

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

На правах рукописи  
УДК 629.114.2.004.5

**СКАДОРВА**  
**Андрей Феликсович**

**БОРТОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ИЗНОСА ФРИКЦИОННОЙ  
МУФТЫ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА**

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.05.03 «Колёсные и гусеничные машины»

Горки 2015

Работа выполнена в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

Научный руководитель

**Карташевич Анатолий Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой тракторов и  
автомобилей УО «Белорусская  
государственная сельскохозяйственная  
академия», г. Горки

Официальные оппоненты:

**Ким Валерий Андреевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Техническая  
эксплуатация автомобилей»  
ГУ ВПО «Белорусско-Российский  
университет», г. Могилёв

**Гурский Николай Николаевич**,  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Программное  
обеспечение вычислительной техники и  
автоматизированных систем» Белорусского  
национального технического университета,  
г. Минск

Оппонирующая организация

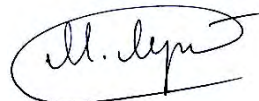
**УО «Белорусский государственный  
аграрный технический университет»**,  
г. Минск

Защита диссертации состоится «29» апреля 2015 г. в 13.00 часов на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.18.01 при ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» по адресу: Республика Беларусь, 212000, г. Могилёв, пр-т Мира, 43, каб. 323, телефон учёного секретаря +375 222 25-36-71; e-mail: [lustenkov@yandex.ru](mailto:lustenkov@yandex.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет».

Автореферат разослан «27» марта 2015 г.

Учёный секретарь  
Совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



М. Е. Лустенков

## ВВЕДЕНИЕ

Опыт эксплуатации трактора «Беларус-2103» с механической коробкой передач (КП) с переключением без разрыва потока мощности показывает, что 24 % всех отказов его трансмиссии связано с выходом из строя фрикционных муфт (ФМ) КП. Установлено, что именно при определённом износе фрикционных (пороговый износ) КП происходит значительное возрастание удельной работы трения её фрикционных пар, возникновение крутильных автоколебаний масс трансмиссии трактора, вызывающих повышение динамических нагрузок. Поэтому идентификация порогового износа ФМ с помощью бортовой системы представляет собой актуальную задачу.

В работе задача создания бортовой системы контроля износа ФМ КП трактора решается на основе анализа физико-механических характеристик фрикционных материалов, используемых на тракторе, и теоретического обоснования порогового износа ФМ КП.

Теоретические методы исследований, представленные в работе, направлены на определение порогового износа ФМ КП трактора, вызывающего нарастание удельной работы трения, температуры нагрева ФМ и резонансных колебаний масс трансмиссии, равных частотам собственных колебаний масс. На основе результатов теоретических исследований создана бортовая система контроля износа ФМ КП трактора «Беларус-2103», оповещающая об идентификации порогового износа ФМ КП.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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

Диссертация соответствует приоритетным направлениям научных исследований в Республике Беларусь. Она отвечает следующим нормативным актам:

– Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 26 мая 2011 г. № 669 «Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы» (п.7 «Машиностроение. Системы и комплексы сельскохозяйственных машин. Контроль и диагностика в машиностроении», пп. 7.5 «Методы и средства неразрушающего контроля, технической диагностики, мониторинга и испытаний в процессах производства и эксплуатации машин», пп. 5.1 «Методы математического и компьютерного моделирования, компьютерные технологии и интеллектуальные системы поддержки принятия решений»);

– Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585; в рамках Государственной программы научных исследований в области технических наук «Механика, техническая диагностика, металлургия» по теме п. 5 «Развитие научных основ механики технических систем, методов и средств их диагностики, создание и совершенствование технологических процессов в металлургии и машиностроении»;

– Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 9 июня 2010 г. № 886 «Об утверждении перечня государственных программ научных исследований на 2011–2015 годы» (программа № 3 «Механика, техническая диагностика, металлургия»).

Исследования проведены в рамках договора о намерениях с РУП «МТЗ» № 33/2008 от 4 ноября 2008 г. «Разработка основных элементов комплексной системы диагностики для трактора «Беларус-2103», а также договора № 1364 от 22 мая 2013 г. по теме «Провести модернизацию семейства высокоэнергонасыщенных тракторов класса 2,0–3,0 мощностью 130, 150, 210 л. с. путем разработки конструкторской документации по установке экологически чистых двигателей (ШБ ступень), полуавтоматических трансмиссий и электронных систем управления».

### **Цель и задачи исследования**

*Цель* – создание бортовой системы контроля износа ФМ КП трактора.

Для достижения заданной цели были поставлены следующие *задачи*:

- провести аналитический обзор методов диагностики нагруженности трансмиссий тракторов с ФЭ и выбрать критерий качества функционирования ФМ КП гусеничного трактора;
- разработать аналитический метод оценки тяговой динамики трактора и методику его моделирования на ПЭВМ с учётом диссипации энергии в КП с ФМ для определения времени замыкания фрикционов на передачах, позволяющих проводить оценку их износа;
- разработать аналитический метод оценки крутильных колебаний масс трансмиссии при случайных возмущениях и методику его моделирования на ПЭВМ для определения резонансных колебаний, вызванных износом фрикционов КП трактора;
- создать, изготовить и испытать бортовую систему контроля износа ФМ КП трактора, предупреждающую механизатора о необходимости её замены с целью продления срока службы дорогостоящей трансмиссии трактора.

### **Научная новизна**

Получены аналитические зависимости, позволяющие определять критерий качества функционирования фрикционов КП (удельная работа трения

фрикционов, температура их нагрева) при их включении в зависимости от коэффициента трения фрикционов, массогеометрических параметров трактора, характеристик двигателя и крюковой нагрузки.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Аналитический метод оценки тяговой динамики трактора и методика его моделирования на ПЭВМ с учётом диссипации энергии во фрикционных парах трения КП, позволяющая определять пороговое значение износа ФМ, повышающего удельную работу трения, температуру нагрева ФЭ выше допускаемых значений за период времени их полного замыкания.

2. Аналитический метод оценки крутильных колебаний масс трансмиссии трактора с учётом изменений тяговой нагрузки, позволяющий установить возникновение резонансных колебаний масс в зависимости от износа ФМ КП.

3. Метод идентификации порогового износа ФМ КП трактора, реализованный в макетном образце бортовой системы контроля износа ФМ КП гусеничного трактора «Беларус-2103», и результаты его испытаний.

#### **Личный вклад соискателя**

Соискатель самостоятельно провел теоретические исследования с целью обоснования критерия возникновения предельной нагруженности трансмиссии гусеничного трактора «Беларус-2103», основанного на пороговом износе фрикционов КП трактора. Разработал методику функционирования бортовой электронной системы, осуществляющей непрерывный контроль состояния фрикционов КП, реализованного в макетном образце. Апробировал макетный образец электронной системы контроля износа фрикционов КП трактора «Беларус-2103» путём проведения стендовых и натурных испытаний. Научный руководитель принимал участие в постановке задач исследования, их предварительном анализе, а также в обсуждении полученных результатов.

Доценты А. А. Рудашко и О. В. Понталёв принимали участие в обсуждении результатов экспериментальных исследований и настройке оборудования для проведения стендовых испытаний.

#### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались на следующих конференциях:

– Международной научно-практической конференции «Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства: проблемы и перспективы развития» (г. Минск, 11–14 февраля 2009 г.);

– Международной научно-практической конференции «Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса в АПК» (г. Минск, 15–18 апреля 2009 г.);

– Международной научно-практической конференции «Молодёжь и инновации – 2009» (г. Горки, 3–5 июня 2009 г.);

– Международной научно-практической конференции «Тракторы и автомобили» (г. Горки, 24–25 сентября 2009 г.);

– Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (г. Могилёв, 22–23 апреля 2010 г.).

Соискатель дважды удостоен стипендии Президента Республики Беларусь за разработку и внедрение метода оценки идентификации динамической нагруженности трансмиссии трактора с фрикционными муфтами, методики оценки качества функционирования фрикционных элементов трансмиссии гусеничного трактора, оригинального устройства, обеспечивающего получение информации во время динамического диагностирования трактора, нашедших применение на РУП «Минский тракторный завод» (Распоряжение Президента Республики Беларусь от 25 февраля 2011 г. № 49рп, а также Распоряжение Президента Республики Беларусь от 21 января 2014 г. № 17рп).

Результаты исследований внедрены на РУП «Минский тракторный завод» и в учебный процесс подготовки инженерных кадров УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».

### **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликованы 34 печатные работы (3,6 авторского листа), в том числе статей в рецензируемых журналах, включённых в список научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, – 8, в зарубежных изданиях – 1, материалов или тезисов докладов научных конференций – 5, патентов на полезную модель и изобретение – 16, свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ – 2, лекций – 2.

### **Структура и объём диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырёх глав, заключения, библиографического списка (список использованных источников – 93 наименования, список публикаций соискателя – 34 наименования) и приложений. Её полный объём – 165 страниц. Диссертация содержит 120 страниц основного текста, 51 рисунок, 1 таблицу, 6 приложений.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

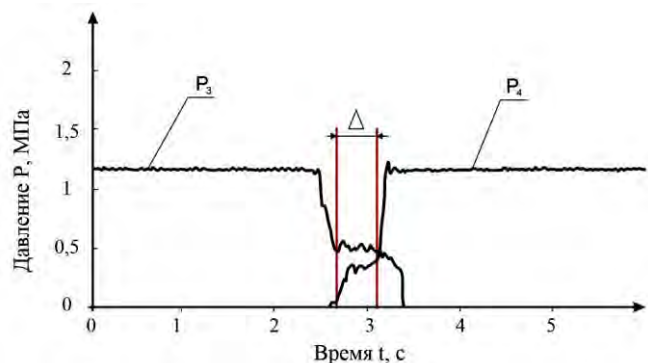
**Во введении** дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, исследований, направленных на создание систем диагностики тракторов, позволяющих улучшить качество их технической эксплуатации, определены цель и задачи исследований.

**В первой главе** проведен анализ результатов состояния систем технической диагностики тракторов и физико-механических характеристик фрикционных материалов, используемых в КП трактора «Беларус-2103».

По результатам исследований установлено, что критериями качества функционирования ФМ являются удельная работа трения и температура нагрева, которые зависят от характера взаимодействия между ведущими и ведомыми дисками ФЭ в процессе включения передач, а также от их геометрических параметров, главный из которых – толщина фрикционного слоя.

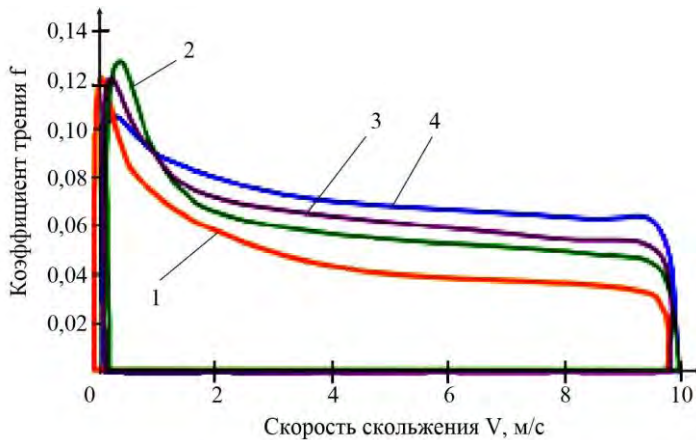
Техническая сложность создания бортовой системы оценки качества функционирования ФМ КП трактора связана с тем, что ФЭ совершают сложное движение, затрудняющее размещение источников информации. Поэтому в работе используются косвенные методы оценки качества функционирования ФМ КП – пороговая величина износа ФЭ КП, идентифицирующая скорость спада коэффициента трения и возникновение резонансных крутильных автоколебаний масс трансмиссии трактора.

На основании исследований профессора В. А. Кима установлено, что при износе тормозных накладок происходит возникновение вибраций, при которых отмечается возрастание динамических нагрузок в тормозном механизме на 120 % от их номинального значения. Появление колебаний при износе фрикционного слоя подтверждается и результатами испытаний, проведенных на РУП «МТЗ» (рисунок 1). Процесс переключения передачи сопровождается временем перекрытия  $\Delta = 0,3...0,5$  с при неизношенных фрикционных накладках. Изменение давления выключаемой  $P_3$  и включаемой  $P_4$  передач в данном случае происходит без значительных колебаний. Износ фрикционного слоя будет приводить к увеличению времени перекрытия, удельной работы трения более 120 Дж/см<sup>2</sup> и нарастанию температуры нагрева более допустимых 25 °С.



**Рисунок 1. – Процесс переключения передач в ФМ КП трактора**

Анализ результатов исследований показал (рисунок 2), что главной причиной возрастания удельной работы трения и повышенной температуры нагрева ФЭ КП является их износ.



1 – МК-5; 2 – HS43; 3 – ШАДЕФ; 4 – ФМ-12  
 Рисунок 2. – Изменение коэффициента трения фрикционных материалов в зависимости от скорости скольжения поверхностей трения для различных материалов

Снижение коэффициента трения, приводящее к увеличению времени замыкания фрикциона, также связано с износом ФЭ и возрастанием удельной работы трения, превышающей допустимое значение  $120 \text{ Дж/см}^2$ .

Чем больше угол наклона кривой, тем более плавно будет работать ФМ в процессе включения. Повышение износа приводит к увеличению этого угла и, тем самым, возрастанию жёсткости

включения ФМ, что вызывает дополнительные автоколебания. При последующем увеличении износа фрикционного слоя ФМ происходит прогрессирующий износ поверхностей трения ФМ КП из-за возрастания градиента температуры по толщине фрикционных накладок. Следовательно, идентификация данного диапазона износа фрикционного слоя весьма важна для косвенной оценки качества функционирования ФМ КП, предупреждает о возникновении пиковых динамических нагрузок в трансмиссии и необходимости проведения своевременной замены ФМ, что продлит срок службы дорогостоящей трансмиссии трактора. Данный критерий может быть положен в основу создания бортовой системы, осуществляющей непрерывный контроль износа ФМ КП трактора.

**Вторая глава** посвящена разработке математической модели динамики разгона гусеничного трактора с крюковой нагрузкой при использовании ПЭВМ с целью оценки работы трения во фрикционных парах КП при разных крюковых нагрузках. Исследования предусматривали режимы движения трактора с крюковой нагрузкой на различных передачах. При этом определялось время полного замыкания фрикционов на каждой передаче.

Для решения дифференциальных уравнений на каждом этапе использовался метод припасовывания.

Уравнение поступательного движения трактора на первой передаче (рисунок 3) представляется в виде неоднородного дифференциального уравнения



$$\ddot{X}^I = \left( \frac{M_e}{r_k} \cdot i_1 \cdot i_{гп} - m_a \cdot g \cdot \psi \right) \cdot \frac{1}{m_a} \cdot \eta_6^I, \quad (1)$$

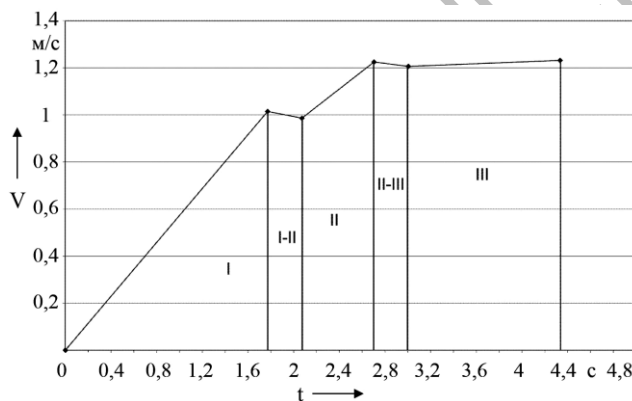
где  $\ddot{X}^I$  – вторая производная от времени на участке I, м/с<sup>2</sup>;  $M_e$  – номинальный момент двигателя, Н·м;  $r_k$  – радиус ведущего колеса, м;  $i_1$  – передаточное число первой передачи;  $i_{гп}$  – передаточное число главной передачи;  $m_a$  – масса трактора, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\psi$  – коэффициент дорожного сопротивления;  $\eta_6^I$  – КПД буксования при разгоне на первой передаче.

На участке переключения передач с первой на вторую (движение накатом) дифференциальное уравнение поступательного движения трактора представлялось в виде

$$\ddot{X}^{I-II} = -g \cdot \psi \cdot \eta_6^{I-II}, \quad (2)$$

где  $\ddot{X}^{I-II}$  – вторая производная от времени на участке I-II, м/с<sup>2</sup>;  $\eta_6^{I-II}$  – КПД буксования движителя на участке переключения с первой на вторую передачу.

Процесс разгона трактора с первой до третьей передачи схематично отражен на рисунке 3.



I, II, III – участки разгона; I–II, II–III – участки переключения передач

Рисунок 3. – График изменения скорости движения трактора при разгоне и время разгона с первой до третьей передачи

фрикционных накладках время переключения будет только возрастать, что приведёт к повышению удельной работы трения, температуры нагрева ФЭ и снижению КПД трактора.

**Третья глава** посвящена разработке математической модели работы фрикционных пар КП и методике её моделирования на ПЭВМ для поиска

Из рисунка видно, что в процессе разгона трактора происходит увеличение скорости от 0 до 1,1 м/с, что соответствует участку I графика. При переключении передачи для дальнейшего разгона наблюдается падение скорости на 10 %, участок I–II. Это связано с буксованием фрикционных элементов в процессе переключения. Далее процессы повторяются. С увеличением износа фрикционного материала на

порогового износа ФМ КП, провоцирующего возникновение пиковых нагрузок в трансмиссии трактора.

Для исследования работы ФМ КП при переключении передач без разрыва потока мощности была разработана расчётная схема с упруго-диссипативными связями (рисунок 4), учитывающая поступательное перемещение фрикционов и зазор между их поверхностями трения.

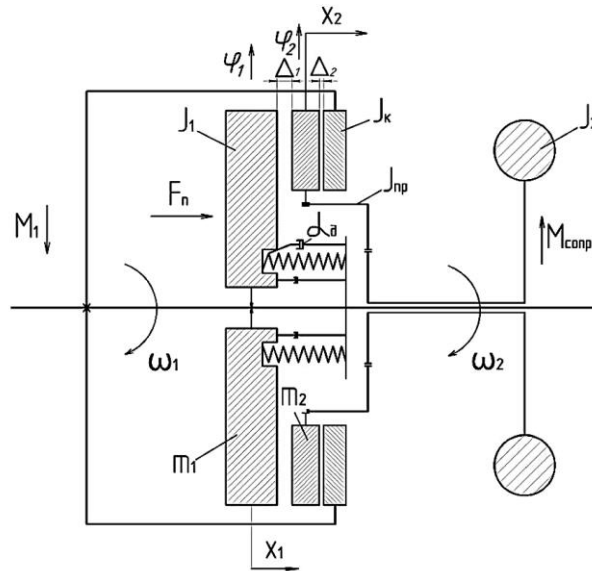
Дифференциальные уравнения крутильных колебаний масс трансмиссии трактора для принятой расчётной схемы запишутся в следующем виде:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{q}_1 = Q_{q1}; \\ J_2 \ddot{q}_2 = Q_{q2}; \\ m_1 \ddot{x}_1 = -c(x_1 - x_2) - \alpha_d(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + Q_{x1}; \\ m_2 \ddot{x}_2 = c(x_1 - x_2) + \alpha_d(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + Q_{x2}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $J_1, J_2$  – соответственно момент инерции барабана и условного маховика, эквивалентный поступательно движущейся массе трактора,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $\ddot{q}_1, \ddot{q}_2$  – угловое ускорение барабана и условного маховика соответственно,  $\text{с}^{-2}$ ;  $Q_{q1}, Q_{q2}$  – обобщённые силы по координатам углового перемещения приведенной массы  $J_k$ ,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;  $m_1, m_2$  – масса ведущих элементов и ведомых дисков соответственно,  $\text{кг}$ ;  $c$  – коэффициент линейной жесткости упругого элемента по линейным перемещениям,  $\text{Н}/\text{м}$ ;  $x_1, x_2$  – обобщённые координаты системы,  $\text{м}$ ;  $\alpha_d$  – коэффициент вязкого сопротивления ФЭ по координатам  $x_1, x_2$ ,  $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}$ ;  $\dot{x}_1, \dot{x}_2$  – обобщённые скорости,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $Q_{x1}, Q_{x2}$  – обобщённые силы по координатам поступательного перемещения масс,  $\text{Н}$ .

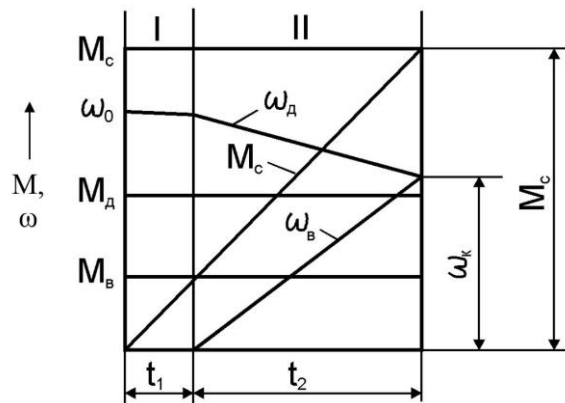
Математическая модель, включающая расчётную схему (см. рисунок 4) и систему дифференциальных уравнений (3), позволила смоделировать работу трения ФМ КП с переключением без разрыва потока мощности с учётом упругодиссипативных связей масс трансмиссии при различных крюковых нагрузках на ПЭВМ.

Анализ результатов моделирования на ПЭВМ с использованием алгоритмического языка программирования VISUAL BASIC позволил установить, что процесс относительного скольжения поверхностей трения фрикционов можно разбить на два этапа: начало полного относительного скольжения поверхностей трения – участок I; окончание относительного скольжения поверхностей трения фрикционов – участок II. Таким образом, работу фрикционов КП можно представить в виде схематизированной диаграммы (рисунок 5).



$m_1$  – масса ведущих элементов, кг;  $m_2$  – масса ведомых дисков, кг;  $\Delta_1, \Delta_2$  – зазоры, м;  $x_1, x_2$  – обобщённые координаты системы;  $\omega_1, \omega_2$  – частота вращения ведущей и ведомой масс,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $F_n$  – давление масла на поршень, Па;  $J_1$  – момент инерции барабана,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_k$  – момент инерции корпуса фрикциона совместно с ведущими дисками,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_{пр}$  – промежуточный момент инерции,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_2$  – момент инерции условного маховика, эквивалентный поступательно движущейся массе трактора,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – координаты, определяющие положение поверхностей трения фрикционных накладок, м;  $M_1$  – момент трения вращающихся частей, подведенный к фрикциону, Н·м;  $M_{сопр}$  – момент трения ведомых деталей трактора, Н·м;  $\alpha_d$  – коэффициент вязкого сопротивления ФЭ, Н·с/м

Рисунок 4. – Расчётная схема включения фрикционов КП с учётом их поступательного перемещения и зазором между поверхностями трения



$M_c$  – момент трения на поверхности фрикционной пары, Н·м;  $M_d$  – активный момент, Н·м;  $M_b$  – момент сопротивления, приложенный к ведомой массе, Н·м;  $\omega_0$  – начальная угловая скорость коленчатого вала,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\omega_d$  – угловая скорость вращения ведущей массы,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\omega_b$  – угловая скорость вращения ведомой массы,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\omega_k$  – угловая скорость ведомого вала в конце замыкания,  $\text{с}^{-1}$ ;  $t_1$  – время, соответствующее началу полного относительного скольжения поверхностей трения, с;  $t_2$  – время, соответствующее окончанию полного относительного скольжения поверхностей трения, с

Рисунок 5. – Схематичная диаграмма изменения параметров при включении фрикционов КП

На основании схематизированной диаграммы (см. рисунок 5) получены аналитические зависимости, позволяющие определять работу трения фрикционов на участках I и II:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_I = \left( M_d - \frac{k_1 \cdot t_1}{2} \right) \cdot t \cdot \omega_0; \\ L_{II} = M_c \cdot \omega_0 \cdot t_2 + \frac{t^2}{2} \cdot \left[ M_c \cdot \left( \frac{M_c}{J_d} + \frac{M_B}{J_B} \right) - M_d \cdot \omega_0 \cdot \omega_B \right] - \\ - M_c \cdot \frac{\omega_B \cdot t^3}{3} \cdot \left[ \frac{M_c}{2} \cdot \left( \frac{1}{J_d} + \frac{1}{J_B} \right) + \right. \\ \left. + \frac{M_c}{J_d} + \frac{M_B}{J_B} \right] + M_B^2 \cdot \frac{\omega_B^2 \cdot t^4}{8} \cdot \left( \frac{1}{J_d} + \frac{1}{J_d} \right), \end{array} \right. \quad (4)$$

где  $k_1$  – коэффициент пропорциональности, Н·м/с.

Для исследования влияния изменения момента двигателя на крутильные колебания масс трансмиссии использованы гармонические методы, предложенные профессором С. П. Тимошенко. Результаты моделирования представлены на рисунках 6–11.

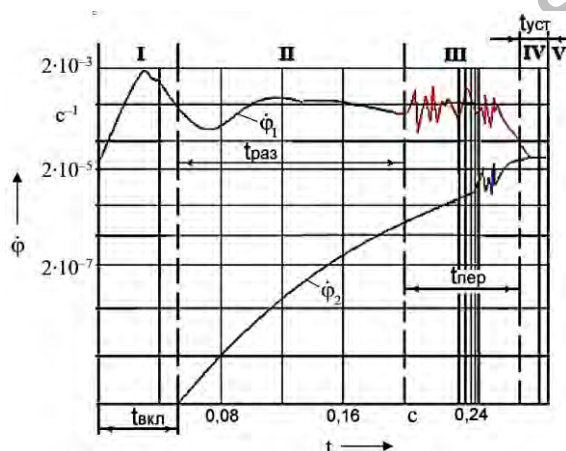


Рисунок 6. – График изменения угловых скоростей фрикционных дисков без износа фрикционов КП

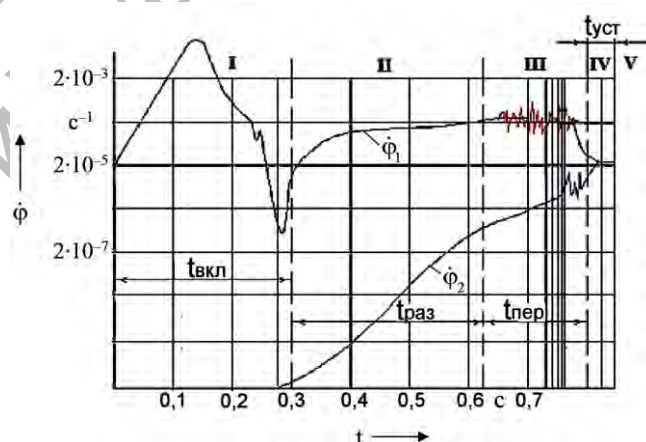


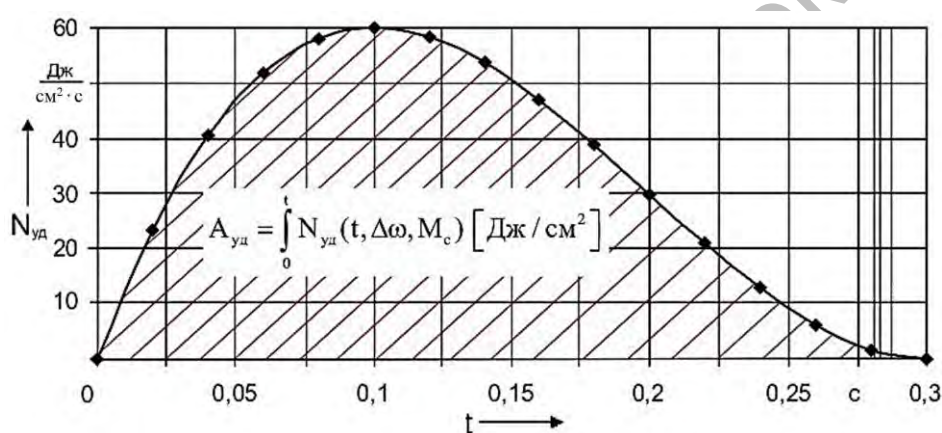
Рисунок 7. – Графики изменения угловых скоростей фрикционных дисков при их износе

Из рисунка 6 видно, что процесс включения состоит из четырех этапов. На этапе I угловая скорость ведомого вала равна нулю в силу того, что время  $t_{вкл}$  соответствует времени срабатывания механизма привода фрикциона, которое затрачивается на перемещение элементов привода фрикциона и нарастание давления масла в нагнетательной магистрали. С момента соприкосновения дисков ФМ, этап II на графике, начинает возрастать частота вращения ведомого вала. Время  $t_{раз}$ , затрачиваемое на этот процесс, называют временем нарастания тормозного усилия. На этапе III

графика происходит дальнейшее включение ФМ до полного выравнивания угловых скоростей фрикционных дисков на этапе IV.

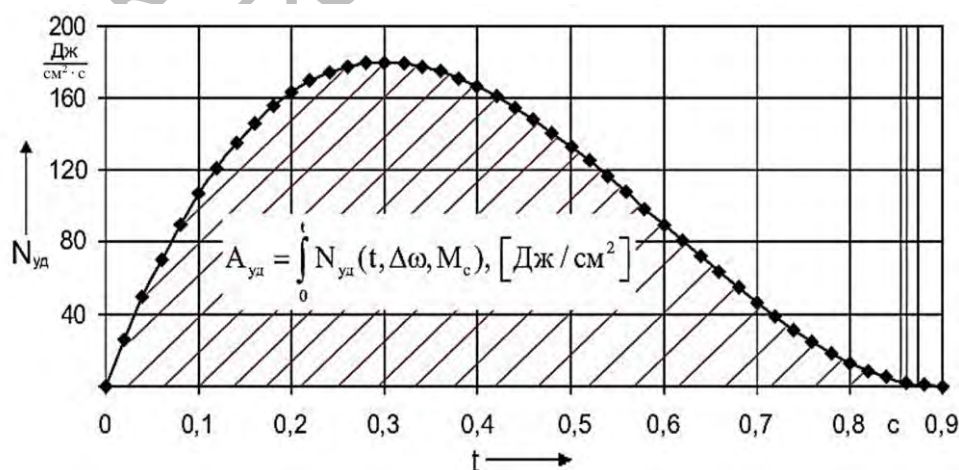
При износе фрикционных дисков на величину 0,8...1,0 мм, что выразится в повышении на соответствующую величину хода поршня, общее время включения механизма привода фрикционов возрастает на 0,6 с, что приводит к его увеличению в 3 раза (см. рисунок 7).

Разработанная математическая модель и программа её моделирования на ПЭВМ позволяют проводить наглядную демонстрацию изменения удельной работы трения при увеличении зазора между фрикционными дисками (см. рисунки 8 и 9), приводящего к возрастанию времени включения передачи.



$A_{уд}$  – удельная работа трения, Дж/см<sup>2</sup>;  $\Delta\omega$  – разница угловых скоростей ведущих и ведомых элементов ФМ, с<sup>-1</sup>;  $M_c$  – момент трения на поверхности фрикционной пары, Н·м

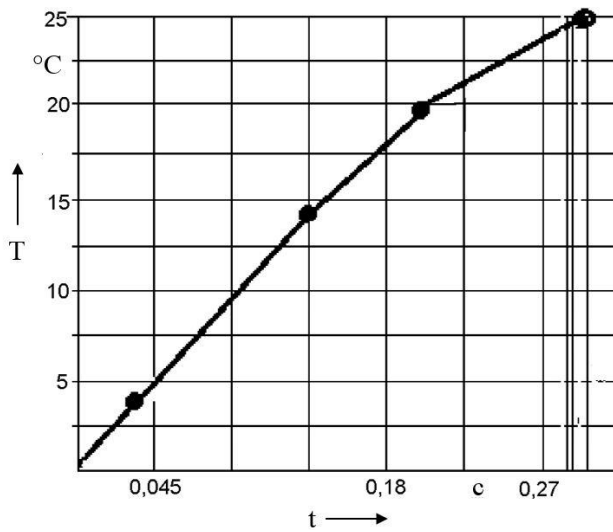
Рисунок 8. – График изменения удельной мощности трения фрикционов КП при заданном времени их блокировки



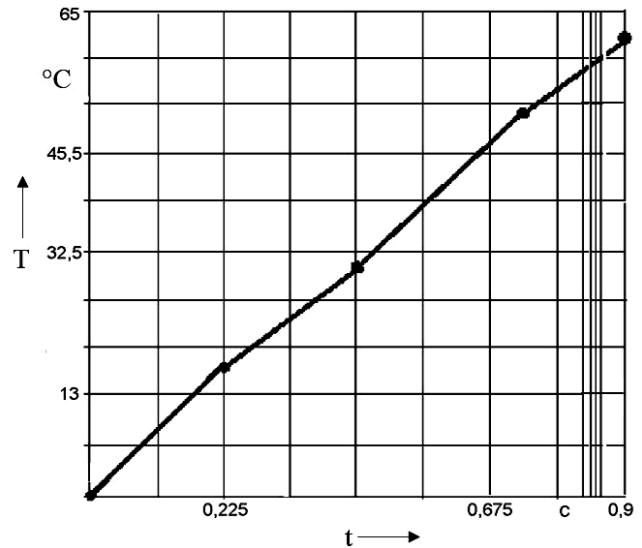
$A_{уд}$  – удельная работа трения, Дж/см<sup>2</sup>;  $\Delta\omega$  – разница угловых скоростей ведущих и ведомых элементов ФМ, с<sup>-1</sup>;  $M_c$  – момент трения на поверхности фрикционной пары, Н·м

Рисунок 9. – График изменения удельной мощности трения фрикционов КП при увеличении времени их блокировки

Увеличение удельной работы трения вызывает повышение скорости нарастания температуры поверхностей трения (см. рисунки 10 и 11).



**Рисунок 10. – График изменения температуры нагрева при заданном времени включения**



**Рисунок 11. – График изменения температуры нагрева фрикционных дисков при увеличении времени включения фрикционов**

Функциональная связь между временем полного замыкания фрикционов и их износом, поступательным перемещением и геометрическими параметрами может быть представлена в виде

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot m_{\text{фд}} \cdot (\Delta_{\text{изн}} - \Delta)}{F_{\text{д}}}}, \quad (5)$$

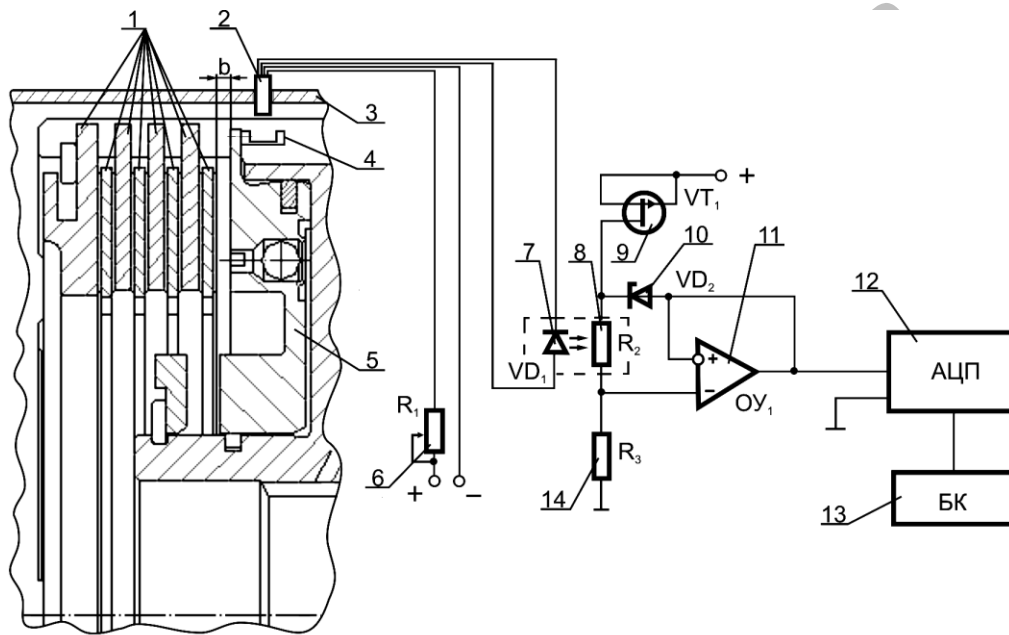
где  $m_{\text{фд}}$  – масса фрикционных элементов, совершающих поступательное перемещение, кг;  $\Delta_{\text{изн}}$  – перемещение поршня в ФМ с износом, м;  $\Delta$  – перемещение поршня в ФМ без износа, м;  $F_{\text{д}}$  – сила перемещения фрикционов, Н.

Для определения работы фрикционов КП необходимо подставить полученное значение времени блокировки фрикционов КП в систему уравнений (4).

Анализ результатов моделирования показывает, что повышение удельной работы трения фрикциона КП при износе поверхностей трения приводит к увеличению хода поршня до 0,8...1,0 мм, соответствующего времени полного замыкания фрикционов, равного 0,9 с, и снижению их КПД на 25 %. По результатам моделирования на ПЭВМ установлено, что при крюковой нагрузке 20...25 кН в диапазоне износа ФЭ 0,8...1,0 мм наблюдается возникновение автоколебаний вращающихся масс трансмиссии,

совпадающих с частотами собственных колебаний масс трансмиссии в диапазоне 20...80 Гц, 20 Гц – на третьей и четвертой и 80 Гц – на низших передачах трактора «Беларус-2103», подтвердивших возможность использования порогового износа 0,8...1,0 мм в системе контроля износа ФМ КП, косвенно характеризующего появление резонансных нагрузок в трансмиссии трактора.

**Четвёртая глава** посвящена схмотехнической и практической реализации бортовой системы контроля износа ФМ КП трактора (рисунок 12).

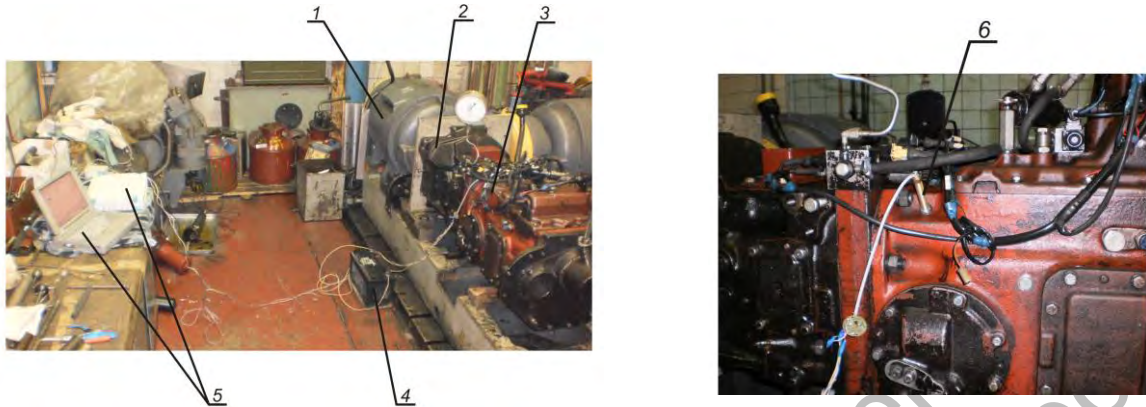


1 – пакет фрикционных дисков; 2 – датчик Холла; 3 – корпус КП; 4 – магнитная система; 5 – поршень; 6 – переменный резистор; 7 – светодиод; 8 – фоторезистор; 9 – полевой транзистор; 10 – стабилитрон; 11 – операционный усилитель; 12 – аналого-цифровой преобразователь; 13 – бортовой компьютер  
Рисунок 12. – Бортовая система контроля износа ФМ КП трактора

Во время эксплуатации фрикционные накладки пакета фрикционных дисков 1 изнашиваются, при этом возрастает величина хода поршня  $b$ , что вызывает перемещение магнитной системы 4 относительно датчика Холла. При этом меняется значение величины разности потенциала, выдаваемого датчиком Холла. Это приводит к изменению светового потока, исходящего от светодиода 7, что, в свою очередь, влияет на величину сопротивления фоторезистора 8. Увеличение или уменьшение светового потока влечет за собой изменение выходного напряжения операционного усилителя 11. Аналого-цифровой преобразователь 12 предназначен для регистрации изменения выходного сигнала и является составной частью бортового компьютера 13.



Стендовые испытания бортовой системы контроля износа ФМ КП трактора проводились на РУП «МТЗ» в лабораторном комплексе УКЭР-2. Схема стенда с разработанным устройством приведена на рисунке 13.



1 – машина балансирующая (мощностью 200 кВт); 2 – стойка установки испытуемой КП с корпусом сцепления; 3 – КП испытуемая; 4 – источник питания (АКБ);

5 – измерительный блок SPIDER 8; 6 – электронная система диагностики

Рисунок 13. – Стенд для проведения испытаний бортовой системы контроля износа ФМ КП трактора «Беларус-2103»



Рисунок 14. – Трактор «Беларус- 2103» с плугом Kverneland DC100

(рисунок 14) показали работоспособность системы в условиях рядовой эксплуатации.

По результатам испытаний установлено, что при крюковой нагрузке 20...25 кН частоты вынужденных колебаний масс трансмиссии совпадают с частотами собственных колебаний масс трансмиссии, находящихся в диапазоне 20...80 Гц (зависит от включенной передачи) при износе фрикционного слоя КП в диапазоне 0,8...1,0 мм, подлежащем непрерывной идентификации. Проведенные полевые испытания

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Получены аналитические зависимости, позволяющие определять критерий качества функционирования фрикционов КП (удельная работа трения фрикционов) при их включении в зависимости от коэффициента трения фрикционов, массогеометрических параметров трактора, характеристик двигателя и крюковой нагрузки [4].

2. По результатам теоретических исследований [1–4, 8–14] установлено, что диапазон порогового износа ФМ КП трактора



«Беларус-2103» составляет 0,8...1,0 мм при крюковой нагрузке 20...25 кН. В данном диапазоне износа коэффициент трения фрикционов уменьшается на 35 % от начальных их значений, а динамические нагрузки в трансмиссии увеличиваются на 120 % от номинальных значений [4].

3. По результатам моделирования разгона трактора «Беларус-2103» с крюковой нагрузкой  $P_{кр} = 20...25$  кН установлено, что в диапазоне 0,8...1,0 мм износа ФМ время достижения трактором его рабочей скорости 1,8 м/с составляет 12...15 с, а общее время переключения передач равно 0,9 с [8]. При этом удельная работа трения ФЭ превышает допустимые нормы на 150 % ( $120 \text{ Дж/см}^2$ ), а прирост температуры нагрева ФЭ на 250 %. Поэтому рекомендуемое значение порогового износа ФМ должно находиться в диапазоне 0,8...1,0 мм, в котором может быть обеспечена допустимая удельная работа трения фрикционов ( $120 \text{ Дж/см}^2$ ) и нарастание температуры нагрева фрикционов в период разгона не выше  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  [6].

4. По результатам моделирования крутильных колебаний установлено, что при крюковой нагрузке 20...25 кН в диапазоне 0,8...1,0 мм износа ФМ наблюдается возникновение автоколебаний вращающихся масс трансмиссии (опорная поверхность стерня), совпадающих с частотами собственных колебаний масс трансмиссии в диапазоне 20...80 Гц, 20 Гц – на третьей и четвертой и 80 Гц – на низших передачах трактора «Беларус-2103», косвенно подтверждающих возможность появления значительных нагрузок в трансмиссии трактора при пороговом износе ФМ, находящемся в диапазоне 0,8...1,0 мм [6].

5. Создан и испытан макетный образец бортовой системы контроля износа ФМ КП трактора «Беларус-2103» с переключением без разрыва потока мощности, основанный на контроле порогового диапазона износа ФМ с точностью измерения до 0,08 мм [7]. Новизна технических решений подтверждена патентами [15–32].

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

1. Бортовая система рекомендуется к использованию на тракторах, оснащённых ФМ в КП, для идентификации предельных нагрузок в их трансмиссии.

2. Результаты исследований внедрены на РУП «Минский тракторный завод» и в учебный процесс подготовки инженерных кадров УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» по специальностям 1-74 06 01 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства» и 1-74 06 04 «Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ» [33–34].

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

*Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК*

1. **Скадорва, А. Ф.** Критерий оценки качества функционирования фрикционной муфты коробки передач гусеничного трактора «Беларус-2103» / А. Ф. Скадорва, А. Н. Карташевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2014. – № 4. – С. 80–91.
2. Исследование возможности диагностирования состояния фрикционных элементов гидropоджимных муфт тракторных КПП / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталёв, А. Ф. Скадорва // Вестн. БГСХА. – 2009. – № 3. – С. 113–117.
3. Прогнозирование остаточного ресурса гидropоджимных фрикционных муфт тракторных коробок передач / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталёв, А. Ф. Скадорва // Агропанорама. – 2010. – № 3. – С. 33–35.
4. Материалы и конструктивные параметры фрикционных элементов механической трансмиссии тракторов / А. Н. Карташевич, А. Ф. Скадорва, А. В. Лешок, А. А. Дмитриевич // Вестн. БГСХА. – 2013. – № 4. – С. 117–122.
5. **Скадорва, А. Ф.** Расчёт экономической эффективности диагностирования фрикционных муфт коробки передач трактора «Беларус-2103» / А. Ф. Скадорва, О. П. Кольчевская // Вестн. БГСХА. – 2013. – № 4. – С. 9–12.
6. **Скадорва, А. Ф.** Математическая модель динамики разгона гусеничного трактора с переключением передач без разрыва потока мощности / А. Ф. Скадорва, А. Г. Стасилевич, А. Н. Карташевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 1. – С. 74–88.
7. **Скадорва, А. Ф.** Моделирование работы трения фрикционов коробки передач гусеничного трактора с переключением без разрыва потока мощности при работе с номинальным крюковым усилием / А. Ф. Скадорва, А. Н. Карташевич // Вестн. БГСХА. – 2014. – № 4. – С. 151–159.
8. **Скадорва, А. Ф.** Практическая реализация и испытания электронной системы контроля износа фрикционов коробки передач трактора «Беларус-2103» / А. Ф. Скадорва // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 1. – С. 68–74.

*Зарубежные научные издания*

9. **Скадорва, А. Ф.** Диагностирование гидropоджимных фрикционных муфт трактора с помощью встроенных диагностических приборов / А. Ф. Скадорва // Конструирование, использование и надёжность

машин сельскохозяйственного назначения : сб. науч. тр. – Брянск : Брянская ГСХА, 2011. – С. 90–93.

*Статьи в сборниках научных трудов и в материалах научно-технических конференций*

10. **Скадорва, А. Ф.** Компьютерное диагностирование тормозных накладок автомобилей / А. Ф. Скадорва // Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства: проблемы и перспективы развития: сб. науч. тр. – Минск: БГАТУ, 2009. – С. 327–331.

11. **Скадорва, А. Ф.** Диагностирование фрикционных муфт трактора бортовой встроенной системой / А. Ф. Скадорва // Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15–18 апр. 2009 г. – Минск, БГАТУ, 2009. – Ч. 1. – С. 127–129.

12. **Скадорва, А. Ф.** Применение магнитных датчиков для диагностирования фрикционных муфт трактора / А. Ф. Скадорва // Молодёжь и инновации – 2009 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных, посвящ. 170-летию УО «БГСХА». – Горки: БГСХА, 2009. – С. 129–131.

13. **Скадорва, А. Ф.** Применение датчиков Холла для диагностирования фрикционных элементов гидроподжимных муфт тракторных КПП / А. Ф. Скадорва // Тракторы и автомобили : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Горки: БГСХА, 2009. – С. 161–166.

14. **Скадорва, А. Ф.** Диагностирование фрикционных муфт тракторных коробок передач с гидроприводом / А. Ф. Скадорва // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных. – Могилёв: Беларус.-Рос. ун-т, 2011. – С. 159.

#### *Патенты*

15. Цифровой датчик износа тормозных накладок автомобиля : пат. 4526 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № u 20070804; заявл. 15.11.07; опубл. 30.08.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4. – 2 с.

16. Дискретно-мостовой датчик износа тормозных накладок автомобилей : пат. 4527 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № u 20070805;

заявл. 15.11.07; опубл. 30.08.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4. – 2 с.

17. Индуктивно-цифровой датчик износа тормозных накладок автомобилей : пат. 4611 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № и 20080056; заявл. 29.01.08; опубл. 30.08.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4. – 2 с.

18. Подвижный индуктивно-цифровой датчик износа тормозных накладок автомобилей : пат. 5400 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № и 20080837; заявл. 11.11.08; опубл. 30.08.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 4. – 3 с.

19. Мостовой датчик износа тормозных накладок автомобиля : пат. 5558 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № и 2009005; заявл. 05.01.09; опубл. 30.10.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 5. – 2 с.

20. Подвижный цифровой датчик износа тормозных накладок автомобиля : пат. 5559 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № и 2009006; заявл. 05.01.09; опубл. 30.10.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 5. – 2 с.

21. Электромагнитный датчик износа тормозных накладок автомобилей : пат. 5694 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № и 20090132; заявл. 20.02.09; опубл. 30.12.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 6. – 3 с.

22. Цифровой датчик износа тормозной накладки автомобиля : пат. 18143 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20100232; заявл. 18.02.10; опубл. 30.04.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 2. – 2 с.

23. Датчик износа тормозной накладки автомобиля : пат. 18519 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко,

О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20100228; заявл. 18.02.10; опубл. 30.08.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 4. – 2 с.

24. Дискретно-мостовой датчик износа тормозных накладок автомобилей: пат. 10056 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Ф. Скадорва, О. В. Понталев; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № и 20130476; заявл. 06.06.13; опубл. 30.04.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 2. – 2 с.

25. Цифровой датчик износа тормозной накладки автомобиля: пат. 18142 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20100229; заявл. 18.02.10; опубл. 30.08.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 4. – 2 с.

26. Индуктивно-цифровой датчик износа тормозной накладки автомобиля: пат. 13997 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20081299; заявл. 16.10.08; опубл. 28.02.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 1. – 2 с.

27. Цифровой датчик износа тормозной накладки автомобиля: пат. 14146 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20081298; заявл. 16.10.08; опубл. 30.04.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2. – 2 с.

28. Датчик износа тормозных накладок автомобиля: пат. 14468 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № а 20081297; заявл. 16.10.08; опубл. 30.06.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 3. – 2 с.

29. Электромагнитный датчик износа фрикционных накладок гидроподжимной муфты: пат. 6607 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Н. Карташевич, А. Ф. Скадорва, А. А. Рудашко, О. В. Понталев, В. А. Коробкин, Ю. А. Андрияненко; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № и 20100160;

заявл. 18.02.10; опубл. 29.06.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 5. – 3 с.

30. Измерительное устройство величины буксования фрикционных накладок муфты сцепления : пат. 10058 Респ. Беларусь, МПК F 16 D 66/00 / А. Ф. Скадорва, О. В. Понталев; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № и 20130478; заявл. 06.06.13; опубл. 30.04.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 2. – 2 с.

*Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ*

31. Тяговый расчёт трактора и автомобиля / А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва // Свидетельство о регистрации компьютерной программы № 440 Респ. Беларусь от 30.08.12.

32. Тепловой расчёт автотракторного двигателя / А. А. Рудашко, А. Ф. Скадорва // Свидетельство о регистрации компьютерной программы № 508 Респ. Беларусь от 15.05.13.

*Лекции*

33. Техническое диагностирование машин : лекция / Сост. А. Н. Карташевич, Г. Н. Сапьяник, А. Ф. Скадорва. – Горки : БГСХА, 2009. – 31 с.

34. Обеспечение технической готовности машинно-тракторного парка сельскохозяйственного предприятия : лекция / Сост. А. Н. Карташевич, Г. Н. Сапьяник, А. Ф. Скадорва. – Горки : БГСХА, 2009. – 22 с.

## РЭЗІЮМЭ

**Скадорва Андрэй Феліксавіч**

### **Бартавая сістэма кантролю зносу фрыкцыйнай муфты каробкі перадач трактара**

**Ключавыя словы:** трансмісія, трактар, дынамічная нагружанасць, дыягнаставанне, фрыкцыйныя муфты, тэхнічны стан.

**Мэта работы:** палепшыць эксплуатацыйныя паказчыкі колавага трактара шляхам выкарыстання электрамагнітнага датчыка зносу фрыкцыйных накладак ФМ.

**Метады даследавання:** разлікова-эксперыментальныя, заснаваныя на сучасных даследчых метадыках з выкарыстаннем вылічальнай тэхнікі.

**Апаратура.** Даследаванні праводзіліся ў акрэдытаванай лабараторыі ПА «МТЗ» з выкарыстаннем наступных прыбораў: манометр МТП-100 ДАСТ 2405-80 для вымярэння ціску масла ў сістэме кіравання фрыкцыйнай КП, лічбавы прыбор ХР 1206 для вымярэння частаты кручэння вала балансёрнай машыны, вагавая галоўка ZDI для замеры крутоўнага моманту на вале балансёрнай машыны, манометр МТП-160 ДАСТ 2405-80 для вымярэння ціску масла ў сістэме змазкі, датчыкі ціску Р9 – НВМ для вымярэння ціску ў каналах кіравання муфтамі фрыкцыёнаў, датчыкі імпульсаў ДКП-11 для вымярэння частаты кручэння вядучых і вядомых частак стэнда, блок вымяральны SPIDER 8 для ўзмацнення і запісу электрычных сігналаў.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Тэарэтычна і эксперыментальна пацверджана магчымасць ацэнкі ідэнтыфікацыі дынамічнай нагружанасці трансмісіі трактара з фрыкцыйнымі муфтамі; распрацаваны метадыка і алгарытм кантролю зносу фрыкцыйных пар і праведзены выпрабаванні КП трактара «Беларус-2103», якія дазволілі выявіць заканамернасць змены зносу фрыкцыйных элементаў у КП у залежнасці ад дынамічнай нагружанасці трактара і распрацаваць прыладу дыягнаставання, якая можа быць уключана ў штатную сістэму сілкавання трактара і дапаможа рэалізаваць атрыманую магчымасць; вынікі выпрабаванняў прылады дыягнаставання на КП і трактары «Беларус-2103» пацвердзілі магчымасць ацэнкі ідэнтыфікацыі дынамічнай нагружанасці трансмісіі трактара з фрыкцыйнымі муфтамі.

**Ступень выкарыстання.** Вынікі тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў даложаны, адобраны і прыняты да выкарыстання на ПА «Мінскі трактарны завод» і ўкаранёны ў навучальны працэс УА «Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія».

**Галіна прымянення:** трактара- і прыборабудаваўніцтва.

## РЕЗЮМЕ

**Скадорва Андрей Феликсович**

### **Бортовая система контроля износа фрикционной муфты коробки передач трактора**

**Ключевые слова:** трансмиссия, трактор, динамическая нагруженность, диагностирование, фрикционные муфты, техническое состояние.

**Цель работы:** улучшить эксплуатационные показатели колёсного трактора путём использования электромагнитного датчика износа фрикционных накладок ФМ.

**Методы исследования:** расчетно-экспериментальные, основанные на современных исследовательских методиках с использованием вычислительной техники.

**Аппаратура.** Исследования проводились в аккредитованной лаборатории ПО «МТЗ» с использованием следующих приборов: манометр МТП-100 ГОСТ 2405-80 для измерения давления масла в системе управления фрикционными КП, цифровой прибор ХР 1206 для измерения частоты вращения вала балансирующей машины, весовая головка ZDI для замера крутящего момента на валу балансирующей машины, манометр МТП-160 ГОСТ 2405-80 для измерения давления масла в системе смазки, датчики давления Р9-НВМ для измерения давления в каналах управления муфтами фрикционных, датчики импульсов ДКР-11 для измерения частоты вращения ведущих и ведомых частей стенда, блок измерительный SPIDER 8 для усиления и записи электрических сигналов.

**Полученные результаты и их новизна.** Теоретически и экспериментально подтверждена возможность оценки идентификации динамической нагруженности трансмиссии трактора с фрикционными муфтами; разработаны методика и алгоритм контроля износа фрикционных пар и проведены испытания КП трактора «Беларус-2103», позволившие установить закономерность изменения износа фрикционных элементов в КП в зависимости от динамической нагруженности трактора и разработать устройство диагностирования, которое может быть включено в штатную систему питания трактора и поможет реализовать полученную возможность; результаты испытаний устройства диагностирования на КП и тракторе «Беларус-2103» подтвердили возможность оценки идентификации динамической нагруженности трансмиссии трактора с фрикционными муфтами.

**Степень использования.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований доложены, одобрены и приняты к использованию на ПО «Минский тракторный завод» и внедрены в учебный процесс УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».

**Область применения:** тракторо- и приборостроение.



## SUMMARY

**Scadorva Andrei Feliksovich**

### **Cabin control system of friction ring wear of a gear box in a tractor**

**Key words:** transmission, tractor, dynamic load, diagnostics, friction rings, technical condition.

**The objective of the research:** to improve the performance of a wheeled tractor by means of using the electro- magnetic sensor of friction clutch lining wear of a friction ring (FR).

**Research methods:** calculation-experimental method based on modern research methods with the use of computer technique.

**Apparatus:** The research was carried out in the accredited laboratory of MTZ using the following devices: manometer MTP-100 State Standart 2405-80 to measure oil pressure in the system of friction gear box control, digital device XP 1206 to measure shaft rotation frequency of a balanced machine, weight head ZDI to measure torque at the shaft of a balanced machine, manometer MTP-160 State Standart 2405-80 to measure oil pressure in the lubrication system, pressure sensors P9-HBM to measure pressure in channels of friction rings, impulse sensors ДКП-11 to measure rotation frequency of driving and dependent stand parts, measuring block SPIDER 8 to increase and to record electric signals.

**Obtained results and their novelty.** The possibility of assessing the identification of dynamic loading of tractor transmission with friction rings has been theoretically and practically proved; the methods and algorithm of the control of friction pair wear have been worked out and tests of the transmission of tractor «Belarus-2103» were carried out, which allowed to establish a regularity of the changes of the wear of the friction elements in a gear box depending on the dynamic load of a tractor and help to develop a diagnostic device which can be added to a regular feeding system of the tractor and to realize this possibility; results of the tests of diagnostics device on a gear box and tractor «Belarus-2103» confirmed the possibility of assessment of the identification of transmission dynamic loading of the tractor with friction rings.

**Degree of use.** The results of theoretical and practical research were reported, approved of and recommended for application at Minsk Tractor Plant and also introduced into the teaching process of the Belarusian agricultural academy.

**Field of application:** tractor and device design.

**СКАДОРВА**  
Андрей Феликсович

**БОРТОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ИЗНОСА ФРИКЦИОННОЙ  
МУФТЫ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА**

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.05.03 «Колёсные и гусеничные машины»

Подписано в печать 24.03.2015. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,8. Тираж 60 экз. Заказ № 150.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.  
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.