

На правах рукописи



**КОНОРЕЕВ РОМАН ВИКТОРОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИСКОВ ФРИКЦИОННЫХ ПЕРЕДАЧ  
ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ  
(НА ПРИМЕРЕ КПП ТРАКТОРА К-700)**

Специальность 05 20 03 - Технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Новосибирск - 2007

Работа выполнена в ФГОУ ВПО  
«Новосибирский государственный аграрный университет»

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент  
**Коноводов Виталий Васильевич**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
**Немцев Анатолий Егорович**

кандидат технических наук  
**Муравьев Гавриил Семенович**

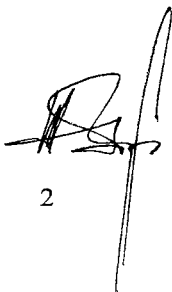
**Ведущая организация:** ГНУ Сибирский физико-технический  
институт аграрных проблем

Защита диссертации состоится 2 ноября 2007г в 14 00 часов на заседании диссертационного совета Д 220 048 01 при ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет» по адресу 630039, г Новосибирск, ул Добролюбова, 160

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Автореферат разослан 1 ноября 2007 г

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Гуськов Ю А

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время в сельском хозяйстве в качестве тормозных устройств и устройств для передачи энергии к исполнительным органам машин широко используются фрикционные механизмы, основные фрикционные элементы которых конструктивно выполнены в виде стальных дисков с покрытием рабочих поверхностей специальными фрикционными материалами. Геометрические параметры таких фрикционных дисков определяются величиной передаваемой мощности и рассчитаны из условий их минимальных габаритов с максимальным использованием физико-механических свойств фрикционных материалов.

От ресурса фрикционных дисков гидромеханических коробок передач (ГМП) существенно зависят технико-экономические показатели работы энергонасыщенной автотракторной техники оснащенной ГМП. По мере износа рабочих поверхностей фрикционных дисков увеличивается расход топлива, ухудшаются динамические характеристики автотракторной техники, а при достижении предельного износа происходит аварийный отказ ГМП.

По статистическим данным надежность тракторов семейства “Кировец” во многом зависит от надежности ГМП, на долю которых приходится более 55% отказов, при этом до 80% нарушение работоспособности ГМП вызвано отказом фрикционов вследствие износа и нарушения пространственной геометрии фрикционных дисков.

Низкая надежность применяемых в настоящее время конструктивно-технологических исполнений новых дисков и восстановленных на ремонтно-технических предприятиях АПК фрикционных дисков приводит к простоям энергонасыщенной техники и большим затратам на ремонт ГМП, так трудоемкость ремонта ГМП связанная с заменой фрикционных дисков составляет не менее 55 нормочасов, а затраты на запасные части более 15 тыс. рублей.

В связи с этим совершенствование технологий восстановления фрикционных дисков является важной и актуальной задачей современного ремонтного производства.

**Цель работы.** Сокращение трудовых и материальных затрат при ремонте сельскохозяйственной техники на основе совершенствования технологии восстановления геометрических параметров дисков гидромеханических коробок передач.

**Объект исследования.** Процесс изнашивания восстановленных фрикционных дисков гидромеханических коробок передач.

### **Научная новизна:**

- теоретически обоснованы закономерности изменения износостойкости фрикционных дисков в зависимости от свойств фрикционных материалов по ширине рабочих поверхностей дисков;

- установлены зависимости между основными физико-химическими свойствами детонационных покрытий на основе меди и ресурсом дисков,
- разработана методика прогнозирования ресурса фрикционных дисков на основе диаграммы предельных напряжений и экспериментального установленных параметров циклического термомеханического нагружения,
- разработана комбинированная технология восстановления фрикционных дисков с использованием операций пластической деформации основы дисков и газодетонационным наращиванием материалов с разными физико-механическими свойствами.

Новизна решений защищена патентом Российской Федерации

#### **Практическая значимость**

- разработана технология восстановления фрикционных дисков ГМП, до нормального размера, которая может быть реализована на специализированных ремонтных предприятиях,
- разработана методика прогнозирования ресурса фрикционных дисков, позволяющая производить выбор конструктивно-технологических параметров и материалов при восстановлении фрикционных дисков ГМП, с учетом термомеханического циклического характера нагружения

#### **Реализация результатов работы**

Технология восстановления фрикционных дисков реализована в опытных партиях ОАО «Сузунское РТП» и ОАО «Ордынское РТП»

**Апробация работы.** Общие положения диссертации были доложены и одобрены на ежегодных научно-практических конференциях Инженерного Института Новосибирского ГАУ (1997-2007 г г )

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано четыре печатных работы, в том числе один патент РФ на изобретение

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, библиографии из 107 наименований, изложена на 116 страницах и включает 26 рисунков, 14 таблиц, 2 приложения

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение** включает актуальность темы диссертации, цель исследования, научную новизну и основные положения работы

**В первой главе** охарактеризованы основные виды дефектов фрикционных дисков, дан анализ известных технологических способов восстановления изношенных фрикционных дисков гидромеханических коробок передач и рассмотрены особенности их работы, как поверхностей трения. Характер и закономерности работы пар трения наиболее полно отражены в работах И В Крагельского, А В Селиванова, М Н Добычина, В.С Комбалова, А В Чичинадзе и др. Вопросы повышения надежности фрикционных узлов тракторов и транспортных машин, а также способы восстановления фрикционных дисков рассмотрены в работах Л Ф Пышкина, Г П Шаронова, Н А Рабо-

вещного, Е А Шувалова, А В Бойкова, Ю С. Тарасова, М А Пестунова, Ю Б Дысина, И И Гарбара, В А Борисенко и других авторов

Анализ литературных данных и проведенные исследования показали, что диски трения энергонасыщенных тракторов, являясь наиболее нагруженными деталями, определяют надежность фрикциона и коробки передач трактора в целом. Выявлены и изучены факторы определяющие надежность дисков, а также существующие способы восстановления дисков трения, большинство из которых до настоящего времени не нашли широкого применения на ремонтных предприятиях, т.к. не обеспечивают необходимого уровня качества и экономической эффективности производства.

Исследованиями установлено, что основной причиной отказов, лимитирующих долговечность фрикционных узлов (износ, усадка, коробление, поломки и спекание дисков трения), являются повышенная температура диска при буксовании и циклические термические напряжения, вызванные неравномерностью температурного поля. Источниками тепла в дисках являются микрообъемы материала прилегающие к единичным пятнам контакта на их рабочих поверхностях, причем часть диска, не участвовавшая в трении, остается холодной. Местоположение пятен контактов непрерывно меняется во времени и в зависимости от скорости скольжения и давления в каждом элементе пары трения создается пространственное поле тепловых источников. Перепад температур по радиусу и толщине вызывает в диске термические напряжения, в разогретой зоне возникают сжимающие напряжения и создаются благоприятные условия для пластических деформаций сжатия и образования остаточных напряжений после охлаждения диска, поскольку предел текучести материала в зонах повышенной температуры ниже. При этом температура, с одной стороны, порождает термические напряжения, а с другой, снижает способность материала противостоять термомеханическим напряжениям, вызывая в них структурные изменения и снижая предел текучести. Так как в любой точке диска напряжения при нагреве и охлаждении имеют разный знак происходит циклическое нагружение материала диска со значительной амплитудой. Поэтому параметры, определяющие долговечность фрикционного узла, должны прежде всего характеризовать его тепловую напряженность.

Также установлено, что из-за существенной разницы температурного градиента по ширине рабочей поверхности дисков, находящегося в прямой зависимости от скорости скольжения, процесс изнашивания дисков после значительного числа буксований по всей поверхности трения не одинаков и пропорционален радиусу. Разница значений скорости скольжения на отдельных участках рабочих поверхностей дисков в соответствии с конструкциями ГМП составляет до 30%, так для тракторов «Кировец» абсолютная разность значений скорости скольжения при частоте вращения ведущего вала коробки передач 2050 об/мин составляет около 12 м/с при максимальном значении скорости скольжения 60 м/с.

**В качестве гипотезы** принято предположение о возможности повышения ресурса восстановленных дисков трения гидромеханических коробок передач за счет комбинированного восстановления дисков до нормального размера методами пластической деформации и газодетонационного напыления (ГДН) фрикционных материалов переменных фрикционных свойств по ширине рабочей поверхности дисков

В соответствии с анализом состояния вопроса и целью исследования поставлены следующие задачи

- провести исследование технического состояния и характера отказов фрикционных дисков тракторов «Кировец» при поступлении ГМП в ремонт,
- выявить закономерности изменения износостойкости фрикционных дисков от физико-механических свойств фрикционных материалов нанесенных газодетонационным напылением на рабочие поверхности дисков,
- разработать методику прогнозирования ресурса восстановленных дисков с учетом конструктивно технологических параметров дисков в условиях термомеханического циклического нагружения дисков;
- проверить эффективность разработанной технологии восстановления дисков в условиях эксплуатационных испытаний, дать рекомендации производству

**Во второй главе** описано техническое состояние фрикционных дисков поступающих в ремонт ГМП тракторов «Кировец», определены критерии пригодности изношенных до предельного состояния дисков к дальнейшему восстановлению, рассмотрены теоретические предпосылки восстановления фрикционных дисков методом ГДН и возможности повышения ресурса восстановленных дисков трения ГМП. Установлено, что при ремонте ГМП около 65% фрикционных дисков нуждаются в замене новыми или восстановленными

Увеличить ресурс фрикционных дисков путем уменьшения интенсивности изнашивания фрикционных поверхностей возможно снижением уровня термомеханических напряжений, исходя из того, что величина термических напряжений прямо пропорциональна градиенту температур диска, снижение значения величины термических напряжений в паре трения может быть достигнуто за счет обеспечения наилучшего отвода тепла от поверхности трения

При равных условиях работы и конструктивных размерах дисков, а также и равных коэффициентах трения материалов, диск изготовленный из материала с большим коэффициентом теплопроводности будет меньше подвержен воздействию термических напряжений. Предложено для восстановления геометрических параметров дисков использовать фрикционные материалы на основе меди, имеющей коэффициент теплопроводности в 10 раз больший, чем у стали, что позволяет для дисков с парой трения сталь-медь увеличить продолжительность безопасной пробуксовки до схватывания

Для устранения неравномерности износов дисков по ширине рабочих поверхностей, являющейся результатом работы отдельных участков диска в условиях различных скоростей скольжения и, как следствие, различных термомеханических напряжений необходимо обеспечить изменение физико-механических свойств материала дисков по рабочей поверхности. Данное изменение свойств реализовано путем кольцеобразного нанесения на основу дисков фрикционных материалов с различными физико-механическими свойствами. Ширина кольцевых элементов с различными материалами определяется исходя из условий работы и геометрических параметров дисков из уравнения

$$L=(R-r)/k_1, \quad (1)$$

где  $L$  – ширина кольцевого элемента,

$R$  – наружный радиус дисков,

$r$  – внутренний радиус дисков,

$k_1$  – коэффициент учитывающий нагруженность фрикциона и имеющий минимальное значение  $k_1=1$  для малонагруженных фрикционов

Для определения ресурса дисков, достижения материалами на рабочих поверхностях предельного состояния под воздействием циклических термических и контактных механических воздействий, использована известная диаграмма предельных напряжений, в которую внесены дополнения, позволяющие установить предельное напряжение в диске с учетом остаточных термомеханических напряжений. При этом получена формула ресурса фрикционных дисков в условиях термомеханического нагружения

$$N=N_b (k_t \sigma_r / \sigma_{max})^n = N_b (n_\sigma)^n, \quad (2)$$

где  $n$  – показатель степени определяемый экспериментально,

$n_\sigma$  – запас выносливости,

$N_b$  – базовое число циклов нагружений,

$n$  – показатель степени определяемый экспериментально,

$k_t$  – технологический коэффициент, учитывающий конструктивно технологические факторы,

$\sigma_r$  – предельное термомеханическое напряжение в диске,

$\sigma_{max}$  – наибольшее термомеханическое напряжение возникающее на поверхности трения при работе, определяемое из расчетов, исходя из конструктивных и геометрических параметров, физико-механических свойств дисков

Учитывая, что поверхность фрикционного диска при трении испытывает преимущественно термические напряжения диаграмма строится в координатах  $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{min}$  по оси ординат и  $\sigma_m$ , среднегеометрическое напряжение по оси абсцисс

Крайняя правая точка диаграммы  $D$  соответствует циклу нагружения при котором  $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{min} = \sigma_m$ , что соответствует напряжениям возникающим на





вающих и многофакторных экспериментов, в качестве варьируемых факторов был использован химический состав материалов на медной основе

Эксперименты проводились по стандартным и разработанным методикам. Использовались методики оценки линейных размеров дисков, макро и микро анализа, оценки твердости, определения уровня остаточных напряжений, испытания на износостойкость, определение фрикционных свойств.

Сравнительный метод предусматривал установку на трактора «Кировец» отремонтированных ГМП с восстановленными по разработанной технологии дисками с целью определения и сравнения действительной и расчетной нагрузок при предлагаемом способе восстановления фрикционных дисков.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований. По результатам лабораторных исследований установлено, что фрикционные диски тракторов «Кировец» целесообразно восстанавливать до нормального размера с образованием пары трения «медь-сталь» методом газодетонационного напыления на стальную основу дисков фрикционных материалов на основе меди – оловянисто-алюминиевой и алюминиевой бронзы. Установлено, что повышение массовой доли алюминия в составе покрытия на основе меди приводит к увеличению износостойкости. Выявлены зависимости изменения коэффициента трения от продолжительности буксования пар трения в масле, так стабильность коэффициента трения показала пара БрАНЖ-6-2-5 – Сталь 65Г, рис 2.

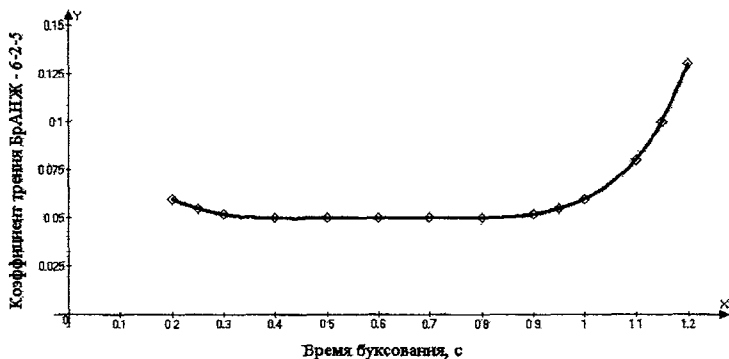


Рис. 2 Зависимость коэффициента трения от продолжительности буксования пары трения БрАНЖ-6-2-5 – Сталь 65Г в масле

Анализ проведенных экспериментов по определению параметров напыления порошкового материала БрАНЖ-6-2-5 показал, что оптимальные размеры частиц порошка – 20-60 мкм, расстояние от среза ствола до напыляемой поверхности диска – 180 мм.

При проверке влияния технологии восстановления на склонность восстановленных дисков к нарушению пространственной геометрии установлено, что придание диску зигзагообразного профиля сечения, путем пластического

деформирования, с последующим заполнением фрикционным материалом лишь полученных впадин увеличивает стойкость дисков к короблению до 15%. Выявлена зависимость влияния остаточных напряжений на величину коробления восстановленных дисков, рис 3

По результатам исследований параметров термомеханического циклического нагружения дисков при работе фрикциона и зависимости наработки восстановленных дисков до предельного состояния – схватывания, прижогов и недопустимого коробления от запаса выносливости дисков рис 4, расчетов по диаграмме предельных напряжений, подтверждена применимость формулы (2) для прогнозирования ресурса дисков. Расхождение значений ресурса рассчитанного и данными испытаний составляет 10-13%

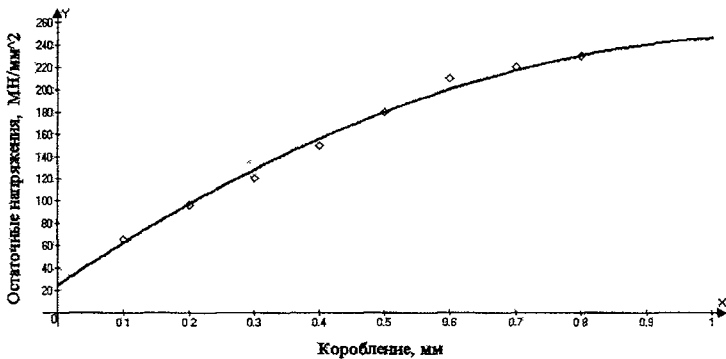


Рис 3 Зависимость между остаточными напряжениями и короблением восстановленных дисков

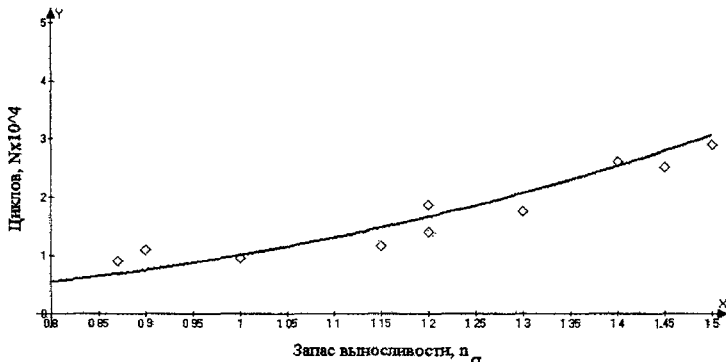


Рис. 4 Зависимость наработки восстановленных дисков до предельного состояния их рабочих поверхностей  $N = (\sigma_{\sigma})^{2,75} 10^4$



Рис. 5. Схема технологического процесса восстановления дисков

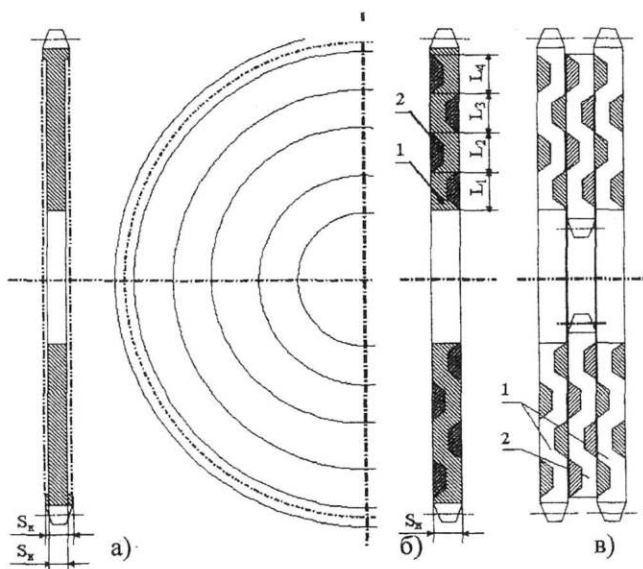


Рис. 6. Фрикционные диски трения: а) изношенный диск; б) восстановленный диск по предлагаемой технологии: 1 – зигзагообразный профиль сечения изношенного диска после пластического деформирования; 2 – кольцевые впадины заполненные фрикционным материалом; в) пакет из восстановленных дисков: 1 – ведомые диски; 2 – ведущий диск

В пятой главе представлена схема технологического процесса восстановления фрикционных дисков комбинированным методом (рис 5) и приведен расчет экономической эффективности от применения предлагаемой технологии восстановления дисков трения до нормального размера с обеспечением переменных фрикционных свойств по ширине рабочей поверхности дисков трения

Очищенные диски сортируются по группам  
ведущие диски трактора К-700 дет № 700 17 01 038-2,  
ведущие диски тракторов К-700А и К-701 дет № 700А 17 01 038-2;  
ведомые диски тракторов К-700 и К-700А дет № 700 17 01 037-1,  
ведомые диски тракторов К-701 дет № 700А 17 037-1

Затем каждую из этих групп подвергают дефектации, контролирует по степени износа и отбраковывают не подлежащие восстановлению диски имеющие разрушения целостности, трещины и толщину менее  $2,0_{-0,06}$  мм для 700А 17 01.037-1 и менее  $2,8_{-0,06}$  мм для 700А.17 01 038-2.

Прошедшие дефектацию изношенные диски (рис 6, а) с размером  $S_n$  нагревают и подвергают в штампе горячей пластической деформации с целью придания диску специального зигзагообразного кольцевого профиля 1 (рис 6, б) После операции пластической деформации диск имеет зигзагообразную кольцевую форму с размером профиля по выступам равным номинальному размеру нового диска  $S_n$  (рис 6, б) с учетом припуска 0,3 мм на последующую механическую обработку

Фрикционные свойства рабочих поверхностей дисков восстанавливают заполнением трапецидальных кольцевых впадин 2 (рис 6, б) фрикционным материалом, методом газодетонационного напыления Так для фрикционных дисков ГМП тракторов «Кировец» предложено формирование трех трапецидальных впадин шириной  $L_r = 9^{+0,1}$  мм (две впадины с одной стороны и одна с другой) Размер и расположение трапецидальных впадин профиля таков (рис 6,б), что при сборке фрикционных дисков в пакет впадины заполненные фрикционным материалом образуют пару трения с материалом основы диска «сталь-медь» (рис. 6, в). В качестве фрикционного материала для заполнения кольцевых впадин используется материал БрАНЖ-6-2-5, для заполнения впадин у внутреннего радиуса напыление производится БрАНЖ-4-2-5 и на других режимах с образованием в материале большей пористости до 18% и снижения содержания

Восстановленный диск за счет лучшего отвода тепла с рабочей поверхности – снижения уровня термомеханических напряжений и большей жесткости поперечного сечения, в сравнении со стальным диском с напылением фрикционного материала по всей плоскости рабочей поверхности, обладает большей стойкостью к короблению Предлагаемая технология обеспечивает восстановленным до нормального размера дискам ресурс в 1,6 раза больше серийных, позволяет создавать оптимальные пары трения по всей ширине рабочей поверхности путем подбора физико-механических свойств напы-

ляемых материалов для конкретных условий эксплуатации в зависимости от удельной нагрузки и скорости скольжения, широко применять данную технологию восстановления и даже улучшать динамические характеристики агрегатов, в которых они используются

## ВЫВОДЫ

- 1 Исследованиями установлено, что основной причиной отказов дисков фрикционных передач (износ, усадка, коробление, поломка и спекание дисков трения), являются накопленные термомеханические напряжения. Около 65% фрикционных дисков при ремонте ГМП имеют предельное состояние и нуждаются в замене. Интенсивность износа диска по ширине рабочей поверхности пропорциональна его радиусу.
- 2 Установлены закономерности изменения износостойкости фрикционных материалов на основе меди. Наибольшей стабильностью коэффициента трения обладает покрытие полученное газодетонационным напылением материала на основе алюминиевой бронзы БрАНЖ-6-2-5, рис.2. Использование фрикционных материалов на основе меди для рабочих поверхностей приводит к снижению уровня остаточных термомеханических напряжений до 10%.
- 3 Рациональное изменение физико-механических свойств (износостойкость, пористость, твердость, коэффициент трения и т.д.) на рабочих поверхностях фрикционных дисков реализуется методом газодетонационного напыления. Так для обеспечения равномерного износа рабочей поверхности дисков по ширине тракторов «Кировец» применены на одной и той же рабочей поверхности фрикционные материалы с разными физико-механическими свойствами (БрАНЖ-6-2-5 и БрАНЖ-4-2-5).
- 4 Разработан способ восстановления изношенных дисков трения, позволяющий восстанавливать их до нормального размера с обеспечением переменных фрикционных свойств по ширине рабочей поверхности дисков, увеличения износостойкости и стойкости к короблению и, как следствие, повышения долговечности фрикционных дисков до 1,6 раз по сравнению со штатными.
- 5 Разработанная методика прогнозирования ресурса позволяет рассчитывать наработку фрикционных дисков до предельного состояния на основе диаграммы предельных напряжений и экспериментальных параметров циклического термомеханического нагружения.
- 6 Годовой экономический эффект от восстановления фрикционных дисков тракторов «Кировец», получаемый за счет увеличения межремонтного ресурса ГМП, составит 9,2 тыс. рублей на один трактор.

**Основные положения по диссертации опубликованы в следующих работах:**

1 Конореев Р В Обоснование выбора методов восстановления и повышения ресурса дисков фрикционных передач//Наука на пороге XXI века Сб научн тр аспирантов и студентов – Новосибирск, 1998 – с 40-41

2 Конореев Р В , Коноводов В.В , Малышко А А. Технология восстановления фрикционных дисков трения //Агроинженерная наука – итоги и перспективы Ч 2 Материалы междунар. научн -практ конф (Новосибирск, 18-19 ноября 2004 г )/Новосиб гос. аграр ун-т Инж. ин-т – Новосибирск, 2004. - с 297-298

3 Конореев Р В. Разработка технологий восстановления плоских поверхностей дисков гидромеханических передач/ Заключительный отчет УДК 621.363 21.004 67 № Гос. регистрации 01 200 201119 НГАУ – Новосибирск, 2005

4 Патент РФ №2210477 Способ восстановления фрикционных дисков трения / Р В Конореев, А А Малышко, В В. Коноводов – Оpub 20 08 2003; Бюл №23

Подписано к печати 25 сентября 2007 г  
Формат 60x84/16 Тираж 100 экз

Заказ №

Отпечатано в копияльном центре ИИ НГАУ  
г Новосибирск, ул Никитина, 147 к 2086