

**УПРАВЛЕНИЕ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ
ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ ТРАНСМИССИЙ:
СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗВИТИЯ**

Рынкевич С. А., д-р техн. наук, доц.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: *rynkev@tut.by*

**CONTROL AND DIAGNOSIS OF HYDRAULIC
TRANSMISSIONS: STATE OF THE PROBLEM AND
PROSPECTS FOR DEVELOPMENT**

S. Rynkevich, Doctor of Engineering Science, Associate professor,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,
e-mail: *rynkev@tut.by*,

Рассмотрены наиболее важные вопросы комплексной проблемы управления и диагностирования гидрофицированных трансмиссий мобильных машин на современном этапе. Описаны условия эксплуатации и режимы работы автотранспортных средств с гидрофицированными трансмиссиями. Предложен обоснованный ряд информационных переменных и критериев качества оценки технического состояния современных трансмиссий. Даны перспективы развития автоматизированных трансмиссий.

Ключевые слова: гидрофицированная трансмиссия, автотранспортное средство, управление, диагностика, техническое состояние, автоматизация, алгоритм, адаптивная интеллектуальная система.

The most important issues of the complex problem of control and diagnostics of hydraulic transmissions of mobile machines at the present stage are considered. The operating conditions and operating modes of vehicles

with hydraulic transmissions are described. A reasonable number of informational variables and quality criteria for assessing the technical state of modern trans-missions are proposed. Prospects for the development of automated transmissions are given.

Key words: hydraulic transmission, vehicle, control, diagnostics, technical condition, automation, algorithm, adaptive intelligent system

Введение

Транспортные средства оснащены современными бортовыми электронными системами и комплексами. Казалось бы, проблема с автоматизацией управления и контроля полностью решается. Однако имеется ряд факторов, которые препятствует успешному продвижению на рынок и использованию для выполнения транспортных работ современных автомобилей, оснащенных всевозможными средствами микроэлектроники. Это, прежде всего, сложность условий движения автотранспортных средств, а также субъективизм самого слабого звена в системе водитель – автотранспортное средство – дорога, которым является человек-водитель. Таким образом, сложилось противоречие между высокоразвитыми электронными средствами, которыми оснащаются транспортные средства (ТС), и возникающим рядом проблем и задач по безопасному и эффективному управлению ТС. В связи с этим бортовые системы управления и диагностики транспортных средств нуждаются в разработке и внедрению на ТС новейших адаптивных алгоритмах управления, наделенных новыми интеллектуальными качествами.

Безрельсовые подвижные объекты – будем условно называть мобильными машинами. К мобильным машинам относятся автотранспортные средства (грузовые автомобили, легковые автомобили и автобусы), строительно-дорожные машины (погрузчики, автогрейдеры, бульдозеры), трактора (колесные и гусеничные) и машины специального назначения (технологический транспорт и другие машины). Преимущественно все перечисленные категории машин снабжены гидравлическим приводом управления механизмами.

Данная статья посвящена проблемам автоматизации мобильной машины с гидрофицированной трансмиссией.

Мобильная машина (ММ), оснащенная гидрофицированной трансмиссией (ГТ), представляет сложную, иерархически организованную

систему взаимодействующих механизмов и деталей, которые информационно связаны и целенаправленно функционируют.

По своему функциональному назначению ММ как система представлена следующими подсистемами, отражающими ряд аспектов: топливно-экономический, экологический, энергетический, устойчивости и управляемости, безопасности и надежности, виброзащиты, улучшения условий труда и комфортабельности водителя и пассажиров, управления движением.

Трансмиссии современных ММ, основными элементами которых являются механические и гидромеханические передачи, работают в сложных условиях. При этом звенья и элементы этих механизмов, представляющих собой вальные и планетарные коробки передач мобильных машин, постоянно подвергаются знакопеременным нагрузкам.

Для эффективного выполнения мобильными машинами транспортной работы и обеспечения их работоспособности необходимо непрерывно в режиме реального времени отслеживать техническое состояние этих сложных передач.

В процессе выполнения научно-исследовательских работ в рамках ГПНИ «Механика, металлургия диагностика в машиностроении» по заданию 1.19, которые выполнялись в 2016–2020 гг., были разработаны методы и алгоритмы контроля и диагностики передач со сложным движением звеньев для машин мобильного применения, оснащенных бортовыми системами [1–3].

Рассмотрим условия эксплуатации и режимы работы ММ. Они, эти условия и режимы, сильно разнообразны и определяются множеством факторов, к которым относятся условия эксплуатации, типовые режимы, характеристики маршрутов, фазы движения. Условия эксплуатации определяются дорожными, природно-климатическими и эксплуатационно-техническими факторами. Эксплуатация ММ происходит в различных типовых режимах, которые включают в себя фазы движения машины: разгон, установившееся равномерное движение, замедление, торможение, остановки. Все разнообразие условий эксплуатации не поддается точному математическому описанию, относится к случайным событиям и на практике воплощается в реальные маршруты движения [1]. Маршруты классифицируются по различным признакам. В зависимости от рельефа местности

маршруты бывают равнинные, горно-холмистые, горные и высокогорные. В зависимости от условий применения транспортного средства маршруты бывают магистральные, городские, карьерные и др. Если иметь в виду дороги с усовершенствованным покрытием, то можно выделить три характерных типа маршрутов по сложности условий их эксплуатации: магистральные, горные и городские. Различают комбинированные маршруты, например, магистрально-холмистые, горно-холмистые, а также пригородные, межрайонные, местные и т. д., которые относятся к частным случаям типовых маршрутов.

Рассмотренные обстоятельства оказывают непосредственное влияние на формирование тягово-скоростных и топливно-экономических показателей эксплуатируемой ММ, а также обеспечение ее безопасности и надежности. В связи с этим необходимо осуществлять дифференцированный их учет при синтезе алгоритмов управления в процессе комплексных исследований их влияния на показатели эффективности и качества, научно-технического прогнозирования на стадии проектировании перспективных систем управления и диагностики. Ориентация на уже достигнутый уровень обеспечения высоких технико-экономических показателей машин, решения вопросов обеспечения 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 ММ [4–6].

1. Автоматизация трансмиссий мобильных машин

В конструкциях современных ММ часто используются гидрофицированные механизмы в совокупности с гидромеханическими передачами (ГМП) и механическими трансмиссиями (МТ) [6, 7].

Основная проблема автоматизации управления и диагностирования гидрофицированных трансмиссий современных ММ связана с многообразием и огромной сложностью происходящих при движении ММ процессов. Для решения этой проблемы широко используются новые технологии и методы, основанные на других подходах, отличных от тех, которые опираются на принципы классической теории

автоматического управления [8]. Использование современных технологий позволяет выйти на новый уровень проектирования автоматических устройств – уровень создания интеллектуальных бортовых систем (ИБС). Создание ИБС решает ряд задач данной проблемы. При этом появляется возможность использования систем управления/диагностики на основе большого объема информации различной физической природы. Конструкция автоматических систем управления и контроля упрощается, и снижается стоимость создаваемых изделий. Появляются возможности реализации программ управления/диагностики в режиме реального времени, а шины, оснащенные такими системами, становятся безопасными и надежными. Такие ММ уже наделяются интеллектуальными функциями, приобретая способность к обучению (самообучению) [9].

В соответствии с поставленными задачами НИР по заданию 1.19 были разработаны:

- методики мониторинга механических и гидромеханических передач со сложным движением звеньев для мобильных машин, оснащенных бортовыми системами управления;

- современные методы активного мониторинга трансмиссий мобильных машин в режиме реального времени;

- компьютерные модели для системы мониторинга трансмиссий мобильных машин и алгоритмы, реализующие методы контроля механических и гидромеханических передач со сложным движением звеньев;

- методика прогнозирования основных показателей, определяющих ресурс трансмиссий машин мобильного применения;

- технико-экономическая оценка эффективности разработанных методов активного мониторинга и контроля трансмиссий мобильных машин;

- рекомендации по рациональным областям применения этих методов.

Результаты данной НИР воплощены в создание гаммы технических устройств с алгоритмами мониторинга и контроля технического состояния мобильных и технологических машин. Разработаны практические рекомендации и техническая документация для их промышленного применения с последующим внедрением на отечественных предприятиях автомобилестроения.

Применение ГТ в конструкциях ММ 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.

В современном автомобилестроении разрабатываемые АМБС и такая их разновидность, как системы технического диагностирования (СТД), должны обеспечивать следующие основные функции [1]:

- оперативное определение технического состояния основных механизмов ММ в текущий момент времени;
- комплексное диагностирование параметров элементов и механизмов трансмиссии, тормозной системы, подвески, гидропривода;
- непрерывный контроль (мониторинг) основных параметров механизмов и их элементов (температуры, давления масла в магистралях и фрикционных, расхода рабочей жидкости и др.);
- идентификация и предотвращение опасных ситуаций в процессе управления движением автомобиля при функционировании всех подсистем;
- защита от ошибочных управляющих действий водителя;
- анализ информации о текущих процессах с выдачей водителю оперативных сигналов отклонений от технических требований;
- прием информации от других измерительных систем по любому из стандартных интерфейсов и протоколов;
- выдача результатов диагностирования в текстовом и графическом виде;
- отображение текущего состояния машины (ЛА в частности) в графическом режиме на дисплее в удобном для водителя виде.

Международным стандартом SAE J1939-73 специально для автомобильной диагностики разработан комплекс требований для построения диагностических электронных систем. Там же приведены базовая нотация и синтаксис используемых языков, позволяющих создавать программные коды для программирования микроконтроллеров [1].

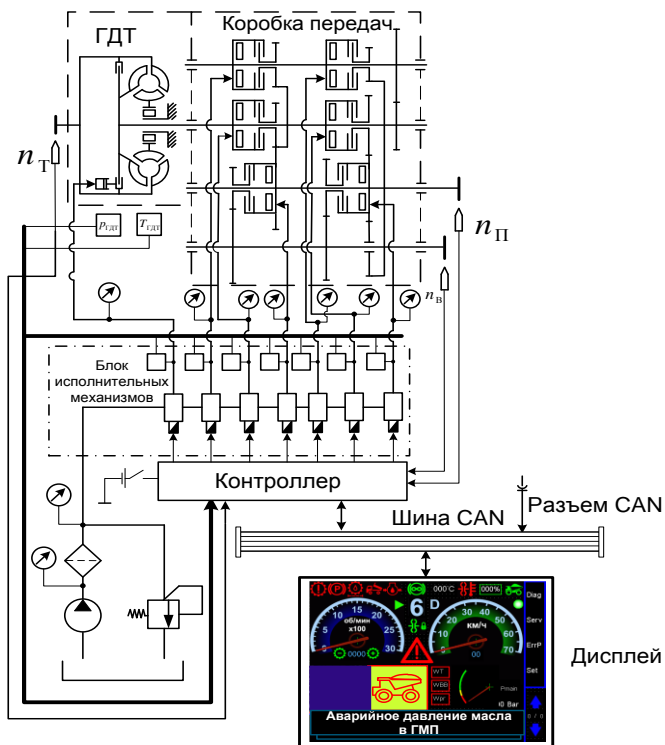


Рисунок 1 – Схема интеллектуальной бортовой системы управления и диагностирования ГМП автосамосвала

К настоящему времени разработанные для автосамосвалов БелАЗ-7555 ИБС ГМП прошли эксплуатационные испытания, и осуществлена подготовка к их серийному производству. Предложенная автором перспективная ИБС и алгоритмы ее функционирования используются при оперативном определении ТС трансмиссии автомобилей-самосвалов. Система обрабатывает сигналы о неисправностях компонентов ГМП, парирует ошибочные действия водителя, исключает одновременное включение двух передач, выдает информацию на дисплей аварийных режимах работы и нештатных ситуациях, обеспечивает хранение этой информации с возможностью вывода ее на ноутбук для анализа и принятия решения (рисунок 1).

2. К вопросу формирования технических диагнозов в автоматических ГТ ММ

Автоматизация управления трансмиссиями ММ неразрывно связана с автоматизацией диагностирования технического состояния мобильных машин с ГТ. Источником формирования технических диагнозов, характеризующих состояние ГТ, служит комплекс информации об изменении характеристик диагностических параметров. Количество информации, поставляемой автоматической системе диагностирования (АСД), должно быть необходимым и достаточным для достоверной однозначной идентификации режимов работы ГМП и формирования адекватных происходящим процессам диагнозов, обеспечивающих безопасность и надежность [8–10].

Эффективное функционирование механизмов автомобилей, тракторов и других мобильных машин может быть обеспечено путем применения самых совершенных принципов, методов и технических средств определения их технического состояния (ТС). Диагностические системы являются неотъемлемой принадлежностью современных автомобилей и их механизмов, позволяя автоматизировать процессы получения объективной оценки их ТС в рамках стратегии, нацеленной на достижение высоких показателей технического уровня и конкурентоспособности транспортных объектов. В связи с этим приобретает существенную значимость развитие теории диагностирования автомобильных систем [1].

Исходя из анализа условий работы автомобилей установлено, что для обеспечения качественного диагностирования их механизмов необходимо использовать определенный комплекс информационных переменных (ИП), которые зачастую одновременно служат и диагностическими параметрами (ДП). Поскольку одновременно осуществляется и управление машиной, и ее диагностирование, то некоторые информационные переменные служат также диагностическими параметрами и используются и в том, и в другом случае.

При обоснованном отборе ИП в качестве диагностических параметров следует учитывать: уровень разрабатываемых математических моделей, отражающих функциональные зависимости между конструктивными параметрами ММ и ИП; точность и степень совершенства существующих технических средств измерения ИП, а также

возможность разработки и применения новых средств, удовлетворяющих требованиям к классу точности, условиям эксплуатации, стоимости и т. д.; уровень приспособленности объекта к автоматизации процесса диагностирования; возможность взаимодействия разрабатываемой автоматической системы диагностирования с остальными бортовыми электронно-вычислительными комплексами, а также уровень использования новых информационных технологий.

Для анализа функционирования (движения) ММ автором получена система дифференциальных уравнений, описывающая движение дискретных масс динамической модели ММ [1]. В векторно-матричном виде она имеет вид:

$$\begin{aligned} \vec{\omega} &= \frac{1}{J} \cdot \vec{F} [\vec{M}_B, \vec{M}_{ГДТ}, \vec{M}_V, \vec{M}_D, \vec{M}_\Phi, \vec{L}_\Phi, \vec{L}_H, \vec{u}, \vec{\eta}]; \\ \vec{M}_V &= \vec{F}(\vec{c}, \vec{\omega}, \vec{u}); \quad \vec{M}_D = (\vec{\mu}, \vec{\omega}, \vec{u}), \end{aligned}$$

где $\vec{\alpha}$ и \vec{J} – векторы угловых скоростей и приведенных моментов инерции сосредоточенных масс; \vec{M}_B – вектор момента внешних воздействий (двигателя, сопротивления качению колес, подъему и воздуха); $\vec{M}_{ГДТ}$ – вектор момента преобразующих свойств ГДТ; \vec{M}_V и \vec{M}_D – векторы моментов упругих и диссипативных элементов; \vec{M}_Φ – вектор момента трения фрикционных элементов, т. е. фрикционных муфт (ФМ) блокировки гидротрансформатора (ГДТ), коробки передач и между сосредоточенными массами ступиц и шин ведущих колес; \vec{L}_Φ – вектор дискретных функций состояний ФМ; \vec{L}_H – вектор дискретных функций состояния ГДТ, \vec{u} и $\vec{\eta}$ – векторы передаточных чисел пар шестерен, обеспечивающих передачу энергии между входным и промежуточным валами, понижающего и повышающего диапазонов, главной и колесной передач и соответствующих КПД; \vec{c} и $\vec{\mu}$ – векторы параметров упругих и диссипативных элементов (коэффициентов жесткости и сопротивления). Дискретные функции $L_{\alpha 1}, L_{\phi 1} \dots L_{\phi 4}, L_{\phi k}$, равны 1 в процессе включения ФМ в их замкнутом

состоянии и равны 0 при выключении и в выключенном состоянии ФМ, а $L_H = 1$ при функционировании ГДТ, после его блокирования.

Для того, чтобы в полной мере отражать информацию о техническом состоянии ГТ ММ, при выполнении комплекса НИР была установлена необходимая и достаточная совокупность ИП, которые могут служить в качестве ДП для АСД [4, 5].

Это:

– *механические ДП*, т. е. частоты вращения валов двигателя, турбинного ГДТ и выходного КП n_o, n_T, n_g , об/мин;

– *гидравлические ДП*, к которым относятся:

– *тепловые ДП* – это температура рабочей жидкости в магистралях и на выходе (входе) ГДТ $T_{ГДТ}$, К;

– *электрические и временные ДП*:

время регулирования давления во фрикционе при переключении передач t_p , с;

– эталонное время буксования фрикционов коробки передач $t_э$, с;

– предельное время буксования фрикционов коробки передач $t_{б.п}$, с;

– сигнал индикатора неисправности датчика скорости D_v ;

– номинальный ток управления пропорциональными электромагнитами фрикционов ГМП $I_{ном}$, А;

– напряжение на обмотке электромагнитных клапанов $U_{эк}$, В;

– сила тока на обмотке электромагнитных клапанов $I_{эк}$, А;

– количество переключений передач $k_{КП}$ и блокировок ГДТ

$k_{ГДТ}$;

– сигнал индикатора уровня масла в баке S_o ;

– время задержки формирования нового сигнала управления $t_{зв}$, с.

Для прогнозирования перехода ММ в неработоспособное ТС в качестве меры удаления значения ДП от границы области работоспособности определен запас работоспособности $\Delta \xi_i$. Увеличение $\Delta \xi_i$ соответствует удалению значения ДП от этой границы, и наоборот. Выход ДП за границы области выявляет появление отказа. $\Delta \xi_i$ через текущее $\Delta \xi_i$ и граничное $\Delta \xi_i^f$ значения вычисляется по формуле:

$$\Delta \xi_i = \left| \xi_i - \xi_i^f \right|.$$

На основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований и анализа ТС ГМП должен быть получен перечень допустимых и предельных значений параметров [8, 9, 12].

Выводы

При решении задач автоматизации трансмиссий мобильных машин различного назначения следует создавать *адаптивные алгоритмы управления и диагностирования* для бортовых электронных систем, которые учитывают *в режиме реального времени* большой объем информации различной физической природы; причем эти алгоритмы должны быть наделены *интеллектуальными качествами* и способны непрерывно обеспечивать функции управления, контроля и мониторинга трансмиссий и других механизмов мобильных машин.

Литература

1. Скойбеда, А. Т. Гидромеханические передачи мобильных машин. Проектирование и диагностика / А. Т. Скойбеда, С. А. Рынкевич. – Могилев : УПКП «Могилев. обл. укруп. типогр. им. С. Соболя», 2014. – 230 с. : ил.
2. Рынкевич, С. А. Управление и диагностика мобильных машин на основе бортовой микроэлектроники: этапы и перспективы / С. А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 3 (44). – С. 57–67.
3. Рынкевич, С. А. Автоматизация трансмиссий гидрофицированных мобильных машин / С.А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 4 (45). – С. 68–78.
4. Рынкевич, С.А. Проектирование, эксплуатация и диагностика мобильных машин / С.А. Рынкевич, В.В. Кутузов. – Могилев : Белорус.-Росс. ун-т, 2016. – 223 с. : ил.
5. Рынкевич, С. А. Автоматизация проектирования гидрофицированных строительно-дорожных машин / Кафедра СДПТМиО». История становления и развития». – 21 ноября 2014 г. – С. 101–114.

6. Рынкевич, С.А. Комплексная идентификация технического состояния ГМП / С. А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 9. – С. 27–31.

7. Рынкевич, С. А. Основы управления и диагностирования автотранспортных средств с применением бортовой микроэлектроники / С. А. Рынкевич // Вестник Курганского государственного университета. Серия «Технические науки». Выпуск 12. – 2017. – № 2 (45). – С. 77–84.

8. Рынкевич, С. А. Оценка технического состояния гидромеханической трансмиссии карьерного автосамосвала в условиях эксплуатации / С. А. Рынкевич // Материалы I Междун.-практ. конф. «Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК-2017». – Тюмень : ТИУ. – 2017. – С. 198–202.

9. Рынкевич, С. А. Концептуальные основы диагностики гидрофицированных трансмиссий карьерной техники / С. А. Рынкевич // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы международной научно-технической конференции. Сборник трудов. – Тюмень, 2018. – С. 237–241.

10. Рынкевич, С. А. Методология проектирования подвижных объектов / С. А. Рынкевич // Сб. науч. трудов БНТУ «Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии» : Минск, 2018. – С. 130–153.

11. Семёнов, И. Н. Повышение надежности гидрофицированных трансмиссий легковых автомобилей / И. Н. Семёнов И.Н., С. А. Рынкевич // Автомобиле- и тракторостроение : материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 24–27 мая 2019 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол. : отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – Т. 1. – С. 48–52.

12. Рынкевич, С. А. Автоматизация диагностирования механических и гидромеханических трансмиссий / С. А. Рынкевич // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов в 2-х томах / Белорусский национальный технический университет; редкол. : отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 46–50.

Статья поступила 08.11.2021