

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УДК 621.83.065.1

КАПИТОНОВ АЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ

**НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ РОЛИКОВЫХ
ПЕРЕДАЧ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПУТИ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

05.02.08 - Технология машиностроения

05.02.11 - Методы контроля и диагностика в машиностроении

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Могилев 2002



Работа выполнена в Могилевском государственном техническом университете

Научные
руководители

доктор технических наук, профессор
Пашкевич Михаил Федорович (Могилевский
государственный технический университет, кафедра
“Технология машиностроения”)

кандидат технических наук, доцент
Жолобов Александр Алексеевич (Могилевский
государственный технический университет, кафедра
“Технология машиностроения”)

Официальные
оппоненты

доктор технических наук, профессор,
Лауреат Государственной премии и премии Совета
Министров Республики Беларусь
Мрочек Жорж Адамович (Белорусский национальный
технический университет, кафедра “Технология
машиностроения”)

кандидат технических наук, доцент
Сергеев Сергей Сергеевич (Могилевский
государственный технический университет, кафедра
“Физические методы контроля”)

Оппонирующая
организация

Унитарное предприятие “Конструкторско-
технологический институт средств механизации и
автоматизации” БГУ

Защита диссертации состоится 27 июня 2002 года в 14⁰⁰ часов на заседании
совета по защите диссертаций К 02.18.01 при Могилевском государственном
техническом университете по адресу: 212005, г. Могилев, пр.Мира, 43, корп.1,
ауд.323.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Могилевского
государственного технического университета

Автореферат разослан 23 мая 2002г.

Телефон ученого секретаря 8-0222 22-52-12.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
доктор физико-математических наук, доцент

И. Борисов



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Современная промышленность нуждается в малогабаритных механических приводах, имеющих большие передаточные отношения. Однако приводы, построенные на основе зубчатых передач, во многих случаях не могут отвечать требованиям обеспечения низких массогабаритных показателей, приемлемой стоимости и невысокой трудоемкости изготовления. В связи с этим в настоящее время наметилась тенденция использования в приводах общего машиностроения малогабаритных передач, например, таких как планетарные роликовые передачи.

Наряду с достаточно широкими исследованиями геометрии, кинематики и эксплуатационных характеристик планетарных роликовых передач, их точность еще мало изучена, что не позволяет их изготавливать с заданной точностью, и является одной из причин их ограниченного применения.

Для планетарных роликовых передач, в отличие от зубчатых, не разработана система нормирования точности, не установлены показатели точности, не установлены допуски на детали зацепления, отсутствуют рекомендации их изготовлению и контролю.

В соответствии с изложенным тема диссертации, посвященная нормированию и обеспечению точности планетарных роликовых передач, является актуальной.

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Диссертационная работа выполнялась в рамках задания по Республиканской межвузовской программе фундаментальных исследований “Метрология и обеспечение качества” на 1999 - 2002 г.г. по теме “Исследование динамических характеристик механических передач, разработка методов оценки их качества и создание новых средств для сертификационных испытаний” (№ ГР 19991013).

Цель и задачи исследования. Целью данной работы является разработка системы нормирования и технологического обеспечения точности планетарных роликовых передач и средств их контроля.

Достижение данной цели предопределяет решение следующих задач.

1. Выбор методики исследования и нормирования точности планетарных роликовых передач.
2. Разработка математических моделей кинематических погрешностей передачи, учитывающих погрешности изготовления ее деталей. Установление связей элементарных погрешностей деталей зацепления с составляющими амплитудно-частотного спектра кинематической погрешности передачи.
3. Разработка средств контроля и методик оценки кинематических



погрешностей планетарных роликовых передач в сборе и погрешностей деталей зацепления.

4. Экспериментальная оценка кинематических погрешностей планетарных роликовых передач и погрешностей изготовления деталей зацепления с использованием разработанных средств контроля.

5. Нормирование точности планетарных роликовых передач на основе теоретических и экспериментальных исследований их погрешностей, выбора базовой степени точности и установления допусков по базовой степени точности.

6. Разработка методики расчета кинематической погрешности планетарной роликовой передачи.

7. Разработка комплексов контроля по степеням точности для передачи и ее деталей.

8. Установление соотношений между показателями точности планетарных роликовых и зубчатых передач.

9. Разработка технических требований по точности деталей зацепления для базовой степени.

10. Оценка точности обработки основных деталей зацепления и разработка технологических маршрутов их изготовления для обеспечения точности передачи, установленной при нормировании.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются планетарные роликовые передачи. Предметом исследования являются погрешности изготовления деталей планетарных роликовых передач, оценка их влияния на кинематическую погрешность, нормирование и обеспечение заданной точности роликовых передач, а также средств* контроля деталей зацепления и передач в сборе.

Методология и методы проведенного исследования. Методология работы основана на применении компьютерной техники и связана с комплексной автоматизацией экспериментального исследования кинематических погрешностей на основе создания и использования новых средств автоматического контроля и методов компьютерного моделирования кинематических погрешностей.

При проведении исследований использовались методы математического моделирования кинематических погрешностей на ЭВМ, метод гармонического анализа математических моделей и экспериментальных данных на основе разложения функции кинематической погрешности в ряд Фурье.

Разработаны и использованы методики оценки кинематических погрешностей планетарных роликовых передач в сборе при статических условиях их работы и под нагрузкой.

Разработана и использована при проведении исследований методика расчета кинематической погрешности планетарной роликовой передачи на основе моделирования и спектрального анализа погрешно-

стей деталей зацепления.

При определении адекватности экспериментальных и теоретических результатов использовались методы корреляционного и регрессионного анализа.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

1. Предложена новая методика исследования и нормирования точности планетарных роликовых передач, основанная на математическом моделировании кинематических погрешностей с использованием современной вычислительной техники и новых средств экспериментального исследования.

2. Впервые разработаны математические модели кинематических погрешностей планетарных роликовых передач, устанавливающие связи элементарных погрешностей деталей зацепления с составляющими амплитудно-частотного спектра кинематической погрешности.

3. Разработаны новые средства контроля, позволяющие проводить экспериментальную оценку кинематических погрешностей планетарных роликовых передач в сборе с подшипниками, валами и корпусом, а также контроль деталей зацепления этих передач.

4. На основе экспериментальных исследований планетарных роликовых передач в сборе впервые получен широкий спектр гармонических составляющих кинематической погрешности, позволившей установить ее технологические источники и характер влияния элементарных погрешностей деталей передачи на гармонические составляющие с наибольшими амплитудами.

5. Впервые разработана система нормирования точности планетарных роликовых передач на основе теоретических и экспериментальных исследований их погрешностей, выбора базовой степени точности и установления допусков на погрешности основных деталей и передачи в сборе.

6. Впервые разработана методика расчета наибольшей кинематической погрешности планетарных роликовых передач на основе математического моделирования их элементарных погрешностей и результатов, полученных при нормировании точности.

7. Впервые установлены соотношения кинематической точности планетарных роликовых и зубчатых передач в зависимости от способа обработки их деталей, позволившие оценить уровень точности планетарных роликовых передач в сравнении с зубчатыми.

Практическая и экономическая значимость полученных результатов.

Проведенные исследования по нормированию и контролю 1 планетарных роликовых передач позволяют на стадии их проектирования и изготовления обеспечивать заданную точность. Результаты исследований приняты к использованию промышленными предприятиями РУП завод “Могилевтрансмаш” и РУП завод

“Могилевлифтмаш”, а также внедрены в учебный процесс МГТУ при чтении лекционного курса дисциплины “Нормирование точности и технические измерения”.

Разработанные средства измерения кинематических погрешностей передач в сборе и погрешностей деталей с многопериодными дорожками могут быть использованы на машиностроительных предприятиях. На три устройства для измерения кинематических погрешностей передач получены положительные решения о выдаче патентов Республики Беларусь на изобретения.

Проведенные исследования точности планетарных роликовых передач позволяют определить их место среди других типов механических передач и область их рационального использования. Эти передачи могут быть использованы в лебедках, крановых механизмах, редукторах и мотор-редукторах общего назначения и оцениваться по классификации зубчатых передач как передачи средней точности, точные и высокоточные.

Использование полученных в диссертации результатов при проектировании и изготовлении планетарных роликовых передач способствует повышению их технического уровня и технологичности, а также, снижению затрат на их изготовление.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Математические модели, позволяющие установить связи между погрешностями деталей зацепления и гармоническими составляющими кинематических погрешностей планетарной роликовой передачи и оценить влияние погрешностей деталей планетарной роликовой передачи на ее кинематическую погрешность.

2. Новые средства контроля, отличающиеся возможностью проводить оценку кинематических погрешностей планетарных роликовых передач в сборе, а также наиболее полную оценку погрешностей основных деталей зацепления.

3. Результаты экспериментальной оценки кинематических погрешностей планетарных роликовых передач и погрешностей изготовления деталей зацепления, позволяющие оценить уровень кинематической точности и плавности работы передачи в зависимости от погрешностей ее деталей и влияние этих погрешностей на амплитудночастотный спектр кинематической погрешности передачи.

4. Разработанная система нормирования точности планетарных роликовых передач, включающая показатели точности, систему допусков по базовой степени точности, коэффициенты для перехода к другим степеням точности, комплексы контроля для деталей зацепления и передачи в сборе, метод расчета кинематической погрешности роликовой передачи.

5. Разработанные технологические маршруты изготовления оригина-

нальных деталей зацепления, расчеты их точности обработки и технические требования по их изготовлению и контролю, обеспечивающие установленные допуски по базовой степени точности и позволяющие изготавливать планетарные роликовые передачи с заданной точностью.

Личный вклад соискателя. Автором диссертации разработаны основные вопросы, представленные в диссертации, и выполнена экспериментальная часть работы. В опубликованных работах с соавторами соискатель принимал участие в разработке основной идеи, проведении экспериментов и подготовке материалов к публикации. В госбюджетной НИР по теме диссертации соискатель принимал участие в теоретических и в экспериментальных исследованиях.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы представлены на научно-технических конференциях: “Современные направления развития производственных технологий и робототехники” (МГТУ, г.Могилев, 1999г.), “Современные технологии в ремонтно-обслуживающем и машиностроительном производстве АПК” (БАТУ, г.Минск, 1999г.); на международных научно-технических конференциях: “Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении” (КГТУ, г.Калининград, 2000г.), “Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения” (БГПА, г.Минск, 2000г.).

Опубликованность результатов. Материалы диссертации с достаточной полнотой изложены в 15 научных работах, в том числе, 3 положительных решениях о выдаче патентов на изобретения, 1 статье в сборнике, 1 заявке на изобретение, 5 депонированных статьях, 5 тезисах докладов на республиканских и международных научно-технических конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, состоящей из 5 глав, заключения, списка использованных источников из 115 наименований и 6 приложений. Полный объем диссертации 239 страниц. Диссертация содержит 108 страниц текста, 86 рисунков, 15 таблиц, объем приложений 45 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность рассматриваемой темы диссертации, представлена оценка состояния проблемы, показана ее значимость и пути ее решения.

В первой главе приводится обзор исследований точности нетрадиционных механических передач, обзор системы нормирования зубча-

тых передач, а также методов и средств контроля кинематических погрешностей передач и зубчатых колес.

В данной работе исследуется точность планетарных роликовых передач построенных по схемам представленным на рис. 1.

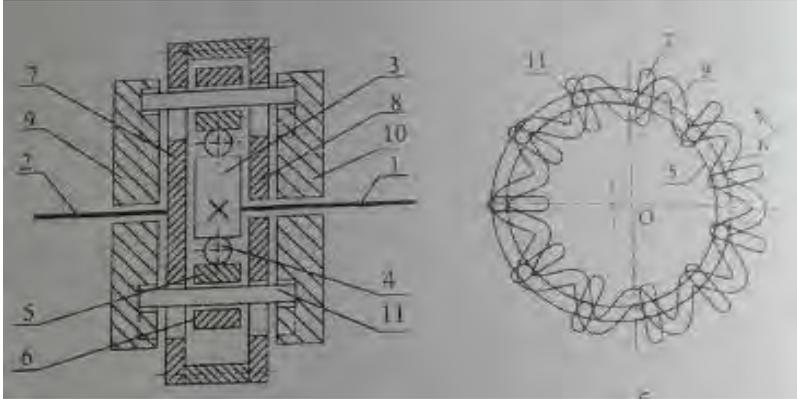


Рис.1. Схемы планетарной роликовой передачи: конструктивная (а) и зацепления(б)

Передача (рис.1) состоит из ведущего звена, содержащего ведущий вал 1 и жестко связанный с ним эксцентрик 3, подшипник 4 и кольца 5 и 6, ведомого звена, содержащего ведомый вал 2, водило, состоящее из двух, соединенных между собой дисков-сепараторов 7 и 8, каждый из которых имеет прорези, взаимодействующие с роликами и неподвижного звена, состоящего из двух симметрично расположенных дисков 9 и 10 с многопериодными дорожками. Диск-сепаратор 7 жестко соединен с выходным валом 2. Вращение от ведущего вала на водило, передается за счет движения роликов 11 вокруг оси редуктора, при котором ролики увлекают за собой водило.

В передаче многопериодная дорожка для роликов образована концевой фрезой, перемещающейся по периодической кривой, описываемой уравнением

$$\rho_z = \sqrt{R^2 - A^2 \sin^2 z_2 \varphi} + A \cos z_2 \varphi \quad (1)$$

где A - амплитуда периодической кривой;
 R - радиус средней окружности;
 Z_2 - число периодов.

Однопериодная дорожка представляет собой кольцевую щель для роликов, образованную кольцами 5 и 6. Ось этой дорожки описывается

уравнением смещенной окружности, соответствующим уравнению (1) при $Z_2=1$:

$$\rho_1 = \sqrt{R^2 - A^2 \sin^2 \varphi} + A \cos \varphi \quad (2)$$

В результате проведенного в данной главе анализа показано, что точность планетарных роликовых передач, а также нетрадиционных механических передач, схожих по своей кинематике с планетарными роликовыми, практически не изучена. Не исследованы вопросы формирования погрешностей деталей зацепления таких передач, не разработаны методы и средства их контроля, а также методы и средства контроля кинематических погрешностей таких передач в сборе.

В данной главе также проведен анализ существующих приборов для измерения кинематических погрешностей зубчатых колес, который показал, что эти приборы не позволяют оценить кинематические погрешности планетарных роликовых передач, так как не предназначены для контроля передач в сборе, который необходим для полной оценки кинематических погрешностей планетарных роликовых передач. Однако применяемые в этих приборах методы контроля кинематических погрешностей зубчатых колес могут быть использованы при разработке установок для контроля планетарных роликовых передач.

Во второй главе представлены теоретические исследования погрешностей передачи и ее деталей.

Для планетарных роликовых передач при исследовании их погрешностей принят подход, основанный на методиках исследования погрешностей зубчатых передач, который заключается в рассмотрении кинематических погрешностей передачи в их тесной связи с погрешностями изготовления ее деталей и проявлением этих погрешностей при работе передачи. При этом новым в диссертационной работе при исследовании погрешностей передачи явилось использование математического моделирования (с помощью ЭВМ и с использованием среды Microsoft Excel, Visual Basic и AutoCAD) и современной информационно-измерительной системы для экспериментальной оценки кинематических погрешностей передачи в сборе.

На рис.2 представлена схема для определения координат точек одно- и многопериодных кривых для идеальной передачи, используемая при моделировании кинематических погрешностей передачи.

Если точка М принадлежит однопериодной кривой, то ее координаты в прямоугольной системе координат OXY описываются соотношениями

$$x = p_1 \cos \varphi_1, \quad (3)$$

$$y = p_1 \sin \varphi_1. \quad (4)$$

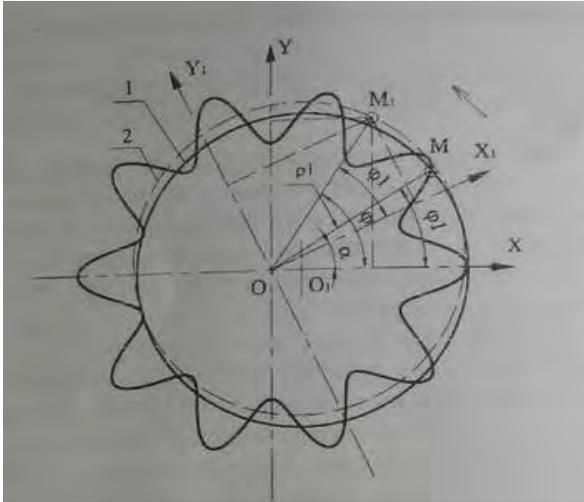


Рис.2. Схема для определения координат точки М при повороте
 1 - исходное положение однопериодной кривой;
 2 - положение однопериодной кривой после поворота на угол α .

Если повернуть систему координат OXY вместе с однопериодной кривой вокруг начала координат O на угол α в положение OX_1Y_1 , то точка M переместится в точку M_1 и в системе OXY будет иметь координаты, определяемые соотношениями

$$x_1 = \rho_1 \cos \varphi = \rho_1 \cos(\varphi_1 + \alpha), \quad (5)$$

$$y_1 = \rho_1 \sin \varphi = \rho_1 \sin(\varphi_1 + \alpha), \quad (6)$$

Приведенные соотношения позволяют имитировать работу идеальной роликовой передачи без погрешностей, т.е. являются ее математической моделью. Они позволяют определить углы поворота ведомого звена передачи при повороте на заданный угол ее ведущего звена.

Можно таким же образом получить математическую модель реальной передачи, учитывающую погрешности δ_1 радиуса R и δ_2 , эксцентриситета A . Тогда уравнения для эксцентричной окружности и соответствующей ей многопериодной кривой будут иметь следующий вид:

$$\rho_1 = \sqrt{(R + \delta_1)^2 - (A + \delta_2)^2 \sin^2 \varphi} + (A + \delta_2) \cos \varphi \quad (7)$$

$$\rho_1 = \sqrt{(R + \delta_1)^2 - (A + \delta_2)^2 \sin^2 z_2 \varphi} + (A + \delta_2) \cos z_2 \varphi \quad (8)$$

Поворачивая однопериодную кривую (7) относительно многопериодной кривой (8), с учетом погрешностей δ_1 и δ_2 , можно найти точки пересечения кривых. Определив координаты этих точек, можно получить зависимости, характеризующие степень влияния погрешностей радиуса и эксцентриситета периодических дорожек на точность углов поворота выходного вала и построить графики кинематических погрешностей и спектры амплитуд гармонических составляющих.

Такие же модели разработаны и для других элементарных погрешностей роликовой передачи: отклонения радиуса и амплитуды однопериодной и многопериодной кривой, отклонения ширины канавки, смещения осей ведущего и ведомого валов относительно средней окружности многопериодной кривой, погрешности профиля многопериодной дорожки, погрешности пазов дисков-сепараторов.

При исследовании элементарных погрешностей, использовался гармонический анализ, при котором функция кинематической погрешности представлялась в виде ряда Фурье.

$$F(\varphi) = a_0/2 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi \quad (9)$$

где $a_0/2$ - нулевой член разложения;

a_k, b_k - коэффициенты ряда Фурье

k - порядковый номер гармонической составляющей.

Результаты математического моделирования позволили установить влияние погрешностей деталей зацепления на кинематическую погрешность передачи. На основе этих моделей установлены связи между погрешностями деталей зацепления и гармоническими составляющими кинематической погрешности роликовой передачи, а также получены низко- и среднечастотные спектры амплитуд, подтвержденные экспериментально.

Проводилось также геометрическое моделирование (с помощью программы AutoCAD) влияния зазоров и погрешностей деталей зацепления на величину контакта и кинематическую погрешность передачи, в результате чего был получен высокочастотный спектр амплитуд, характеризующий погрешности, связанные с вхождением сателлитов в зацепление, который был подтвержден при экспериментальных исследованиях.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований погрешностей планетарных роликовых передач, и изложены методы оценки кинематической погрешности передачи в статике и при ее работе, а также результаты исследования погрешностей деталей зацепления.

Для экспериментальных исследований погрешностей планетарных роликовых передач были разработаны устройства для измерения кинематической точности передач в сборе, так как в настоящее время таких стандартных устройств не существует. На три из этих устройств получены

положительные решения о выдаче патентов на изобретения.

С использованием этих устройств проводилось измерение кинематической погрешности передачи. В результате были получены графики кинематических погрешностей при измерениях в статике и при работе передачи с различной нагрузкой на ведомом валу, а также при различной степени балансировки ведущего звена.

На рис.3 представлена разработанная нами специальная автоматизированная система, использовавшаяся для измерения кинематических погрешностей передачи в сборе.

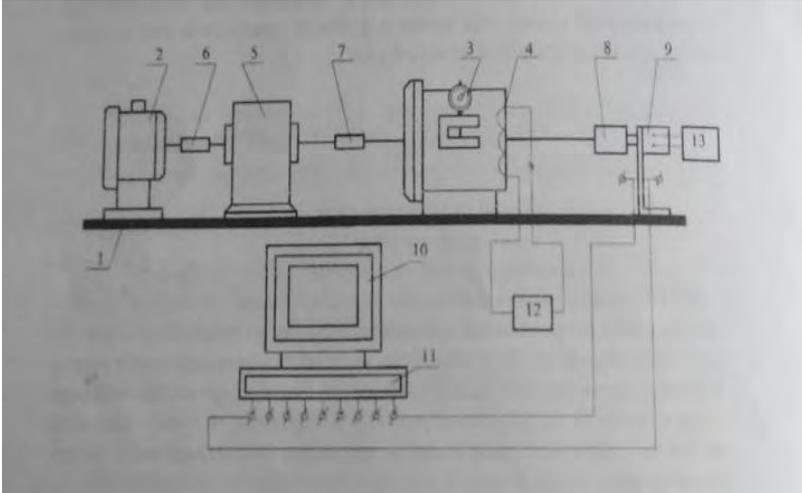


Рис.3. Схема информационно-измерительной системы

На общем основании 1 (рис.3) установлен приводной двигатель 2, электромагнитный тормоз 3 с обмоткой управления 4. Испытуемая передача 5 соединена муфтами 6,7 с двигателем и тормозом, а пружинной муфтой 8 - со стандартным преобразователем угловых перемещений 9 типа ВЕ 178А, снабженным оптическим формирователем импульсов с числом отсчетов за оборот $N=2500$. Информация от преобразователя обрабатывается информационно-измерительной системой 11, выполненной в виде платы расширения ПЭВМ 10. Питание преобразователя и тормоза осуществляется источниками 13 и 12. Наличие электромагнитного тормоза дает возможность исследовать изменение кинематической

погрешности передачи при различных нагрузках (постоянных, гармонических и случайных), моделирующих эксплуатационные условия.

На рис. 4 представлен график изменения кинематических погрешностей за один оборот ведомого вала планетарного роликового редуктора с передаточным отношением $u=14$ без нагрузки на выходном валу, а на рис. 5 представлен спектр амплитуд кинематической погрешности этого же редуктора для 400 гармоник.

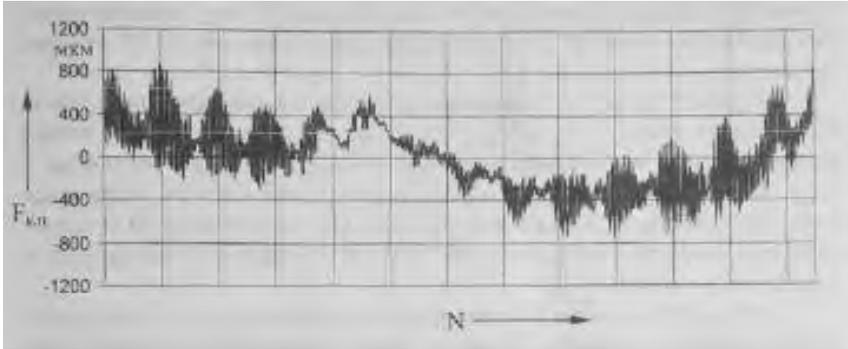


Рис. 4. График кинематической погрешности экспериментального роликового редуктора с $u=14$

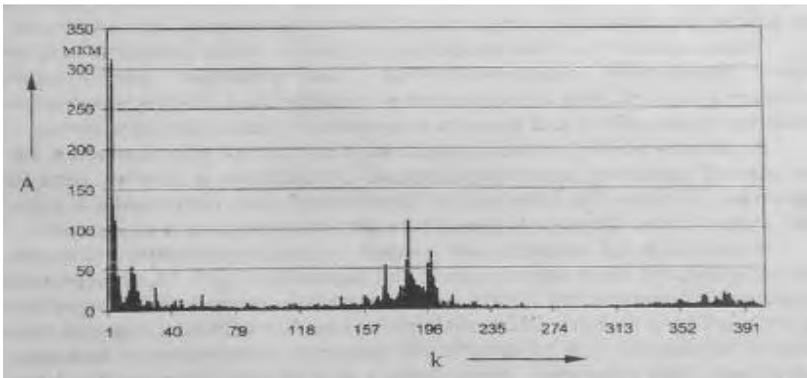


Рис. 5. Спектр амплитуд кинематической погрешности планетарного роликового редуктора

Спектр амплитуд позволяет оценить элементарные погрешности передачи. Гармоники с наибольшими амплитудами в спектре, полученном экспериментально, соответствуют наибольшим гармоникам в спектрах, полученных при моделировании. С помощью корреляционного и регрессионного анализа была доказана адекватность значений амплитуд

гармонических составляющих полученных моделированием и экспериментально.

В данной главе также проведено сравнение точности планетарных роликовых и зубчатых передач по *кинематической погрешности*. При этом на основе экспериментальных исследований опытных образцов планетарных роликовых редукторов установлено, что кинематическая погрешность планетарных роликовых передач, без шлифования многопериодных дорожек соответствует кинематической погрешности зубчатых передач (с теми же передаточными отношениями) 8... 11 степени точности.

В данной главе также установлено влияние приработки передачи на ее кинематическую точность. Показано, что максимальная величина кинематической погрешности приработанной роликовой передачи в 1,2...1,4 раза меньше, чем неприработанной. Таким образом, было доказано, что приработку можно использовать как окончательную технологическую операцию, которая может повысить точность роликовой передачи на одну степень.

Установлено также влияние передаваемой нагрузки на кинематическую точность передачи. Показано, что кинематическая погрешность планетарных роликовых передач как после приработки, так и без таковой с увеличением нагрузки имеет тенденцию к уменьшению, причем при работе передачи это уменьшение более существенно, чем в статике.

Установлено, что балансировка ведущего звена передачи значительно уменьшает высокочастотные составляющие амплитудночастотного спектра (для исследованных передач на 8...10) и ведет к повышению кинематической точности передачи и плавности ее работы.

В данной главе также приведены результаты исследования погрешностей дисков с многопериодными дорожками и других деталей зацепления, а также их влияние на кинематическую погрешность передачи. Разработаны методы и средства контроля передачи и ее деталей.

На рис.3.а и 3,б представлен график и спектр амплитуд накопленной погрешности шага многопериодной дорожки с $s_2 = 13$, измеренной по внешней поверхности дорожки. Измерения накопленной погрешности проводились на пяти различных радиусах. Кривые на графиках обозначены номерами, где наименьшему номеру соответствует наименьший радиус. Все измерения проводились от одного и того же фиксированного положения диска.

Спектр амплитуд позволяет оценить погрешности многопериодной дорожки и их влияние на кинематическую погрешность передачи. Так (см. рис.3,б), наибольшее значение имеет амплитуда первой гармоники, которая включает в себя погрешность установки диска и погрешности станка при формообразовании дорожки. При этом ось отверстия диска смещена относительно средней окружности периодической до-



роялти на величину эксцентриситета e , который характеризует амплитуду первой гармоники как при измерении накопленной погрешности шага, так и при работе передачи. Величину эксцентриситета e можно определить, измерив радиальные биения вершин и впадин дорожки.

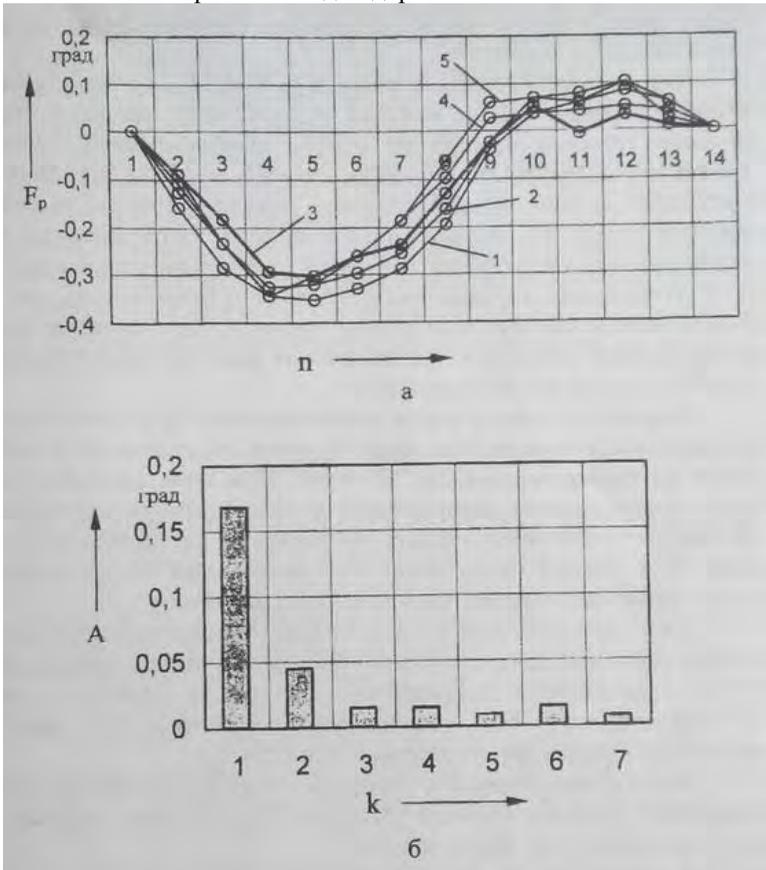


Рис.6.Накопленная погрешность шага и спектр амплитуд диска с $z_2=13$

В четвертой главе проведено нормирование точности планетарных роликовых передач на основе теоретических и экспериментальных исследований.

При нормировании точности планетарных роликовых передач в качестве базовой системы, принята система нормирования точности зубчатых передач и выбрана базовая степень точности (названная 8-й степенью), для обеспечения которой предусматривается обработка де-

талей с многопериодными дорожками и дисков-сепараторов фрезерованием без шлифования дорожек и пазов, так как их шлифование является трудоемкой операцией и в настоящее время не используется.

В данной главе установлены показатели точности для норм кинематической точности, плавности работы, контакта сателлитов и зазоров в зацеплении. Установлены допуски на нормируемые показатели точности по базовой 8 степени.

Установлено 7 степеней точности (с 6 по 12) для планетарных роликовых передач, номера которых соответствуют номерам степеней точности зубчатых передач по нормам кинематической точности и плавности работы. Число принятых степеней точности ограничивается особенностями конструкции роликовых передач, не позволяющей регулировать зазоры, и в соответствии с этим более узкой областью применения роликовых передач по сравнению с зубчатыми передачами.

Установлены коэффициенты перехода от базовой к другим степеням точности для всех показателей точности. Для планетарных роликовых передач приняты коэффициенты из ряда R20 предпочтительных чисел в соответствии со стандартом.

Разработан метод расчета кинематической погрешности роликовой передачи, основанный на моделировании погрешностей и использовании их экспериментальных значений. При этом доказана корректность моделирования погрешностей и эффективность разработанного метода расчета кинематической погрешности роликовой передачи, в связи с чем данный метод может быть использован как при проектировании роликовых передач, так и при их исследовании.

Даны рекомендации по практическому использованию результатов нормирования точности планетарных роликовых передач по базовой 8-й степени точности. Установленные допуски на показатели точности по 8 степени могут быть использованы как базовые для планетарных роликовых передач других степеней точности.

Разработаны комплексы контроля точности деталей зацепления и передачи в сборе для степеней точности с 6 по 12 и даны рекомендации по их практическому использованию.

В пятой главе представлены разработанные технологические маршруты обработки для деталей зацепления, расчеты точности обработки на технологических операциях, рекомендации по изготовлению и сборке планетарных роликовых передач.

Разработанные технологические маршруты и расчеты точности обработки деталей зацепления обеспечивают допуски на показатели точности по базовой 8-й степени, установленные при нормировании точности этих передач, и могут быть использованы при их изготовлении на производстве.

Рекомендации по изготовлению и сборке роликовых передач по-

зволяют уменьшить влияние на их точность отдельных элементарных погрешностей обработки. Так, уменьшить в передаче накопленную погрешность шага многопериодной дорожки можно при расположении двух неподвижных дисков с многопериодными дорожками таким образом, чтобы наибольшие значения накопленных погрешностей для каждого из них находились в противофазе. В этом случае общий эксцентриситет двух дисков значительно уменьшится, а также частично уменьшится и тангенциальные погрешности дорожки.

При сборке планетарных роликовых передач также необходимо учитывать влияние несоосности ведущего и ведомого валов, которое проявляется в колебании величин амплитуд гармонических составляющих кинематической погрешности передачи с первым номером и номером, равным передаточному отношению передачи. В этой связи при высоких требованиях к кинематической точности и плавности работы необходимо добиваться минимального отклонения от соосности ведущего и ведомого валов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили получить новые результаты и сделать на их основе выводы, основные из которых можно сформулировать следующим образом.

1. Впервые разработаны математические модели кинематических погрешностей планетарных роликовых передач на основе моделирования работы передачи, позволившие установить связи между погрешностями изготовления деталей зацепления и гармоническими составляющими кинематических погрешностей и оценить влияние погрешностей деталей зацепления передачи на ее кинематическую точность. Эти модели могут быть использованы при компьютерной оценке кинематической точности передач данного типа [11].

2. Разработаны новые средства контроля, дополняющие существующие средства контроля зубчатых передач и позволяющие проводить контроль кинематической погрешности планетарных роликовых передач в сборе, а также контроль точности их деталей зацепления. Данные средства, три из которых признаны изобретениями, могут быть использованы как в лабораторных, так и производственных условиях.

Автоматизированная система контроля кинематической точности передач в сборе, использующая указанные средства, нашла применение в учебном процессе МГТУ при выполнении студентами курсовых и дипломных проектов, а также аспирантами, занимающимися исследованиями механических передач [1,4, 12 ... 15].

3. В результате использования разработанных средств и автомати-

зированной системы контроля, впервые получен широкий спектр амплитуд гармонических составляющих кинематической погрешности планетарной роликковой передачи, позволивший установить частотные области гармонических составляющих с наибольшими амплитудами, а также оценить уровень кинематической точности и плавности работы передачи в зависимости от погрешностей ее деталей [1 ... 3, 7, 11].

4. Впервые выполнено обоснованное нормирование точности планетарных роликковых передач. В результате нормирования установлены показатели точности, предложена система допусков по базовой 8 степени точности, установлены коэффициенты для перехода к другим степеням точности и разработаны комплексы контроля для деталей зацепления и передачи в сборе. Разработан метод расчета кинематической погрешности роликковой передачи, основанный на моделировании элементарных погрешностей и использовании их экспериментальных значений. Полученные результаты могут быть использованы, как при проектировании, так и при исследовании планетарных роликковых передач [5, 8, 10].

5. Предложенная система нормирования точности планетарных роликковых передач обеспечивает возможность их изготовления с заданной точностью от 12 по 6 степени. Установленный допуск на кинематическую погрешность передач для принятой в качестве базовой 8-й степени точности, соответствует значениям кинематической погрешности зубчатых передач также 8 степени точности при одинаковых передаточных отношениях планетарных роликковых и зубчатых передач. Таким образом, для практических и исследовательских целей открывается возможность объективного сравнения планетарных роликковых передач с зубчатыми по их кинематической точности [5, 8, 10].

6. Предложены эффективные для практического использования технологические маршруты изготовления оригинальных деталей зацепления роликковых передач для базовой 8 степени точности, и проведены расчеты точности обработки этих деталей, обеспечивающие установленные показатели точности.

Разработанные рекомендации по нормированию, контролю и изготовлению планетарных роликковых передач приняты к использованию промышленными предприятиями РУП завод “Могилевтрансмаш” и РУП завод “Могилевлифтмаш”, а также внедрены в учебный процесс МГТУ при чтении лекционного курса дисциплины “Нормирование точности и технические измерения” [1 ... 3,6... 9,11].



СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Пашкевич М.Ф., Жолобов А.А., Капитонов А.В. Повышение точности изготовления периодических дорожек и кинематической точности планетарных роликовых передач //Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы меж- дунар. науч.-техн. конф - Могилев, 2002. - С. 159.

2. Пашкевич М.Ф., Капитонов А.В. Кинематическая точность планетарных роликовых передач / Могилев.гос.техн.ун-т. - Могилев, 1999. - 11с. - Деп. в ВИНТИ 23.09.1999. № 2905-В99 // Журн. Изв НАН Беларуси. - 2000. - № 1. - с. 152.

3. Пашкевич М.Ф., Капитонов А.В. Погрешности планетарных роликовых передач с симметрично нагруженными роликами / Моги- лев.гос.техн. ун-т. - Могилев, 1999. - 18с. - Деп. в БелИСА 22.11.1999. № 1999118 // Реф. сборник непубликуемых работ. - 2000. - Выпуск 4 (15).-С. 100.

4. Новые методы и средства измерения кинематических погрешностей передач в сборе / М.Ф.Пашкевич, В.В.Герашенко, В.М. Пашкевич, А.М.Пашкевич, А.В.Капитонов; Могилев.гос.техн. ун-т. - Могилев, 1999. - 17с. Деп. в БелИСА 22.11.1999. № 1999111 // Реф. сборник непубликуемых работ. - 2000. - Выпуск 4 (15). - с. 100.

5. Пашкевич М.Ф., Капитонов А.В. Нормирование показателей кинематической точности и плавности работы планетарных роликовых передач с симметрично нагруженными роликами / Могилев.гос.техн. ун-т. - Могилев, 1999с- 14с. - Деп. в БелИСА 22.11.1999 № 1999120 // Реф. сборник непубликуемых работ. - 2000. - Выпуск 4 (15). - с. 101.

6. Пашкевич М.Ф., Капитонов А.В. Погрешности изготовления дисков с периодическими дорожками для планетарных роликовых передач / Могилев.гос.техн. ун-т. - Могилев, 1999. - 15с. - Деп. в БелИСА 22.11.1999. № 1999119 // Реф. сборник непубликуемых работ - 2000 - Выпуск 4 (15). - с. 100.

7. Капитонов А.В. Кинематическая точность планетарного роликового редуктора с симметрично нагруженными роликами // Современные направления развития производственных технологий и робототехники: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Могилев 22-23 апр. 1999 /Могилев, гос. техн. ун-т. - Могилев, 1999. - С. 123.

8. Капитонов А.В. Нормирование точности планетарных роликовых передач // Современные направления развития производственных технологий и робототехники: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Могилев, 2223 апр. 1999./Могилев.гос.техн. ун-т.-Могилев, 1999.-С.124.

9. Капитонов А.В. Оценка кинематической точности механических передач в технологическом оборудовании для восстановления по-

верхнеетей //Современные технологии в ремонтно-обслуживающем и машиностроительном производстве А11К: Тез. докл. науч.-техн. конф.- Минск, 20-22 окт. 1999г. / БАТУ. - Минск, 1999.-С. 104.

10. Капитонов А.В. Вопросы нормирования точности планетарных роликовых передач с симметрично нагруженными роликами //Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономических и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения; Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф.. - Минск, 21-24 нояб. 2000 /Бел. гос. полит, акад. - Мн., 2000. - 4.2. - С. 79.

11. Капитонов А.В. Влияние погрешностей деталей зацепления на кинематическую точность и плавность работы планетарных роликовых редукторов //Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении; Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Калининград, 17-19 окт. 2000 / Калининград. гос. техн. ун-т. - Калининград, 2000. - 4.2. - С. 8.

12. Устройство для контроля кинематической точности передач / М.Ф.Пашкевич, В.М.Пашкевич, В.В.Герашенко, А.М.Пашкевич, А.В.Капитонов Положительное решение о выдаче патента РБ от 26.06.2001. Заявка № а 19990596. Заявл.7.06.1999. - Оpubл.30.12.2000.- Офиц. бюл. №4 (27). - С.62.

13. Устройство для контроля кинематической точности передач / М.Ф.Пашкевич, В. М. Пашкевич, В.В.Герашенко, А.М.Пашкевич, А.В.Капитонов. Положительное решение о выдаче патента РБ от 26.07.2001 Заявка № а 19990568. Заявл.7.06.1999. Оpubл.30. 12.2000.- Офиц. бюл. №4 (27). - С.61.

14. Заявка РБ № а 19981066. Стенд для контроля кинематической точности передач / М.Ф.Пашкевич, В.М.Пашкевич, В.В.Герашенко, А.М.Пашкевич, А.В.Капитонов. - Заявл 7.06.1999. - Оpubл.30.06.2000.- Офиц. бюл. №2 (25). - С.50.

15. Устройство для контроля кинематической точности зубчатых передач / М.Ф.Пашкевич, В.В.Герашенко, В.М.Пашкевич, А.В. Капитонов, А.М.Пашкевич. Положительное решение о выдаче патента РБ от 7.09.2001 Заявка № а 19980949. Заявл.21.10.1998. Оpubл.30.06.2000. -

РЕЗЮМЕ

Капитонов Александр Валентинович

Нормирование точности планетарных роликовых передач и технологические пути ее обеспечения

Ключевые слова: планетарные роликовые передачи, кинематическая погрешность, многопериодная дорожка, нормирование точности, средства контроля, математические модели, гармонический анализ.

Объектом исследования являются планетарные роликовые передачи. Предметом исследования являются погрешности изготовления де талей роликовой передачи, нормирование точности этих погрешностей, а также обеспечение заданной точности изготовления деталей зацепления и средства их контроля.

Целью данной работы является разработка системы нормирования и технологического обеспечения точности планетарных роликовых передач и средств их контроля.

При проведении исследований использовались методы математического моделирования кинематических погрешностей передачи с использованием ЭВМ, метод гармонического анализа, методы корреляционного и регрессионного анализа.

Научная новизна. Предложена новая методика исследования и нормирования точности планетарных роликовых передач, основанная на математическом моделировании кинематических погрешностей с использованием современной вычислительной техники и новых средств экспериментального исследования. Разработаны математические модели кинематических погрешностей планетарных роликовых передач, устанавливающие связи элементарных погрешностей деталей зацепления с составляющими амплитудно-частотного спектра кинематической погрешности. Разработаны новые средства контроля, позволяющие проводить оценку кинематических погрешностей планетарных роликовых передач в сборе, а также контроль их деталей зацепления. Разработана система нормирования точности планетарных роликовых передач и методика расчета кинематической погрешности. Установлены соотношения кинематической точности планетарных роликовых и зубчатых передач в зависимости от способа обработки их деталей.

Результаты исследований могут быть использованы на машиностроительных предприятиях при конструировании, изготовлении и контроле планетарных роликовых передач, а также в учебном процессе вузов при подготовке инженеров-механиков.



РЭЗЬЮМЭ

Каштонау Лляксандр Валянцінавіч

**Нарміраванне дакладнасці планетарных ролікавых перадач і
цехналагічныя шляхі яе забеспячэння**

Ключавыя словы: планетарных ролікавыя перадачы, мнематычная памылка, шматпярэйдная дарожка, нарміраванья даклад-насці, памылкі вырабу, метады і сродкі кантролю, матэматычнае мадэ-ліраванне, гарманічны аналіз.

Аб'ектам даследвання з'яўляюцца планетарныя ролікавыя перадачы. Прадметам даследвання з'яўляюцца памылкі вырабу дэталей ролікавай перадачы, нарміраванне дакладнасці гэтых памылак, а таксама забяспячэнне заданай дакладнасці выбару дэталей зацаплення і сродкі іх кантролю.

Мэтай працы з'яўляецца распрацоўка сістэмы нарміравання і тэх-налагічнага забяспячэння дакладнасці планетарных ролікавых перадач і сродкаў іх кантролю.

Пры правядзенні даследвання выкарыстоўваліся метады матэма-тычнага мадэліравання кінематычных памылак перадачы з выкары-стоўваннем ЭВМ, метады гарманічнага аналізу, метады карэляцыйнага рэгрэсійнага аналізу.

Навуковая навізна. Прапанавана новая метадыка даследвання і нарміравання дакладнасці планетарных ролікавых перадач, заснованая на матэматычным мадэліраванні кінематычных памылак з выкарыстаннем сучаснай вылічальнай тэхнікі і новых сродкаў эксперыментальнага даследвання. Распрацаваны матэматычныя мадэлі кінематычных памылак планетарных ролікавых перадач, якія вызначаюць сувязі элементарных памылак дэталей зацаплення з складаючымі амплітудна-частотнага спектра кінематычнай памылкі. Распрацаваны новыя сродкі кантролю, якія дазваляюць праводзіць ацэнку кінематычных памылак планетарных ролікавых перадач у зборы, а таксама кантроль іх дэталей зацаплення. Разработана сістэма нарміравання дакладнасці планетарных ролікавых перадач і метадыка разліку кінематычнай памылкі. Вызначаны суадносіны кінематычнай дакладнасці планетарных ролікавых і зубчатых перадач у залежнасці ад спосабу апрацоўкі іх дэталей.

Вынікі даследвання могуць быць выкарыстаны на машынабу-даўшчых прадпрыемствах пры канструіраванні, вырабе і кантроле пла-нетарных ролікавых перадач, а таксама у навучальным працэсе ВУНУ пры падрыхтоўцы інжынераў-механікаў.



Kapitonov Alexandre Valentinovich

Establishment of norms of accuracy of planetary roller transfers and Technological ways of its maintenance

Key words: planetary roller transfers, a kinematical error, a periodic path, establishment of norms of accuracy, means of the control, mathematical models, the harmonically analysis.

Object of research are the planetary roller transfers. A subject of research are the errors of manufacturing of details of roller transfer, establishment of norms of accuracy of these errors, and also maintenance of the given accuracy of manufacturing of details of gearing and means of their control.

The purpose of the given work is the system establishment of norms and technological maintenance of accuracy of planetary roller transfers and means of their control.

At realization of researches the methods of mathematical modeling of kinematical errors of transfer with use of the computer, method of harmonically the analysis, methods correlation and of the regression analysis were used.

Scientific novelty. The new technique of research and establishment of norms of accuracy of planetary roller transfers based on mathematical modeling of kinematical errors with use of modern computer facilities and new means of an experimental research is offered. The mathematical models of kinematical errors of planetary roller transfers establishing communications of elementary errors of details of gearing with components amplitude- frequency of a spectrum of kinematical an error developed. The new means of the control allowing carrying out an estimation of kinematical errors of planetary roller transfers in the tax, and also control of their details of geanng is developed. The system establishment of norms of accuracy of planetary roller transfers and technique of account of kinematical an error is developed. The parities of kinematical accuracy of planetary roller and gear transfers arc established depending on a way of processing of their details.

The results of researches can be used at the machine-building enterprises at designing, manufacturing and control of planetary roller transfers, and also in educational process of high schools by preparation of the engineers-mechanics.

Капитонов Александр Валентинович

Нормирование точности планетарных роликовых передач
и технологические пути ее обеспечения

05.02.08 - Технология машиностроения
05.02.11 Методы контроля и диагностика в машиностроении

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 16.04.2002г. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать трафаретная.
Усл.печ.л. 1.4 Уч.-изд л. 1.5 Тираж 100 экз. Заказ № 139.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Могилевский государственный технический университет
Лицензия ЛВ № 243 от 22.02.2001г., лицензия ЛП № 165 от 22.02.2001г.
212005, г. Могилев, пр.Мира, 43

