

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ  
ТРАНСМИССИЙ: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ,  
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР КРИТЕРИЕВ  
КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ**

**TECHNICAL CONDITION HYDRAULIC TRANSMISSION:  
STATUS OF THE PROBLEM, RATIONALE OF PARAMETERS  
AND SELECTION OF THE CRITERIA OF QUALITY  
OF AUTOMATED DIAGNOSTICS**

*Рынкевич С.А.*, д-р техн. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь;

*Семенов И.Н.*, маг. техн. наук, ст. препод.,  
Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Беларусь

*S. Rynkevich*, Doctor of technical Sciences, Associate professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*I. Semenov*, master of technical Sciences, senior lecturer,  
Brest state technical University, Brest, Belarus

*Рассмотрены концептуальные вопросы оценки технического состояния гидрофицированных трансмиссий. Обозначена проблема диагностирования технического состояния мобильных машин и приведены современные подходы при ее решении. Описаны условия эксплуатации и режимы работы легковых и других автомобилей с гидрофицированными трансмиссиями. Обоснован выбор ряда диагностических параметров и критериев качества оценки технического состояния современных трансмиссий. Рассмотрены перспективные типы автоматизированных трансмиссий.*

*Ключевые слова:* гидрофицированная трансмиссия, диагностика, техническое состояние, параметр диагностирования, критерий качества, автоматизация, адаптивная система.

*Conceptual issues of evaluation of technical condition of hydraulic transmissions. The problem of diagnosing the technical condition of mobile machines is indicated and modern approaches to its solution are given. OPIE-Sana'a operating conditions and modes of operation of cars and other vehicles with hydraulic transmissions. The choice of a number of diagnostic parameters and quality criteria for assessing the technical condition of modern transmissions is substantiated. Perspective types of automatic transmissions are considered.*

*Key words: hydraulic transmission, diagnostics, technical condition, diagnostic parameter, quality criterion, automation, adaptive system.*

## **Введение**

Легковой автомобиль (ЛА), оснащенный гидрофицированной трансмиссией (ГТ), представляет собой очень сложную, иерархически организованную систему взаимодействующих механизмов и деталей. Эти элементы информационно связаны и целенаправленно функционируют. По своему функциональному назначению ЛА как система охватывает ряд взаимообусловленных аспектов: топливно-экономический, экологический, энергетический, устойчивости и управляемости, безопасности и надежности, виброзащиты, улучшения условий труда и комфортабельности водителя и пассажиров, управления движением, а также навигации и сервиса. Каждый из этих аспектов имеет большую значимость, занимает важное место и неразрывно связан со всеми из перечисленных элементов.

**Обзор научных публикаций** по основной проблеме исследования показал, что ЛА, как объект диагностирования функционирует в очень сложных условиях внешней среды, которые чрезвычайно разнообразны и определяются параметрами дорожных, эксплуатационно-технических, природно-климатических характеристик, маршрутами и фазами движения, режимами нагружения трансмиссии, а также различными (в том числе и нештатными) ситуациями. В связи с этим важно правильно и своевременно управлять всеми механизмами и подсистемами автомобиля. При этом очень важно и нужно учитывать поведение человека как субъективного элемента всей системы: непредсказуемость водителя при воздействии на органы управления ЛА, его психофизическое и эмоциональное состояние, степень усталости, квалификацию с учетом особенностей поведения

других участников движения. Этим вопросам посвящен ряд публикаций отечественных и зарубежных ученых.

Переходя от функционального назначения элементов ЛА и его ГТ к структурным взаимосвязям, можно считать каждый перечисленный выше аспект подсистемой выбранного для анализа типа транспортного средства [1]. Автоматизация любого из упомянутых аспектов представляет собой чрезвычайно сложную проблему и вместе с тем имеет большое значение для обеспечения высокого технического уровня современных ЛА. Одновременное решение всей проблемы в целом невозможно в силу ее большой сложности и многогранности, поэтому следует решать ее поэтапно [1–3].

Рассматривая эти элементы-аспекты с точки зрения оценки технического состояния, отметим следующее: все эти аспекты участвуют в организации процесса эксплуатации транспортного средства (ЛА), поэтому их физические свойства должны исследоваться для того, чтобы получить характеристики, требуемые для учета в алгоритмах диагностики. Здесь важно эффективно, обеспечивая высокий КПД, управлять режимами двигателя и теми подсистемами, которые осуществляют получение энергии. Сюда входит: регулирование подачи компонентов рабочей смеси (топлива и воздуха) в цилиндры ДВС, управление процессами смесеобразования, фазами газораспределения, регулирование зажигания, управление процессом сгорания смеси, циркуляцией и выпуском отработавших газов. Во-вторых, нужно рационально распорядиться энергией и передать ее на движитель с минимальными потерями. Для этого следует управлять трансмиссией и теми подсистемами, которые преобразуют параметры потока энергии (моментов и угловых скоростей) и передают ее на движитель (ведущие колеса). В-третьих, поскольку речь идет о регулировании скорости и безопасности движения, к управлению причастна и тормозная система, т.е. важно обеспечивать проходимость и устойчивость автомобиля, организовывать процессы трогания, замедления и торможения. Все это непосредственно связано с оценкой технического состояния (ОТС) трансмиссии, двигателя и тормозной системы как важных звеньев, влияющих на безопасность дорожного движения, качество автомобильных перевозок и др. [4].

*Условия эксплуатации и режимы работы ЛА влияют на качество процессов ОТС.* Эти условия и режимы чрезвычайно разнообразны и определяются множеством обстоятельств, которыми являются условия эксплуатации, типовые режимы, характеристики маршрутов, фазы движения. Условия эксплуатации бывают дорожными, природно-климатическими и эксплуатационно-техническими. Эксплуатация ЛА происходит 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 [3–5]. 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 эксплуатируемого ЛА, а также обеспечение его 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 ЛА, 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 ЛА и их подсистем.

Дорожные условия являются одним из важнейших факторов, оказывающих непосредственное влияние на выбор оптимальных характеристик управления энергетическими режимами ЛА. Причем дорожные условия эксплуатации ЛА различных моделей, типов и назначения зачастую могут значительно отличаться друг от друга. Условия эксплуатации ЛА, которые отличаются типом привода, кузова, объемом двигателя, существенно разнятся и порой по своему многообразию намного превосходят условия, в которых эксплуатируются легковые автомобили общего назначения. Так, ЛА повышенной проходимости (джипы, универсалы, внедорожные ЛА), предназначены для эксплуатации в тяжелых дорожных условиях. Широкая география эксплуатации таких машин и особенности их целевого использования (районы Крайнего Севера, Арктики, Сибири, Урала, Дальнего Востока, пересеченная местность, бездорожье, заболоченная местность и т.д.) приводит к тому, что математическое ожидание коэффициента сопротивления движению  $m_{\psi}$  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).

Важной характеристикой эксплуатации ЛА является расстояние перевозки пассажиров и/или грузов.

## **1. Автоматизация гидрофицированных механизмов мобильных машин при определении их технического состояния**

В конструкциях современных автомобилей широкое применение получили гидрофицированные механизмы, в том числе гидромеханические передачи (ГМП) и механические трансмиссии (ГМТ) [4–6].

Для качественного определения технического состояния ГТ ЛА, оперативной постановки технического диагноза, своевременного выявления опасных отклонений параметров, обнаружения отказов и скрытых дефектов, предотвращения появления неисправностей и прогнозирования остаточного ресурса необходимо использовать со-

временную научную методологию, основанную на экспериментальных и теоретических методах исследований и новых способах обработки результатов исследований.

ГМП и ГМТ относятся к бесступенчатым передачам (БП). Поскольку у них КПД сравнительно низкий и диапазон регулирования вращающего момента и скорости ограничен, то БП обычно используют в сочетании с механическими зубчатыми передачами, позволяющими повысить КПД трансмиссии и получить необходимый диапазон регулирования. В зависимости от типа используемой БП различают следующие виды трансмиссии: ГМТ, гидрообъемно-механические (ГОМТ) и 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 [4, 5].

Применение ГМТ и ГМП в конструкциях автомобилей, в частности, ЛА, 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 диагностирования гидрофицированных мобильных машин и ОТС ГТ связана с многообразием и огромной сложностью происходящих при функционировании ГТ процессов. Для решения этой проблемы необходимо использование современных технологий и методов, основанных на других подходах, отличных от тех, которые опираются на принципы классической теории автоматического управления [3].

Использование современных технологий позволяет выйти на новый уровень проектирования автоматических устройств – уровень создания адаптивных мехатронных бортовых систем (АМБС). Создание АМБС позволяет решить ряд проблем [4–6].

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 автоматиче-

ских систем и снижается стоимость создаваемых изделий. В-четвертых, появляются возможности использования программ управления/диагностирования в режиме реального времени. В-пятых, такие 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; накоплению и осмыслению информации; запоминанию и распознаванию различных ситуаций, в том числе проявлений неисправностей, причин и условий их возникновения.

В современном автомобилестроении разрабатываемые АМБС и такая их разновидность, как системы технического диагностирования (СТД), должны обеспечивать следующие основные функции [5]:

- 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.

На рисунке 1 показан общий вид экспертной интеллектуальной системы диагностирования ГТ и технология процесса ОТС ГТ. На данной схеме обозначены процедуры сбора, обработки и визуализации информации.

Для визуализации различной информации могут использоваться пиктографические изображения. При этом при отсутствии сигнала

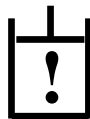
цвет пиктограммы серый, а при наличии сигнала индицируемая пиктограмма имеет определенный цвет. Может быть обеспечен удобный доступ оператора для перехода к окну коротких текстовых сообщений о возникших неисправностях гидросистемы.



Рисунок 1 – Технология диагностирования ГТ посредством экспертной интеллектуальной системы



Например, при кратковременном нажатии на символ вместо основной панели на дисплей выводится расширенная информация о месте и возможных причинах неисправности гидропривода ГТ, а также рекомендации водителю.



При длительном нажатии на данный символ вместо «Основной панели» на экран выводится «ПАНЕЛЬ ГИДРОСИСТЕМ», где отображаются значения всех контролируемых параметров гидропривода ГТ.

Может быть предусмотрена механическая кнопка «ГИДРОСИСТЕМА» для выполнения функций управления процессом.

Пиктограммы лучше компоновать единым блоком в зоне наилучшей видимости водителя. Должен быть обеспечен удобный доступ водителя к управлению режимами дисплея. Может соблюдаться приоритет информации, например, по убыванию.

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 [5].

Перспективный уровень автоматизации транспортной техники – проектирование легковых автомобилей с комбинированной и гибридной энергетической установкой (КГЭУ), оснащенными АМБС.

Легковые автомобили с КГЭУ и АМБС отличаются от традиционных наличием двух двигателей (ДВС и электрического). 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.

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

Современные автопроизводители часто прибегают к совместному использованию двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя, что позволяет избежать работы ДВС в режиме малых нагрузок, а также реализовывать 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», то есть замены механической коробки передач электрическими проводами, была воплощена на железнодорожном транспорте и в большегрузных карьерных самосвалах. Применение этой схемы обусловлено значительными 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 высоких оборотов. 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.

Нагрузочная же характеристика электродвигателя практически равномерна во всём диапазоне рабочих частот; он 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 от неё избавиться, разместив электродвигатели непосредственно в колёсах (мотор-колесо).

В случае применения электротрансмиссии двигатель, работающий на обычном топливе, вращает электрогенератор; вырабатываемый ток через систему управления передаётся на электродвигатели, которые и приводят в движение транспортное средство. В этом случае уместно сравнение такого типа привода с размещённой на электромобиле электростанцией, вырабатывающей электричество для его движения. Схема работы гибридного автомобиля с АМБС в целом аналогична, но значительно модифицирована. В первую очередь, добавлением промежуточного накопителя энергии – как правило, аккумуляторной батареи, имеющей меньшую, чем у «абсолютного» электромобиля, ёмкость и, соответственно, меньшую массу.

Гибридный автомобиль с АМБС сочетает в себе преимущества электромобиля и автомобиля с двигателем внутреннего сгорания: больший 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 ряда преимуществ автоматических гидромеханических коробок передач (ГМКП) по сравнению с другими типами передач в гибридных автомобилях (их трансмиссиях) целесообразно применять именно ГМКП.

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

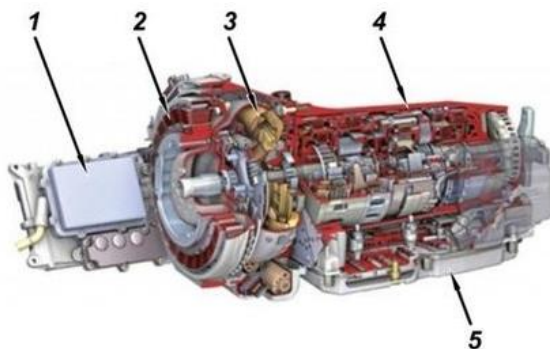
Главное преимущество гибридного автомобиля – снижение расхода топлива и уровня токсичности вредных отработавших газов, что достигается полной автоматизацией управления работой двигателей с помощью бортового компьютера – начиная от своевременного отключения двигателя во время остановки в транспортном 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.

На самые ранние модели автомобиля «Хонда-Инсайт» устанавливалась механическая коробка передач с ручным переключением. Вскоре на смену механической коробке пришла бесступенчатая коробка передач (CVT), чаще называемая вариатор. Подобный вариатор часто устанавливается и на обычные автомобили с двигателем внутреннего сгорания.

На автомобиле Mercedes-Benz S400 BlueHYBRID устанавливается обычная семиступенчатая автоматическая гидромеханическая коробка передач 7G-TRONIC, которая устанавливается на многие автомобили Mercedes-Benz S-класса. В этой коробке передач, для согласованной работы с электродвигателем гибридной силовой установки, был только перенастроен блок управления коробки передач и установлен дополнительный электрический масляный насос.

На рисунке 2 показано, что мотор-генератор расположен в картере гидротрансформатора.

Некоторые типовые схемы гибридных транспортных средств рассмотрены в [7–11].



1 – электронный блок управления (ЭБУ) коробки передач; 2 – мотор-генератор; 3 – гидротрансформатор; 4 – механическая часть коробки передач с планетарными рядами; 5 – электрогидравлический блок управления коробкой передач

Рисунок 2 – Автоматическая семиступенчатая коробка передач 7G-TRONIC автомобиля Mercedes-Benz S400 BlueHYBRID

## 2. Обоснование выбора диагностических параметров ГТ ЛА

Авторами осуществлен выбор параметров диагностирования и предложены технические, технико-экономические и технологические критерии выбора предельных значений параметров.

Источником формирования технических диагнозов, характеризующих состояние ГТ, служит комплекс информации об изменении характеристик диагностических параметров. Количество информации, предоставляемой системе диагностирования (СД), должно быть необходимым и достаточным для достоверной однозначной идентификации режимов работы ГМП и формирования адекватных происходящим процессам диагнозов, обеспечивающих безопасность и надежность [2, 3, 5].

Для получения необходимой информации СД снабжается датчиками. К датчикам предъявляются требования по качеству регистрации и формирования информации. Высокое качество обеспечивают датчики цифровой информации [5, 9, 10]. Такой вид информации необходим при использовании электронных систем [9–11]. При обосновании и выборе конкретных типов датчиков для получения необходимой информации учитывается мнение разработчиков электронных блоков и систем [5, 10].

Исходя из анализа условий работы автомобилей установлено, что для обеспечения качественного диагностирования их механизмов необходимо использовать определенный комплекс диагностических параметров. 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.

Для того чтобы можно было использовать некоторый параметр объекта в качестве диагностического, он должен обретаать следующие свойства [10]:

быть функционально важным для оценки технического состояния машины;

- быть однозначным, т.е. должен отсутствовать его переход от возрастающей функции к убывающей (или наоборот) в зависимости от наработки автомобиля или изменения его структурного параметра от начального до предельного значения. Этим обеспечивается соответствие каждому значению структурного параметра только одного, вполне определенного значения параметра выходного процесса;

- быть чувствительным (информативным). Чувствительность характеризуется величиной и скоростью приращения выходного параметра при достаточно малом изменении структурного параметра. Чем больше это приращение, тем выше чувствительность данного параметра выходного процесса;

- обладать стабильностью при многократных измерениях, характеризующейся величиной рассеивания значений относительно среднего значения параметра при постоянных условиях измерения;

- обладать дифференцирующей способностью, позволяющей разделять и локализовать неисправности различных элементов объекта по месту их возникновения (до составных частей элементов, до конкретного сопряжения, детали при наличии нескольких одноименных сопряжений, деталей в элементе);

- обеспечивать технологичность и экономичность, определяемые удобством определения параметра при диагностировании, соответствующими трудовыми и материальными затратами [2, 4, 6].

При выборе диагностических параметров необходимо учитывать: уровень разрабатываемых математических моделей, отражающих функциональные зависимости между конструктивными параметрами объекта и диагностическими параметрами; точность и степень

совершенства существующих технических средств измерения параметров, 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 связи разрабатываемой системы диагностирования с бортовыми электронно-вычислительными комплексами, а также уровень использования новых информационных технологий; экономическую целесообразность и эффективность разработки и использования системы диагностирования.

При этом количество выбранных диагностических параметров должно быть достаточным для решения задачи установления диагноза.

Для этого проводят целесообразное ограничение используемого количества параметров путем корреляционного анализа [4].

Количество параметров состояния объекта сравнительно велико, поэтому возникает задача целесообразного ограничения используемого их количества. При этом выявляются статистические корреляционные связи между искомыми параметрами.

Оценка корреляционной связи между предполагаемыми параметрами  $x_i$  и  $x_j$  осуществляется по величине коэффициента парной корреляции  $r_{x_i x_j}$ , вычисляемой по формуле

$$r_{x_i x_j} = \frac{1}{(N-1)\sigma_{x_i}\sigma_{x_j}} \left( \sum_{u=1}^N x_{iu}x_{ju} - N\bar{x}_i\bar{x}_j \right), \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество проведенных вычислительных опытов (объем выборки);  $\sigma_{x_i}, \sigma_{x_j}$  – среднеквадратические отклонения переменных

$x_i$  и  $x_j$ ;  $\bar{x}_i, \bar{x}_j$  – выборочные средние этих же переменных;

$x_{iu}, x_{ju}$  – значения переменных  $x_i$  и  $x_j$  в  $u$ -ом опыте (элементы выборки исследуемых переменных);  $n$  – количество параметров объекта диагностирования.

Прежде чем вычислять коэффициенты корреляции, определяют выборочные средние и выборочные дисперсии всех анализируемых параметров:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (2)$$

$$S_{x_i}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N (x_{iu} - \bar{x}_i)^2, \quad i = \overline{1, n}; \quad (3)$$

где  $S_{x_i}^2$  – выборочная дисперсия параметра  $x_i$ .

Формула (2) является моделью среднего и определяет среднее значение переменной  $x_i$  в серии опытов. Дисперсия  $S_{x_i}^2$  оценивает погрешность полученной модели среднего. Она в дальнейшем используется при оценке адекватности регрессионных моделей.

Среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{x_i}$ , входящее в формулу (3), вычисляют по выражению:

$$\sigma_{x_i} = \sqrt{S_{x_i}^2}; \quad (4)$$

Значения коэффициентов парной корреляции находятся в пределах  $-1 \leq r_{x_i x_j} \leq +1$ . Чем ближе по абсолютной величине значение коэффициента корреляции к единице, тем более тесная корреляционная связь между исследуемыми переменными. Если  $r_{x_i x_j}$  положительно, это означает, что с увеличением  $x_i$  значение  $x_j$  возрастает. При отрицательном  $r_{x_i x_j}$  увеличение  $x_i$  приводит к уменьшению  $x_j$ . Если значение  $|r_{x_i x_j}|$  близко к единице, одну из информационных переменных  $x_i$  или  $x_j$  можно исключить из модели алгоритма управления. Исключать рекомендуется ту переменную, которая

имеет меньшую корреляцию с параметром характеристики управления  $V_k$ , т.е. переменную с меньшим коэффициентом корреляции  $r_{V_k x_i}$ . Однако при этом следует учитывать доступность переменной  $x_i$  для измерения на транспортном средстве, погрешности при ее измерении, функциональной и статистической обработке.

Результаты корреляционного анализа представляют собой корреляционные матрицы, элементами которых являются коэффициенты парной корреляции.

Для того, чтобы в полной мере отражать информацию о техническом состоянии ГМП, с использованием метода корреляционного анализа была установлена необходимая и достаточная совокупность диагностических параметров (ДП) [4, 5].

Основные ДП ЛА с ГТ следующие:

- *механические ДП*, т.е. частоты вращения валов двигателя, турбинного ГДТ и выходного КП  $n_d, n_T, n_B$ , об/мин;
- *гидравлические ДП*, к которым относятся:
  - главное давление гидросистемы ГМП  $p_{ГЛ}$ , Па;
  - давление перед фильтром главной магистрали  $p_\phi$ , Па;
  - гидравлическое сопротивление фильтра  $\Delta p_\phi$ , Па;
  - давление в каналах фрикционов  $p_{\phi i}$ , Па;
  - амплитуда пульсации давления в каналах фрикционов  $A_{pi}$ , Па;
  - давление ГДТ  $p_{ГДТ}$ , Па;
  - давление системы смазки ГМП  $p_{см}$ , Па;
- *тепловые ДП* – это температура рабочей жидкости в магистралях и на выходе (входе) ГДТ  $T_{ГДТ}$ , К;
- *прочие ДП*, к которым относятся *электрические и временные ДП*:



- сигналы индикаторов включения тормоза-замедлителя  $S_{Т.З}$
- и селектора переключения передач  $S_{С.П}$ ;
- сигналы датчиков окончания заполнения цилиндра фрикциона  $S_{О.З}$  и обнаружения фрикционов, включенных в данный момент  $S_{О.Ф}$ ;
- 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  $t_{Г.П}$ , 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  $S_6$ ;
- время задержки формирования нового сигнала управления  $t_{зy}$ , с.

Основные *косвенные* и *прогнозируемые* параметры:

- КПД насоса: объемный  $\eta_0$  и полный  $\eta_H$ ;
- полный КПД гидропривода  $\eta_{гп}$ ;
- коэффициент подачи насоса  $K_Q$ ;
- остаточный ресурс ГТ и ее элементов  $t_{ост}$  и  $t_{ост i}$ , ч.

На основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований и анализа ТС ГМП должен быть получен перечень допустимых и предельных значений параметров. Для этих целей необходимы специальные исследования [5, 6, 7, 14, 15].

## **Выводы**

При создании систем автоматизированной адаптивной диагностики гидрофицированных трансмиссий легковых автомобилей решаются задачи обоснования и выбора диагностических параметров и критериев качества определения технического состояния. При этом целесообразно проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований по изучению физических свойств ГТ как объекта диагностики с применением математического моделирования для получения предельно допустимых значений диагностических параметров и взаимозависимостей между параметрами диагностирования и критериями оценки, которые затем закладываются в основу алгоритмов оперативной и адаптивной диагностики для бортовых (встроенных в ЛА) и стационарных диагностических систем.

## **Литература**

1. Тарасик В.П. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 512 с. : ил.
2. Тарасик В.П. Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с. : ил.
3. Рынкевич, С.А. Новые технологии и проблемы науки на транспорте / С.А. Рынкевич. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – 337 с.: ил.
4. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н.Н. Горбатенко, А.Н. Егоров, В.В. Региня, С.А. Рынкевич, В.П. Тарасик, Г.Л. Антипенко; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.П. Тарасика. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с.: ил.
5. 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.
6. Гируцкий, О.И. Развитие конструкций и перспективы автоматических трансмиссий / О.И. Гируцкий, В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Наука и образование (электронное научн.-технич. издание). – 2014. – №3. – С. 59–94.

7. 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.
8. Рынкевич, С.А. Экспериментальные исследования физических свойств гидропривода мобильной машины / С.А. Рынкевич, И.Ю. Хадкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 4 (45). – С. 56–67.
9. Рынкевич, С.А. Автоматизация трансмиссий гидрофицированных мобильных машин / С.А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 4 (45). – С. 68–78.
10. Рынкевич, С.А. Проектирование, эксплуатация и диагностика мобильных машин / С.А. Рынкевич, В.В. Кутузов. – Могилев: Белорус.-Росс. ун-т, 2016. – 223 с. : ил.
11. Рынкевич, С.А. Автоматизация проектирования гидрофицированных строительно-дорожных машин / Кафедра СДПТМиО». История становления и развития». – 21 ноября 2014 г. – С. 101–114.
12. Рынкевич, С.А. Комплексная идентификация технического состояния ГМП / С. А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 9. – С. 27–31.
13. Тарасик, В.П. Метод оперативного диагностирования гидромеханической передачи автомобиля на режиме гностического пробега / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2011. – № 2 (31). – С. 104–112.
14. Рынкевич С.А. Создание электронных систем управления и диагностирования для мобильных машин // Сборник трудов науч.-метод. конф., посвященной 45-летию Белорусско-Российского ун-та. – Могилев, 2007. – С. 3–7.
15. Тарасик В.П. Проблемы диагностирования автотранспортных средств и пути их решения / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – Могилев, 2007. – №1 (14). – С. 57–66.