

В.П. ТАРАСИК, д-р техн. наук,
С.А. РЫНКЕВИЧ, канд. техн. наук
Белорусско-Российский университет, г. Могилев

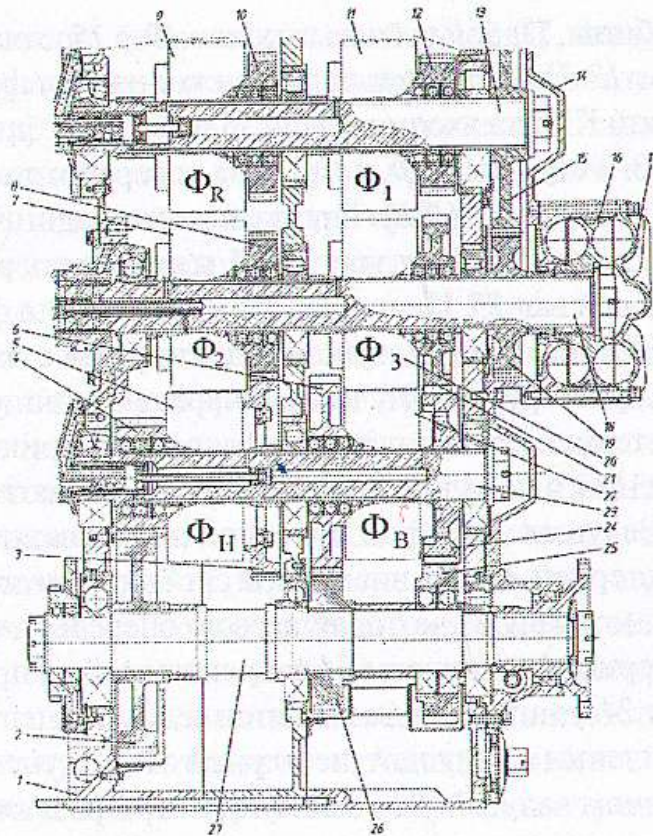
МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ

Изложены методология и основные принципы создания эффективной бортовой электронной системы автоматического диагностирования гидромеханической передачи. Система предназначена для использования на современных грузовых автомобилях, строительно-дорожных машинах и машинах специального назначения, в том числе и на гусеничном ходу.

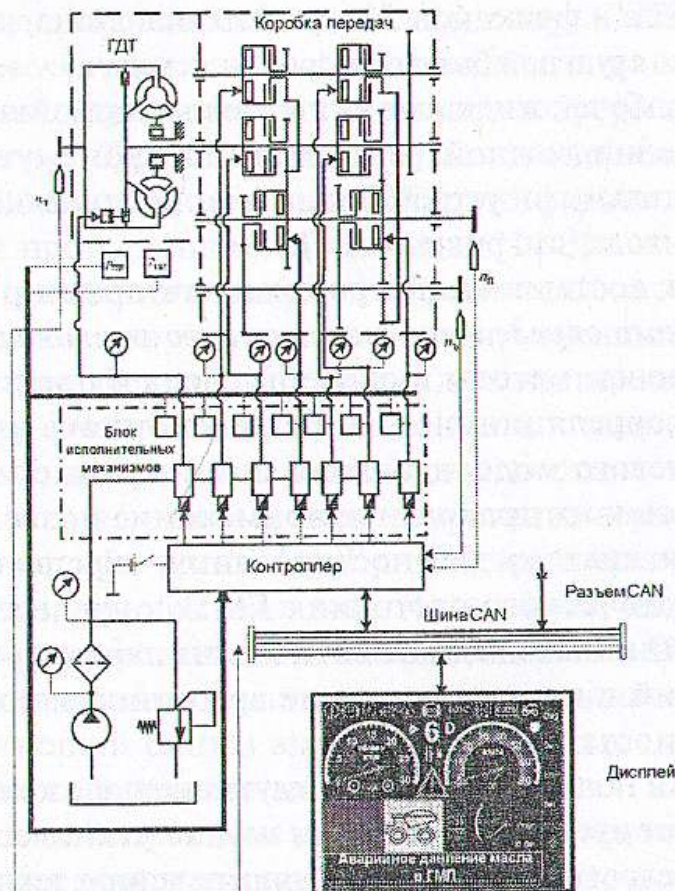
Для карьерных самосвалов и других мобильных машин важно обеспечить высокую производительность выполнения транспортной работы, безопасность движения, облегчить условия труда водителя, обеспечить безаварийное функционирование механизмов и качественное определение их технического состояния. Применение гидромеханических передач (ГМП) совместно с бортовыми системами позволяет, в принципе, обеспечить эти требования. Однако ГМП, являясь самым дорогостоящим механизмом, имеет наименьший срок службы среди остальных механизмов, причем многие его элементы (фрикционы, гидравлические насосы) в значительной мере лимитируют надежность и долговечность, а выход их из строя приводит к опасным отказам и аварийным ситуациям, вплоть до разрушения конструкции, что является большой проблемой для эксплуатирующих организаций.

Существующие традиционные подходы к решению проблемы, а также к определению технического состояния ГМП и обеспечению работоспособности (даже на основе применения электронных мобильных систем диагностики) не всегда эффективны, т.к. приходится исключать машины из рабочего цикла в связи с аварийными ситуациями или необходимостью проведения технических обслуживаний, часто преждевременных и необоснованных ни технически, ни экономически.

На рисунке 1 показана модернизированная конструкция коробки передач ГМП карьерного самосвала БелАЗ-7555, оснащенного двигателем мощностью 537 кВт. Коробка передач (КП) четырехвальная двухдиапазонная с тремя степенями свободы. Передаточные числа и порядок включения фрикционов приведены в [1]. Количество пар трения фрикционов составляет 18, номинальное давление рабочей жидкости равно 1,4 МПа. На входном валу 18 (см. рисунок 1 а) закреплено колесо турбины гидротрансформатора (ГДТ), т.е. он одновременно



a



б

Рисунок 1 — Конструкция коробки передач (а) ГМП карьерного самосвала и схема мехатронной системы (б) ее бортового диагностирования (СБД)

является валом турбины. Парой зубчатых колес 19 и 15 входной вал 18 связан с реверсивным валом 13. На этих двух валах расположены фрикционы включения ступеней базовой КП: на входном валу 18 находятся фрикционы 7 и 20 соответственно 2-й и 3-й ступеней (Φ_2 и Φ_3), а на реверсивном — фрикционы 1-й ступени 11 и ступени реверса 9 (Φ_R). При замыкании одного из этих фрикционов включается соответствующая ступень КП, и энергия передается от турбины ГДТ на промежуточный вал 23. Например, при включении фрикциона 2-й ступени 7 ведущая шестерня 8 этой ступени блокируется с входным валом 18 и передает вращение промежуточному валу 23 через находящуюся с ней в зацеплении ведомую шестерню 3, закрепленную на корпусе фрикциона нижнего диапазона 5, установленного на валу 23. Аналогично включаются 1-я и 3-я ступени и ступень реверса. Ведущая шестерня 1-й ступени 12 находится в зацеплении с промежуточной шестерней 25, установленной свободно на двух шариковых подшипниках на выходном валу 27, которая, в свою очередь, находится в зацеплении с ведомой шестерней 1-й ступени 24, закрепленной на промежуточном валу 23. Эта же шестерня 24 одновременно является ведомой шестерней 3-й ступени и находится в зацеплении с ведущей шестерней этой ступени 21. Таким образом, на промежуточном валу 23 КП реализуются три различных скорости вращения, соответствующие ступеням переднего хода, и одна — заднего хода (реверсивная). На промежуточном валу 23 находятся два фрикциона диапазонов — фрикцион 5 нижнего и фрикцион 22 верхнего диапазона, которые позволяют удвоить количество ступеней базовой коробки передач.

Для подвода рабочей жидкости к гидравлическим цилиндрам фрикционов при их включении входной, реверсивный и промежуточный валы снабжены распределительными устройствами и автоматической системой диагностики гидропривода (см. рисунок 1 б).

Для решения поставленной проблемы авторами разработан новый подход комплексного определения технического состояния ГМП. В его основу положены новые методы и способы сбора и представления информации, методы корреляционного и регрессионного анализа, нечеткой логики, нейросетевого моделирования и экспертные методы. Совокупность этих методов и их правильное применение позволяют создать высокоэффективную систему диагностирования, обеспечивающую оценку фактического технического состояния ГМП, определение остаточного ресурса, исключение выхода диагностических параметров за пределы допустимых значений и прогнозирование вероятности возникновения отказов и неисправностей.

Разработанный подход включает следующие положения, каждое из которых соответствует проводимым этапам научно-технических работ:

- системность и целостность подхода к определению технического состояния объекта диагностирования;
- обоснованный выбор диагностических параметров;
- анализ статистических оценок эксплуатационной надежности ГМП и упорядочивание эксплуатационной информации;

- всесторонний анализ физических свойств ГМП, получение математического описания и установление закономерностей поведения показателей работоспособности при изменении диагностических параметров;
- оценка работоспособности ГМП по определенным правилам с использованием расширенного комплекса критериев;
- идентификация технического состояния ГМП на основе интеллектуальных методов распознавания;
- определение остаточного ресурса на основе новых методов прогнозирования;
- синтез алгоритмов диагностирования ГМП и разработка программного обеспечения для последующей реализации этих алгоритмов в электронной системе.

В основу создания системы диагностирования ГМП должны быть положены *научные принципы* системного и синтезного подхода, базирующиеся на комплексной одновременной разработке инструментального, методического, информационного и алгоритмического обеспечения, причем реализация этих принципов должна основываться на новых математических моделях с учетом специфических особенностей объекта диагностирования (ОД), теоретических и экспериментальных методах, позволяя выявить новые физические свойства и закономерности, вскрыть внутреннюю структуру неоднородных процессов и обнаружить ранее неизвестные явления, подлежащие реализации в алгоритмах системы диагностирования. При создании и внедрении в производство системы диагностирования ГМП должны быть реализованы *технические принципы*, заключающиеся в применении новых методов сбора, обработки, передачи и анализа информации; обеспечении приспособленности ОД к автоматизации; интеграции системы управления, мониторинга, защиты и диагностики ГМП; унификации информационного, аппаратного и программного обеспечения [1—3].

В процессе проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований установлено, что совокупность отмеченных положений позволяет создать высокоэффективную систему диагностирования ГМП, обеспечивающую оценку фактического технического состояния, определение остаточного ресурса, исключение выхода диагностических параметров за пределы допустимых значений и прогнозирование вероятности возникновения отказов и неисправностей [1]. Причем под системой будем понимать не только совокупность объекта и технического устройства, реализующего алгоритмы диагностирования технического состояния ГМП, но и комплекс решенных взаимосвязанных научно-методических и методологических вопросов, обеспечивающий синтез высокоэффективных алгоритмов диагностирования конкретного технического объекта.

Разработана *новая стратегия оперативного диагностирования ГМП*, отличающаяся одновременным использованием в качестве первичной информации совокупности кинематических и гидравлических параметров, параметров тепловых процессов на основе системного подхода и многоуровневой фрагментации объекта, при которых диагностические параметры верхнего иерархического уровня являются критериями оценки предельного состоя-

ния более нижнего уровня, обеспечивающая сокращение затрат на обслуживание и ремонт и предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к разрушению конструкции. При реализации новой стратегии диагностирования ГМП использован системный подход на основе принципов декомпозиции, иерархичности, итеративности, выбора необходимого пространства диагностических параметров и критериев предельного состояния с комплексным осуществлением всего процесса диагностирования объекта.

Принцип декомпозиции заключается в последовательном блочном структурировании ОД по функциональным признакам. Вначале выделяют крупные блоки, составляющие верхний уровень иерархии, затем каждый блок расчлняют на более мелкие блоки, входящие в следующий уровень, и т.д., вплоть до неделимых элементов (деталей), составляющих нижний уровень иерархии. При этом ОД и выделяемые блоки при описании физических свойств структурируют по степени абстрагирования и относят к одному из трех уровней: метауровню, макроуровню или микроуровню. Предложено применять блочную декомпозицию, при которой все выделенные блоки различного уровня иерархии относят к одному и тому же уровню иерархии по степени абстрагирования, а именно, к макроуровню. Это обеспечивает для математического описания их физических свойств использование математических моделей одного и того же класса.

В соответствии с разработанным подходом цели диагностирования всех элементов ОД должны быть подчинены конечной цели — обеспечению эффективного определения ТС объекта. Поэтому наряду с блочной декомпозицией объекта необходима декомпозиция критериев оценки ТС. Разнородность критериев на различных уровнях и неоднозначное их влияние на конечный результат вынуждают многократно поочередно повторять процедуры выбора диагностических параметров для всех блоков, т.е. реализовать *итеративный принцип*.

Оценка эффективности процесса диагностирования любого технического объекта предполагает поиск наилучшего варианта или нескольких допустимых альтернативных вариантов. Поэтому одной из основ технологии диагностирования является рациональный выбор диагностических параметров, критериев оценки и условий работоспособности объекта, который выполняют для каждого блока, выделяемого при декомпозиции. При этом реализуется *принцип выбора диагностических параметров и критериев предельного состояния*. Сущность этого принципа заключается в том, что на каждом уровне декомпозиции применяются свои критерии оценки предельных состояний ОД. Критериями при этом являются параметры состояния блока, т.е. параметры элементов объекта. В свою очередь, диагностические параметры анализируемого блока — это параметры состояния его элементов, получаемых при дальнейшей декомпозиции блока. В результате оказывается, что при анализе любого элемента объекта используемые критерии получены как результат выбора параметров более крупного блока. По существу декомпозиция объекта приводит к декомпозиции критериев. Следовательно, критерии

на всех уровнях декомпозиции объекта взаимосвязаны и подчинены конечной цели — достижению высоких показателей эффективности оценки технического состояния ОД.

На кафедре «Автомобили» в рамках ГПОФИ «Механика — 31» разработана методика синтеза алгоритмов управления ГМП. На основе выполненных по этой программе исследований и в рамках задания по тематике ГКПНИ «Механика 2.35» разработаны электронные САУ для выпускаемого на Белорусском автомобильном заводе автомобиля-самосвала БелАЗ-7555 грузоподъемностью 60 т. В рамках данных работ была разработана конструкция ГМП, которая является полностью приспособленной к автоматизации. К настоящему времени разработанные САУ прошли эксплуатационные испытания, и осуществлена подготовка к их производству. Завершающий этап работ по автоматизации ГМП автосамосвала БелАЗ-7555 — создание мехатронной бортовой системы диагностирования, обеспечивающей оперативное определение технического состояния трансмиссии машины [4].

Наиболее перспективным направлением автоматизации управления ГМП является применение электронных систем, наделенных новейшими техническими средствами и снабженными высокоэффективными алгоритмами. Электронный блок управления (ЭБУ) формирует сигналы управления переключением передач, блокированием ГДТ, режимами работы двигателя при переключении передач, обеспечивая эффективное управление процессом включения и выключения фрикционов. Такую разнородную техническую систему принято называть мехатронной системой автоматического управления (МСАУ) [4].

При создании МСАУ для карьерных самосвалов БелАЗ был учтен мировой опыт автоматизации управления ГМП. Наиболее совершенные технические решения созданы фирмами *Allison*, *Caterpillar*, *Komatsu*. Анализ современных инженерных решений позволил сформировать научно обоснованный комплекс технических требований к создаваемой системе, реализация которых обеспечивает высокий технический уровень и конкурентоспособность карьерных самосвалов.

МСАУ располагает системой диагностирования, обеспечивающей обработку сигналов о неисправностях ее компонентов и фрикционов ГМП. МСАУ обеспечивает защиту от ошибочных действий водителя, исключает одновременное включение двух передач, выдает информацию на блок индикации (дисплей) об аварийных режимах работы основных механизмов и нештатных ситуациях, обеспечивает хранение этой информации и возможность вывода ее на ноутбук для анализа и принятия решения по восстановлению работоспособности системы.

Принципиальная схема электронно-гидравлической системы автоматического управления и диагностирования ГМП карьерных самосвалов грузоподъемностью 4560 тонн представлена в [1, 4] и на рисунке 1 б. ЭБУ совместно с электронным блоком управления двигателем и блоком индикации объединены в единую сеть посредством CAN-шины. Обмен информацией с двигателем производится по протоколу CAN (J1939). В состав МСАУ входят датчики частоты вращения турбинного, промежуточного и выходного валов ГМП; включения рабочей тормозной системы; включения стояноч-

ного тормоза; переключатель режимов управления ГМП; включатель ограничения диапазона переключаемых передач; датчики положения грузовой платформы; давления в выходной гидромагистрали ГДТ; температуры рабочей жидкости на выходе ГДТ; давления в системе смазки ГМП; главного давления ГМП; засоренности фильтра; давления в каналах включения фрикционов. Необходимая для работы МСАУ ГМП информация о частоте вращения коленчатого вала двигателя и положении педали подачи топлива поступает в ЭБУ ГМП от ЭБУ двигателя по CAN-шине по протоколу J1939. В качестве ЭБУ ГМП используется программируемый контроллер серии RC8/8-22. Основной его частью является 16-разрядный микроконтроллер C167CS, в состав которого входит процессор, генератор с тактовой частотой 40 МГц, ОЗУ объемом 256 Кб, флэш-память объемом 512 Кб, электрически стираемое перепрограммируемое ПЗУ емкостью 16 Кб, модули ввода-вывода, обеспечивающие сопряжение с датчиками и исполнительными устройствами, два CAN-контроллера, подключающие ЭБУ к CAN-шине. ЭБУ имеет модули ввода аналоговых, частотных и дискретных сигналов с датчиков, вывода сигналов управления пропорциональными электромагнитами и устройствами с дискретным действием.

Список литературы

1. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н.Н. Горбатенко [и др.]; под общ. ред. проф. В.П. Тарасика. — Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. — 511 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. Мехатронная система управления и диагностирования гидромеханической передачи мобильной машины / В.П. Тарасик [и др.] // Механика — машиностроению: материалы междунар. науч.-техн. конф. «Инновации в машиностроении» и VI Междунар. симпозиума по трибофатике МСТФ 2010. — Минск, 26—29 окт. 2010 г. / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. — Минск, 2010. — С. 204—207.