

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 629.114.2

СУДАКОВА  
Вероника Александровна

Диагностирование зубчатых передач и фрикционных муфт  
гидромеханической трансмиссии одноковшового фронтального  
погрузчика в движении по относительным угловым перемещениям  
валов

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.05.04 - Дорожные, строительные и подъемно-  
транспортные машины

Могилев, 2013

Работа выполнена в ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Научный руководитель: **Антипенко Григорий Леонидович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование», ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Официальные оппоненты: **Яцкевич Владимир Владимирович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительные и дорожные машины», Белорусский национальный технический университет

**Бельский Сергей Евграфович**, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Детали машин и подъемно-транспортные устройства», УО Белорусский государственный технологический университет

Оппонирующая организация: **ОАО «БЕЛАЗ» - управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ ХОЛДИНГ»**

Защита состоится 21 июня 2013 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.12 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т. Независимости, 65, гл. корп., ауд. 202, E-mail: [www.smolyak.anna@mail.ru](mailto:www.smolyak.anna@mail.ru), телефон ученого секретаря (+37529) 2793252.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 15 мая 2013 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций

А.Н. Смоляк

## **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из основных путей снижения эксплуатационных расходов, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом, является диагностирование машин в целом и отдельных механизмов, особенно в рабочих условиях без разборки узлов и агрегатов. Внедрение диагностики обеспечивает более полную выработку ресурса и повышает его на 6...10 %, снижает число направляемых машин на ремонт до 30...40 %, снижает расход запасных частей на 15...20 %, сокращает расход топлива на 5 %, трудоемкость ремонта отдельных систем и сборочных единиц до 80 %.

Наиболее востребованными строительно-дорожными машинами являются одноковшовые фронтальные погрузчики, выполняющие землеройно-транспортные операции при погрузке сыпучих и мелкокусковых материалов в транспортные средства или в отвал, а со сменными рабочими органами – обработку штучных грузов, в том числе длинномеров, контейнеров. Они также используются для выполнения монтажных работ, на снегоочистке. Погрузчики (Амкодор, МоАЗ, БелАЗ) выпускают с гидромеханической трансмиссией, т. к. она обеспечивает автоматическое регулирование скорости и напорных усилий в зависимости от внешних сопротивлений. Однако надежность гидромеханических трансмиссий, из-за специфики работы фронтальных погрузчиков, еще недостаточно высока. В зависимости от конструкции влияние трансмиссий на надежность машин изменяется в широких пределах. В лучшем случае доля отказов элементов трансмиссии составляет около 30 % общего числа отказов машины, а в отдельных случаях достигает 67 %. Трудоемкость же восстановительного ремонта гидромеханических трансмиссий достаточно велика. Поэтому одной из актуальных задач по повышению надежности фронтальных погрузчиков является отслеживание технического состояния гидромеханических трансмиссий, точная постановка диагноза по состоянию зубчатых передач и фрикционных муфт. В этой связи возникает потребность в создании методов и алгоритмов компьютерной диагностики применительно к одноковшовым фронтальным погрузчикам, на примере МоАЗ–4048, которые позволяли бы проводить мониторинг технического состояния гидромеханических трансмиссий в процессе эксплуатации.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами и темами.**

Выбранная тема соответствует приоритетным направлениям научных исследований в Республики Беларусь. Она отвечает следующим нормативным актам:

– Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. №512 «Об утверждении перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006 - 2010 годы» (п 2. Механика машин, обеспечение надежности и безопасности технических систем, повышение конкурентоспособности продукции машиностроения);

– Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 ноября 2005 г. №1339 «Об утверждении перечня государственных программ фундаментальных и прикладных научных исследований в области естественных, технических, гуманитарных и социальных наук на 2006 - 2010 годы» (п 8. Исследование механики технических и биомеханических систем, разработка эффективных методов повышения их надежности, создание новых компонентов машин и оборудования для машиностроения: создание новых методов исследования и развитие физико-математического аппарата описания динамики мобильных машин, повышение конкурентоспособности машин и оборудования на основе применения новых материалов и технологий);

– Указ Президента Республики Беларусь от 6 июня 2005 г. № 315 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь (п.1 Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии производства конкурентоспособной продукции: разработка методик и технических средств диагностирования приводов, гидросистем и несущих конструкций энергонасыщенных сельскохозяйственных машин, обеспечивающих в полевых условиях без разборки машины оценку технического состояния и идентификацию неисправности).

#### **Цель и задачи исследования.**

*Цель исследований:* повышение эксплуатационной надежности гидромеханической трансмиссии путем диагностирования компьютерными средствами зубчатых передач и фрикционных муфт в процессе движения, на примере фронтального погрузчика МоАЗ–4048.

#### *Задачи исследований:*

– обосновать диагностические параметры и адаптировать гидромеханическую трансмиссию фронтального погрузчика МоАЗ–4048 к компьютерному диагностированию зубчатых передач и фрикционных муфт в процессе движения;

– разработать математическую модель объекта и средств диагностирования для моделирования процессов работы ГМП при тестовых воздействиях, для исследования закономерностей изменения диагностических параметров, с целью формулирования условий достоверного диагностирования зубчатых передач и фрикционных муфт гидромеханической трансмиссии фронтального погрузчика МоАЗ–4048 в процессе движения;

– разработать алгоритмы компьютерного диагностирования зубчатых передач и фрикционных муфт гидромеханической трансмиссии фронтального погрузчика МоАЗ–4048 в процессе движения;

– провести экспериментальные исследования для подтверждения правильности теоретических выводов и практического подтверждения разработанных алгоритмов компьютерного диагностирования зубчатых передач и фрикционных муфт.

*Объект исследования* – гидромеханическая трансмиссия одноковшового фронтального погрузчика.

*Предмет исследования* – зубчатые передачи и фрикционные муфты гидромеханической трансмиссии фронтального погрузчика МоАЗ–4048.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Условия достоверного диагностирования зубчатых передач и фрикционных муфт гидромеханической трансмиссии по относительным угловым перемещениям входного и выходного валов, определяемым импульсным способом, путем учета погрешностей, возникающих при тестовых воздействиях во время диагностирования в движении одноковшового фронтального погрузчика;

2. Математическая модель, описывающая объект диагностирования с учетом нелинейной функции выбора суммарного углового зазора и импульсные средства диагностирования, позволяющая моделировать условия движения и тестовые воздействия, определять условия выбора суммарного углового зазора в зубчатых передачах, момент начала буксования и время переключения ступеней фрикционных элементов в процессе движения одноковшового фронтального погрузчика с гидромеханической трансмиссией;

3. Алгоритмы компьютерной диагностики гидромеханической трансмиссии, позволяющие оценивать техническое состояние зубчатых передач и фрикционных муфт по относительным угловым перемещениям валов контролируемых импульсным способом и проводить диагностику в движении встроенными и внешними компьютерными средствами не выводя машину из эксплуатации, повышая тем самым эксплуатационную надежность одноковшового фронтального погрузчика.

**Личный вклад соискателя** заключается в самостоятельном выполнении теоретических исследований, разработке алгоритмов диагностирования зубчатых передач по суммарному угловому зазору в движении, в разработке алгоритмов диагностирования фрикционных муфт гидромеханической трансмиссии по буксованию, разработке экспериментальной установки для проверки работоспособности алгоритмов диагностирования, проведении экспериментальных исследований, обработке полученных результатов. Соискателем совместно с научным руководителем получено два патента на изобретения способа диагно-

стирования технического состояния фрикционного элемента трансмиссии и способа диагностирования гидромеханической коробки передач.

Научный руководитель принимал участие в постановке задач исследований, их предварительном анализе, а также обсуждении полученных результатов. Научным руководителем в соавторстве с Максименко А. Н., Антипенко Д. Г., Моргаликом Б. М. запатентован способ диагностирования зубчатых передач. Доценты Кузнецов Е. В. Антипенко Г. Л., инженер Моргалик Б. М. принимали участие в создании моторно-динамического стенда для экспериментальных исследований. Инженер Белякович М. А. участвовал в создании математической модели, описывающей процесс диагностирования фрикциона. Ассистент Кутузов В. В. принимал участие в экспериментальных исследованиях по определению тормозных характеристик двигателя.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались на «Интерстроймех-2011» Международной научно-технической конференции (Могилев, 5-7 октября 2011); «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» Международной научно-технической конференции (Могилев, 20-21 апреля 2006, 17-18 апреля 2008, 16-17 апреля 2009, 22-23 апреля 2010); «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» Международной научно-технической конференции молодых ученых (Могилев, 20-21 ноября 2008, 19-20 ноября 2009, 18-19 ноября 2010); «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Могилев, 26 января 2006); «42-я студенческая научно-техническая конференция» (Могилев, 16-20 мая 2006); «Развитие приграничных регионов Беларуси и России на современном этапе: проблемы и перспективы» Научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов приграничных областей России и Белоруссии (Могилев, 12-13 октября 2006).

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертации опубликованы 29 печатных работ (18,7 авторского листа), в том числе статей в рецензируемых журналах, включенных в список научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, – 9, в зарубежных изданиях – 6, материалов или тезисов докладов научных конференций – 13, патентов на изобретение – 2.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка литературных источников (129 наименований, из них 4 на иностранном языке) и приложений. Она изложена на 176 страницах машинописного текста, включает 68 рисунков и 16 таблиц. Приложения приведены на 38 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

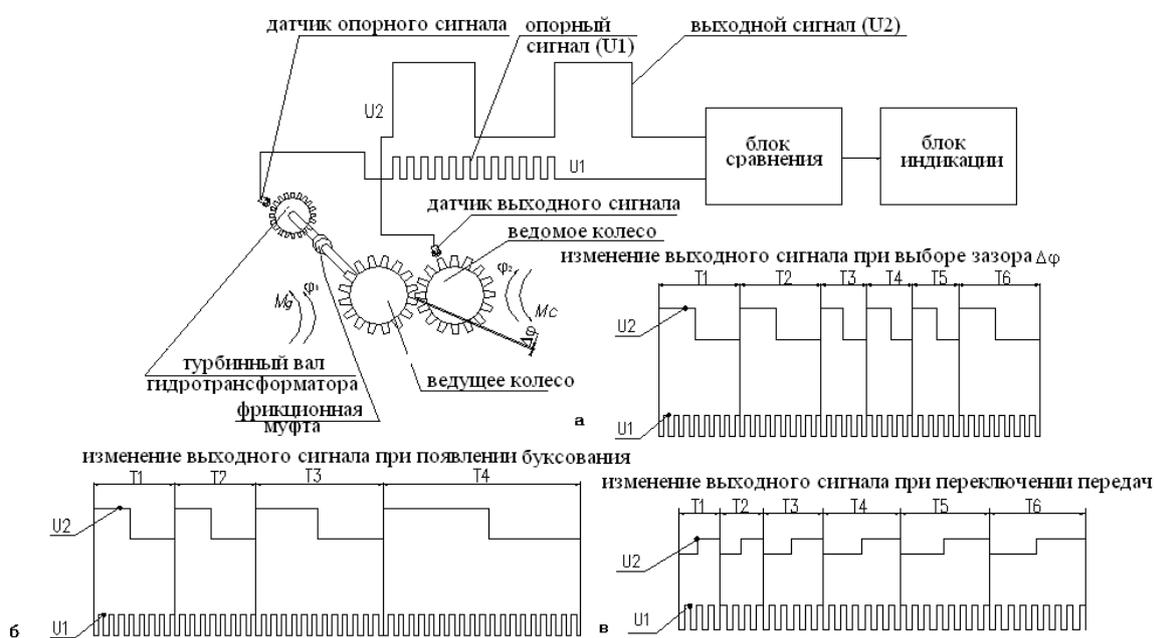
**Во введении** описана необходимость компьютерной диагностики, как одно из решений по повышению эксплуатационной надежности фронтального погрузчика МоАЗ–4048. Обоснована актуальность диссертационной работы.

**В первой главе** определены цель и задачи исследований. Вопросами диагностики машин занимались такие ученые, как С. И. Абрамов, И. Н. Аринин, Н. В. Богдан, И. А. Биргер, В. С. Бочаров, Ю. А. Власов, Д. В. Гаскаров, В. А. Зорин, В. И. Иванов, В. В. Ключев, В. П. Калявин, А. С. Кручек, А. А. Косенков, И. И. Косс, Е. С. Кузнецов, Р. А. Макаров, А. Н. Максименко, А. В. Мозгалевский, С. А. Рынкевич, Е. Л. Савич, Г. В. Спичкин, А. В. Соколов, А. М. Харазов, В. Fenton, S. Sivathasan, R. Yager и др.

На основании их работ проведен анализ методов и средств диагностирования трансмиссий машин и уровня оснащенности современной техники компьютерными средствами контроля и диагностики, который показал, что использовать их для компьютерной диагностики трансмиссий достаточно проблематично. Одни имеют невысокую точность, другие – сложны для реализации компьютерными средствами, третьи – громоздки. Поэтому в настоящее время при диагностике трансмиссий преобладают субъективные методы, имеющие невысокую точность постановки диагноза и как следствие, большие затраты на поиск и устранение неисправности. Следовательно, создание способов и алгоритмов для компьютерной диагностики зубчатых передач и фрикционных муфт трансмиссий является перспективным направлением. Это позволит ускорить процесс постановки диагноза, снизить долю субъективного фактора в оценке состояния гидромеханической трансмиссии фронтального погрузчика МоАЗ–4048 и уменьшить затраты на поддержание его в работоспособном состоянии. Но для этого необходима разработка методов и алгоритмов диагностирования, совместимых с микропроцессорными средствами.

Основными элементами, определяющими ресурс гидромеханической трансмиссии (ГМТ), являются зубчатые передачи и фрикционные муфты, техническое состояние которых определяется суммарным угловым зазором, характеризующим износ рабочих поверхностей зубьев, буксованием и временем переключения фрикционных муфт. Поскольку при неработающем двигателе кинематическая связь между ведущим и ведомым валами нарушается, то диагностировать ГМТ необходимо в движении, отслеживая относительные угловые перемещения ведущего и ведомого валов импульсным способом, реализуемым компьютерными средствами. Алгоритм диагностирования зубчатых передач по величине суммарного углового зазора, предполагает подачу на трансмиссию тестового воздействия, направленного на выбор этого зазора, в виде торможения двигателем, при котором силы инерции поступательно движущейся маши-

ны будут выбирать зазоры противоположного направления при диагностировании в движении. В этот момент производится подсчет импульсов высокочастотного опорного сигнала  $U1$ , генерируемого датчиком углового положения турбинного вала, в каждом периоде  $T_i$ ; выходного сигнала  $U2$ , генерируемого импульсным датчиком зубцовой частоты с ведомого колеса. Сумма импульсов опорного сигнала за время выбора суммарного углового зазора в блоке сравнения сопоставляется с суммой среднего значения опорного сигнала  $U1$  за это же количество периодов  $T$  при жесткой кинематической связи. Разница, отнесенная к числу импульсов опорного сигнала за один оборот ведущего вала и даст величину суммарного углового зазора, которая отражается на блоке индикации (рисунок 1, а).



а - изменение выходного сигнала при выборе зазора; б - изменение выходного сигнала при появлении буксования; в - изменение выходного сигнала при переключении передач

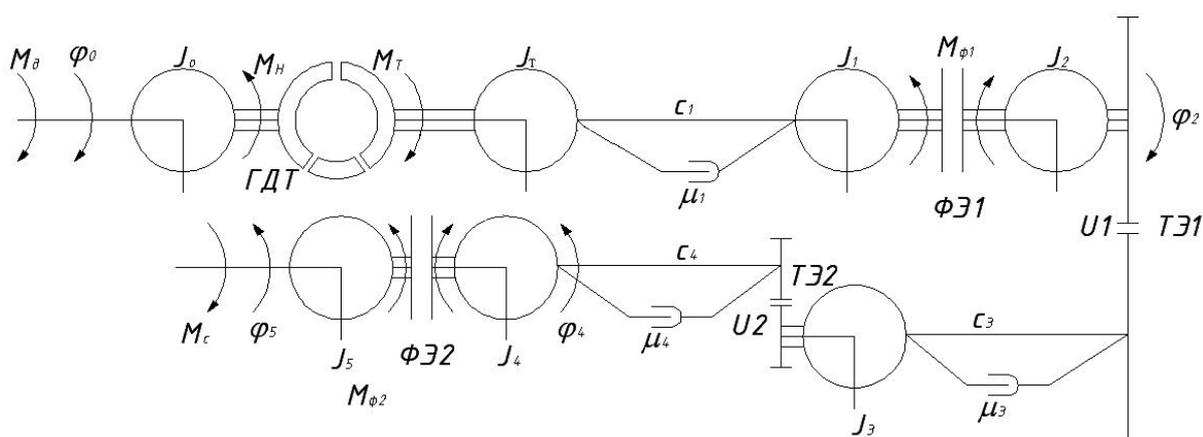
**Рисунок 1 – Схема импульсного способа диагностирования гидромеханической трансмиссии**

Алгоритм диагностирования фрикционных муфт также включает отслеживание изменений относительных угловых перемещений ведущего и ведомого валов путем анализа шагов зацепления зубчатого колеса, связанного с ведомым валом по количеству импульсов высокочастотного опорного сигнала с ведущего вала. Изменение числа импульсов опорного сигнала  $U1$  в каждом периоде  $T_i$  выходного  $U2$  будет свидетельствовать о нарушении кинематической связи между валами, т. е. о буксовании фрикциона, а при одинаковом числе импульсов – отсутствии буксования (рисунок 1, б). Процесс диагностирования коробки

передач по длительности процесса переключения ступеней импульсным способом (рисунок 1, в), например, с высшей ступени на низшую, предполагает подсчет длительности процесса буксования при изменении количества импульсов от одного установившегося значения ( $T1, T2$ ) с меньшим числом импульсов до большего установившегося значения ( $T5, T6$ ).

**Во второй главе** на основании работ В. П. Тарасика, А. И. Гришкевича, О. С. Руктешеля, И. П. Ксеновича, В. А. Вавуло, А. В. Карпова, А. А. Мельникова, Н. Ф. Метлюка и др. определены подходы к созданию математической модели и алгоритмов диагностирования. Создана математическая модель переменной структуры для имитационного моделирования процессов в динамической системе двигатель – ГМТ при тестовых воздействиях, описывающая объект диагностирования с учетом нелинейной функции выбора суммарного углового зазора и импульсные средства диагностирования, позволяющая определить условия выбора суммарного углового зазора в движении для оценки технического состояния зубчатых передач и состояние фрикционных муфт по буксованию и качеству процессов переключения ступеней в коробке передач при контроле относительных угловых перемещений входного и выходного валов фронтального погрузчика МоАЗ–4048 импульсным способом.

При построении динамической модели использован метод сосредоточенных масс. Этот метод применим, если система имеет явно выраженный дискретный спектр собственных частот. Это характерно для технических объектов, у которых масса распределена в пространстве неравномерно (рисунок 2).



**Рисунок 2 - Динамическая модель трансмиссии как объекта диагностирования**

В соответствии с задачами исследований в динамической модели учтены инерционные ( $J_i$ ), упругие ( $c_i$ ) и диссипативные свойства ( $\mu_i$ ) элементов трансмиссии, определяющие их низкочастотные колебания и нелинейные функции,

описывающие процесс выбора зазора в зубчатых передачах ГМКП и трансмиссии, характеристики трения фрикционных элементов  $\PhiЭ$ , внешние управляющие (момент двигателя  $M_d$ ) и возмущающие (момент сопротивления движению  $M_c$ ) воздействия.

На основе динамической модели фронтального погрузчика МоАЗ–4048 создана математическая модель. Система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \ddot{\varphi}_0 &= \left( M_d - (1 - L_0) \cdot M_H - L_0 \cdot \left( c_1(\varphi_0 - \varphi_1) + \mu_1(\dot{\varphi}_0 - \dot{\varphi}_1) \right) \right) / J_0 \\
 \ddot{\varphi}_1 &= \left( \begin{aligned} &(1 - L_0) \cdot M_T - \text{sign}(-L_0) \cdot \left( c_1(\varphi_0 - \varphi_1) + \mu_1(\dot{\varphi}_0 - \dot{\varphi}_1) \right) - \\ &\left( c_3((\varphi_2/u_1) - \varphi_3 - \Delta\varphi_1) + \mu_3((\dot{\varphi}_2/u_1) - \dot{\varphi}_3) \right) - \\ &- L_1 \cdot \frac{\left( c_3((\varphi_2/u_1) - \varphi_3 - \Delta\varphi_1) + \mu_3((\dot{\varphi}_2/u_1) - \dot{\varphi}_3) \right)}{u_1 \cdot \eta_1} - (1 - L_1) \cdot M_{\Phi 1} \end{aligned} \right) / (J_1 + L_1 \cdot J_2) \\
 \ddot{\varphi}_3 &= \left( \begin{aligned} &\left( c_3((\varphi_2/u_1) - \varphi_3 - \Delta\varphi_1) + \mu_3((\dot{\varphi}_2/u_1) - \dot{\varphi}_3) \right) - \\ &\left( c_4((\varphi_3/u_2) - \varphi_4 - \Delta\varphi_2) + \mu_4((\dot{\varphi}_3/u_2) - \dot{\varphi}_4) \right) \end{aligned} \right) / J_3 \\
 \ddot{\varphi}_4 &= \left( \begin{aligned} &\left( c_4((\varphi_3/u_2) - \varphi_4 - \Delta\varphi_2) + \mu_4((\dot{\varphi}_3/u_2) - \dot{\varphi}_4) \right) - \\ &-(1 - L_2) \cdot M_{\Phi 2} - L_2 \cdot M_C \end{aligned} \right) / (J_4 + L_2 \cdot J_5) \\
 \ddot{\varphi}_5 &= \left( \begin{aligned} &L_2 \cdot \left( c_4((\varphi_3/u_2) - \varphi_4 - \Delta\varphi_2) + \mu_4((\dot{\varphi}_3/u_2) - \dot{\varphi}_4) \right) - \\ &- \text{sign}(L_2 - 1) \cdot (1 - L_2) \cdot M_{\Phi 2} - M_C \end{aligned} \right) / (L_2 \cdot J_4 + J_5)
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $L_0$  – переменная, характеризующая состояние гидротрансформатора (значение переменной равно 0, когда гидротрансформатор разблокирован, и 1, когда заблокирован);

$L_1, L_2$  – переменные, характеризующие состояние фрикционного элемента (значение переменной равно 0, когда фрикционный элемент разомкнут, и 1, когда он замкнут);

$L_3$  – переменная, характеризующая возможность движения машины с места. Начало движения произойдет только при условии, если сумма крутящих моментов  $M_{Y4}$  и  $M_{D4}$  превосходит сумму моментов сопротивления движению  $M_C$ . В этом случае  $L_3 = 1$ ;

$\Delta\varphi_1, \Delta\varphi_2$  – текущие значения углов при выборе зазоров в коробке передач и в трансмиссии в целом.

Моделирование нелинейной функции выбора зазора в зубчатом зацеплении представлено следующим образом. При расчетах упругих моментов на валах до начала тестового воздействия величина  $\Delta\varphi_i$  в уравнениях определения упругих моментов принимается равной нулю, т.е. для коробки передач при  $(\varphi_2 / u_1 - \varphi_3) > 0$  принимается  $\Delta\varphi_1 = 0$ .

При достижении равенства углов поворота ведущего и ведомого валов в коробке передач  $\Delta\varphi_1$  определяется из выражения (2), чтобы компенсировать угловое перемещение входного вала относительно выходного во время выбора суммарного углового зазора, поскольку момент на валах в этот период равен нулю.

$$\Delta\varphi_1 = (\varphi_2 / u_1 - \varphi_3). \quad (2)$$

После полного выбора зазора  $\gamma_1$  в коробке передач его величина подставляется в уравнение для расчета момента, поскольку силы инерции закручивают валы в противоположную сторону, т. е. при  $(\varphi_2 / u_1 - \varphi_3) < -\gamma_1$ , принимается  $\Delta\varphi_1 = -\gamma_1$ . Аналогично моделируется выбор суммарного углового зазора для трансмиссии в целом

Импульсные средства диагностирования обеспечивают контроль угловых перемещений инерционных масс, с которыми связаны импульсные датчики. Подсчет импульсов производится путем дискретизации значений  $\varphi_i$  как:

$$N_i = \varphi_i / \alpha, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – угол поворота вала на один импульс датчика, рад.;

$N_i$  – количество импульсов за поворот вала на угол  $\varphi_i$ .

Поскольку импульсная система диагностики может подсчитывать только целые числа импульсов, то текущие значения углов поворота валов в импульсном выражении, разделяют на целую и дробную части. Затем дробная часть приплюсовывается к последующему импульсу.

**В третьей главе** представлены результаты теоретических исследований при диагностике зубчатых передач по относительным угловым перемещениям валов, контролируемых импульсным способом для фронтального погрузчика МоАЗ–4048, имеющего ГМТ.

Тестовое воздействие при диагностировании зубчатых передач в движении осуществляется посредством торможения двигателем при резком прекращении подачи топлива до достижения минимально устойчивой угловой скорости  $\omega_0$  с последующим увеличением подачи топлива (рисунок 3). Тормозной момент двигателя определяется по зависимости, подтвержденной экспериментально:

$$M_{\partial m} = -M_p \left[ b_0 + b_1 \cdot \frac{\omega_{\partial}}{\omega_p} + b_2 \cdot \left( \frac{\omega_{\partial}}{\omega_p} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где  $\omega_{\partial}$  – угловая скорость коленчатого вала двигателя,  $rad/c$ ;

$M_p, \omega_p$  – крутящий момент ( $Hm$ ) и угловая скорость двигателя ( $rad/c$ ) при номинальной мощности;

$b_i$  – коэффициенты регрессии ( $b_0 = 0,0955$ ;  $b_1 = 0,00181$ ;  $b_2 = 0,137$  для дизельного двигателя).

Поскольку диагностирование ГМТ осуществляется в движении, разработан алгоритм диагностирования зубчатых передач по суммарному угловому зазору. Условием выбора суммарного углового зазора, при тестовом воздействии на трансмиссию в виде торможения двигателем, является превышение углового замедления двигателя над замедлением ведомого вала. Угловое замедление двигателя определяется тормозным моментом  $M_{\partial m}$ , а угловое замедление ведомого вала зависит от приведенного момента сопротивления  $M_c$ , величина которого зависит как от дорожных условий  $\psi$  и от номера включенной передачи  $u_i$ . Выразив это условие через угловую скорость коленчатого вала двигателя, получено следующее выражение:

$$\omega_{\dot{a}} > \frac{m \cdot g \cdot r_k \cdot \psi \cdot u_1 \cdot u_2 \cdot (J_0 + J_T + J_1 + J_2)}{k_0 \cdot (J_4 + J_5 + J_3 \cdot u_2^2)} - \frac{\dot{a}_{\min}}{k_0} + \omega_{\dot{a}_{\min}}, \quad (5)$$

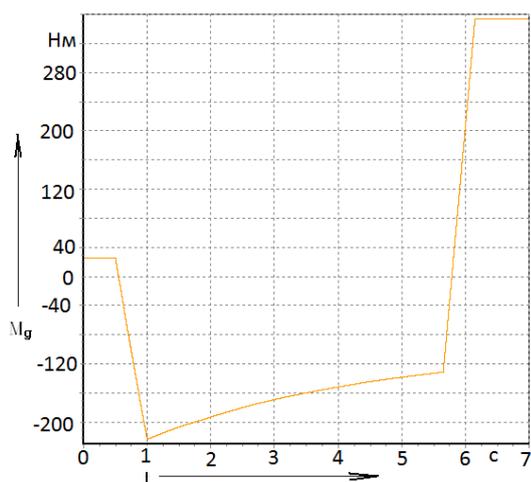
где  $k_0$  – коэффициент наклона рабочего участка характеристики тормозного момента,  $k_0 = (M_{\dot{a}_{\max}} - M_{\dot{a}_{\min}}) / (\omega_{\dot{a}_{\max}} - \omega_{\dot{a}_{\min}})$ ;

$\omega_{\dot{a}_{\max}} - \omega_{\dot{a}_{\min}}$ ,  $M_{\dot{a}_{\max}} - M_{\dot{a}_{\min}}$  – интервал угловых скоростей коленчатого вала двигателя и соответствующий им интервал тормозных моментов при диагностировании в движении.

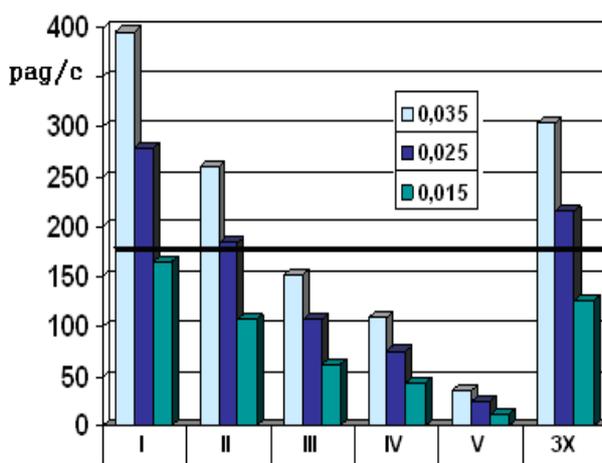
Расчеты необходимой угловой скорости двигателя по условию выбора суммарного углового зазора в ГМТ фронтального погрузчика МоАЗ–4048 в различных дорожных условиях (грунтовая дорога с  $\psi=0,035$ ; гравийная  $\psi=0,025$  и асфальтобетонная  $\psi=0,015$ ) приведены на рисунке 4. Приняв для диагностики в движении начальную угловую скорость двигателя 180 рад/с, на гравийной и грунтовой дороге на первой, второй передаче и передаче заднего хода, из-за большого сопротивления движению, суммарный зазор в зубчатых передачах силами инерции не выбирается.

Определенный в движении суммарный угловой зазор – это фактическое угловое перемещение выходного вала относительно входного. Это значит, что в суммарный угловой зазор будут входить статическая составляющая, связанная с угловой деформацией валов при передаче крутящего момента в процессе

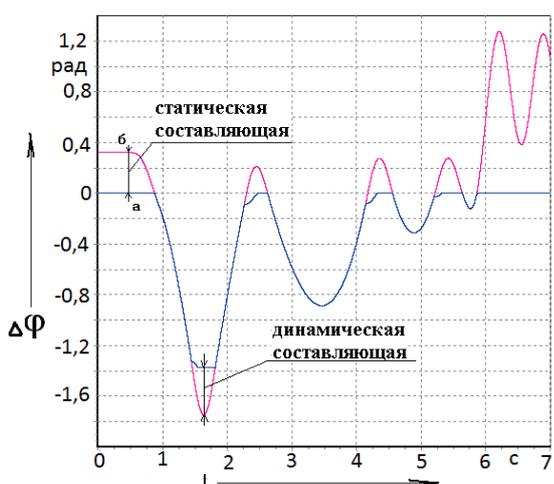
движения и динамическая составляющая, связанная с деформацией валов в противоположном направлении от сил инерции при подаче тестового воздействия на трансмиссию (рисунок 5). Поскольку деформации упругих элементов идентифицируются импульсной системой диагностики как составляющие суммарного углового зазора, то их необходимо учесть при определении истинных угловых зазоров. Учесть эти составляющие можно поправочным коэффициентом, либо определять зазор при нулевом моменте на валу (рисунок 6). Поправочный коэффициент не является универсальным, а рассчитывается для каждой передачи конкретной машины как функция дорожных условий  $K = f(\psi)$ .



**Рисунок 3 – График изменения момента двигателя при тестовом воздействии**

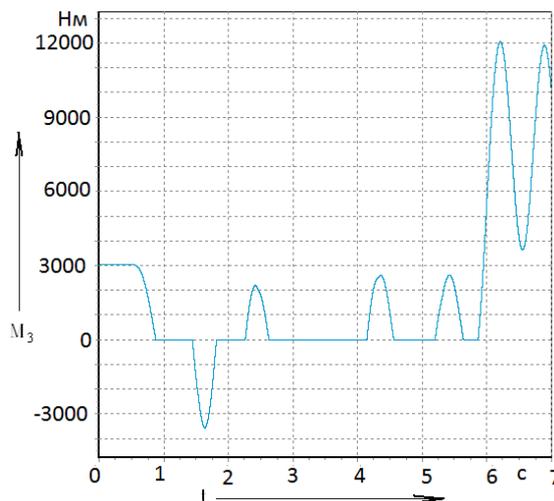


**Рисунок 4 – Диаграмма скоростей двигателя по условию выбора зазора для различных дорожных условий движения**



а- график выбора зазоров в трансмиссии; б- график фактических угловых перемещений валов

**Рисунок 5 – Выбор суммарного углового зазора в трансмиссии**

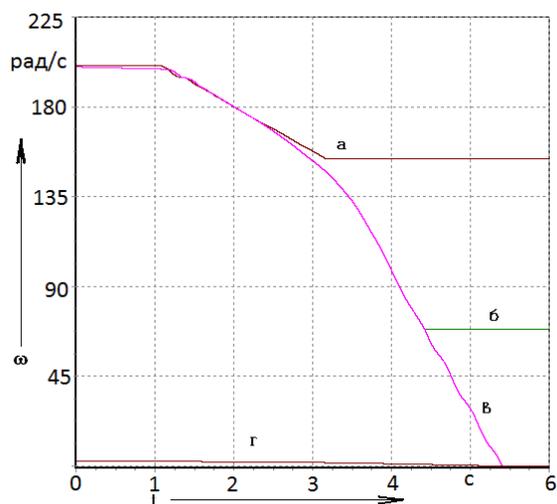


**Рисунок 6 – График момента на выходном валу трансмиссии при тестовом воздействии**

**В четвертой главе** рассмотрены вопросы диагностирования фрикционных муфт ГМТ фронтального погрузчика МоАЗ–4048 по буксованию при передаче крутящих моментов и длительности процесса переключения ступеней ГМКП.

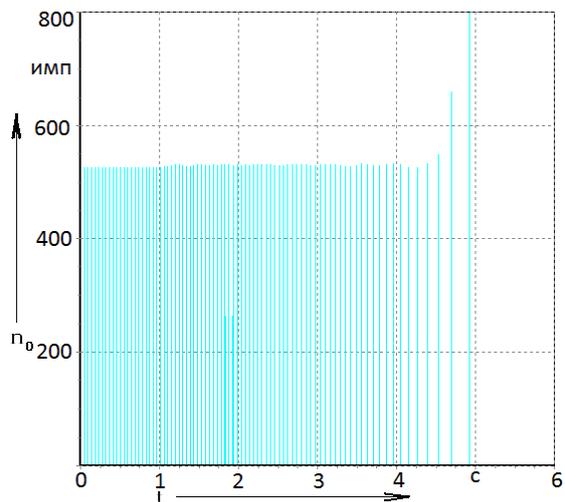
Техническое состояние фрикционных муфт гидромеханической коробки передач в процессе движения субъективно определить достаточно сложно, так как отделить скольжение в разблокированном гидротрансформаторе от буксования фрикциона практически невозможно. Состояние фрикционных муфт отражается и на времени переключения ступеней в ГМКП. Затянутость процесса переключения приводит к увеличению работы буксования, а следовательно, к повышению температуры дисков и увеличению износов пар трения. Быстрое переключение также нежелательно, поскольку оно увеличивает динамические нагрузки в трансмиссии и ухудшает показатели плавности хода. Использование же импульсного способа позволяет отслеживать в процессе движения относительные перемещения турбинного и выходного валов трансмиссии, а значит отделять буксование фрикциона от скольжения в гидротрансформаторе и определять время переключения ГМКП, что существенно облегчает оценку технического состояния фрикционов.

При диагностировании фрикционных муфт в процессе движения, в качестве тестового воздействия на трансмиссию принято нагружение фрикционных муфт штатной тормозной системой при расчетном режиме работы двигателя. При этом величина максимального момента на фрикционе определяется заранее и зависит от месторасположения фрикциона в кинематической цепи трансмиссии и от режима работы двигателя. Угловая скорость коленчатого вала двигателя при нагружении трансмиссии изменяется по регуляторной характеристике с 200 рад/с до 152 рад/с (рисунок 7, кривая а), а угловая скорость турбинного вала падает значительно больше из-за приближения к стоповому режиму работы гидротрансформатора. При достижении предельного момента фрикционный элемент начинает буксовать (рисунок 7, кривая б), а ведомый вал и ведущие колеса через небольшой промежуток времени останавливаются (рисунок 7, кривые в, г). Именно в этом промежутке времени информационные переменные импульсной системы диагностики выдают четкий сигнал о буксовании (рисунок 8), поскольку число импульсов опорного сигнала в каждом выходном резко возрастает по сравнению со средним значением при отсутствии буксования на данной конкретной передаче.



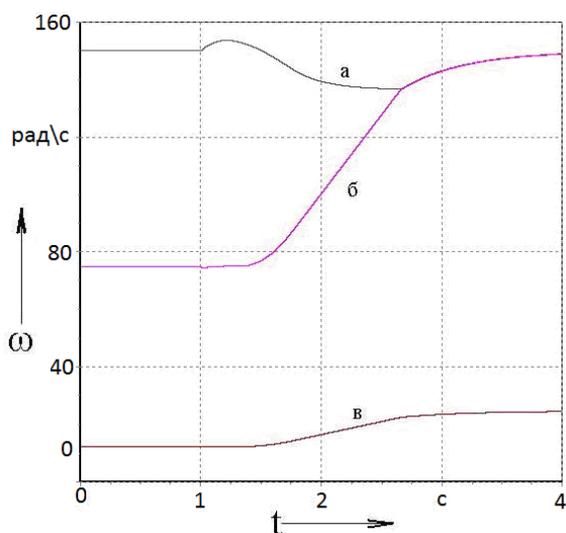
а – кривая изменения угловой скорости двигателя; б - кривая изменения угловой скорости ведущей части фрикциона; в - кривая изменения угловой скорости ведомой части фрикциона; г - кривая изменения угловой скорости выходного вала трансмиссии

**Рисунок 7 – Характер изменения угловых скоростей при диагностировании фрикциона**



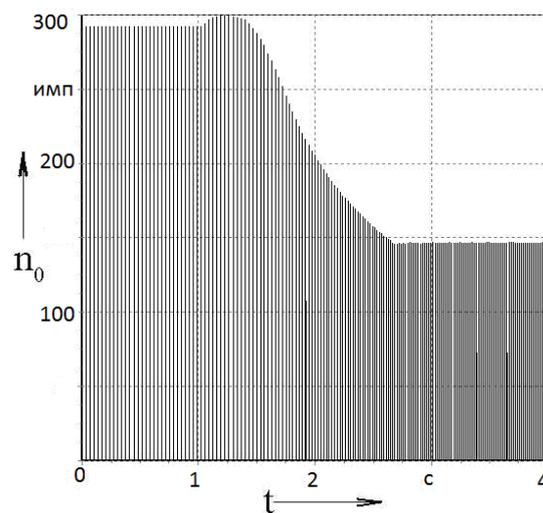
**Рисунок 8 – Определение начала буксования фрикциона импульсной системой**

Процесс диагностирования коробки передач погрузчика МоАЗ–4048 по длительности процесса переключения ступеней импульсным способом поясняется графиками. При переключении ступеней с низшей на высшую (I–II) с перекрытием фрикционных муфт угловая скорость ведущего вала вначале несколько возрастает, а затем падает, поскольку требуется энергия на разгон машины до более высокой скорости (рисунок 9, кривая а), а угловая скорость ведомого вала (рисунок 9, кривая б) и выходного (рисунок 9, кривая в) увеличиваются. В этот период времени количество опорных сигналов в каждом периоде выходных изменяется в процессе переключения, от одного установившегося значения с большим числом импульсов до меньшего установившегося значения при завершении переключения (рисунок 10). Суммарная длительность всех импульсов за время переходного процесса и составит время буксования фрикциона при переключении ступени.



а – кривая изменения угловой скорости ведущего вала; б - кривая изменения угловой скорости ведомого вала; в - кривая изменения угловой скорости выходного вала

**Рисунок 9 – Характер изменения угловых скоростей при диагностировании коробки передач**



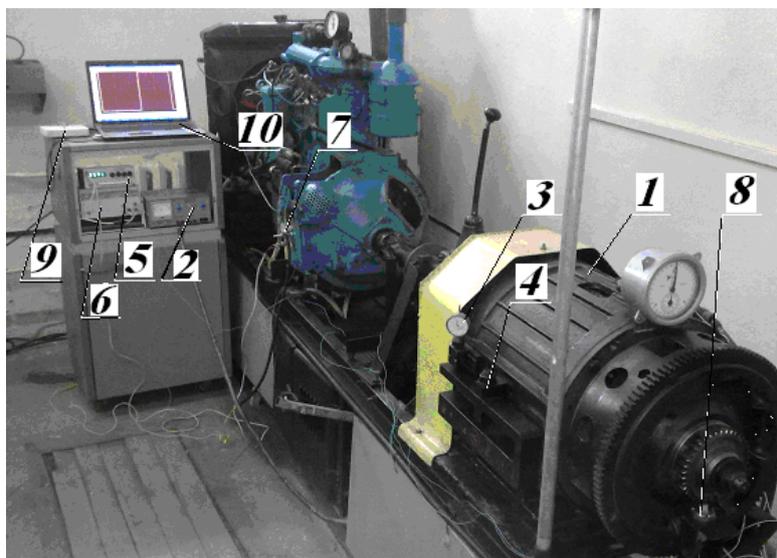
**Рисунок 10 – Изменение опорного сигнала при буксовании фрикциона при переключении ступеней коробки передач**

На основе проведенных теоретических исследований разработаны алгоритмы импульсной диагностики фрикционных муфт ГМТ погрузчика в процессе движения по появлению буксования при передаче максимальных крутящих моментов и по времени буксования при переключении ступеней ГМКП.

**В пятой главе** представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающих правильность предложенных алгоритмов диагностирования зубчатых передач и фрикционных элементов в процессе движения по относительным угловым перемещениям ведущего и ведомого валов, контролируемых импульсным способом. Экспериментальная установка, имитирующая машину в движении, представляет собой последовательно соединенные: дизельный двигатель, позволяющий создавать тестовое воздействие на коробку передач; импульсный датчик опорного сигнала, связанный с ведущим валом коробки передач; коробка передач, с ведомым валом которой связаны тормоз, создающий сопротивление от определенного вида дорожных условий, маховые массы, имитирующие поступательное движение машины и зубчатое колесо с импульсным датчиком выходного сигнала, накапливаемого на плате сбора данных с последующей обработкой ПЭВМ (рисунок 11).

На экспериментальной установке проверялись условия выбора и не выбора суммарного углового зазора в коробке передач при тестовом воздействии в виде торможения двигателем и сопоставлялись с рассчитанными на математической модели с параметрами стенда. Величина суммарного углового зазора,

определяемого импульсным способом, сравнивалась с результатами, полученными инструментальным способом.



1 – порошокый тормоз; 2, 6 – источник питания; 3 – индикатор момента; 4 – измерительная скоба тормоза; 5 – тахометр; 7 – импульсный датчик опорного сигнала; 8 – импульсный датчик выходного сигнала; 9 – плата сбора данных; 10 – ПЭВМ

**Рисунок 11 – Экспериментальная установка**

Алгоритм определения суммарного углового зазора импульсным способом предполагает создание тестового воздействия на КП в виде торможения двигателем, когда угловая скорость коленчатого вала уменьшается (рисунок 12, а), подсчет общего числа опорных импульсов в каждом выходном на этой фазе (с 1,5 с по 2,5 с рисунок 12, б), и нахождения разницы числа опорных импульсов относительно среднего значения при жесткой кинематической связи за это же число выходных сигналов по формуле:

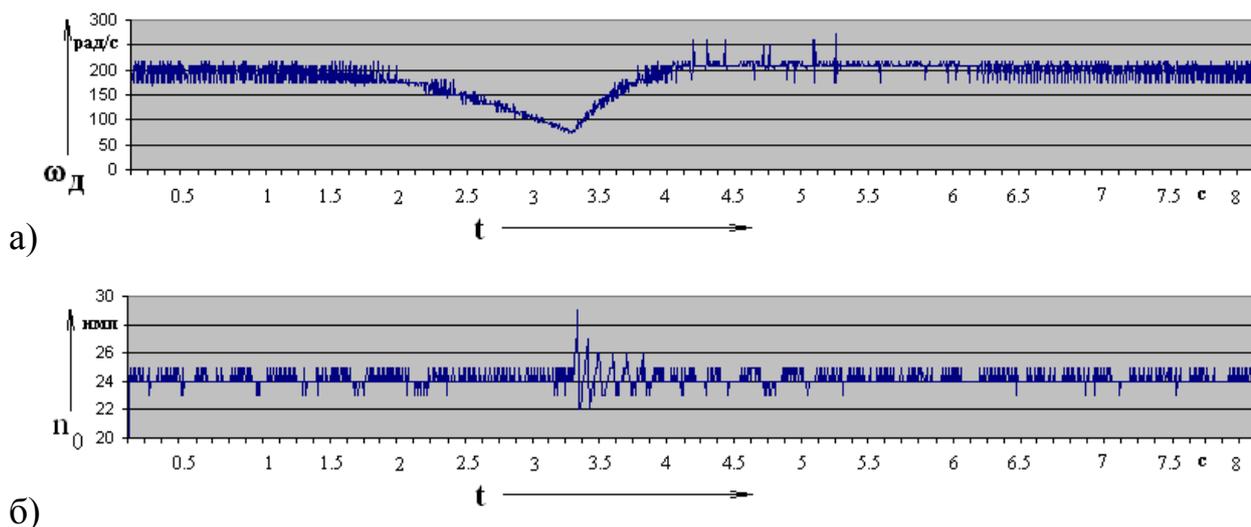
$$\Delta N = \sum_{i=n_1}^{n_2} N_i - n_{cp} \cdot (n_2 - n_1 + 1). \quad (6)$$

где  $n_1$  – номер импульса выходного сигнала из базы данных, соответствующий времени начала подсчета опорных импульсов, т. е. при  $t = 1,5$  с;

$n_2$  – номер импульса выходного сигнала при окончании подсчета, т.е. при  $t = 2,5$  с;

$n_{cp}$  – среднее число импульсов опорного сигнала в каждом выходном при жесткой кинематической связи в зубчатых передачах;

$N_i$  – фактическое число импульсов опорного сигнала, подсчитанное на интервале времени от  $t = 1,5$  с до  $t = 2,5$  с.



а - график изменения угловой скорости коленчатого вала двигателя; б - график изменения количества опорных импульсов в каждом выходном

**Рисунок 12 - Результаты обработки данных с датчиков на мониторе ПЭВМ при скоростном режиме 170 рад/с**

При начальной скорости тестового воздействия  $\omega_0 = 110 \dots 170$  рад/с и количеством импульсов опорного сигнала за один оборот ведущего вала  $Z_0 = 144$ , выбранный зазор составил  $\Delta N = 1,98 \dots 1,70$  импульса. Переводя полученную разницу в угол поворота входного вала относительно выходного, определяют значение суммарного углового зазора коробки передач на первой ступени:

$$\Delta\varphi_1 = \frac{\Delta N \cdot 360}{Z_0} = \frac{(1,98 \dots 1,7) \cdot 360}{144} = 4,95^\circ \dots 4,25^\circ. \quad (7)$$

Значение суммарного углового зазора, полученное инструментальным способом с учетом упруго элемента, составляет  $\Delta\varphi = 4,5^\circ$ . Таким образом, ошибка определения зазора в зубчатой передаче импульсным способом в процессе движения составляет 5,6... 10 %.

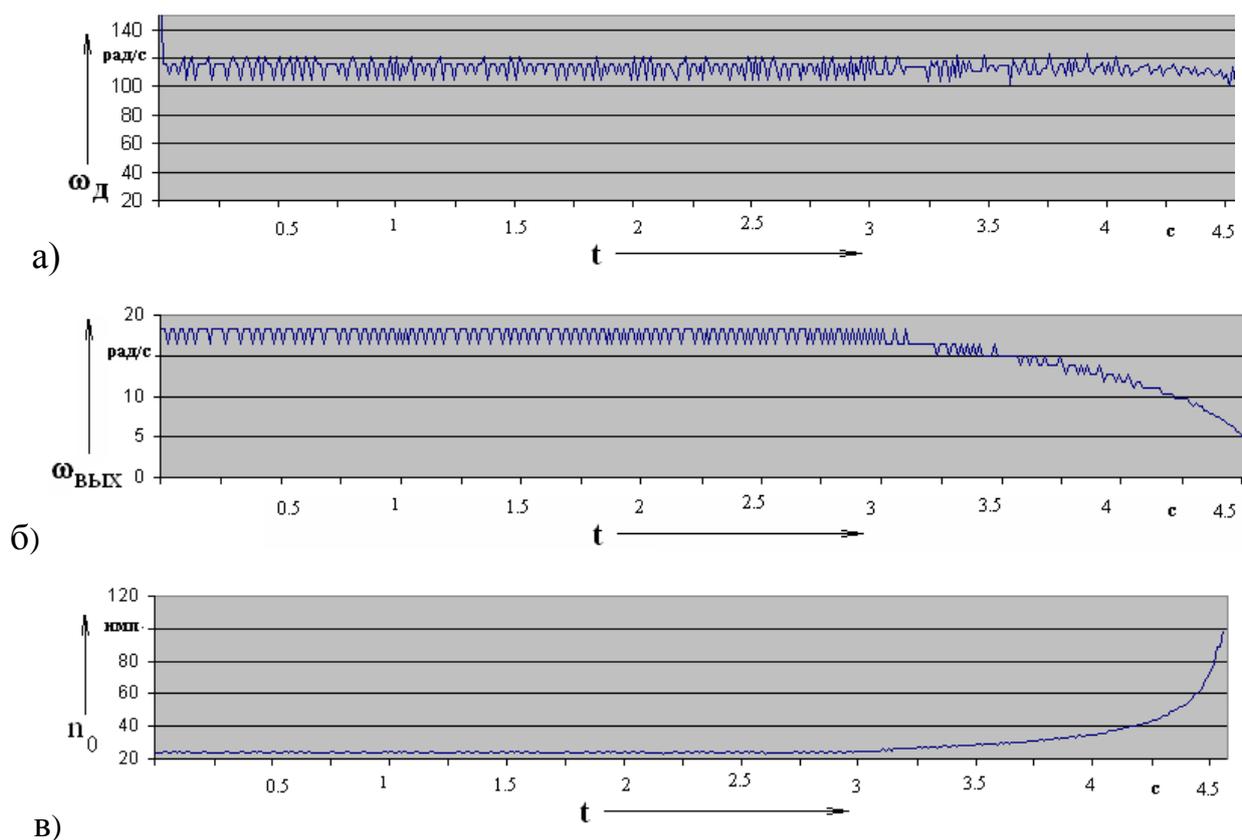
Для проверки условий не выбора суммарного углового зазора по выражению (5), на стенде задается момент сопротивления движению, при котором зазор не выбирается и аналогичным образом получаем результат  $\Delta\varphi = 2^\circ$ , т. е. зазор полностью не выбирался.

Экспериментальные исследования также позволили подтвердить правильность алгоритма диагностирования фрикционных элементов по буксованию при передаче максимальных крутящих моментов в процессе движения. При непрерывном нагружении о начале буксования фрикционных элементов сцепления в эксперименте свидетельствует резкое увеличение количества опорных импульсов в каждом выходном с 24 – при отсутствии буксования, до максимального значения (рисунок 13, в). При этом видно, что частота вращения вы-

ходного вала  $\omega_{\text{вых}}$  (рисунок 13, б) начинает уменьшаться от  $\omega_{\text{вых}} = 18$  рад/с до нуля при неизменной частоте вращения маховика двигателя  $\omega_{\text{д}}$  (рисунок 13, а).

Экспериментальные исследования подтвердили правильность импульсного способа и алгоритма диагностирования фрикционных элементов по буксованию. Подсчет импульсов опорного сигнала в каждом выходном и их сопоставление относительно среднего значения при жесткой кинематической связи позволяет четко зафиксировать начало процесса буксования, что позволяет использовать данный алгоритм для диагностирования фрикционных муфт гидромеханических передач по буксованию и длительности переключения передач.

Таким образом, результаты экспериментальных исследования позволяют утверждать о возможности создания внешних и встроенных импульсных систем диагностирования зубчатых передач по суммарному угловому зазору и фрикционных муфт по буксованию и времени переключения ступеней гидромеханической трансмиссии фронтального погрузчика МоАЗ-4048 в процессе движения на основе приведенных расчетных исследований.



а - график изменения угловой скорости коленчатого вала двигателя; б - график изменения угловой скорости выходного вала; в - график изменения количества опорных импульсов в каждом выходном

**Рисунок 13 – Результаты обработки данных с датчиков на мониторе ПЭВМ при диагностировании фрикционных элементов сцепления**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом выполненной работы является разработка системы компьютерной диагностики зубчатых передач и фрикционных муфт гидромеханической трансмиссии по относительным угловым перемещениям валов контролируемых импульсным способом в движении одноковшового фронтального погрузчика МоАЗ–4048.

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Предложен импульсный способ диагностирования зубчатых передач и фрикционных муфт в гидромеханической трансмиссии фронтального погрузчика МоАЗ–4048, по средствам контроля относительных угловых перемещений входного и выходного валов компьютерными средствами и алгоритмы диагностирования в процессе движения при тестовых воздействиях на трансмиссию [1–А, 10–А, 11–А, 12–А, 14–А, 15–А, 20–А].

2. Разработана математическая модель переменной структуры, описывающая объект диагностирования и импульсные средства диагностирования, позволяющая моделировать условия движения и тестовые воздействия, определять условия выбора суммарного углового зазора в зубчатых передачах, момент начала буксования и время переключения ступеней фрикционных элементов в процессе движения фронтального погрузчика МоАЗ–4048 с гидромеханической трансмиссией, позволившая установить зависимость технического состояния зубчатых передач и фрикционных муфт от относительных угловых перемещений ведомых и ведущих элементов трансмиссии при тестовых воздействиях [16–А, 22–А, 23–А, 25–А].

3. Сформулированы условия достоверного диагностирования зубчатых передач и фрикционных муфт гидромеханической трансмиссии фронтального погрузчика МоАЗ–4048, учитывающие погрешности, возникающие из-за упругих элементов при определении суммарного углового зазора зубчатых передач и моментов начала и окончания буксования фрикционных муфт при тестовых воздействиях на трансмиссию в процессе движения [17–А, 24–А, 26–А, 28–А].

4. Разработаны алгоритмы компьютерной диагностики гидромеханической трансмиссии, позволяющие оценивать техническое состояние зубчатых передач и фрикционных муфт по относительным угловым перемещениям валов контролируемых импульсным способом и проводить диагностику в движении встроенными и внешними компьютерными средствами не выводя машину из эксплуатации, повышая тем самым эксплуатационную надежность одноковшового фронтального погрузчика [2–А, 3–А, 4–А, 5–А, 7–А, 8–А, 9–А, 13–А, 18–А, 19–А, 21–А].

5. Получены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие правильность алгоритмов диагностирования зубчатых передач и фрикци-

онных муфт гидромеханической трансмиссии одноковшового фронтального погрузчика в движении по относительным угловым перемещениям валов, контролируемых импульсным способом. Данный способ измерения относительных угловых перемещений валов позволяет определять суммарный угловой зазор с погрешностью составляющей 5,6 %...10 %, при соответствующем выборе частоты опорного и выходного сигналов при диагностировании в движении [6–А, 27–А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Результаты проведенных исследований системы диагностирования зубчатых передач и фрикционных муфт гидромеханической трансмиссии фронтального погрузчика МоАЗ–4048 по относительным угловым перемещениям валов контролируемых импульсным способом могут быть использованы для создания внешних и встроенных средств диагностики и других строительных и дорожных машин.

2. Результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в учебный процесс: лабораторная работа «Определение динамических параметров трансмиссии для диагностирования зубчатых зацеплений коробки передач в движении» для подготовки инженерных кадров по курсу «Диагностика строительно-дорожных машин» (см. акт внедрения в приложении Ж).

Возможность практического использования результатов исследований в области оценки технического состояния трансмиссий машин подтверждена в отделе по подземной и строительно-дорожной технике НТЦ «БелАЗ» (см. справка в приложении Ж).

Дано положительное заключение о возможности использования результатов работы в управлении генерального конструктора ОАО «Амкодор» (алгоритмов и методик) при создании новых моделей машин (см. письмо в приложении Ж).

Дано положительное заключение о возможности диагностирования зубчатых зацеплений по суммарному угловому зазору импульсным методом при стендовых испытаниях трансмиссии в РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» (см. письмо в приложении Ж).

3. Ожидаемая экономическая эффективность использования системы диагностики зубчатых передач и фрикционных муфт подтверждена расчетом для фронтального погрузчика МоАЗ-4048 (см. расчет в приложении Д).

## **Список опубликованных работ по теме диссертации**

### **В научных изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Антипенко, Г. Л. Пути создания компьютерных средств диагностики трансмиссий транспортных машин / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова, М. Г. Шамбалова // Вестник Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – №3(24). – С. 12–21.
2. Антипенко, Г. Л. Алгоритмы компьютерного диагностирования элементов трансмиссий строительно-дорожных машин / Г. Л. Антипенко, В. А. Роговцева // Вестник МГТУ. – 2005. – №2(9) – С. 17–20.
3. Антипенко, Г. Л. Новые технологии диагностирования трансмиссий мобильных машин / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова // Строительные и дорожные машины. – 2008. – №1. – С. 41–46.
4. Антипенко, Г. Л. Компьютерная диагностика гидромеханических трансмиссий мобильных машин / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова, М. А. Белякович // Вестник Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – №1(14). – С. 6–14.
5. Антипенко, Г. Л. Диагностирование механических трансмиссий машин импульсным методом на стационарном стенде / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова, М. Г. Шамбалова // Вестник Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – №2(27). – С. 9–16.
6. Антипенко, Г. Л. Экспериментальные исследования импульсной системы диагностирования двигателя и трансмиссии / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова, В. В. Кутузов // Вестник Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – №1(18). – С. 10–20.
7. Судакова, В. А. Новые технологии диагностирования зубчатых зацеплений трансмиссий машин / В. А. Судакова // Вестник Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – №2(15). – С. 23–32.
8. Антипенко, Г. Л. Новые технологии диагностирования трансмиссий мобильных машин / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова // Вестник БГТУ. – 2007. – №4. – С. 60–63.
9. Антипенко, Г. Л. Диагностирование фрикционных элементов трансмиссии импульсным способом / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова, М. Г. Шамбалова // Вестник Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – №1(30). – С. 8–17.

### **Зарубежные научные издания**

10. Антипенко, Г. Л. Современные средства диагностирования трансмиссий мобильных машин / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова // Интерстроймех – 2007 : материалы междунар. науч.-техн. конф., Самара, 11–14 сентября 2007 г. / Самарск. гос. арх.-строит. ун-т; редкол. : М. И. Бальзанников [и др.]. – Самара, 2007. – С. 227–230.

11. Антипенко, Г. Л. Адаптация трансмиссий мобильных машин к компьютерной диагностике / Г. Л. Антипенко, В. А. Роговцева // Интерстроймех–2005: сб. ст. междунар. науч.-техн. конф., Тюмень, 17–20 мая 2005 г. / ТюмГНТУ; редкол. : А. А. Серебренников [и др.]. – Тюмень, 2005. – Ч. 1. – С. 221–222.

12. Судакова, В. А. Диагностирование зубчатых зацеплений трансмиссии импульсным методом на стационарном стенде / В. А. Судакова // Современные научно-технические проблемы транспорта: сб. тр. пятой междунар. науч.-техн. конф., Ульяновск, 15–16 октября 2009 г. / УлГТУ; редкол. : Берестов Е.И. [и др.]. – Ульяновск, 2009. – С. 39–41.

13. Судакова, В.А. Диагностика трансмиссий мобильных машин импульсной системой / В.А. Судакова // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы международной научно-технической конференции, 18 ноября 2010 г. / ТГНГУ; редкол. И.А. Анисимов [и др.]. – Тюмень, 2010. – С.322–323.

14. Судакова, В. А. Импульсный метод диагностирования зубчатых и фрикционных элементов машин / В. А. Судакова // Стройкомплекс–2010. Проблемы и достижения строительного комплекса: тр. междун. науч.-техн. конф., Ижевск, 13–15 января 2010 г. / ИжГТУ; редкол. : Г. Н. Первушин [и др.]. – Ижевск, 2010. – С. 204–207.

15. Судакова, В. А. Компьютерное диагностирование зубчатых и фрикционных элементов трансмиссий АТС в движении / В. А. Судакова // Автомобильная промышленность. – 2012. – №11. – С. 23–28.

### **Статьи в сборниках научных трудов, материалах конференций**

16. Антипенко, Г. Л. Диагностика автоматических коробок передач / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 17–18 апреля 2008 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – Ч. 3. – С. 4–5.

17. Роговцева, В. А. Анимационное моделирование при проведении численного эксперимента / В. А. Роговцева, М. А. Белякович // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Могилев, 26 января 2006 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С.Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – С. 148.

18. Судакова, В. А. Диагностирование зубчатых зацеплений трансмиссий по суммарному угловому зазору / В. А. Судакова // Новые материалы, оборудо-

вание и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф. молод. ученых, Могилев, 19–20 ноября 2009 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – С. 80.

19. Судакова, В. А. Компьютерная диагностика механических трансмиссий машин / В. А. Судакова // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междуна. науч.-техн. конф.*, Могилев, 16–17 апреля 2009 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – Ч.2. – С. 208–209.

20. Роговцева, В. А. Разработка методики диагностирования зубчатых зацеплений применительно к трансмиссии МоАЗ-4048 / В. А. Роговцева // *42-я студенческая науч.-техн. конф.: материалы конференции.* – Могилев, 16–20 мая 2006 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2006. – С.152.

21. Судакова, В. А. Диагностика фрикционных элементов трансмиссий мобильных машин / В. А. Судакова, М. А. Белякович // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].* – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – С. 79.

22. Роговцева, В. А. Анимационное моделирование при проведении численного эксперимента / В. А. Роговцева, А. С. Демура // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы республиканской науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Могилев, 26 января 2006 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].* – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – С. 147.

23. Антипенко, Г. Л. Моделирование трансмиссии как объекта диагностирования / Г. Л. Антипенко, В. А. Роговцева // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной науч.-техн. конф.*, Могилев, 20–21 апреля 2006 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – Ч. 2. – С. 4–5.

24. Роговцева, В. А. Учет динамических свойств трансмиссии при ее диагностике / В. А. Роговцева // *Развитие приграничных регионов Беларуси и Рос-*

сии на современном этапе: проблемы и перспективы: материалы науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов приграничных областей России и Белоруссии, Могилев, 12–13 октября 2006 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – С. 19.

25. Судакова, В. А. Методика компьютерной диагностики трансмиссий транспортных средств / В. А. Судакова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы международной науч.-техн. конф. молод. ученых, Могилев, 20–21 ноября 2008 / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – С. 99.

26. Судакова, В. А. Диагностирование зубчатых зацеплений в движении / В. А. Судакова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апреля 2010 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – Ч. 2. – С. 85–86.

27. Судакова, В. А. Алгоритм первичной обработки информации при импульсной диагностике трансмиссий машин / В. А. Судакова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы международной науч.-техн. конф. молод. ученых, Могилев, 18–19 ноября 2010 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – С. 87.

28. Судакова, В. А. Влияние упругих элементов трансмиссии на точность определения суммарного углового зазора при диагностировании в движении / В. А. Судакова // Интерстроймех–2011: материалы междуна. науч.-техн. конф., Могилев, 5–7 октября 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Междунар. ассоциация автомоб. и дорожного образования, УМО вузов Рос. Федерации по образов. в обл. трансп. машин и трансп.-технол. комплексов, Могилевавтодор, Дорожно-строительный трест №12, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – С. 377–380.

## Патенты

29. Способ диагностирования технического состояния фрикционного элемента трансмиссии: пат. 13401, Респ. Беларусь, МПК(2009) G 01M 17/00 / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – №а 20070926; заявл.19.07.07; опубл. 28.02.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 75. – С. 137.

30. Способ диагностирования технического состояния гидромеханической коробки передач: пат. 16425, Респ. Беларусь, МПК(2012) G 01M 17/00, G 01M 13/02 / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова, М.Г. Шамбалова; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – №а 20101713; заявл.30.11.10; опубл. 30.06.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 84. – С. 78.

## РЕЗЮМЕ

Судакова Вероника Александровна

### **Диагностирование зубчатых передач и фрикционных муфт гидромеханической трансмиссии одноковшового фронтального погрузчика в движении по относительным угловым перемещениям валов**

#### **Ключевые слова:**

Диагностирование, зубчатые передачи, суммарный угловой зазор, фрикционные муфты, сцепление, буксование, трансмиссия, импульсный способ, бортовая диагностика, стенд, математическая модель.

Данная работа посвящена оценке технического состояния зубчатых передач по суммарному угловому зазору, характеризующему износ рабочих поверхностей зубьев, и фрикционных муфт по буксованию при передаче максимальных крутящих моментов и по времени переключения ступеней в гидромеханической трансмиссии, на примере фронтального погрузчика МоАЗ–4048. Оценку предложено проводить по относительным угловым перемещениям валов, контролируемых импульсным способом, предназначенным для компьютерной диагностики. Разработаны алгоритмы диагностики зубчатых передач и фрикционных муфт гидромеханической трансмиссий в процессе движения. Создана динамическая и математическая модели импульсной системы диагностики, включающей объект и средства диагностирования, позволяющие выбрать параметры системы и параметры тестовых воздействий на гидромеханическую трансмиссию при диагностировании в движении.

Новизна предложенного импульсного способа для диагностики зубчатых передач и фрикционных муфт защищена тремя патентами Республики Беларусь. Работоспособность разработанных алгоритмов диагностирования подтверждена экспериментальными исследованиями на моторно-динамическом стенде.

Данная разработка рекомендуется для создания встроенных и внешних систем диагностики зубчатых передач трансмиссий по суммарному угловому зазору и фрикционных элементов механических и гидромеханических трансмиссий по буксованию при передаче максимальных крутящих моментов и по длительности переключения ступеней. Это позволит повысить конкурентоспособность машин, выпускаемых Республикой Беларусь.

## **RESUME**

Sudakova Veronika Aleksandrovna

### **Diagnosticating of toothed gearing and friction muffs of hydromechanical transmission single-bucket frontal loader afoot on the relative angular moving of billows**

#### **Keywords:**

Diagnosticating, gearing, total angular gap, friction muffs, coupling, skidding, transmission, impulsive method, side diagnostics, stand, mathematical model.

Hired sanctified to the estimation of the technical state of toothed gearing on a total angular gap, characterizing the wear of working surfaces of points, and friction muffs on skidding at the transmission of maximal twisting moments and at times switching of the stages in a hydromechanical transmission, on the example of frontal loader of MoAZ- 4048. An estimation it is suggested to conduct on the relative angular moving of the billows, controlled by the impulsive method intended for computer diagnostics. The algorithms of diagnostics are worked out toothed gearing and friction muffs hydromechanical transmissions in the process of motion. The dynamic is created and mathematical to the model of the impulsive system of diagnostics, including an object and facilities diagnosticating allowing to choose the parameters of the system and parameters of the test affecting hydromechanical transmission at diagnosticating afoot. The novelty of the offered impulsive method for diagnostics of gearing and friction muffs is protected by three patents of Republic of Belarus. The capacity of the worked out algorithms of diagnosticating is confirmed by experimental researches on a motor-dynamic stand.

This development is recommended for creation of the embedded and external systems of diagnostics of gearing of transmissions on a total angular gap and friction elements mechanical and hydromechanical transmissions on skidding at the transmission of maximal twisting moments and on duration of switching of the stages. It will allow to promote the competitiveness of the machines produced by Republic of Belarus.

## РЭЗІЮМЭ

Судакова Вераніка Аляксандраўна

### **Дыягнаставанне зубчастых перадач і фрыкцыенным муфт гідраме- ханічнай трансмісіі аднакаўшовага франтальнага пагрузчыка ў руху па адносных вуглавых перасоўванняў валоў**

#### **Ключавыя словы:**

Дыягнаставанне, зубчастыя перадачы, сумарны вуглавы зазор, фрыкцы-  
енныя муфты, счাপленне, буксаванне, трансмісія, імпульсны спосаб, бартавая  
дыягностыка, стэнд, матэматычная мадэль.

Дадзеная праца прысвечана выяўленню тэхнічнага стану зубчастых пера-  
дач па сумарнаму вуглавому зазору, які характарызуе знос рабочых паверхняў  
зуб'яў, і фрыкцыенных муфт па буксаванню пры перадачы максімальных кру-  
тоўных момантаў і па часе пераключэння перадач у гідромеханічнай транс-  
місіі, на прыкладзе франтальнага пагрузчыка МаАЗ-4048.

Аценьваць прапанавана праводзіць па адносных вуглавых перасоўваннях  
валоў, якія кантралююцца імпульсным спосабам, прызначаным для кампутарнай  
дыягностыкі. Распрацаваны алгарытмы дыягностыкі зубчастых перадач і фрык-  
цыенных муфт гідрамеханічнай трансмісіі ў руху. Створана дынамічная і  
матэматычная мадэлі імпульснай сістэмы дыягностыкі, у якую ўваходзяць аб'ект  
і сродкі дыягнаставання, якія дазваляюць выбраць параметры сістэмы і парамет-  
ры тэставых уздзеянняў на гідрамеханічную трансмісію пры дыягнаставанні ў  
руху.

Навізна прапанаванага імпульснага спосабу для дыягностыкі зубчастых  
перадач і фрыкцыенных муфт абаронена трыма патэнтамі Рэспублікі Бела-  
русь. Адпаведнасць распрацаваных алгарытмаў дыягнаставання падцверджана  
эксперыментальнымі даследаваннямі на маторна-дынамічным стэндзе.

Дадзеная распрацоўка рэкамендуецца для стварэння унутраных і знешніх  
сістэм дыягностыкі зубчастых перадач трансмісіі па сумарным вуглавым за-  
зору і фрыкцыенных элементаў механічных і гідрамеханічных трансмісіі па  
буксаванню пры перадачы максімальных крутоўных момантаў і па  
працягласці пераключэння перадач. Гэта дасць магчымасць павысіць канкур-  
энтаздольнасць машын, што выпускаюцца Рэспублікай Беларусь.

Научное издание

**СУДАКОВА Вероника Александровна**

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ И  
ФРИКЦИОННЫХ МУФТ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ  
ТРАНСМИССИИ ОДНОКОВШОВОГО ФРОНТАЛЬНОГО  
ПОГРУЗЧИКА В ДВИЖЕНИИ ПО ОТНОСИТЕЛЬНЫМ  
УГЛОВЫМ ПЕРМЕЩЕНИЯМ ВАЛОВ**

Автореферат диссертации

на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.05.04 - Дорожные, строительные и подъемно-  
транспортные машины

Подписано в печать 30.04.2013 г. Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл.-печ. л. 1,86. Уч.- изд. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ № 326.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
ЛИ № 02330/0548519 от 16.06.2009 г.  
212000, г. Могилев, пр. Мира, 43