Приказчиков, Максим Сергеевич. Повышение ресурса гидроподжимных муфт коробок передач с гидроуправлением улучшением режима трения фрикционных дисков : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.03 / Приказчиков Максим Сергеевич; [Место защиты: Пенз. гос. с.-х. акад.].- Пенза, 2013.- 197 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/2260

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

04201361170

**

C:\Users\Pavel\AppData\Local\Temp\Rar$DIa0.838\media\image1.jpeg

**Приказчиков Максим Сергеевич**

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ГИДРОПОДЖИМНЫХ МУФТ КОРОБОК  
ПЕРЕДАЧ С ГИДРОУПРАВЛЕНИЕМ УЛУЧШЕНИЕМ РЕЖИМА  
ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ**

**Специальность 05.20.03** - технологии и средства технического

обслуживания в сельском хозяйстве

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук,  
доцент **Володько О.С.**

Пенза-2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ 5

ВВЕДЕНИЕ 7

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ 12
   1. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ С

ГИДРАВЛИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ 12

* 1. ОБЗОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА

ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ 21

* + 1. Методы повышения ресурса поверхностей трения 22
    2. Применение альтернативных смазочных материалов 28
  1. [ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ 33](#bookmark5)

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ УЛУЧШЕНИЯ РЕЖИМА

[ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ 35](#bookmark7)

* 1. ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ И

МОДИФИЦИРОВАНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ НА ИЗНОС ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ ГИДРОПОДЖИМНЫХ МУФТ 35

* 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ГРАДИЕНТОМ ТВЕРДОСТИ 38

* 1. АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ ПРИ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ 51

* 1. ПРОЦЕСС НАВОДОРОЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ

ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА КРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ УЛУЧШЕНИЯ РЕЖИМА ТРЕНИЯ. 60 ВЫВОДЫ 67

1. [ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ 68](#bookmark27)
   1. ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ 68
   2. МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 71

з

* + 1. Методика исследований образцов на роликовой машине трения... 71
    2. Методика исследований образцов на трение и изнашивание на

трибометре 75

* 1. МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ НАВОДОРОЖИВАНИЯ

ПОВЕРХНОСТНЕЙ ТРЕНИЯ 79

* + 1. Определение степени наводороживания поверхностей трения

методом фотоэлектрического спектрального анализа 79

* + 1. Определение степени наводороживания поверхностей трения

расчетно-аналитическим методом 82

* 1. МЕТОДИКА НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

НА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ 83

* 1. МЕТОДИКА СТЕНДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФРИКЦИННЫХ

ДИСКОВ 87

* 1. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В

СМАЗОЧНОЙ СРЕДЕ 90

* 1. МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ... 91

[ВЫВОДЫ 94](#bookmark26)

1. **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ** 95
   1. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА МИНЕРАЛЬНО­РАСТИТЕЛЬНОЙ СМАЗОЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ 95
   2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИЗНАШИВАНИЯ И

ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ 104

* 1. РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ

ИССЛЕДОВАНИЙ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ 129

* 1. РЕЗУЛЬТАТЫ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ГИДРОПОДЖИМНЫХ МУФТ 132

[ВЫВОДЫ 137](#bookmark38)

1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ 140
   1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ КОРОБОК ПРЕДАЧ

ТРАКТОРА «КИРОВЕЦ» 140

* 1. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ 142

[ВЫВОДЫ 145](#bookmark44)

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ 146

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 148

ПРИЛОЖЕНИЕ 164

**ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ**

МРСК - минерально-растительная смазочная композиция;

РМ - рапсовое масло;

ФП - функциональное покрытие;

с.-х. - сельскохозяйственный (ая; ое; ые);

***Аддитивный показатель*** - критерий оценки результатов исследований, сводящий многомерные характеристики к одномерным показателям, особым образом сформированным и отражающим многомерную информацию.

***Гидроподжимная муфта*** (ГПМ) - фрикционная муфта сцепления, ис­пользующая в качестве нажимного устройства гидравлический цилиндр, на­шедшая широкое применение в гидравлически управляемых коробках передач тракторов и служат для включения передач за счет сжатия дисков давлением масла. В данной диссертационной работе исследовались гидроподжимные муфты трактора «Кировец»

***Насыщенный контакт*** - контакт двух шероховатых поверхностей, ко­гда число контактирующих неровностей равно числу неровностей, располо­женных на контурной площади контакта

***Режим трения*** — условная градация механизмов трения поверхностей и твердых тел, связанных с изменением параметров трения, наличием или от­сутствием смазочного материала, характером физико-механического и физи­ко-химического взаимодействия контактирующих поверхностей.

***Режим ускоренных исследований*** - режим, предусмотренный приме­няемым принципом и методом *ускоренных исследований* и обеспечивающий сокращение продолжительности исследований.

***Ресурс*** - суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

***Ускоренные исследования*** - исследования, дающие информацию о па­раметрах и показателях качества в более короткие сроки, чем в условиях экс-

плуатации. Частным случаем являются форсированные исследования, получе­ние результатов которых ускоряется путем увеличения нагрузок, температур, скоростей и других факторов.

***Смазочный материал*** - материал вводимый на поверхность трения для уменьшения износа, повреждений поверхности и (или) силы трения.

***Трибометр*** - лабораторная измерительная установка для исследования и измерения величин, характеризующих трения материалов.

***Тепловая напряженность (фрикционных дисков)*** - параметр, характе­ризующий условия работы трущихся фрикционных дисков, а также уровень температуры, определяющий допускаемую термическую нагрузку на материал пары трения.

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы.** Основным ресурсоопределяющим узлом механи­ческой коробки передач с гидравлическим управлением, например, тракторов «Кировец» производства ЗАО «Петербургский тракторный завод», является гидроподжимная муфта (ГПМ), обеспечивающая переключение передач без разрыва потока мощности. При реализации переключения передач вследствие буксования поверхностей трения ведущие и ведомые диски ГПМ испытывают большие термодинамические нагрузки, приводящие к их короблению и интен­сивному изнашиванию. Это является причинной снижения фактического ре­сурса фрикционных дисков на 60% от регламентированного.

Ресурс ГПМ и технико-экономические показатели работы энергонасы­щенной автотракторной техники, оснащенной механическими коробками пе­редач с гидравлическим управлением, во многом зависят от параметров режи­ма трения фрикционных дисков. Ухудшение режима трения приводит к ин­тенсивному наводороживанию и увеличению износа дисков и, как следствие, к ухудшению динамических характеристик трактора и повышенному расходу топлива. Рациональный режим трения фрикционных дисков определяется эф­фективным сочетанием смазочной среды, материала и качества сопрягаемых поверхностей трения.

Поэтому актуальными являются исследования, направленные на улуч­шение режимов трения фрикционных дисков ГПМ путем модификации и по­вышения уровня насыщения контакта поверхностей трения, а также триболо­гических свойств смазочного материала.

**Степень разработанности темы.** Гидроподжимные муфты механиче­ской коробки передач с гидравлическим управлением тракторов типа «Киро­вец» работают в сложных эксплуатационных условиях. Исследованиями уста­новлено, что фрикционные диски ГПМ испытывают большие тепловые и ди-

намические нагрузки, вызывающие ухудшение режима трения и снижение нормативных показателей работы дисков.

Разработки отечественных и зарубежных ученых в области повышения ресурса ГПМ связаны в основном с упрочнением поверхностей трения фрик­ционных дисков или их восстановлением. Важным показателем эффективно­сти работы ГПМ является повышение передаваемого крутящего момента уве­личением площади фактического контакта фрикционных дисков.

В числе перспективных направлений исследования процесса трения ши­роко анализируются методы модификации поверхностей трения, снижения водородного изнашивания, альтернативного использования минерально­растительных смазочных композиций (МРСК) в качестве гидравлических ра­бочих жидкостей и трансмиссионных масел.

Применительно к ГПМ тракторных коробок передач вышеуказанные на­учные направления характеризуются рациональным составом МРСК, модифи­кацией поверхностей трения и уровнем насыщения их контакта. Поэтому дан­ные вопросы требуют дальнейших теоретических обоснований и разработки новых технических решений.

Работа выполнена по плану НИОКР ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА на

1. .2010 г.г. по теме «Разработка и внедрение технологии рационального использования минеральных и альтернативных топливо-смазочных материа­лов и методов улучшения трибологических параметров сельскохозяйственной техники» (ГР №01.200511089) и на 2011...2015 г.г. по теме «Обоснование ра­циональных методов формирования и нанотехнологического насыщения по­верхностей трения деталей сельскохозяйственной техники в условиях мине­ральной и альтернативной смазочной среды» (ГР №01.201062609).

**Цель исследований.** Повышение ресурса гидроподжимных муфт коро­бок передач с гидравлическим управлением улучшением режима трения фрикционных дисков сочетанием модификации поверхностей трения дисков и трибологических свойств МРСК.

**Задачи исследований:**

1. Обосновать рациональный состав минерально-растительной смазочной композиции для гидроподжимных муфт коробок передач, обеспечивающий сни­жение сорбции водорода в поверхностные слои фрикционных дисков.
2. Теоретически обосновать и оценить возможность повышения технического ресурса гидроподжимных муфт коробок передач с гидроуправлением применением фрикционных дисков с положительным градиентом твердости поверхностей трения.
3. Экспериментально оценить влияние насыщения контакта поверхностей трения фрикционных дисков на ресурс гидроподжимных муфт и критериально установить ра­циональный режим трения фрикционных дисков гидроподжимных муфт.
4. Разработать технологические рекомендации и оценить экономическую эф­фективность рационального режима трения в аспекте повышения ресурса фрик­ционных дисков.

**Объект исследований.** Процесс трения модифицированных рабочих по­верхностей фрикционных дисков ГПМ при использовании МРСК.

**Предмет исследований.** Параметры режима трения фрикционных дисков ГПМ.

**Научную новизну работы** составляют:

-аддитивный критерий, характеризующий комплексное влияние качества поверхностей трения и смазочной среды на ресурс фрикционных дисков;

-показатели, оценивающие влияние положительного градиента твердости поверхности трения при использовании МРСК, на ресурс гидроподжимных муфт;

-комплексный способ снижения водородного изнашивания фрикционных дисков фрикционно-механическим латунированием поверхностей трения и при­менением МРСК;

-рациональный состав МРСК, используемый в качестве смазочного мате­риала коробок передач с гидроуправлением тракторов «Кировец».

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Модификация по­верхностей трения фрикционных дисков посредством фрикционно-механического латунирования в сочетании с МРСК (50% М-10Г2 + 50%РМ), пригодной для ис­пользования в механических коробках передач с гидравлическим управлением

тракторных трансмиссий, позволяет без значительных конструктивных изменений установить рациональный режим трения фрикционных дисков, характеризую­щийся сочетанием значений коэффициента трения, работы буксования и скорости изнашивания рабочих поверхностей, обеспечивающих регламентированный тех­нический ресурс и устойчивый режим включения ГПМ. Определен аддитивный критерий (*КА* = 5,492...7,941), характеризующий рациональный режим трения фрикционных дисков ГПМ. Установлены способ модификации поверхности тре­ния и операции технологического процесса ее формирования, типы трансмиссий и узлы, в которых используется технология модификации.

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований по ра­циональному режиму трения, снижению износа и повышению ресурса ГПМ по­средством модификации поверхностей трения фрикционных дисков и применения МРСК приняты к внедрению в производстве на ремонтном предприятии ОАО «Болынеглушицкремтехсервис» и ООО «Волгаагромаш» Самарской области.

**Методология и методы исследования.** Теоретические исследования пара­метров рационального режима трения фрикционных дисков ГПМ выполнены с применением основных положений, законов и методов трибологии, математиче­ского анализа и математического моделирования. Экспериментальные исследова­ния выполнены с использованием стандартных и разработанных частных мето­дик исследований. Обработка экспериментальных данных выполнялась с приме­нением современных технических средств измерения и методов ПЭВМ на основе прикладных программ Statistica v.7.0, POWERGRAPH v.3.1, MathCAD 2001, Mi­crosoft Excel и др. [10, 61, 76].

**Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:**

-количественные значения показателей, оценивающих влияние изменения качества поверхностей трения и применения минерально-растительной смазочной композиции на технический ресурс гидроподжимных муфт;

-способ снижения водородного изнашивания фрикционных дисков гидро­поджимных муфт, основанный на комплексном применении фрикционно-

механического латунирования поверхностей трения дисков и использования ми­нерально-растительной смазочной композиции в качестве смазочной среды;

-рациональный состав минерально-растительной смазочной композиции, обеспечивающий снижение сорбции водорода в поверхности трения фрикцион­ных дисков гидроподжимных муфт;

-аддитивный критерий, характеризующий комплексное влияние качества поверхностей трения и смазочной среды на ресурс фрикционных дисков гидро­поджимных муфт.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность резуль­татов подтверждается сравнительными натурными стендовыми и ускоренными ресурсными исследованиями фрикционных дисков ГПМ коробок передач тракто­ра типа «Кировец».

Результаты исследований доложены и одобрены на межвузовских, регио­нальных и международных научно-технических конференциях ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (2005 г.), ФГБОУ ВПО «СамГТУ» (2008, 2011 г.г.), ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА (2005, 2007, 2008, 2010... 13 г.г.).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 12 научных работах, в том числе 4 статьи в изданиях по «Перечню...ВАК при Минобрнауки РФ». Одна статья опубликована без соавторов. Общий объем публикаций 2,59 п. л., из них автору принадлежит 1,52 п.л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на **197** с., состоит из пяти разделов, общих выводов, списка использованной литературы из **171** на­именований и приложения на **34** с., содержит **16** таблиц и **41** рисунок.

ВЫВОДЫ

1. Суммарные затраты при ремонте ведущего вала коробки передач тракто­ра «Кировец» при заводском варианте составляют 39800 руб., а при опытном
2. руб.
3. Годовой экономический эффект от применения модифицированных фрикционных дисков с учетом перехода на МРСК составит 11296,4рубля на 1 трактор.

**ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

1. Анализом основных направлений снижения изнашивания фрикционных дисков, как ресурсоопределяющих элементов ГПМ механических коробок пере­дач тракторов с гидроуправлением, установлена эффективность использования МРСК в связи с активным взаимодействием с поверхностями трения и снижением их водородного изнашивания. Оценка модели процесса наводороживания свиде­тельствует о снижении сорбции водорода в зоне трения ввиду защитных действий ПАВ смазочной композиции. По результатам оценки уровня наводороживания поверхностей трения и их изнашивания рациональной является МРСК в составе 50% минерального масла М-10Г**2** и 50% РМ. Наводороживание поверхностей тре­ния снизилось при увеличении концентрации РМ в МРСК с 0,163 (0% РМ) до 0,072 м.д. % -10**'3** (50% РМ), при этом скорость изнашивания снизилась с 0,235 до 0,128-Ю'3 мг/с.
2. Теоретически обоснована возможность повышения ресурса фрикционных дисков путем технологического формирования поверхностей трения с положи­тельным градиентом твердости. При этом представляется возможным повысить уровень насыщения контакта, увеличить площадь фактического контакта фрик­ционных дисков, улучшить режим трения в направлении их фрикционного взаи­модействия при изменении адгезионной составляющей трения.

Экспериментально установлено, что увеличение фактической площади кон­такта (*А*т) составило в среднем 11,5%. Так, при использовании заводских фрикци­онных дисков *Аг* = 0,0795...0,0823 мм2, а при использовании модифицированных фрикционных дисков *Аг =* 0,0889.. .0,0933мм2.

1. Экспериментально установлено влияние уровня насыщения контакта на ресурс ГПМ. Средняя концентрация железа в смазочной среде механической ко­робки передач с гидроуправлением после их обкатки с заводскими фрикционны­ми дисками составила 5,4Т0**'3** %, а с модифицированными дисками 1,ЗТ0**'3** *%.* Из­менение режима трения при модификации фрикционных дисков способствует

улучшению температурного режима работы ГПМ посредством снижения темпе­ратурного градиента работы коробки передач при буксовании фрикционных дис­ков со 195 °С до 125°С, увеличению момента трения буксования с 2,5 до 2,8 кНм.

Обоснована аналитически зависимость аддитивного критерия от твердости поверхностных слоев и состава МРСК. Экспериментально установлено изменение аддитивного критерия *Ка* = 5,492...7,941 и его рациональное значение *(КА* = 5,492), обосновывающее выбор режима трения фрикционных дисков на ос­нове рационального сочетания состава МРСК (50% М-10Г**2** + 50% РМ), высту­пающей в качестве смазочной среды, и градиента твердости поверхностей трения дисков (7т = 0,87), повышающего ресурс ГПМ.

Анализ проб масла при проведении ресурсных исследований показал сни­жение концентрации железа в смазочной среде с Срс Баз = 21,3'10'3%, в заводском варианте, до Срсопыт= 14,2510'3%, в опытном варианте при соответствующем уве­личении ресурса ГПМ в 1,7 раза.

Предложены рекомендации по обслуживанию коробок передач трактора «Кировец» при реализации установленного режима трения. Рациональным следу­ет считать комплексное применение модифицированных фрикционных дисков с градиентом твердости сопряжения *I*Пт = 0,87 (средняя микротвердость поверхно­стей трения фрикционных дисков #ц= *367Ну)* и МРСК, содержащей 50% мине­рального масла М-10Г**2** и 50% РМ. Годовой экономический эффект на один трак­тор при использовании коробки передач с модифицированными фрикционными дисками и применении предлагаемой смазочной композиции составит 11,3 тыс. руб. при средней годовой наработке 620 мото-ч.