

УДК 629.3

В. П. Тарасик, д-р техн. наук, проф., С. А. Рынкевич, канд. техн. наук, доц.**МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ АВТОМОБИЛЯ НА РЕЖИМЕ ГНОСТИЧЕСКОГО ПРОБЕГА**

Рассмотрен метод бортового диагностирования, обеспечивающий решение проблемы оперативной оценки технического состояния гидромеханической трансмиссии грузового автомобиля на основе гностического пробега в режиме реального времени. Даны методики проведения испытательных гностических пробегов для грузовых автомобилей, оснащенных двигателями с электронным управлением, и для автомобилей с обычными дизельными двигателями. Показано, что в первом случае потенциальные возможности бортового диагностирования используются наиболее полностью. Приведены основные и наиболее важные результаты, полученные при решении проблемы диагностики трансмиссий мобильных машин.

Гидромеханические передачи (ГМП) современных автомобилей снабжены электронными системами автоматического управления. Электронный блок реализует программу алгоритма автоматического управления переключением передач и блокированием гидротрансформатора (ГДТ), а также производит диагностирование состояния исполнительных механизмов, осуществляющих управление ГМП. Потенциальные возможности электронного блока огромны, поэтому целесообразно с его помощью организовывать сбор и обработку информации о режимах работы механизмов и систем автомобиля в процессе гностических (познавательных) пробегов [1–3].

Для грузовых автомобилей, тракторов, комбайнов и дорожной техники, оснащенных двигателями с электронным управлением, предусмотрен стандарт J1939 – протокол обмена данными, причем для передачи данных по этому протоколу используется шина CAN [4]. Международным стандартом SAE J1939 специально для автомобильной диагностики разработан комплекс требований для построения диагностических электронных систем, а также базовая нотация и синтаксис используемых языков, позволяющих реализовывать программные коды для программирования мик-

роконтроллеров. Структурная схема системы автоматизированного диагностирования, входящей в состав комплексной бортовой электронной системы управления ГМП мобильной машины, приведена на рис. 1. Такая система является интеллектуальной системой управления и диагностирования (ИСУД) [4]. ИСУД ГМП включает электронный блок 4, осуществляя управление, контроль и диагностирование ГМП 2 на основе сигналов датчиков посредством подсистемы сбора и обработки информации 3. ИСУД ГМП может комплектоваться электронным блоком 5 для диагностирования двигателя 1. Контроллер электронного блока 4 реализует интеллектуальные технологии получения технического диагноза, выводя результаты определения ТС на дисплей 6 с использованием результатов анализа экспертной подсистемы 7. Все блоки ИСУД объединены между собой интеллектуальными каналами передачи информации 8 на основе протокола CAN.

Испытательные гностические пробеги могут проводиться как на грузовых автомобилях, оснащенных двигателями с электронным управлением, так и на автомобилях с обычными дизельными двигателями типа ЯМЗ. Естественно, в первом случае потенциальные возможности бортового диагностирования ис-

пользуются наиболее полно.

Условия проведения гностических

пробегов следующие.

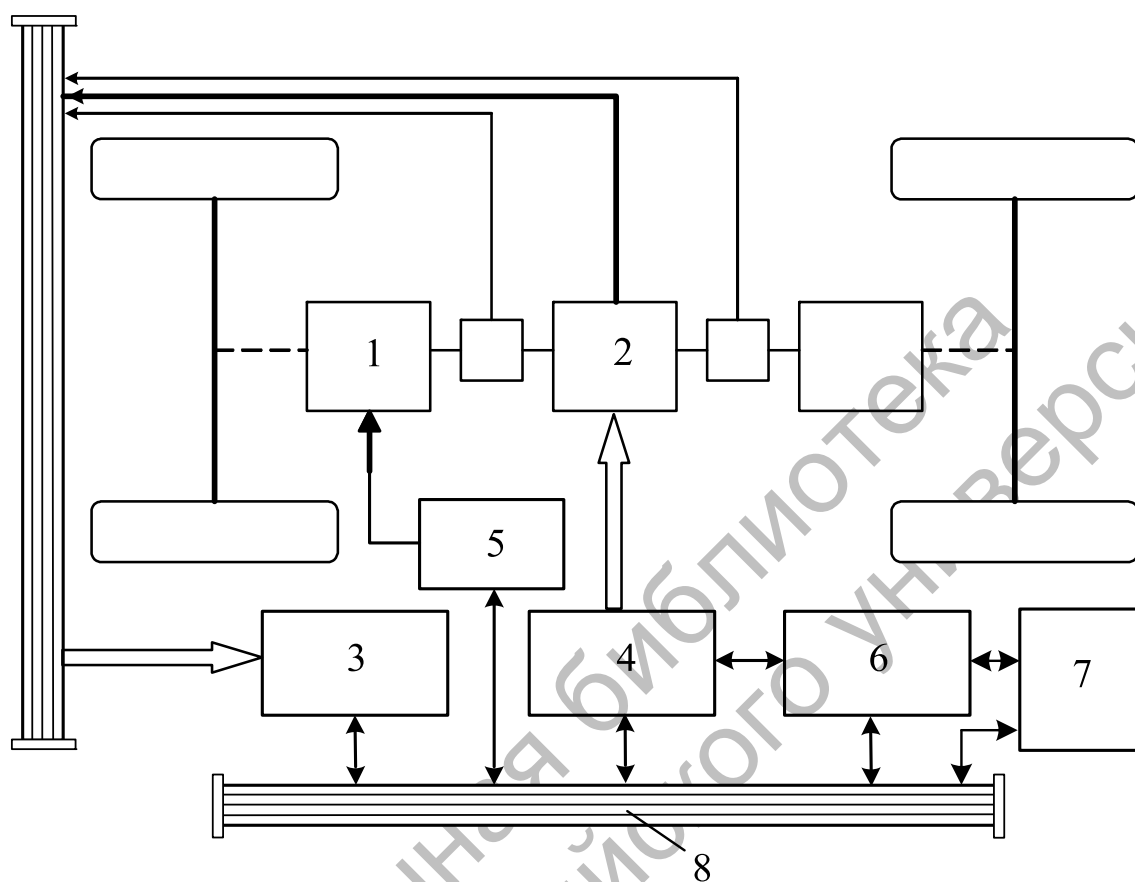


Рис. 1. Схема системы автоматизированного диагностирования с использованием CAN-шины

Диагностика ГМП на режиме гностического пробега автомобиля производится на горизонтальном участке дороги с твердым покрытием в сухую безветренную погоду. Автомобиль разгоняют до максимальной скорости при полной подаче топлива в двигатель. До проведения сеанса диагностирования двигатель и механизмы трансмиссии должны быть прогреты до нормальной эксплуатационной температуры.

Рассмотрим процесс выполнения диагностики ГМП для автомобилей, не оборудованных двигателями с электронным управлением.

В [1–3] приведены методики экспериментального определения параметров и характеристик автомобиля.

Предварительно по методикам, изложенным в [1–3], определяют значения приведенной массы автомобиля $m_{пр}$, коэффициента сопротивления качению f и коэффициента сопротивления воздуха k_w на испытательном участке. При известных значениях приведенной массы $m_{пр}$, коэффициента сопротивления качению f и коэффициента сопротивления воздуха k_w можно определить характеристику момента двигателя $M_d = f(n_d)$, передаваемого в трансмиссию. Эта задача решается в процессе гностического пробега следующим образом. Осуществляется разгон автомобиля (снаряженного или с фиксированной нагрузкой) на одной из промежуточных передач

при заблокированном ГДТ, фиксируются значения скорости v_i и ускорения a_i при заданных значениях частоты вращения вала двигателя n_{di} в желаемом диапазоне изменения n_d . Значения n_{di} принимаются с постоянным шагом Δn_d . Максимальное значение $n_{d\max}$ принимается равным n_p^* (т. е. при максимальной мощности двигателя $P_{e\max}^*$), а минимальное $n_{d\min}$ можно принять равным минимальной частоте вращения турбины, при которой блокируется ГДТ. Если необходимо расширить диапазон изменения аргумента характеристики $M_d = f(n_d)$, то ГДТ следует заблокировать вручную. В этом случае $n_{d\min}$ выбирается из условий устойчивой работы двигателя при разгоне. Значения вращающего момента двигателя M_{di} и вращающего момента ΔM_{ei} , затрачиваемого на привод вспомогательного оборудования, вычисляются при фиксированных в процессе эксперимента значениях v_i и a_i по формулам:

$$M_{di} = \frac{(m_{пр} a_i + m_a g f_i + k_w A_d v_i^2) r_k}{u_{трj} \eta_{трj}}; \quad (1)$$

$$\Delta M_{ei} = M_{ei} - M_{di}. \quad (2)$$

Значения f_i вычисляются по методике, изложенной в [1–3], а значения M_{ei} – по уравнению регрессии эталонной характеристики $M_e = f(n_d)$. Полученная характеристика $\Delta M_e = f(n_d)$ позволяет оценить суммарные затраты мощности на привод вспомогательного оборудования двигателя с учетом снижения мощности двигателя в процессе эксплуатации автомобиля. Мощность ΔP_{ei} , кВт, вычисляется по формуле

$$\Delta P_{ei} = \pi \Delta M_{ei} n_{di} / 30000. \quad (3)$$

Полученные значения M_{di} , ΔM_{ei} , ΔP_{ei} сохраняются в базе данных электронного блока управления. На основа-

нии этих данных осуществляется построение регрессий $M_d = f(n_d)$, $\Delta M_e = f(n_d)$, $\Delta P_e = f(n_d)$, и их параметры будут также храниться в базе данных. Определяя значения M_{di} , ΔM_{ei} , ΔP_{ei} и сравнивая их с информацией о параметрах, полученных в предыдущих сеансах гностического пробега, можно судить об изменении технического состояния двигателя и трансмиссии, т. е. осуществлять комплексное диагностирование этих механизмов.

Полученная характеристика $M_d = f(n_d)$ позволяет определить безразмерные характеристики ГДТ $\lambda_H = f(i_{тн})$ и $K_{тн} = f(i_{тн})$. Эта процедура осуществляется следующим образом.

Непосредственно перед испытаниями прогревают двигатель и механизмы трансмиссии для обеспечения номинальных тепловых режимов и отключают систему автоматического блокирования ГДТ. При заторможенном автомобиле включают высшую передачу в ГМП, дают полную подачу топлива в двигатель и включают аппаратуру измерения параметров. Затем отпускают педаль тормоза и осуществляют разгон снаряженного автомобиля до максимальной скорости, фиксируя параметры n_{dj} , n_{tj} , v_j , a_j при заданном шаге Δn_T изменения частоты вращения турбины ГДТ n_t . Минимальное значение $n_{t\min} = 0$, а максимальное $n_{t\max}$ принимается равным примерно $(0,85 \dots 0,9) n_p^*$ или соответствующим достигнутой максимальной скорости разгона v_{\max} .

В программе алгоритма определения характеристик ГДТ на каждом j -м шаге итераций осуществляются следующие вычисления:

$$i_{тнj} = n_{тj} u_{сп} / n_{dj}; \quad (4)$$

$$M_{тi} = \frac{(m_{пр} a_j + m_a g f_j + k_w A_{л} v_j^2) r_k}{u_{тр} \eta_{тр}}; \quad (5)$$

$$K_{тHj} = M_{Tj} / (M_{дj} u_{сп} \eta_{сп}); \quad (6)$$

$$\lambda_{Hj} = 900 M_{дj} u_{сп}^3 \eta_{сп} / (\pi^2 \rho n_{дj}^2 D_a^5), \quad (7)$$

где $i_{тH}$ – передаточное отношение ГДТ; M_T – момент на турбине, Н·м; $K_{тH}$ – коэффициент трансформации момента;

λ_H – коэффициент момента насосного колеса; ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³; D_a – активный диаметр ГДТ, м; $u_{сп}, \eta_{сп}$ – передаточное число и КПД согласующей передачи.

Для реализации методики в электронном блоке бортовой системы диагностирования разработан алгоритм, который приведен на рис. 2.

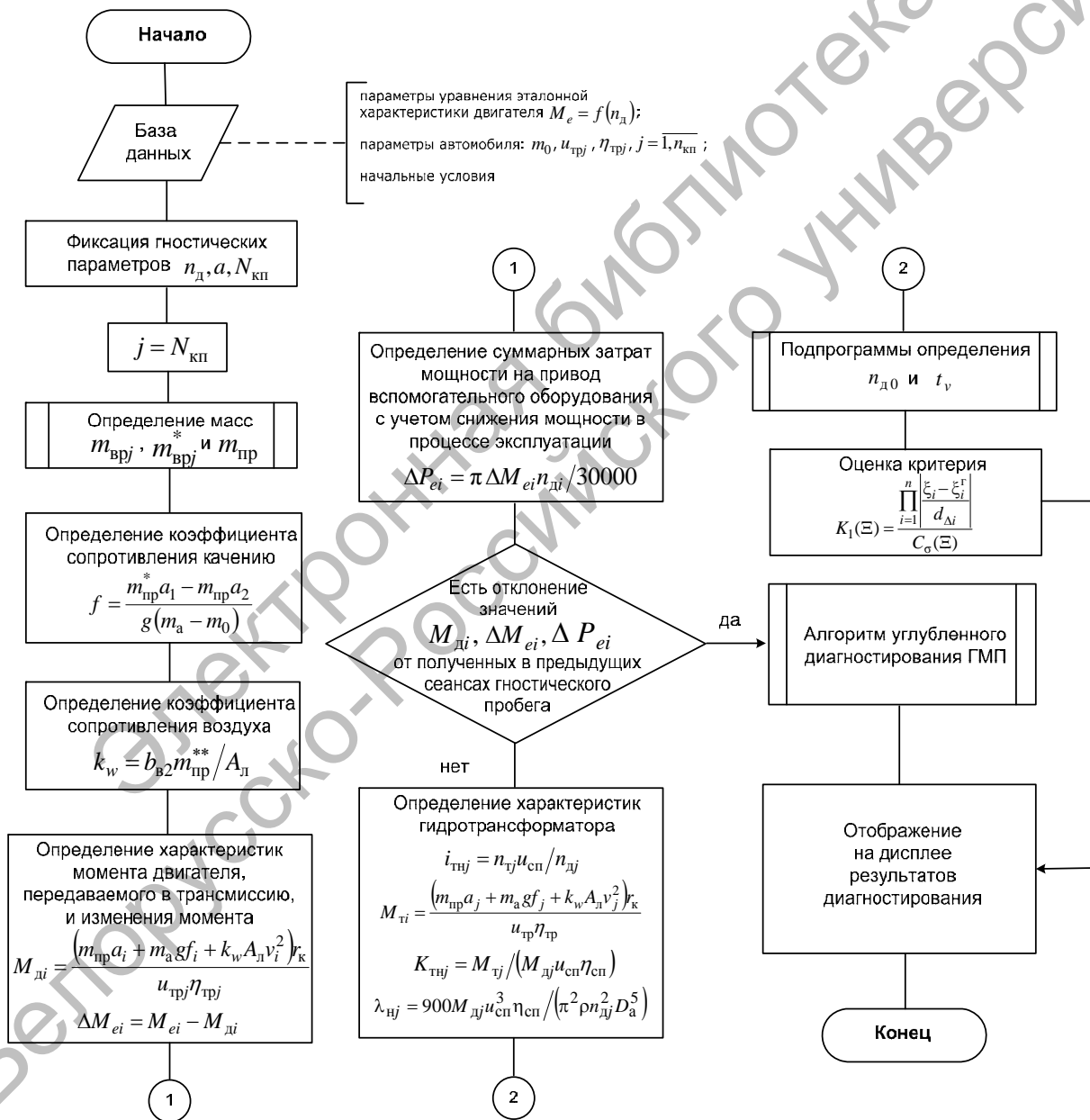


Рис. 2. Алгоритм диагностирования ГМП на основе гностического пробега

Применительно к сложным объектам, т. е. ГМП мобильных машин, техническое состояние которых оценивается несколькими диагностическими параметрами $\vec{\Xi}_{\Delta} = (\xi_1, \xi_i, \dots, \xi_r)$, для определения уровня работоспособности (параметрической пригодности) и его использования в алгоритмах системы диагностирования предложено использовать обобщенный критерий $K_1(\Xi)$ [4]:

$$K_1(\Xi) = \frac{\prod_{i=1}^n \left| \frac{\xi_i - \xi_i^r}{d_{\Delta i}} \right|}{C_{\sigma}(\Xi)}, \quad (8)$$

где $d_{\Delta i}$ – допуск (область работоспособности) на i -й диагностический параметр.

При этом

$$C_{\sigma}(\Xi) = \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i \left| \frac{\xi_i - \xi_i^r}{d_{\Delta i}} \right|^2}. \quad (9)$$

Таким образом, $K_1(\Xi)$ при изменении диагностических параметров будет изменяться в пределах $[K_{\max}, 0]$, позволяя оценивать уровень параметрической работоспособности ГМП.

Для оперативного диагностирования и мониторинга технического состояния автомобиля, оснащенного ГМП, целесообразно неразрушающим методом встроенными средствами бортовой микроэлектроники осуществлять периодическую оценку частоты вращения вала двигателя на стоповом режиме ГДТ $n_{до}$ и оценку времени разгона машины до заданной скорости при заданном пути t_v . Показатель t_v определяется по регламентированной стандартом методике. Рассчитанное по формуле (8) отклонение значений показателей $n_{до}$ и t_v от эталонных для определенных однозначных условий будет характеризовать уровень работоспособности ГМП в целом.

Для оперативной проверки значе-

ния частоты вращения вала двигателя $n_{до}$ на стоповом режиме гидротрансформатора рекомендуется следующий алгоритм:

– исходное состояние: включен стояночный тормоз; педаль акселератора свободна; температура рабочей жидкости 40...60 °С;

– включают рабочий тормоз и удерживают самосвал в неподвижном состоянии в течение всего времени диагностирования;

– на командном (ручном) режиме управления «С» устанавливают рычаг селектора в положение 6-й передачи; при этом пиктограммы на экране дисплея высвечивают значения «С» и «6»;

– постепенно увеличивая нажатие педали акселератора, доводят его до максимального значения в течение 10...15 с;

– после достижения установившейся частоты вращения вала двигателя $n_{до}$ фиксируется его значение по тахометру на экране дисплея.

Полученное значение $n_{до}$ должно быть в пределах (1650 ± 25) об/мин (это значение соответствует двигателю с электронным управлением QSK19-C750 и гидротрансформатору ЛГ-470ПП).

Отклонение значения $n_{до}$ от заданных свидетельствует о наличии в ГМП неисправностей и необходимости в углубленной поэлементной диагностике. Для оценки величины отклонения предложено использовать формулу (8).

Данный метод предназначен для реализации в процессе оперативной диагностики ГМП карьерных самосвалов БелАЗ грузоподъемностью 45...60 т.

Выводы

Полученные в процессе гностических пробегов данные позволяют оперативно определять техническое состояние ГМП автомобиля без использования трудоемкой планово-предупредительной экспертизы, обеспечивая снижение материальных затрат, повышение эффек-

тивности использования и технического уровня мобильных машин.

Проведенные исследования послужили основой для реализации высокоэффективных прикладных разработок и обеспечения высокого технического уровня и конкурентоспособности создаваемых мобильных машин и их механизмов. Были разработаны новые методы диагностирования ГМП, базирующиеся на новых технологиях представления и анализа информации, реализация которых обеспечила решение проблемы оперативного определения технического состояния ГМП и прогнозирования остаточного ресурса ее элементов, что повысило эффективность эксплуатации автомобилей путем сокращения затрат на обслуживание и ремонт и предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к разрушению конструкции. Значительная часть результатов исследований приведена в [4–6].

При подготовке рукописи докторской диссертации докторантом С. А. Рынкевичем с учетом [4–6] сделаны следующие выводы.

1. Разработан новый подход комплексного определения технического состояния гидромеханической трансмиссии, т. е. ее диагностирования, в основу которого положены принципы декомпозиции и иерархичности, новые методы сбора и представления информации, методы корреляционного, регрессионного и статистического анализа, нечеткой логики, нейросетевого моделирования, экспертные и инструментальные методы. Данный подход позволил создать высокоэффективную систему диагностирования ГМП, обеспечивающую оценку фактического технического состояния ГМП, определение ее остаточного ресурса, исключение выхода диагностических параметров за пределы допустимых значений и прогнозирование вероятности возникновения отказов и неисправностей, а также значительное (до 40...50 %) увеличение ресурса механизмов и деталей транс-

миссии.

2. Разработана стратегия обнаружения и локализации неисправностей ГМП путем неразрушающего анализа на режиме движения автомобиля и оперативной идентификации, позволяющая определять причину, местоположение и динамику изменения отказов без использования планово-предупредительной экспертизы, обеспечивая снижение материальных затрат, повышение эффективности диагностики и достижение высокого технического уровня мобильных машин.

3. Разработана новая стратегия оперативного диагностирования ГМП на основе системного подхода и многоуровневой фрагментации объекта, отличающаяся одновременным использованием в качестве первичной информации совокупности кинематических и гидравлических параметров, параметров тепловых процессов, причем диагностические параметры верхнего иерархического уровня являются критериями оценки предельного состояния более нижнего уровня, обеспечивающая сокращение затрат на обслуживание и ремонт и предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к разрушению конструкции.

4. Разработана методика выбора диагностических параметров и критериев оценки предельного состояния ГМП. Предложен ряд критериев выбора диагностических параметров: критерий стабильности, оцениваемый по коэффициенту вариации; критерий трендовости, характеризующий однозначность поведения параметра в процессе наработки автомобиля; критерий чувствительности, характеризующий скорость приращения показателя оценки технического состояния при достаточно малом изменении диагностического параметра. Причем при выборе необходимых диагностических параметров связь между ними необходимо оценивать по величине коэффициента парной корреляции.

5. Выявлены предельные состояния ГМП, к которым относятся состояния параметрической, трибологической, гидравлической непригодности и полной реализации объектом заданных функций, т. е. явление насыщения. Разработан базовый модуль оценки работоспособности ГМП, который выделяет минимальную структурную единицу диагностируемого объекта (деталь, сопряжение, механизм, машину в целом) и позволяет установить используемые для оценки работоспособности диагностические параметры и выходные показатели (критерии). Для анализа технического состояния предложено сложный объект представлять в виде пяти уровней: элементного, трибометрического, компонентного, морфологического и комплексного, – на каждом из которых используются базовые модули со своим набором входных параметров и оценочных показателей.

6. Получены математические зависимости, характеризующие поведение показателей оценки работоспособности и закономерности изменения значений диагностических параметров в условиях функционирования ГМП. Выявлены взаимозависимости между диагностическими параметрами и показателями оценки работоспособности ГМП, зависимости характеристик переходных процессов гидравлического привода ГМП от величин давлений и расходов в гидравлических магистралях, физических свойств рабочей жидкости, а также впервые обнаружены закономерности поведения диагностических параметров во времени и в отношении друг друга, демонстрирующие характер неисправностей и динамику отказов, что позволяет эффективно использовать их в алгоритмах системы диагностирования для результативной постановки технического диагноза. Выявлено, что параметры управления фрикционами ГМП

оказывают значительное влияние на триботехнические характеристики и тепловую нагруженность фрикционных дисков. Получено математическое описание, использование которого в бортовом диагностировании позволяет прогнозировать износ фрикционных дисков и величину их остаточного ресурса.

7. Разработана методика оценки работоспособности ГМП, основанная на расширенном комплексе оценочных критериев; ее реализация обеспечивает всесторонний анализ физических свойств ГМП и эффективный контроль изменения диагностических параметров, предотвращая переход их значений за границы предельно допустимых. Выявленные допустимые и предельные значения диагностических параметров, переход за границы которых приводит к появлению отказов ГМП, служат практической рекомендацией для эксплуатирующих организаций при регламентации норм оценки технического состояния ГМП мобильных машин, что позволяет в эксплуатационных условиях прогнозировать техническое состояние и повышает эффективность использования мобильных машин, снижает длительность простоев и технического обслуживания и увеличивает продолжительность межремонтного периода.

8. Впервые разработан метод анализа износа фрикционных дисков на основе организации специальных тестовых заездов в стандартных однозначных дорожных условиях с целью измерения параметров буксования фрикционных дисков при переключении передач и их сравнения с эталонными (предельно допустимыми) значениями. Данный метод предусматривает организацию серии специальных тестовых заездов в стандартных однозначных дорожных условиях на основе измерения длительности t заполнения гидроцилиндра фрикциона по первой пульсации давления при пе-

реключении передач и сравнения значения τ с эталонным предельно допустимым значением. Отсутствие необходимости в демонтаже ГМП обеспечивает существенное снижение затрат на ремонт и обслуживание ГМП и сокращает длительность простоев автосамосвалов на линии.

9. Разработан метод распознавания неисправностей и вывода технического диагноза в вербальном виде путем приведения диагностических параметров различной физической природы к единому безразмерному виду на основе описания их функциями принадлежности и методики нейронечеткой идентификации, позволяющей осуществлять декодирование и лингвистическое преобразование совокупности параметров, обеспечивающий устранение неопределенностей при функционировании объектов с не полностью детерминированными условиями и повышение достоверности получения технического диагноза в режиме реального времени. Разработан метод прогнозирования, основанный на выявлении единых регулярных устойчивых закономерностей изменения параметров оценки технического состояния одного или группы однотипных объектов с использованием критериев устойчивого уменьшения среднего квадратического отклонения для группы объектов, монотонности и стабильности кривизны линии тренда, реализация которого обеспечивает повышение быстродействия и точности определения остаточного ресурса ГМП. Реализация метода трендового прогнозирования позволяет в режиме реального времени предотвращать отказы ГМП, выявлять состояние работоспособности ГМП в целом и ее элементов, обеспечивать долгосрочную оценку ее технического состояния и определять остаточный ресурс.

10. Синтезированы алгоритмы определения технического состояния на основе поэлементного диагностирования ГМП мобильных машин, использующие интеллектуальные методы обработки и анализа информации. Реализация алгоритмов для автомобилей-самосвалов БелАЗ грузоподъемностью 45...60 т обеспечивает в режиме реального времени оперативную оценку работоспособности и эффективное определение технического состояния, повышение эксплуатационной безопасности, на 20...25 % увеличение интервала между техническими обслуживаниями и ремонтами машины, а также на 10...15 % сокращение затрат на обслуживание и повышение коэффициента технической готовности в 1,2...1,3 раза. Предложенные новые системы диагностирования ГМП грузовых автомобилей и гусеничных мобильных машин, которые внедрены на предприятиях автомобиле- и тракторостроения (ОАО БелАЗ, филиал МАЗ ОАО «Могилевтрансмаш» и Минский тракторный завод) и апробированы в автохозяйствах и на горно-обогатительных предприятиях Республики Беларусь и Российской Федерации, позволяют существенно повысить показатели эффективности машин и качества процессов функционирования ГМП, увеличить безопасность эксплуатации, повысить на 35...40 % ресурс машины и на 45...50 % ресурс трансмиссии, обеспечить высокую эффективность диагностирования в эксплуатационных условиях машин и определения их остаточного ресурса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасик, В. П. Адаптация параметров алгоритма автоматического управления ГМП к параметрам автомобиля / В. П. Тарасик, И. М. Дычкин, А. Н. Егоров // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 9. – С. 22–24.

2. **Тарасик, В. П.** Адаптация параметров алгоритма автоматического управления ГМП к параметрам автомобиля / В. П. Тарасик, И. М. Дычкин, А. Н. Егоров // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 11. – С. 16–18.

3. **Тарасик, В. П.** Теория движения автомобиля / В. П. Тарасик. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 478 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.

5. **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.

6. **Рынкевич, С. А.** Новые технологии и проблемы науки на транспорте / С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 337 с.: ил.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 16.03.2011

V. P. Tarasik, S. A. Rynkevich
The method of operative diagnostic
of the hydromechanical transmission
of the track on mode of the cognitive
run motion

The considered method on-board diagnostic, providing decision of the problem of operative of the estimation of the technical condition hydromechanical transmission of the dump truck BELAZ-7555 on base on mode of the cognitive run motion on mode of the real-time. Methodists of the undertaking test of the cognitive run motion are given for of the dump truck, equipped engine with electronic control, and for of the dump truck with usual diesel engine. It is shown that in the first event potential possibilities on-board diagnostic is used most completely. They are brought main and the most important results, got at decision of the problem of the diagnostics transmission of the dump truck and mobile machines.