

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК. 621.839.1

РУДЫЙ
Виктор Викторович

**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРА-
МЕТРОВ ДИСКОВ МАСЛООХЛАЖДАЕМЫХ ТОРМОЗОВ
КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИХ
ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности
05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин

Минск, 2012

Работа выполнена в государственном научном учреждении «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси»

Научный руководитель: Антонюк Владимир Евгеньевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

Официальные оппоненты: Акулович Леонид Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология металлов» Белорусского государственного аграрного технического университета

Минченя Николай Тимофеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Конструирование и производство приборов» Белорусского национального технического университета

Оппонирующая организация - ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Защита состоится 18 мая 2012 г. в 14-00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп.6, ауд.419Б, тел. ученого секретаря 292-24-04.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2012 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.05.03,
доктор технических наук, профессор

Девойно О.Г.

©Рудый В.В., 2012
© БНТУ, 2012

ВЕДЕНИЕ

Увеличение грузоподъемности мобильных машин сопровождается значительным увеличением нагрузки на их тормозные устройства. Это вызывает необходимость разработки и совершенствования конструкций специальных тормозных устройств, к которым относятся многодисковые маслоохлаждаемые тормоза. Многодисковые маслоохлаждаемые тормоза позволяют повысить надежность работы тормозов при длительных и многократных торможениях и интенсивном тепловыделении, что характерно для большегрузных карьерных самосвалов при движении на затяжных спусках. В современных тяжелых карьерных самосвалах фирм Liebherr, Komatsu, Caterpillar в качестве тормозных систем используются многодисковые маслоохлаждаемые тормоза с дисками, диаметры которых достигают 950 мм.

С 2000 года многодисковые маслоохлаждаемые тормоза начали использоваться на ОАО «БелАЗ» на машинах с грузоподъемностью от 30 до 90 тонн вместо гидродинамических тормозов в соответствии с мировыми тенденциями совершенствования конструкций карьерных самосвалов.

Анализ конструкций отечественных и зарубежных дисков, используемых в многодисковых маслоохлаждаемых тормозах карьерных самосвалов, показал существенные различия по относительной ширине дисков, которое определяется как отношение внутреннего диаметра к наружному d/D . При использовании относительно «широких» дисков с отношением d/D в пределах 0,65...0,74 увеличивается тормозной момент, но для таких дисков труднее обеспечить заданную точность. При использовании относительно «узких» дисков с отношением d/D в пределах 0,72...0,88 уменьшается тормозной момент, но легче обеспечивается заданная точность. В многодисковых маслоохлаждаемых тормозах используется до 25 дисков, в связи с этим возникает необходимость выбора такой конструкции диска, что бы при минимальном количестве дисков и минимальных габаритах тормозного узла обеспечить достижение максимального тормозного момента. Поэтому обоснование относительной ширины дисков в конечном итоге влияет на конструкцию и габариты тормозного устройства.

Точность изготовления дисков оказывает влияние на надежность работы всего тормозного узла. Повышенные отклонения от плоскостности рабочих поверхностей дисков приводят к температурным деформациям дисков и могут быть причиной выхода из строя всего тормозного узла. Опыт эксплуатации карьерных самосвалов семейства БелАЗ показал, что для дисков маслоохлаждаемых тормозов с диаметрами до 950 мм необходимо обеспечить отклонение от плоскостности не более 0,3 мм.

Наиболее эффективным средством повышения точности изготовления дисков могла быть динамическая стабилизация, которая была успешно исполь-

зована для повышения точности относительно «узких» с относительной шириной в пределах $d/D = 0,80 \dots 0,82$ и диаметрах не более 450 мм.

Отклонение от плоскостности не более 0,3 мм применительно к «широким» дискам с отношением d/D в пределах 0,65...0,74 и диаметром до 950 мм не обеспечивается известными отечественными и зарубежными средствами, опыта использования динамической стабилизации применительно к таким дискам не имеется.

В связи с этим для достижения отклонения от плоскостности не более 0,3 мм применительно к «широким» дискам с отношением d/D в пределах 0,65...0,74 и диаметром до 950 мм, применяемых в многодисковых маслоохлаждаемых тормозах карьерных самосвалов, актуальным решением является использование динамической стабилизации.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Исследования по теме диссертации выполнялись в рамках ГНТП «Машиностроение» (подпрограмма «Карьерный и специальный технологический транспорт, машины и оборудование для горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности» на 2006 – 2010 г.г.), задание КТ-01.03.14 «Отработка процесса динамической стабилизации фрикционных дисков маслоохлаждаемых тормозов» (№ ГР 20081854, 2008 – 2009 г.).

Цель и задачи исследования

Цель исследования - расчетно-аналитическое обоснование геометрических параметров тормозных дисков диаметром до 950 мм, используемых в маслоохлаждаемых тормозах карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 тонн, оборудования и технологии для изготовления этих дисков с использованием динамической стабилизации для достижения отклонения от плоскостности рабочих поверхностей в пределах, установленных условиями эксплуатации карьерных самосвалов.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

- выполнить анализ условий эксплуатации и изготовления дисков маслоохлаждаемых тормозов и установить относительную ширину диска в зависимости от конструкторского требования обеспечения тормозного момента и от технологических условий использования динамической стабилизации;

- исследовать возможности повышения точности по отклонению от плоскостности рабочих поверхностей дисков диаметром до 950 мм, выполнить расчетно-аналитические исследования напряженного состояния при осуществлении

динамической стабилизации дисков путем нагружения радиальными верхними и нижними коническими роликами, расположенными в шахматном порядке;

- исследовать и установить параметры циклического знакопеременного нагружения дисков для осуществления динамической стабилизации с разработкой циклограмм нагружения для дисков маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов семейства БелАЗ, разработать программное обеспечение для выбора циклического нагружения в зависимости от параметров и свойств материала дисков;

- исследовать взаимосвязь возникающих в диске напряжений в процессе динамической стабилизации и на их основе установить возможность использования сил трения для вращения диска с целью создания универсальной технологической установки для динамической стабилизации дисков на разных стадиях их изготовления;

- провести экспериментальные исследования разработанных рекомендаций по назначению стадийности и режимов динамической стабилизации на опытно-промышленной установке при изготовлении дисков маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов семейства БелАЗ диаметром до 950 мм и определить достижимую точность отклонения от плоскостности рабочих поверхностей дисков в зависимости от стадийности использования динамической стабилизации в процессе их изготовления;

- разработать опытно-промышленную установку с ЧПУ для выполнения динамической стабилизации различных типоразмеров дисков карьерных самосвалов с различной стадийностью использования динамической стабилизации в технологическом процессе, внедрить технологическую концепцию использования динамической стабилизации при изготовлении дисков маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов.

Объектом исследования являются диски многодисковых маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов.

Предметом исследования является относительная ширина диска, оборудование и технология изготовления диска с использованием динамической стабилизации.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты расчетно-аналитического исследования нагруженности и деформируемости диска при работе многодискового маслоохлаждаемого тормоза, что позволило обосновать относительную ширину диска, обеспечивающего при минимальных габаритах тормозного узла достижение максимального тормозного момента и с использованием динамической стабилизации для изготовления дисков с этой относительной шириной.

2. Результаты расчетно-аналитических исследований напряженного состояния дисков многодисковых маслоохлаждаемых тормозов с относительной ши-

риной d/D в пределах 0,65...0,74 и диаметром до 950 мм при нагружении коническими роликами, расположенными в шахматном порядке, что позволило установить количество роликов, углы их поворота относительно плоскости диска и усилия нагружения для создания напряжений, соответствующих уровню динамического предела текучести, необходимого для осуществления процесса динамической стабилизации.

3. Результаты численных оценок и экспериментальных исследований характеристик циклограмм динамической стабилизации дисков маслоохлаждаемых тормозов на достижимую точность по отклонению от плоскостности, что позволило установить предельные значения их параметров на каждой стадии процесса динамической стабилизации для достижения максимального эффекта.

4. Результаты расчетно-аналитического исследования напряжений и деформаций в диске маслоохлаждаемого тормоза от воздействия верхних нагружающих и нижних приводных роликов, позволивших установить параметры установки для динамической стабилизации, обеспечивающие возможность вращения диска за счет использования сил трения.

5. Результаты исследования влияния операции динамической стабилизации и ее положения в процессе изготовления дисков на точность по отклонению от плоскостности рабочих поверхностей различных типоразмеров дисков и их эксплуатационные характеристики, что позволило определить необходимую кратность операции динамической стабилизации в процессе изготовления дисков и установить существенное повышение их точностных характеристик

Личный вклад соискателя в диссертационную работу заключается в постановке, разработке и решении задач: выбора комплексного конструкторского параметра - относительной ширины дисков; расчета напряженного состояния дисков и параметров нагружения для проектирования, изготовления и отладки универсальной установки с ЧПУ; проведения экспериментальных исследований процесса динамической стабилизации; разработки и внедрения технологических процессов изготовления дисков диаметром до 950 мм с достижением отклонения от плоскостности рабочих поверхностей дисков не более 0,3 мм.

Направление исследований было сформулировано научным руководителем д.т.н. В.Е.Антонюком. В разработке положений теплонагруженности и деформируемости маслоохлаждаемых тормозов, программного обеспечения расчетов напряженного состояния дисков, исследований с использованием МКЭ, проектировании и изготовлении установки для динамической стабилизации принимали участие сотрудники и специалисты Объединенного института машиностроения НАН Беларуси, Белорусского национального технического университета, Института механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси и ОАО «БелАЗ», что отражено в совместных публикациях и полученных патентах.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований по диссертационной работе были представлены на: VI международной научно-технической конференции «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин» (г. Новополоцк, 2007г.); VIII международной научно-технической конференции по динамике технологических систем (г. Ростов на Дону, 2007г.); второй международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (г. Москва, 2007г.); III Белорусском конгрессе по теоретической и прикладной механике «МЕХАНИКА -2007» (г. Минск, 2007 г.); VII международной научно-технической конференции «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин» (г. Новополоцк, 2009г.); III международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (г. Москва, 2009г.); Международной научно-технической конференции «Металлообработка: Оборудование – инструмент - качество» (г. Минск, 2009г.).

Опубликованность результатов диссертации. По материалам диссертации опубликовано 21 научная работа, в том числе 9 статей в рецензируемых научных журналах, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь; две статьи в зарубежных научных журналах, 8 статей в сборниках научных трудов и материалов конференций, получено 2 патента Республики Беларусь и одно свидетельство на регистрацию компьютерной программы. Объем опубликованных работ в рецензируемых научных журналах составляет 5,68 авт. листа.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 125 страниц. Диссертация содержит 36 рисунков, 37 таблиц, библиографический список из 76 наименований, 12 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе «Функциональные требования по обеспечению работоспособности дисков многодисковых тормозных систем в режиме длительного нагружения» дан обзор особенностей конструкции, материалов и технологий изготовления дисков, используемых многодисковых маслоохлаждаемых тормозах. Многодисковые маслоохлаждаемые тормоза карьерных самосвалов работают в режиме длительного нагружения во время движения карьерного самосвала на спуске и при этом происходит выделение большого количества тепла. Для определения относительных размеров используется комплексный конструкторский параметр – относительная ширина, как отношение внутреннего диаметра диска к наружному d/D .

Проведенный анализ относительной ширины дисков показал, что в тормозных устройствах карьерных самосвалов семейства БелАЗ применяются относительно «широкие» диски с отношением d/D в пределах 0,65...0,74, что соответствует показателям таких известных фирм как Caterpillar и Komatsu. Это позволяет использовать меньшее количество тормозных дисков и уменьшить габариты всего тормозного узла.

Однако использование относительно «широких» дисков имеет и отрицательные стороны. Анализ выходов из строя многодисковых маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов БелАЗ в процессе эксплуатации выявил возникновение повышенных деформаций дисков в виде «тарельчатости». Опыт эксплуатации многодисковых маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов БелАЗ показал, что при использовании относительно «широких» дисков необходимо обеспечить высокую точность рабочих поверхностей по отклонению от плоскостности, для ММОТ карьерных самосвалов семейства БелАЗ эта точность составляет не более 0,3 мм при диаметре диска до 950 мм.

При изготовлении дисков по известным технологиям в значительной степени проявляется технологическая наследственность, возникают остаточные напряжения, приводящие к деформированию и снижению точности дисков. При использовании известных технологий невозможно стабильное достижение точности рабочих поверхностей не более 0,3 мм при диаметре диска до 950 мм.

Достижимая точность изготовления дисков по отклонению от плоскостности для относительно «узких» дисков с относительной шириной в пределах 0,72...0,88 при максимальном диаметре диска не более 500 мм и с использованием в качестве исходного материала холоднокатаного листа на специализированных фирмах как Miba и Hoerbiger составляет не более 0,5 мм.

Наиболее эффективным средством повышения точности изготовления дисков является использование динамической стабилизации, сущность которой заключается в кратковременном нагружении диска знакопеременными нагруз-

ками высоких уровней. Динамическая стабилизация была использована в 1981–1991 годы при изготовлении относительно «узких» дисков с отношением d/D в пределах 0,80...0,82 и с диаметрами до 420 мм, которые применяются в бортовых фрикционах гусеничных машин и работают в режимах кратковременного включения – выключения. Диски с диаметром до 950 мм начали использоваться на ОАО «БелАЗ» с 2000 года на машинах серий 7540 и 7547 в многодисковых маслоохлаждаемых тормозах задних колес вместо гидродинамических тормозов. Опыта по использованию динамической стабилизации применительно к дискам ММОТ диаметром до 950 мм на предприятиях СНГ не было. По условиям эксплуатации дисков работа ММОТ карьерного самосвала в режиме длительного нагружения на спуске в карьер существенно отличается от работы бортовых фрикционах гусеничных машин, работают в режимах кратковременного включения – выключения.

На основе проведенного анализа были сформулированы цель и основные задачи диссертационной работы, заключающиеся в выборе оптимального комплексного конструкторского параметра - относительной ширины тормозных дисков диаметром ММОТ карьерных самосвалов с учетом режима длительного нагружения и использования динамической стабилизации в технологическом процессе изготовления дисков с диаметрами до 950 мм и относительной шириной в пределах 0,65...0,74 с целью обеспечения отклонения от плоскостности рабочих поверхностей дисков в пределах 0,30 мм.

Во второй главе «Расчетно-аналитическое исследование относительной ширины дисков многодисковых маслоохлаждаемых тормозов» дано обоснование выбора комплексного конструкторского параметра дисков - относительной ширины - на основе сопоставления теплонагруженности и деформируемости дисков.

Теплонагруженность диска определяется работой сил трения, переходящей в тепло. Из равенства работы и количества выделяемого тепла повышение температуры равно

$$\Delta t = 0,0349 \cdot \frac{n \cdot T \cdot \mu_{дин} \cdot p \cdot D}{\rho \cdot h \cdot c_D} \cdot \frac{1 - k^3}{1 - k^2}, \quad (1)$$

где Δt – повышение температуры диска за время T , °С; T – время работы, с; $k = d/D$ – величина, характеризующую относительную ширину диска; ρ – плотность материала диска, кг/м³; h – толщина диска, м; D и d – наружный и внутренний диаметр диска, м; $\mu_{дин}$ – динамический коэффициент трения; p – удельное давление, Н/мм²; c_D – удельная теплоемкость диска, Дж/кг·°С.

Часть формулы (1) представим в виде $B_1 = 0,0349 \cdot \frac{n \cdot T \cdot f \cdot p \cdot D}{\rho \cdot h \cdot c}$ как постоянную величину, характеризующую режим нагружения и $\alpha = \frac{1 - k^3}{1 - k^2}$ как переменную величину, характеризующую относительные размеры диска.

Повышение температуры диска в зависимости от его относительной ширины равно

$$\Delta t = B_1 \cdot \frac{1 - k^3}{1 - k^2} = \alpha \cdot B_1 . \quad (2)$$

Деформация диска в виде прогиба по наружному диаметру при опоре на внутренний диаметр в виде «тарельчатости» определяется как

$$W = \frac{C_3 \cdot p \cdot \frac{\pi D^4}{16} [1 - k^2]}{E \cdot h^3} , \quad (3)$$

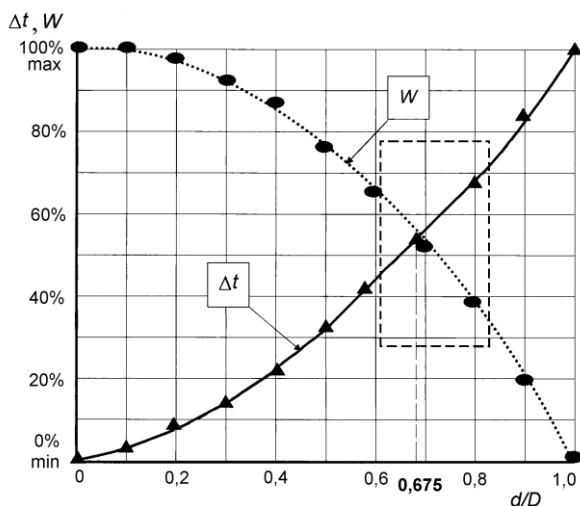
где W – прогиб диска, мм; C_3 – коэффициент, учитывающий условие закрепления диска; E – модуль упругости.

Приняв в формуле (3) значение $B_2 = \frac{p \cdot \pi \cdot D^4 \cdot C_3}{16E \cdot h^3}$, как постоянную величину, характеризующую уровень нагружения диска, и значение $\beta = (1 - k^2)$, как переменную величину, характеризующую относительную ширину диска, получим значение прогиба диска в зависимости от его относительной ширины

$$W = B_2 \cdot (1 - k^2) = \beta \cdot B_2 . \quad (4)$$

На рисунке 1 представлены результаты расчета влияния относительной ширины диска на изменения температуры и деформации. Для дисков с ростом отношения d/D увеличивается интенсивность роста температуры Δt , но одновременно уменьшается склонность к прогибу W . Для дисков с уменьшением отношения d/D уменьшается интенсивность роста температуры Δt , но одновременно увеличивается склонность к прогибу W . Оптимальное значение отношения d/D находится на пересечении значений Δt и W и равно 0,675.

Полученное оптимальное значение относительной ширины диска позволяет установить связь двух различных по назначению параметров диска – конструкторского, который оценивает способность диска создавать тормозной момент, и технологического, который оценивает склонность диска к деформированию в виде «тарельчатости».

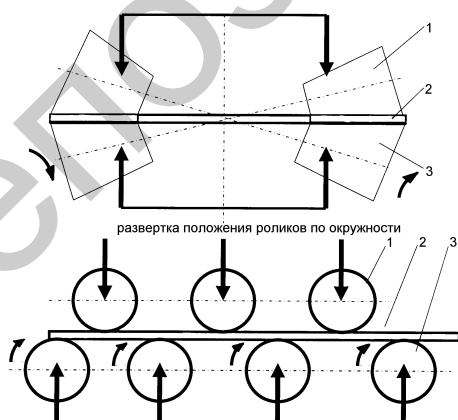


--- область используемых дисков в ММОТ карьерных самосвалов

Рисунок 1 – Влияние относительной ширины диска на интенсивность роста температуры Δt и склонность к прогибу W

Установленное оптимальное значение относительной ширины дисков $d/D = 0,675$ позволяет достичь для тормозных узлов с многодисковыми маслоохлаждаемыми тормозами минимальных габаритов и массы при максимальном тормозном моменте и рекомендуется для использования в ММОТ карьерных самосвалов. Тормозные диски с рекомендуемой относительной шириной $d/D = 0,675$ являются относительно «широкими» дисками и используются в ММОТ наиболее массовых моделях отечественных карьерных самосвалов БелАЗ 7528 и БелАЗ 7555В, а также в ММОТ карьерных самосвалов фирм Komatsu и Caterpillar.

Третья глава «Технологическое оборудование для динамической стабилизации дисков маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов» посвящена аналитическим исследованиям по выбору режимов нагружения и оборудования для динамической стабилизации дисков ММОТ. Принятая схема нагружения дисков при осуществлении динамической стабилизации дисков ММОТ приведена на рисунке 2.



1-верхние нагружающие ролики, 2- диск, 3-нижние приводные ролики

Рисунок 2 – Схема нагружения при динамической стабилизации

Для реализации этой схемы выполняются расчет мощности привода для вертикального перемещения верхних нагружающих роликов и расчет мощности приводов для вращения нижних приводных роликов.

Приближенно суммарное усилие для перемещения верхних нажимных роликов предложено определять как

$$\Sigma P = n \cdot \frac{48EJ}{l^3} \cdot \delta, \quad (5)$$

где ΣP – суммарное усилие, Н; J – момент инерции сечения диска, м⁴; l – расчетная длина и при n -роликовой схеме нагружения $l = \frac{\pi}{2n} \cdot (D + d)$, м; δ – прогиб диска при достижении расчетного напряжения, м; D – наружный диаметр диска, м; d – внутренний диаметр диска, м.

Расчет мощности приводов для осуществления вращения приводных роликов основан на расчете энергии, затрачиваемой на деформирование диска. Схема нагружения диска представлена на рисунке 3.

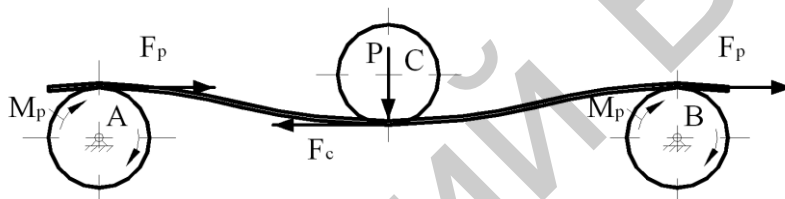


Рисунок 3 – Схема нагружения части диска между двумя приводными роликами

Усилие F_p , необходимое для проворачивания диска, и действующее между диском и приводным роликом, определим из условий равенства работы момента M_δ сумме потенциальной энергии деформации U участка бруса длиной и работы силы трения F_C

$$A_{M_p} = U + A_{F_C} = \frac{1}{384} \frac{P^2 \cdot l^3}{EJ} + f_C \cdot P \cdot l, \quad (6)$$

где A_{M_p} – работа момента M_p на участке AB , Нм; U – потенциальная энергия деформации диска на участке $AB=l$, Нм; $A_{F_C} = F_C \cdot l$ – работа сил трения F_C , Нм; $F_C = f_C P$ – сила трения, Н; P – нагружающая сила, Н; f_C – коэффициент трения между диском и роликом.

В результате получена зависимость для определения мощности двигателя, необходимая для вращения ролика

$$N_{дв} = \frac{N_p k_3}{\eta_{ред}} = \frac{0,105 \cdot M_p \cdot n_p \cdot k_3}{\eta_{ред}}, \quad (7)$$

где $N_{дв}$ – мощность приводного двигателя ролика, кВт; $M_p = F_p \cdot R_{дiэ}$ – момент на приводном ролике, кНм; n_p – частота вращения приводного ролика, мин⁻¹; $R_{рол}$ – радиус приводного ролика, м; $\eta_{ред}$ – КПД редуктора, k_3 – коэффициент запаса.

При нагружении дисков с относительной шириной d/D менее 0,8 для реализации динамической стабилизации расположенными в шахматном порядке верхними и нижними роликами необходимо учитывать возникающий поворот сечения диска при переходе от зоны контакта диска с верхним к зоне контакта с нижним роликами. Установлена зависимость для определения максимального угла поворота сечения диска, которая равна

$$\varphi_{max} = 0,6k_{\varphi} \frac{P \cdot r}{E \cdot h^3}, \quad (8)$$

где φ_{max} – угол поворота сечения диска при переходе от зоны контакта диска с верхним к зоне контакта с нижним роликами, рад; P – нагружающая сила на один ролик, Н; коэффициент $k_{\varphi} = \alpha - \sin \alpha + \frac{E \cdot J_x}{G \cdot J_k} (\alpha + \sin \alpha)$; $\alpha = \frac{2\pi}{n}$ – угол расположения между верхними роликами, рад; E – модуль упругости, МПа; G – модуль сдвига, МПа; J_x – момент инерции сечения кольца при изгибе, м⁴; J_k – момент инерции сечения кольца при кручении, м⁴; r – средний радиус диска, м; h – высота сечения кольца, м;

Величина угла поворота сечения дисков, используемых в ММОТ карьерных самосвалов семейства БелАЗ, находится в пределах 6° и учитывается при проектировании и наладке установки для динамической стабилизации.

Разработано программное обеспечение «ДИСКО» для выполнения всех стадий расчетов режима нагружения при динамической стабилизации дисков, которое позволяет выполнять расчет напряженного состояния диска, включающий расчет прогиба диска для достижения расчетного напряжения, определение максимальных напряжений изгиба и кручения, расчет «тарельчатости», выбор оптимального количества нагружающих роликов, расчет циклограмм динамической стабилизации и расчет мощности приводов.

С использованием предложенных методик рассчитаны основные технические параметры установки для динамической стабилизации дисков карьерных самосвалов БелАЗа. Определено оптимальное количество верхних нагружающих и нижних приводных роликов по 15 роликов в верхнем и нижнем рядах. Установлены производительность установки не менее 15 дисков/час, максимальное усилие при перемещении верхнего блока роликов 200 кН, скорость рабочего

хода перемещения верхнего блока роликов 50...60 мм/мин, мощность привода перемещения верхнего блока роликов 10 кВт, мощность привода каждого приводного ролика при частоте вращения 300 мин⁻¹ не менее 5,5 кВт и при частоте вращения 200 мин⁻¹ не менее 4 кВт. По результатам выполненных расчетов разработана конструкторская документация и изготовлена установка для динамической стабилизации дисков с диаметрами до 950 мм.

В конструкции установки использован ряд новых принципиальных решений: привод перемещения верхней траверсы осуществляется через шариковую передачу, привод вращения нижних роликов осуществляется индивидуально для каждого ролика от отдельного асинхронного электродвигателя через понижающий редуктор; применена оригинальная конструкция узла нижнего приводного ролика с регулируемым углом поворота оси ролика; согласование перемещения верхней траверсы и привода вращения нижних роликов осуществляется системой ЧПУ.

Анализ изменения величины и усилия деформирования диска от количества нагружающих роликов показал, что наблюдается закономерность снижения суммарного усилия и увеличение прогиба с уменьшением количества нагружающих роликов (рисунок 4).

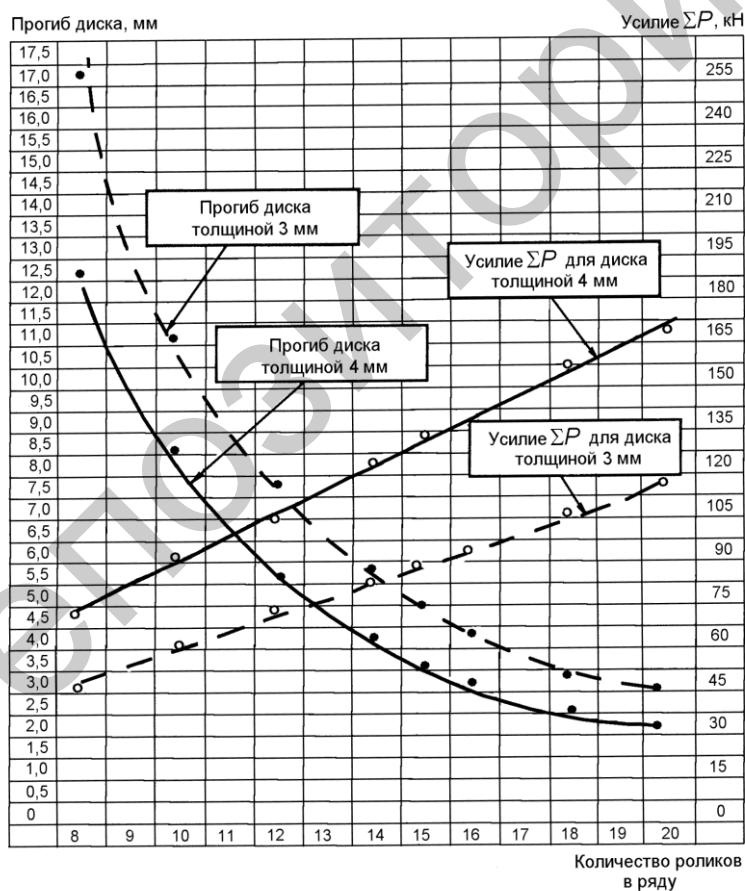


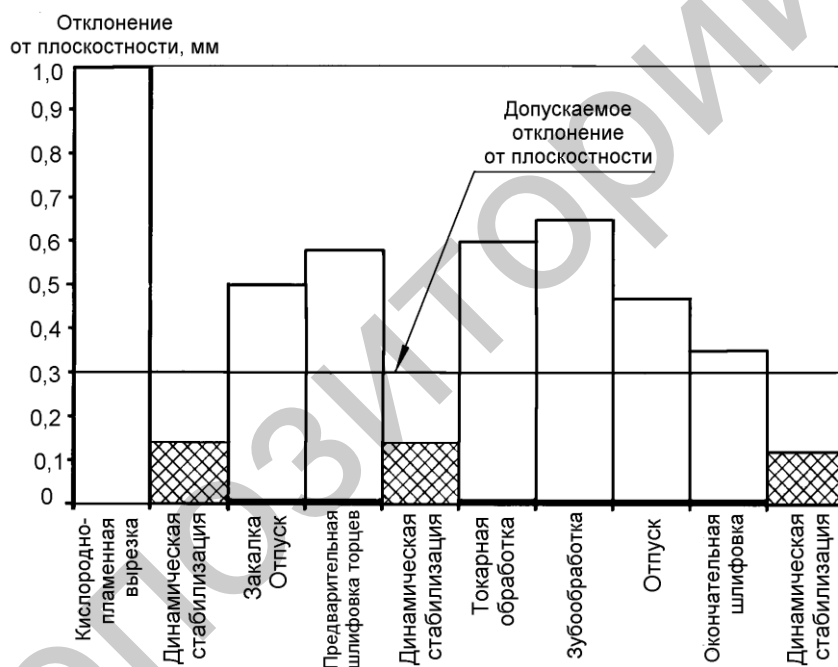
Рисунок 4 – Зависимости величины деформирования диска и усилия деформирования от количества нагружающих роликов

В четвертой главе «Исследование и внедрение динамической стабилизации для изготовления дисков маслоохлаждаемых тормозов» дана оценка технологии изготовления дисков без использования динамической стабилизации.

ции, выполнены расчеты циклограмм динамической стабилизации для всей номенклатуры дисков карьерных самосвалов БелАЗа и приведены результаты исследования процесса динамической стабилизации на дисках на разработанной установке в производственных условиях.

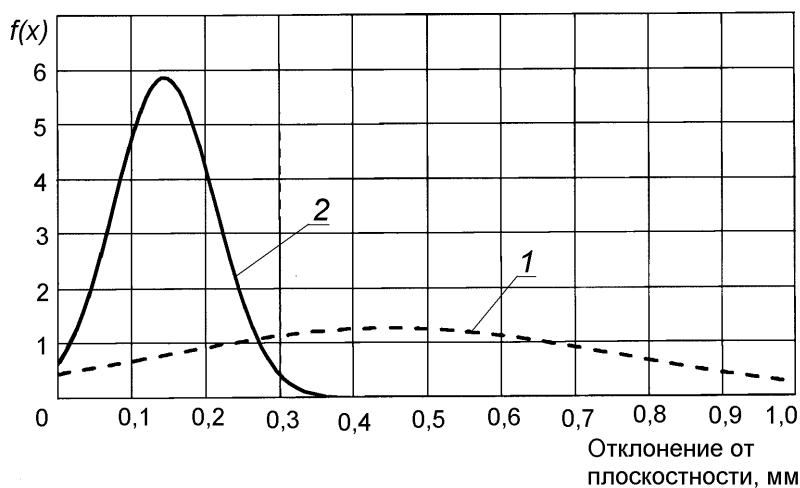
Анализ точности изготовления дисков производился на всех операциях изготовления дисков 7555В-3502554, с наружным диаметром трения 585 мм, используемых в карьерных самосвалах грузоподъемностью 46-65 т. Установлено, что наибольшие отклонения от плоскостности возникают после операций вырезки заготовки, предварительного шлифования и после окончательного шлифования и причиной повышенных отклонений дисков является технологическая наследственность.

Для достижения требуемой точности разработан новый технологический процесс изготовления дисков, отличающийся тем, что введена операция динамической стабилизации на трех стадиях технологического процесса, где возникают наибольшие отклонения от плоскостности – после вырезки заготовок из листа, после предварительного и окончательного шлифования (рисунок 5).



**Рисунок 5 –
Допускаемая
точность дисков
в технологическом
процессе изготовления
с использованием
динамической
стабилизации**

Статистическое исследование операционной точности дисков при использовании динамической стабилизации показало, что после динамической стабилизации достигается повышение точности дисков по отклонению от плоскостности по центру рассеивания X_0 от 2,1 до 3,1 раза, по среднему квадратическому отклонению σ от 2,7 до 4,6 раза (рисунок 6).



1 – до стабилизации,
2 – после стабилизации
**Рисунок 6 – Повышение
точности дисков
с использованием
динамической
стабилизации**

Оценка уровня остаточных напряжений путем оценки деформируемости дисков через определенный промежуток времени показала, что для дисков, изготовленных по технологии с использованием динамической стабилизации, после 2-х месяцев отклонения от плоскостности остались неизменными.

Для проверки влияния динамической стабилизации на показатели работоспособности ММОТ использовался инерционный тормозной стенд и программа исследований режимов торможения, имитирующая условия торможения карьерного самосвала со скоростью движения $V = 8,6$ км/час, $V = 17,4$ км/час и $V = 26$ км/час. Давление на диски было $p = 0,855$ Н/мм² и $p = 1,287$ Н/мм², длительность торможения составляла 30 с для всех режимов испытаний. По полученным результатам измерения момента и давления были рассчитаны значения динамического коэффициента трения $\mu_{дин}$. По результатам испытаний полученные значения коэффициента динамического трения для дисков после динамической стабилизации составили 0,134...0,139 и приближаются к максимальному значению этого коэффициента, установленному фирмой Miba. Можно сделать вывод, что полученные результаты стендовых исследований подтвердили положительное влияния динамической стабилизации на коэффициент динамического трения.

Повышение точности дисков на промежуточных операциях за счет использования динамической стабилизации позволило применить в качестве заготовки лист толщиной 4 мм вместо 5 мм, в результате припуск на предварительной шлифовке снизился с 0,75 до 0,30 мм, на окончательной шлифовке - с 0,25 до 0,20 мм, что помимо экономии материала и трудоемкости на шлифовании привело к снижению остаточных напряжений.

В приложениях представлены акты внедрения, расчет экономического эффекта, описание программного обеспечения «ДИСКО» и технологические процессы изготовления дисков с использованием динамической стабилизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате расчетно-аналитического исследования нагруженности и деформируемости дисков многодисковых маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов с диаметрами до 950 мм, работающих в режиме длительного торможения при движении на спуске, установлено, что оптимальное значение относительной ширины дисков составляет 0,675 и при использовании которого достигаются минимальные габариты и масса тормозного устройства при создаваемом максимальном тормозном моменте, для таких дисков обеспечивается возможность применения динамической стабилизации при их изготовлении [6, 8, 10, 16].

2. На основании расчетно-аналитического исследования возможности создания напряженного состояния диска с наружными диаметрами до 950 мм, внутренними от 300 мм, и с относительной шириной d/D в пределах 0,65...0,74 при нагружении его расположенными в шахматном порядке коническим роликами установлено, что для создания в диске напряжений на уровне динамического предела текучести, равномерно распределенных по радиальному сечению диска и обеспечивающих осуществление динамической стабилизации, необходимое усилие нагружения верхнего блока роликов находится в пределах 180...200 кН при числе роликов 15, и для повышения равномерности контакта между диском и коническими роликами используется поворот оси ролика относительно первоначального положения в пределах до 6° [3, 4, 7, 21].

3. В результате аналитических и экспериментальных исследований характеристик циклограмм динамической стабилизации на достигаемую точность по отклонению от плоскостности дисков из стали 65Г с диаметрами до 950 мм и относительной шириной в пределах 0,65...0,74 установлено, что максимальный эффект от использования динамической стабилизации для таких дисков достигается при использовании циклограммы, состоящей из трех участков при суммарном числе циклов нагружения 650...800: на первом участке циклограммы интенсивность роста напряжений до уровня $0,95\sigma_T$ динамического предела текучести достигается за 120...150 циклов; на втором участке циклограммы поддерживается уровень напряжений $0,95\sigma_T$ динамического предела текучести на протяжении 180...200 циклов нагружения при неизменном прогибе диска; на третьем участке циклограммы уровень напряжений снижается от $0,95\sigma_T$ динамического предела текучести до нулевого за 350...450 циклов нагружения [4, 7, 17].

4. На основании расчетно-аналитических исследований взаимосвязи возникающих в диске напряжений от усилия нагружения и сил трения, которые создаются расположенными в шахматном порядке верхними нагружающими и нижними приводными коническими роликами, установлена возможность осу-

ществления вращения диска за счет использования сил трения и определено, что для дисков с наружными диаметрами до 950 мм, внутренними от 300 мм, толщиной диска до 5 мм и относительной шириной в пределах 0,65...0,74 для осуществления динамической стабилизации число роликов в каждом ряду составляет 15, частота вращения нижних приводных роликов установлена в пределах 200...300 мин⁻¹ при частоте вращения диска в пределах 40...60 мин⁻¹ [2, 5].

5. В результате экспериментальных исследований влияния стадийности выполнения операции динамической стабилизации на параметры точности различных типоразмеров дисков установлено, что для дисков диаметром до 950 мм и толщиной от 3-х до 4-х мм с относительной шириной в пределах 0,65...0,74, используемых в маслоохлаждаемых тормозах карьерных самосвалов семейства БелАЗ, для достижения максимального уровня окончательной точности по отклонению от плоскостности рабочих поверхностей в пределах 0,25...0,3 мм должно выполняться условие 3-х кратной динамической стабилизации после операций вырезки заготовки, предварительного шлифования и финишной обработки [12, 13, 14].

6. В результате исследования влияния динамической стабилизации на точность по отклонению от плоскостности рабочих поверхностей установлено, что введение динамической стабилизации позволяет повысить точностные характеристики дисков по центру рассеивания X_0 от 2,1 до 3,1 раза, по среднему квадратическому отклонению σ от 2,6 до 4,5 раза. Установлено повышение коэффициента динамического трения в 1,06...1,12 раза для дисков, изготовленных с использованием динамической стабилизации, что создает более благоприятный температурный режим работы ММОТ [9,12, 13, 14].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. По результатам расчетно-аналитических исследований разработаны структурная схема и кинематические связи технологической установки для динамической стабилизации дисков с наружными диаметрами до 950 мм, на которой нагружение диска выполняется расположенными в шахматном порядке радиальными верхними и нижними коническими роликами, при этом вращение диска осуществляется за счет сил трения, что позволяет использовать установку для динамической стабилизации дисков на различных стадиях их изготовления. Установлены технические параметры установки: производительность не менее 15 дисков/час, максимальное усилие при перемещении верхнего блока роликов 200 кН, скорость рабочего хода перемещения верхнего блока роликов 50...60 мм/мин, мощность привода перемещения верхнего блока роликов 10 кВт, мощность привода каждого приводного ролика при частоте вращения 300 мин⁻¹ не менее 5,5 кВт. Определены технические параметры системы ЧПУ для осуществ-

ления циклограмм нагружения, состоящих из трех или четырех участков при суммарном числе циклов нагружения от 500 до 1200 с достижением уровня напряжений до $1,0 \sigma_T$ динамического предела текучести с возможностью изменения числа циклов нагружения на каждом участке от 0 до 1200. Структурная схема, кинематические связи и система ЧПУ технологической установки для динамической стабилизации дисков с наружными диаметрами до 950 мм могут быть использованы для разработки аналогичных установок для динамической стабилизации нежестких деталей типа дисков, колец, торсионов. Конструкция установки для динамической стабилизации дисков защищена двумя патентами Республики Беларусь [19, 20].

2. На основании результатов расчетно-аналитических исследований напряжений, деформаций и циклограмм динамической стабилизации дисков разработано методическое и программное обеспечение «ДИСКО» для уточнения режимов нагружения и характеристик циклограмм в зависимости от геометрических параметров и прочностных характеристик материала диска. Методическое и программное обеспечение «ДИСКО» для уточнения режимов нагружения и характеристик циклограмм в зависимости от геометрических параметров и прочностных характеристик материала может быть использовано для разработки характеристик циклограмм различных типов деталей нежесткой конструкции [21].

3. По результатам выполненных исследований динамическая стабилизация внедрена в технологическом процессе изготовления наиболее массовых дисков 75570-3502554, 75570-3502595, 7555В-3502554-10 и 7555В-3502595-10 карьерных самосвалов с грузоподъемностью до 90 тонн, позволившая обеспечить стабильное достижение требуемой точности в пределах 0,3 мм. Достигнутая точность превышает точность изготовления дисков на таких зарубежных специализированных фирмах, как Miba и Hoerbiger в 1,35 раза.

От использования динамической стабилизации при изготовлении этих дисков в производственных условиях на ОАО «БелАЗ» определен экономический эффект за счет сокращения расхода материала, трудоемкости и энергозатрат в размере 920 млн. рублей РБ.

4. Разработанные методы и средства использования динамической стабилизации для дисков ММОТ карьерных самосвалов могут быть использованы при изготовлении нежестких деталей типа дисков, колец, торсионов [1, 11, 15, 18].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Антонюк, В.Е. Технологическая классификация принципов динамической стабилизации параметров деталей / В.Е. Антонюк, Э.М. Дечко, В.В. Рудый // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В. Прикладные науки. – 2006. – №12. – С.12–18.

2. Расчет мощности привода для осуществления процесса динамической стабилизации фрикционных дисков / В.Е. Антонюк, А.М. Гоман, В.В. Рудый, В.С. Александрова // Материалы, технологии, инструменты. – 2007. – Т.12. – № 4. – С. 5–9.

3. Особенности технологии и оборудования для динамической стабилизации фрикционных дисков многодисковых маслоохлаждаемых тормозов / В.Е. Антонюк, С.С. Довнар, В.В. Рудый, В.И. Туромша // Механика машин, механизмов и материалов. – 2008. – №4(5). – С.72–76.

4. Программный расчет режима нагружения динамической стабилизации фрикционных дисков / В.Е. Антонюк, Э.М. Дечко, В.В. Рудый, А.С. Скороходов // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2009. – №2. – С.86–92.

5. Выбор рациональных параметров установок для динамической стабилизации фрикционных дисков / В.Е. Антонюк, А.М. Гоман, В.В. Рудый, В.С. Александрова // Вестні нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.– тэхн. навук. – 2009. – №4. – С. 27–31.

6. Оценка энергоемкости и теплонагруженности многодискового маслоохлаждаемого тормоза / В.Е. Антонюк, А.М. Гоман, М.М. Заболоцкий, В.В. Рудый // Трение и износ. – 2009. – Т.30. – №5. – С. 456–465.

7. Антонюк, В.Е. Методические основы программного расчета режима нагружения динамической стабилизации фрикционных дисков / В.Е. Антонюк, А.С. Скороходов, В.В. Рудый // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – №2. – С.20–27.

8. Тепловой режим работы многодискового маслоохлаждаемого тормоза / В.П. Сергиенко, М.Ю. Целуев, А.В. Купреев, В.Е. Антонюк, М.М. Заболоцкий, В.В. Рудый // Механика машин, механизмов и материалов. – 2009. – №4(9). – С.39–46.

9. Рудый, В.В. Работоспособность фрикционных тормозных дисков карьерных самосвалов семейства БелАЗ / В.В. Рудый, В.Е. Антонюк, Э.М. Дечко // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2010. – №2. – С.81–86.

Статьи в международных научных журналах

10. Assessment of the Power Capacity and Heat Loading of a Multidisk Oil-Cooled Brake Journal of Friction and Wear / V.E. Antonyk, A.M. Goman, M.M. Zabolotskii, V.V. Rudyi. –2009. – Vol.30, N5. – P.329–336.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

11. Антонюк, В.Е. Технологическая классификация принципов динамической стабилизации параметров деталей / В.Е. Антонюк, Э.М Дечко, В.В. Рудый // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: сб. науч. тр. VI междуна. науч.-технич. конф., Новополоцк, 24-26 апр.2007г.: в 3т./ Полоц. гос. ун-т; под общ. ред. П.А. Витязя, С. А. Астапчика. – Новополоцк: ПГУ, 2007.–Т.3. – С. 234–243.

12. Антонюк, В.Е. Использование динамической стабилизации в технологическом процессе изготовления фрикционных дисков / В. Е. Антонюк, В. В. Рудый // VIII междуна. науч.-технич. конф. по динамике технологических систем: сб. тр., Ростов-на-Дону, 10-12 октября 2007 г. – Ростов-на-Дону, 2007.– С.37–39.

13. Антонюк, В.Е. Возможности динамической стабилизации при изготовлении фрикционных дисков / В.Е. Антонюк, В. В.Рудый // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: сб. матер. Второй междуна. конф., Москва, 8-11 октября 2007.; под ред. акад. О.А.Баннх. – М.: Интерконтакт Наука, 2007. – Т. 1. – С. 195–197.

14. Антонюк, В.Е. Разработка технологии и оборудования для динамической стабилизации фрикционных дисков карьерных самосвалов / В.Е. Антонюк, В. В.Рудый // МЕХАНИКА -2007: сб. науч.тр. III Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике, Минск, 16-18 октября 2007г. / ОИМ НАН Беларуси.– Минск, 2007. – С.270–274.

15. Антонюк, В.Е. Проблемы правки и повышения долговечности коленчатых валов / В.Е. Антонюк, Э.М Дечко, В.В. Рудый // Материалы, технология и оборудование в производстве, ремонте и модернизации машин: сб. науч. тр. VII междуна. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29-30 апр. 2009г.: в 3т. / Полоцкий гос. ун-т; под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. – Новополоцк: ПГУ, 2009. – Т.2. – С. 211–214.

16. Антонюк, В.Е. Влияние относительной ширины фрикционных дисков на их эксплуатационные показатели / В.Е. Антонюк, А.М. Гоман, В.В. Рудый // Материалы, технология и оборудование в производстве, ремонте и модернизации машин: сб. науч.тр. VII междуна. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29-30 апр. 2009г.: в 3т. / Полоцкий гос. ун-т; под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика.– Новополоцк: ПГУ, 2009.–Т.2–С.133–136.

17. Рудый, В.В. Программный расчет управления шириной петли гистерезиса при динамической стабилизации фрикционных дисков / В.В. Рудый, В.Е. Антонюк // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: сб. матер. Третьей междунар. конф., Москва, 12-15 окт. 2009г.; под ред. акад. О.А.Банних. – М.:Интерконтакт, Наука, 2009. – Т. 2. – С. 379.

18. Антонюк, В.Е. Области применения динамической стабилизации параметров деталей / В.Е. Антонюк, Э.М. Дечко, В.В. Рудый // Металлообработка: оборудование–инструмент–качество: матер. междунар. науч.-технич. конф., Минск, 8-9 апреля 2009г. –Минск: Бизнесофсет, 2009. – С. 22–23.

Патенты

19. Устройство для правки колец: пат. 4014 Респ. Беларусь, МПК В 21В 1/00 / В.Е. Антонюк, О.В. Берестнев, Г.Я. Горячий, Ф.А. Домотенко, В.В. Рудый, А.А. Алексеенко, В.И. Зварыгин; заявитель РУПП «Белорусский автомобильный завод». – №20070306; заявл. 24.04.2007; опубл. 30.12.2007 // Афіцыйны бюл. Вынаходства. Карысныя мадэлі. Прамысл. узоры/ Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.– 2007.– №6.– С. 185-186.

20. Устройство для правки колец: пат. 5618 Респ. Беларусь, МПК В 21В 1/00 / В.Е. Антонюк, Ф.А. Домотенко, В.В. Рудый, А.А. Алексеенко, В.И. Зварыгин; заявитель РУПП «Белорусский автомобильный завод». – №20090228; заявл. 20.03.2009; опубл. 30.10.2009 // Афіцыйны бюл. Вынаходства. Карысныя мадэлі. Прамысл. узоры/ Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.– 2009.– №5.– С. 162.

Компьютерные программы

21. Программа расчета напряженного состояния фрикционного диска Диск: свид. о регистрации №203, Республика Беларусь / В.Е.Антонюк, В.В.Рудый, А.С.Скорородов, В.С.Александрова; ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси».– заяв. С20100077 от 05.07.2010; дата регистр. 28.07.2010 // Национальный центр интеллектуальной собственности Республики Беларусь.– 2010.

РЭЗІЮМЭ

РУДЫ Віктар Віктаравіч

Разлікова-эксперыментальнае абгрунтаванне параметраў дыскаў маслаахлаждаемых тармазоў кар'ерных самазвалаў і абсталявання для іх дынамічнай стабілізацыі

Ключавыя словы: дыск, шматдыскавы маслаахлаждваемы тормаз, кар'ерны самасвал, адхіленне ад плоскаснасці, дынамічная стабілізацыя.

Аб'ект даследавання: дыскі шматдыскавых маслаахлаждваемых тармазоў кар'ерных самазвалаў.

Мэта работы: навуковае абаснаванне выкарыстання дынамічнай стабілізацыі дыскаў шматдыскавых маслаахлаждаемых тармазоў кар'ерных самазвалаў з танажом ад 30 да 90 тон.

Метады даследавання: палажэнні тэорыі упругапластычных дэфармацый, статыстычныя метады апрацоўкі эксперыментальных даных, стэндавыя даследаванні.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: ўсталяваны параметры аптымальнай шырыні дыскаў d/D , распрацавана методыка разлікаў напружаннага стану дыскаў і сілавых параметраў устаноў для рэалізацыі метада дынамічнай стабілізацыі дыскаў з дыяметрамі да 950 мм і праграмае забяспячэнне для здзяйснення гэтых разлікаў, створана канструкцыя ўніверсальнай ўстаноўкі для дынамічнай стабілізацыі дыскаў адрозненых тыпарамераў.

Ступень выкарыстання: распрацаваная методыка і абсталяванне для вырабу дыскаў з дыяметрамі да 950 мм ўкаранены на прадпрыемстве «БелАЗ» з забяспечваннем патрабаванай ступені дакладнасці дыскаў по адхіленню ад плоскаснасці рабочых паверхняў ў мяжы 0,3 мм.

Вобласть прымянення: машынабудаванне, павелічэння дакладнасці вырабу і даўгавечнасці дэталей няжорсткай канструкцыі.

РЕЗЮМЕ

РУДЫЙ Виктор Викторович

Расчетно-экспериментальное обоснование параметров дисков маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов и оборудования для их динамической стабилизации

Ключевые слова: диск, многодисковый маслоохлаждаемый тормоз, карьерный самосвал, отклонение от плоскостности, динамическая стабилизация.

Объект исследования: диски многодисковых маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов.

Цель работы: научное обоснование использования динамической стабилизации дисков многодисковых маслоохлаждаемых тормозов карьерных самосвалов с грузоподъемностью от 30 до 90 тонн.

Методы исследования: положения теории упругопластических деформаций, метод конечных элементов, статистические методы обработки экспериментальных данных, стендовые испытания.

Полученные результаты и их новизна: установлены параметры оптимальной относительной ширины дисков d/D , разработана методика расчетов напряженного состояния дисков и силовых параметров установок для реализации метода динамической стабилизации дисков с диаметрами до 950 мм и программное обеспечение для выполнения этих расчетов, создана конструкция универсальной установки для динамической стабилизации дисков различных типоразмеров.

Степень использования: разработанная методика и оборудование для изготовления дисков с диаметрами до 950 мм внедрены на предприятии «БелАЗ» с обеспечением требуемой точности дисков по отклонению от плоскостности рабочих поверхностей в пределах 0,3 мм.

Область применения: машиностроение, повышение точности изготовления и долговечности деталей нежесткой конструкции.

SUMMARY

RUDY Victor Victorovich

Experiment-calculated substantiation of the parameters of oil-cooled brakes's disks of quarry dump trucks and of the equipment for their dynamic stabilization

Key words: disk, multidisk oil-cooled brake, quarry dump truck, deviation from a flatness, dynamic stabilization.

Object of research: disks of multidisc oil-cooled brakes of quarry dump truck.

The purpose of work: scientific substantiation of the use of dynamic stabilization of multidisc oil-cooled brakes's disks of quarry dump trucks with tonnage from 30 to 90 tonnes.

Methods of research: principles of the theory of elastic deformations, finite element method, statistical methods of experimental data processing, bench tests.

The received results and scientific novelty: optimal relative width parameters of disks d/D are determined, the design procedure of stressed condition of the disks and strenuous parameters of devices for realization of dynamic stabilization method of disks with diameters less than 950 mm and software for executing these calculations are developed, the design of universal device for dynamic stabilization of disks of various sizes is created.

Degree of use: the developed method and equipment for the manufacturing of disks with diameters less than 950 mm are implemented at enterprise "BelAZ", required accuracy of disks in deviation from a plain working place within 0.3 mm is provided.

Area of application: machine building, accuracy improvement of manufacturing and durability of non-rigid structure details.

Научное издание

РУДЫЙ Виктор Викторович

**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВ МАСЛООХЛАЖДАЕМЫХ
ТОРМОЗОВ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ И
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИХ ДИНАМИЧЕСКОЙ
СТАБИЛИЗАЦИИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности

05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин

Подписано в печать

Формат . Бумага

Отпечатано на . Гарнитура .

Усл.печ.л. Уч.-изд.л.

Тираж . Зак. № .

Издатель и полиграфическое исполнение:

Лицензия

Адрес