способствующие увеличению срока службы двигателя и трансмиссии, уменьшению количества ступеней в механической части трансмиссии, сокращению числа переключений передач, повышению проходимости и комфортабельности за счет более плавного изменения момента

на ведущих колесах при трогании с места и разгоне [1].

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. Эффективное 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 диагностирования.

Для качественного определения технического состояния гидромеханических передач 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 современную научную методологию, основанную на экспериментальных и теоретических методах исследований и новых способах обработки результатов исследований.

На автотранспортных средствах применяют **механические трансмиссии**, в состав которых входит **многоступенчатая коробка передач**, позволяющая изменять передаточные числа трансмиссии. Функции трансформаторных элементов в механической трансмиссии выполняют зубчатые передачи, осуществляющие преобразование параметров потока энергии, передаваемой от двигателя к ведущим колесам автомобиля. Параметрами потока энергии являются вращающие моменты и угловые скорости вращения валов, на которых расположены шестерни зубчатых передач. Преобразование вращающего момента характеризуется коэффициентом трансформации, а угловой скорости – передаточным числом [1]:

$$K = M_{\text{ВЫХ}} / M_{\text{ВХ}} ; \quad (1)$$

$$u = \omega_{\text{ВХ}} / \omega_{\text{ВЫХ}} = n_{\text{ВХ}} / n_{\text{ВЫХ}} , \quad (2)$$

где K – коэффициент трансформации вращающего момента; u – передаточное число трансформатора (зубчатой передачи); $M_{\text{ВХ}}, M_{\text{ВЫХ}}$ – вращающие моменты на входе и выходе зубчатой передачи, Н·м; $\omega_{\text{ВХ}}, \omega_{\text{ВЫХ}}$ – угловые

скорости вращения ведущей и ведомой шестерен зубчатой передачи, рад/с; $n_{\text{ВХ}}, n_{\text{ВЫХ}}$ – частоты вращения этих же шестерен, об/мин.

Коэффициент трансформации K отличается от передаточного числа u тем, что он учитывает потери энергии в зубчатом зацеплении:

$$K = u\eta, \quad (3)$$

где η – КПД трансформатора (зубчатой передачи).

Характерной особенностью зубчатой передачи является постоянство передаточного числа u , поэтому для получения необходимого диапазона изменения скорости движения автомобиля и вращающего момента на ведущих колесах применяют многоступенчатую коробку передач (МКП).

Основные преимущества многоступенчатой механической трансмиссии – высокий КПД и сравнительно простая конструкция. Однако ступенчатое преобразование параметров потока энергии с помощью МКП затрудняет возможность оптимального использования мощности двигателя и усложняет обоснованный выбор передаточного числа коробки передач. В результате снижается использование мощности двигателя и производительность автомобиля, повышается напряженность работы водителя в сложных дорожных условиях. Этим объясняется необходимость и целесообразность использования в составе трансмиссии **бесступенчатой передачи**.

Бесступенчатое преобразование параметров потока энергии могут осуществлять *гидродинамические, гидрообъемные и электрические передачи*, а также *вариаторы* различных конструкций.

Бесступенчатая передача (БП) позволяет 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. Приме-

нение БП улучшает функциональные свойства трансмиссии, облегчает и упрощает управление, повышает технико-экономические показатели, технический уровень и конкурентоспособность автомобиля. Динамическая характеристика мобильной машины с БП приближается к гиперболическому виду, т. е. к идеальной форме, что способствует его приспособляемости к изменяющимся нагрузкам, повышению средней скорости движения и производительности. Плавное и непрерывное преобразование параметров потока энергии, подводимой к ведущим колесам, способствует снижению их буксования, оказывает положительное влияние на проходимость, снижает 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 затрат и к необходимости использования обслуживающего персонала более высокой квалификации. Стоимость современных гидромеханических трансмиссий составляет до 20 % стоимости всей машины, а выход их из строя сопровождается большими материальными затратами. Этим обусловлена настоятельная потребность внедрения систем автоматизированного управления и непрерывного диагностирования технического состояния этих сложных и дорогостоящих передач.

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 необходимый диапазон

регулирования.

В зависимости от типа используемой бесступенчатой передачи различают следующие виды трансмиссии: *гидромеханические* (ГМТ), *гидрообъемно-механические* (ГОМТ), *электромеханические* (ЭМТ). Одним из существенных достоинств этих видов трансмиссий является их хорошая приспособленность 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 применении систем автоматического управления.

Использование 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 огромной сложностью происходящих при функционировании процессов. Для ее решения необходимо использование технологий и методов, основанных на других подходах, отличных от тех, которые опираются на принципы классической теории автоматического управления.

Переход на новый этап проектирования систем управления трансмиссиями мобильных машин

Выделим несколько противоречий, возникших на нынешнем этапе развития научно-технического прогресса.

Появились широкие возможности управления / диагностирования, связан-

ные с развитием и внедрением на машинах современных быстродействующих систем, совместимых с портативной вычислительной техникой, появлением развитого программного обеспечения, прикладных средств и программных комплексов. Но возникает существенное противоречие традиционных алгоритмов управления / диагностирования: чем больше полнота снимаемой датчиками и обрабатываемой процессором информации, тем длительнее сама процедура выдачи управляющих команд. Сюда относится и низкое быстродействие получаемого диагноза, и неточность указания места локализации неисправности. А это имеет серьезные последствия: снижение эффективности диагностирования и, как следствие, возникновение неисправностей и поломок из-за необнаруженных и своевременно не предотвращенных опасных и аварийных ситуаций, что приводит к снижению безопасности.

Системы автоматизированного управления / диагностирования, использующие традиционные (и порой устаревшие) методы, позволяют решать частные задачи, не обладают оперативностью, не способны функционировать в режиме реального времени, не приспособлены к постоянно изменяющимся условиям. Они не учитывают одновременно многих обстоятельств и ситуаций, не способны подвергать адекватному анализу характеристики механизмов, внешней среды, субъективные факторы, связанные с деятельностью водителя, механика и т. д. Появились новые средства измерения и электронные устройства, однако это не решает проблемы в полной мере и требует поиска других подходов.

Появление новых средств и методов получения, представления, передачи и обработки информации, увеличение возможностей бортовых компьютеров и средств микропроцессорной техники, использование новых технологий сти-

мулировало процесс разработки перспективных диагностических систем, использующих новые информационные технологии.

В связи с качественным прогрессивным изменением уровня производительных сил общества в настоящее время назрела необходимость формирования новой идеологии, или парадигмы, т. е. совокупности мировоззренческих концепций, лежащих в фундаменте соответствующей науки (рис. 1). *Парадигма-идеология* включает: концептуальные рамки науки; основные установки; конкретные традиции научного исследования; совокупность убеждений, ценностей и технических средств; главные философские элементы и т. д. В основе этой парадигмы-идеологии лежит новый подход к автоматизации технического объекта. Главное направление и задача новой идеологии автоматизации – это обеспечение высокого технического уровня создаваемых машин, их совершенствование и повышение конкурентоспособности. Новая идеология предусматривает совокупность интеллектуального управления при создании бортовых систем, применение новых методов сбора, анализа и представления информации и новых информационных технологий. В связи с этим она порождает ряд концепций, теорий, тенденций и идей, требующих разработки соответствующего понятийного аппарата, гипотез, методологий и методов.

Идеология автоматизации управления и диагностирования воплощается в практику на основе создания соответствующих интеллектуальных систем [1]. В настоящее время процесс автоматизации управления и диагностирования гидрофицированных машин должен осуществляться на основе создания интеллектуальных систем, способных одновременно учитывать большое количество различных характеристик, функционировать в режиме реального вре-

мени и реализовывать алгоритмы, подобные логике человеческого мышления. Интеллектуальные системы (ИС), в отличие от обычных, работают со зна-

ниями; они наделены функциями распознавания, обучения, прогнозирования.

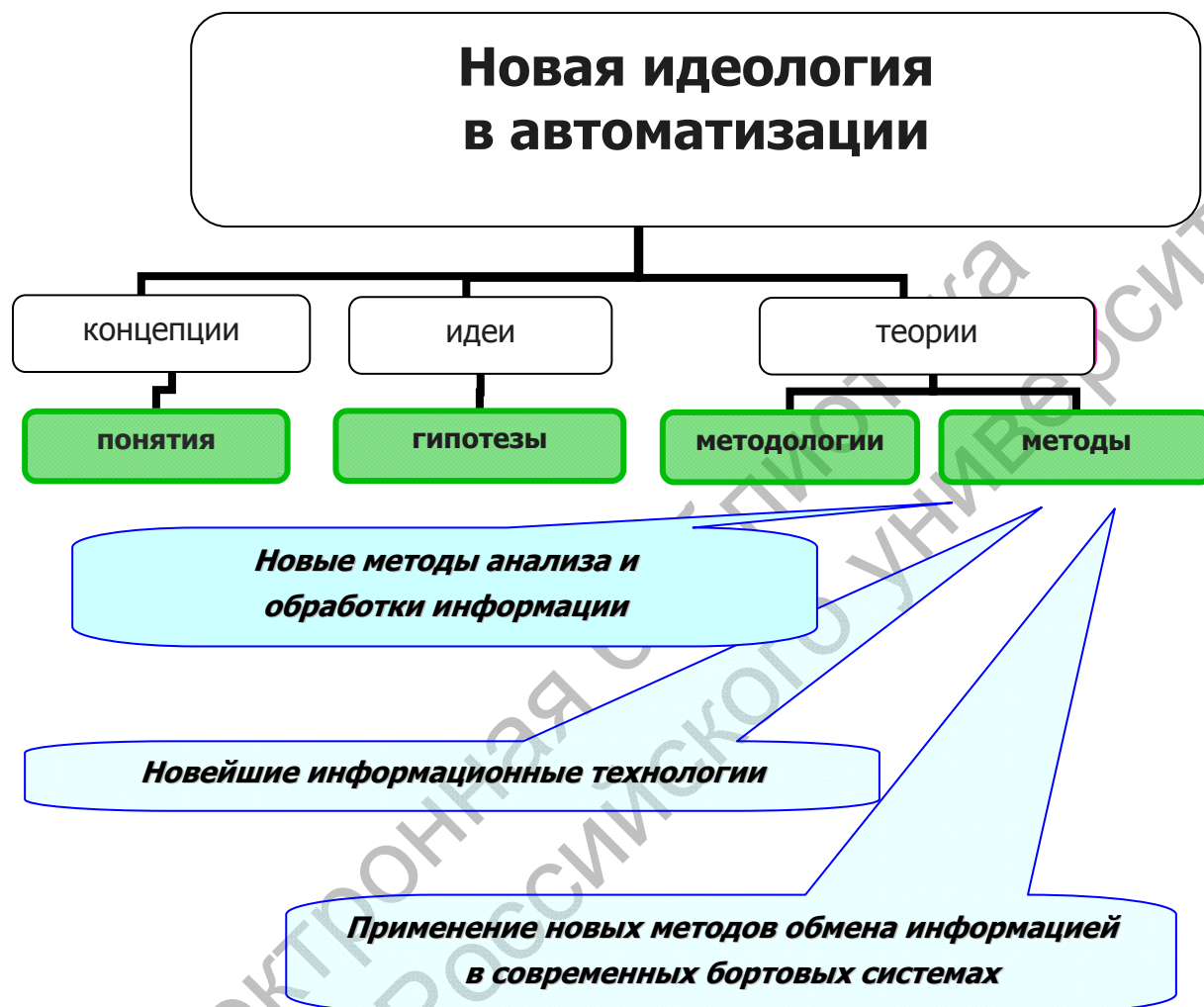


Рис. 1. Новая идеология в автоматизации подвижных объектов

В основе создания ИС лежат принципы искусственного интеллекта, использование которых позволяет значительно расширить потенциальные возможности методов и средств диагностирования и получить гибкие алгоритмы диагностирования, отражающие многообразие различных факторов. Системы управления / диагностирования, функционирующие по таким алгоритмам, способны в сложной обстановке оперативно принимать решения, свойственные логическому мышлению человека, непрерывно реагировать на

всевозможные изменения внешних воздействий, осуществлять постоянный анализ и оценку текущих ситуаций, идентифицировать и распознавать их, обеспечивать с человеком взаимопонятный диалог и давать рекомендации водителю (оператору), осуществлять анализ речевых команд.

В качестве научной основы создания таких систем используется новое научное направление «Теория искусственного интеллекта» (ТИИ). ТИИ включает в себя различные информационные технологии. Наиболее распространен-

ные технологии искусственного интеллекта – это экспертные системы, теория нечетких множеств и теория искусственных нейронных сетей [2, 3].

Применение этих технологий позволяет выйти на новый уровень проектирования электронных бортовых систем. Создание интеллектуальных систем управления и диагностирования (ИСУД) позволяет решить ряд проблем.

Во-первых, появляется возможность создания систем управления / диагностирования, использующих большое количество информации различной физической природы. Во-вторых, возникают условия для создания и реализации гибких алгоритмов, позволяющих системам приспосабливаться к изменению различных 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, наделенные интеллектуальными качествами, приобретают 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. В рамках новой идеологии автоматизации были разработаны стратегия и методология синтеза ИСУД для мобильных машин. Стратегия включает в себя несколько важнейших этапов: *разработка концепции ИСУД; разработка общей структуры ИСУД; синтез алгоритмов функционирования ИСУД; создание ИСУД в виде готового изделия; реализация ИСУД на объекте.*

Данные этапы диалектически взаимосвязаны и соответствуют следующим иерархическим уровням: философия и

идеология; теоретизация; инженерия творчества; проектирование и производство; прогноз и перспективы.

Применительно к сфере автомобиль- и тракторостроения разрабатываемые системы технического диагностирования должны обеспечивать следующие основные функции:

- оперативное определение технического состояния основных механизмов автомобиля в текущий момент времени;
- диагностирование параметров элементов и механизмов трансмиссии, тормозной системы, подвески, гидропривода;
- осуществление непрерывного контроля основных параметров механизмов и их элементов (температуры, давления масла в магистралях и фрикционных, напряжения на электромагнитах 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;
- осуществление измерения пробега автомобиля, расхода топлива, количества перевозимого за смену груза и других параметров;
- обеспечение приема информации от других измерительных систем по любому из стандартных интерфейсов;
- выдача результатов диагностирования в текстовом и графическом виде;
- отображение текущего состояния объектов диагностирования в графическом режиме на дисплее в виде вербальной, символьной информации;
- осуществление диспетчеризации и ведения протоколов работы системы;
- хранение в памяти результатов текущего диагностирования, а также результатов технического состояния, в котором находился автомобиль в прош-

лом, с возможностью вывода их на печать или перезаписи на электронные носители информации.

Для обеспечения отмеченных выше функций ИСУД должна иметь оригинальную конфигурацию и структуру [3]. Помимо традиционных микропроцессорных модулей, в ее состав должна входить экспертная система, реализующая новые информационные технологии (например, нечеткой логики, искусственных нейронных сетей и др.). В первом случае экспертная система выполняется на основе нечеткого контроллера с соответствующей аппаратной и программной реализацией и содержит интеллектуальный интерфейс с вычислительной системой верхнего уровня (RS-232, RS-485, CAN 2.0 В) и интеллектуальный интерфейс с подсистемой нижнего уровня (CAN 2.0 В, RS-485) с возможностью подключения любых локальных микропроцессорных устройств, поддерживающих стандартный протокол CAN 2.0 В.

Коллективом кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета (проф. В. П. Тарасиком, доц. Н. Н. Горбатенко, ст. преподавателем Р. В. Плякиным и др.), занимающимся автоматизацией управления гидрофицированными трансмиссиями мобильных машин, разработаны группы диагностических и контролируемых параметров и структура ИСУД ГМП карьерного самосвала БелАЗ (рис. 2).

Основные информационные параметры, такие как частота вращения вала двигателя, турбинного вала гидротрансформатора, входного и выходного вала коробки передач, положение педали акселератора, положение педали тормоза, скорость автомобиля, степень загрузки, давление в подвеске и др., могут быть описаны функциями принадлежности нечеткой логики [4].

Варианты построения экспертных

систем ИСУД и реализуемые в них методы могут быть различными. На рис. 2, б показан пример созданной экспертной системы для диагностирования гидромеханической передачи мобильной машины. Для вывода оператору сообщений экспертной системы могут создаваться специальные диалоговые окна (рис. 2, в, г).

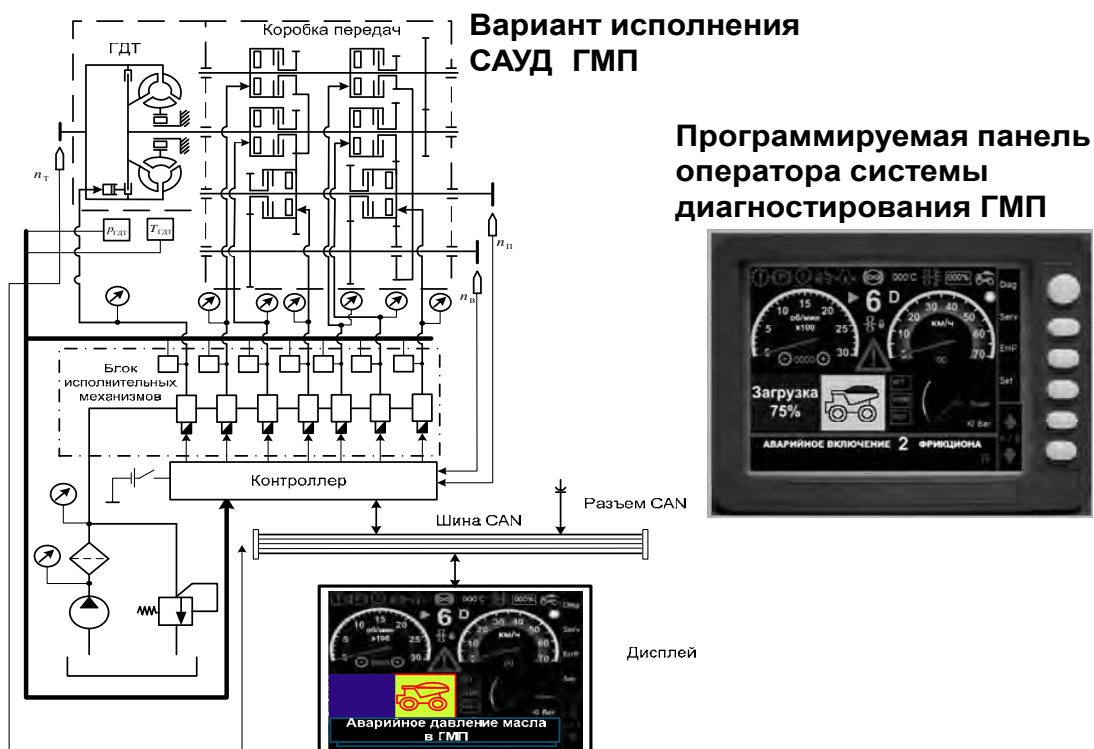
Сфера использования таких систем – мобильные машины различного назначения, в том числе карьерные автосамосвалы, строительно-дорожные машины, погрузчики, шахтные землекопы, подземная и военная техника и т. д. (рис. 3).

Решение проблемы в сфере проектирования и эксплуатации трансмиссий мобильных машин на основе новых технологий и путём гибридизации ГМП

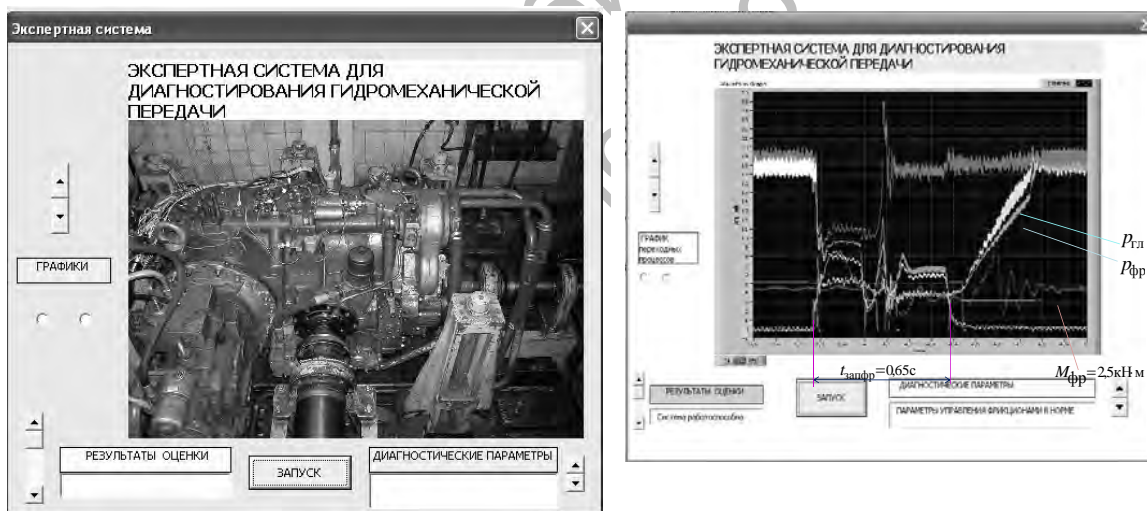
К настоящему времени, **во-первых**, появились реальные возможности и назрела необходимость применения гибридных силовых установок в выпускаемой российским и белорусским машиностроением тяжелой мобильной технике, которая имеет гидромеханические трансмиссии, – путем гибридизации последних; **во-вторых**, появились условия для создания на этой базе гибридных электромеханических трансмиссий, которые (как преемники) становятся перспективным и ведущим направлением мирового развития гибридных силовых (энергетических) установок.

В связи с ухудшением экологической обстановки в современном автомобилестроении прослеживается тенденция развития автомобилей с **комбинированной энергетической установкой** (КЭУ). Автомобили с КЭУ отличаются от традиционных наличием двух двигателей (ДВС и электрического).

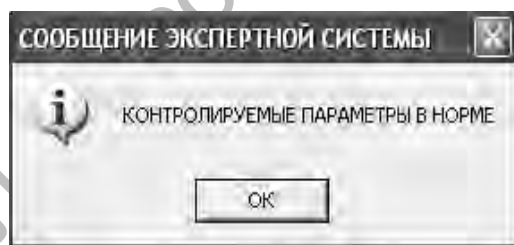
а)



б)



в)



г)

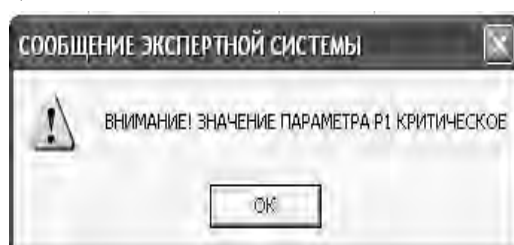


Рис. 2. Структура ИСУД и процесс определения технического состояния гидропривода экспертной системой гидрофицированной мобильной машины: а – схема ИСУД; б – исходное состояние экспертной системы; в, г – диалоговые окна экспертной системы в случае отклика на нормальное и опасное состояния



Рис. 3. Землевозы и подземная техника Могилевского завода им. С. М. Кирова: а – самосвал-землевоз МоА3-75041 грузоподъемностью 27 т; б – самосвал шахтный МоА3-74052-9586 грузоподъемностью 25 т

Интерес к таким автомобилям вызван также тем, что они обладают меньшим расходом топлива и меньшей токсичностью отработавших газов, что весьма актуально для крупных городов с

большим автомобильным парком.

Рассмотрим рис. 4, иллюстрирующий распространение по годам различных типов трансмиссий, энергетических установок и автомобилей.

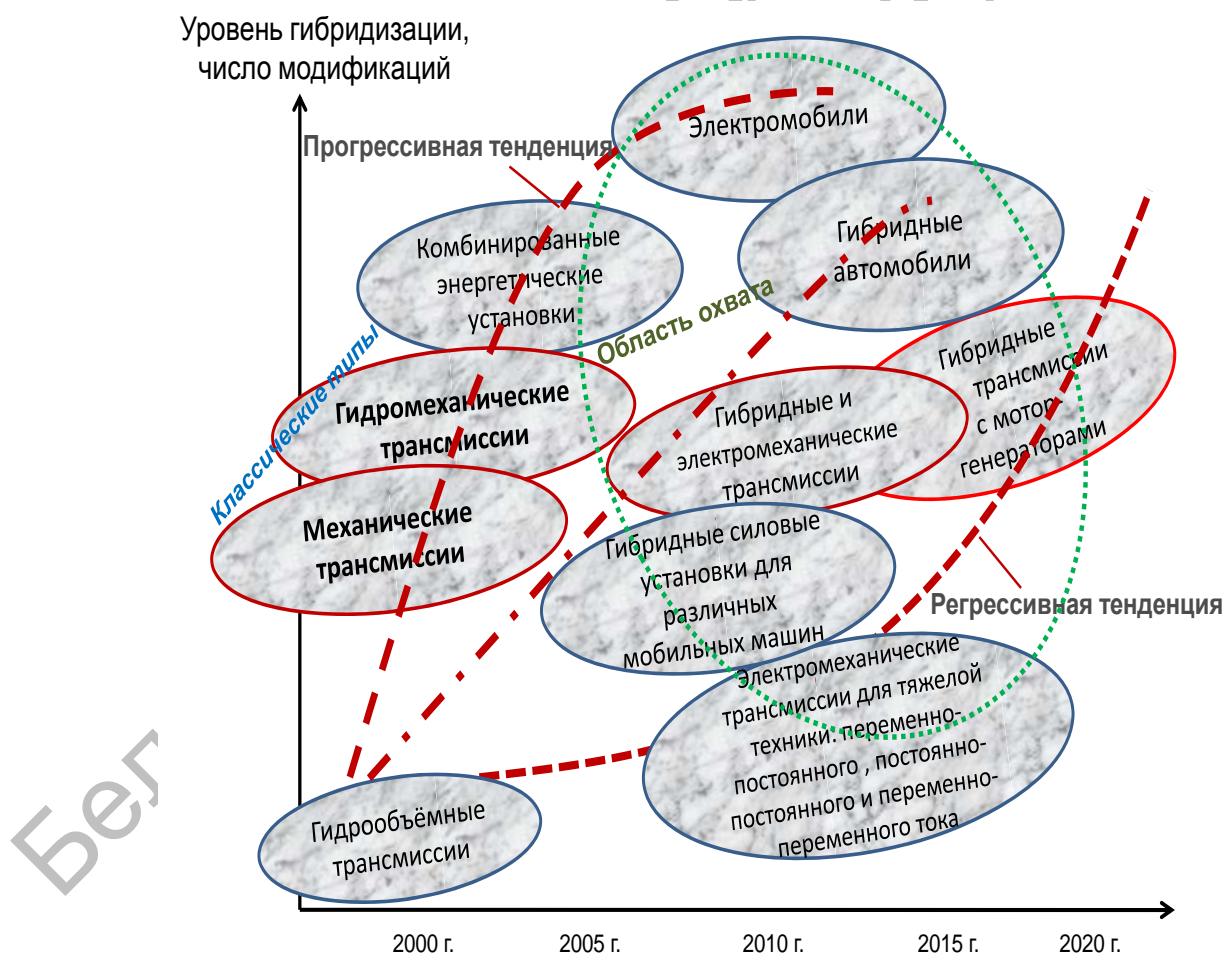


Рис. 4. Распространение различных типов трансмиссий, энергетических установок и автомобилей

Производство автомобилей, особенно легковых, с КЭУ идет по прогрессивной тенденции. Причем они постепенно замещают (если даже не сказать «вытесняют») классические типы трансмиссий: чисто механические и гидромеханические. В то же время модернизация тяжелой техники (например, большегрузных карьерных самосвалов с электрической трансмиссией) идет по регрессивной тенденции. Из рис. 4 так-

же видно, что область охвата перспективной техники на современном этапе представлена именно машинами с КЭУ, гибридными автомобилями и электромобилями.

Комбинированную гибридную трансмиссию CVT, установленную на автомобиле «Тойота-приус» (рис. 5), разработчики назвали PSD (Power Split Device, устройство распределения мощности, «трёхходовая муфта»).

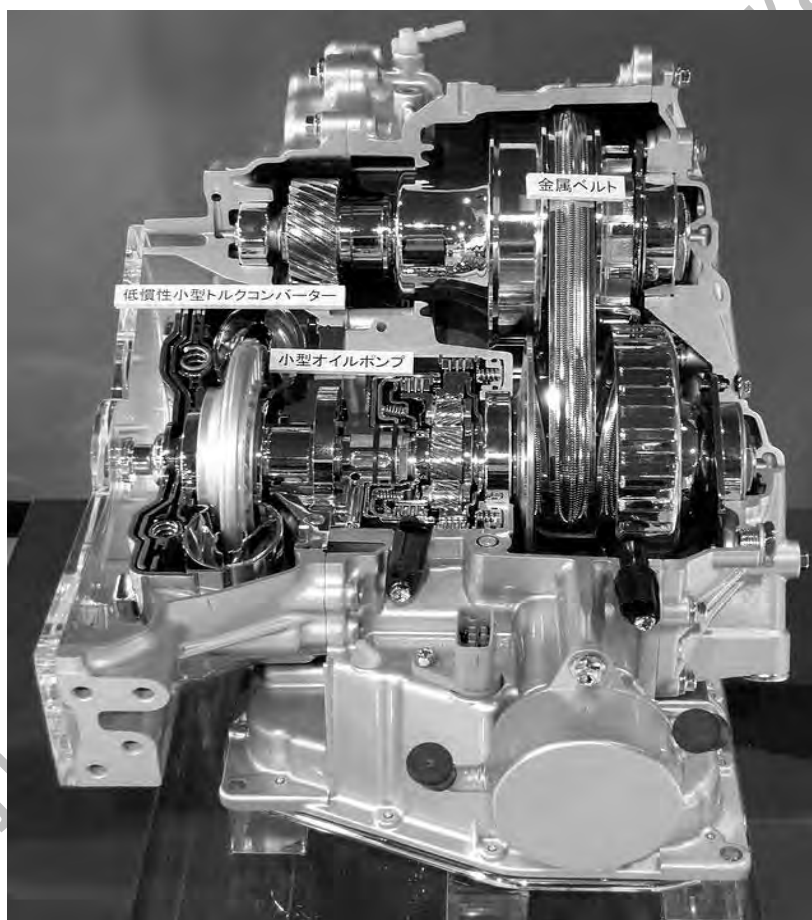


Рис. 5. Вариант конструкции гибридного привода (гибридной передачи)

Построено PSD на основе планетарной передачи, где с «солнечным колесом» соединён генератор, водило сателлитов соединено с двигателем, а «коронная шестерня» – с электромотором и колёсами. Поскольку соотношение диаметров (числа зубьев) шестерён планетарной передачи посто-

янное, планетарная передача делит крутящий момент двигателя внутреннего сгорания в постоянном отношении. Однако мотор-генератор, соединённый с «солнечным колесом» планетарной передачи, может быть больше или меньше нагружен электрическим током.

*Комбинированная гибридная
трансмиссия*

Процессом управляет контроллер гибридной системы автомобиля. Тормозной момент и, соответственно, частота вращения генератора могут изменяться в широких пределах (частота от -6000 до $+6000$ об/мин), при этом генератор может работать и как электромотор. В связи с этим скорость вращения колес автомобиля изменяется плавно, бесступенчато. При этом мощность, получаемая генератором, не пропадает, в виде электрической энергии поступает на тяговый электромотор и, объединяя усилия с моментом двигателя, приводит в движение автомобиль. Такой гибридный привод еще называют гибридным синергетическим.

Выводы

Решение проблемы в сфере проектирования и эксплуатации трансмиссий мобильных машин видится в осуществлении трех этапов.

1. Автоматизация управления и диагностирования механизмами гидрофицированных мобильных машин на новом уровне с учетом новой идеологии и на основе современных средств и методов сбора, обработки, анализа и передачи информации и создания на этой базе комплексных бортовых систем.

2. Развитие процесса гибридизации гидромеханических трансмиссий и создание автомобилей с гибридными энергетическими установками.

3. Создание роботизированных подвижных объектов и техники на новейших научно-технических принципах с учетом новых интеллектуальных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : Технопринт, 2004. – 512 с. : ил.
2. **Тарасик, В. П.** Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с. : ил.
3. **Рынкевич, С. А.** Новые технологии и проблемы науки на транспорте / С. А. Рынкевич. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 337 с. : ил.
4. 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 12 июня 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.