ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.9.04:621.8.33
Д 63

ДОКОНОВ ЛЕОНИД ГЕННАДЬЕВИЧ

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ САТЕЛЛИТА ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРОЩЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.02.08
«Технология машиностроения»

Могилев 2009

Работа выполнена в Государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»

Научный руководитель	**Громыко Петр Николаевич** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев
Официальные оппоненты	**Мрочек Жорж Адамович** доктор технических наук, профессор, БНТУ, кафедра «Технология машиностроения», г. Минск
	Пашкевич Виктор Михайлович доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев
Оппонирующая организация	УО «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк

Защита состоится «_2_» _июля 2009_ г. в $11^{\underline{00}}$ на заседании Совета по защите диссертаций К 02.18.01 в Государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» по адресу: 212000, г. Могилев, пр-т Мира, 43, телефон ученого секретаря (222)-22-52-12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного учреждения высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет».

Автореферат разослан «_1_» __июня__ 2009 г.

Ученый секретарь

Совета по защите диссертаций
доктор физико-математических наук,
профессор В.И. Борисов

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее перспективных направлений развития редукторной техники является совершенствование планетарных эксцентриковых редукторов на основе повышения технологичности их конструкции. Планетарные эксцентриковые редукторы при условии использования высоких технологий изготовления и сборки имеют технический уровень, превышающий технический уровень других редукторов-аналогов. Однако повышенная себестоимость изготовления, связанная с необходимостью обеспечения высокого технического уровня, является основным фактором, сдерживающим их широкое применение.

В Белорусско-Российском университете группа специалистов занимается исследованием, разработкой и внедрением прецессионных редукторов, относящихся к типу эксцентриковых передач. Прецессионные редукторы уже нашли свое применение на электрифицированных участках железной дороги в приводах контактных разъединителей, в подъемно-тяговых механизмах в качестве редуцирующих устройств. К основной причине, сдерживающей их широкое применение в промышленности и сельском хозяйстве, относятся трудности, связанные с изготовлением зубьев сателлита, имеющих пространственно-модифицированный профиль. Попытки упрощения технологии изготовления зубьев сателлита до сих пор приводили к снижению эксплуатационных показателей прецессионных редукторов.

Данная работа посвящена разработке новых способов формообразования зубьев сателлита прецессионного редуктора на основе использования упрощенных профилей. Благодаря отсутствию необходимости использования специальных приспособлений и инструмента при обработке зубьев сателлита новыми способами, налаживание производства прецессионных редукторов станет возможным на многих машиностроительных предприятиях, что значительно расширит области их применения.

Таким образом, в данной работе предложены новые технологии изготовления зубьев, использование которых обеспечит создание конкурентоспособной редукторной техники.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Тема диссертации соответствует следующим приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006-2010 годы (Перечень утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17.05.2005 г. №512):

– компьютерное моделирование и испытание машин и механизмов;

– создание новых компонентов машин и оборудования для машиностроительного комплекса; перспективные силовые установки.

Научные исследования по теме диссертации проводились в рамках:

– межвузовской программы фундаментальных исследований «Разработка

научных основ создания прогрессивных технологических процессов, оборудования и инструмента для машиностроительного производства РБ» (тема «Разработка научных основ формообразования зубьев колес коническо-цилиндрических прецессионных редукторов (КЦПР) традиционными методами обработки», № гос. рег. 20042155, 2004-2005 гг.);

– государственной комплексной программы «Механика» (тема «Улучшение качественных показателей зацепления колес коническо-цилиндрической прецессионной передачи типа 2К-Н с использованием методов компьютерного моделирования», № гос. рег. 2005900, 2005-2006 гг.);

– по заданию № 66 раздел механика 2.29 – «Разработка интеллектуальных систем управления качеством новых типов механических передач на основе компьютерного моделирования с целью повышения их технического уровня» (раздел задания 2.29.1 «Создание динамических моделей контактного взаимодействия звеньев коническо-цилиндрической прецессионной передачи с разработкой на их основе способов снижения кинематической погрешности и вибрационных характеристик прецессионных редукторов»), № гос. рег. 20061430, 2006 – 2010 гг.;

– аспирантского гранта «Разработка прогрессивных способов формообразования зубьев колес планетарных редукторов с коническо-цилиндрическим прецессионным зацеплением», № гос. рег. 20071603, 2007 г.;

– хоздоговорной работы с ОАО «МИСОМ-ОП» (г. Минск) по теме «Доработка конструкции двух прецессионных редукторов применительно к приводу заглаживающей машины СО – 170».

Цель и задачи исследования

Цель работы – разработать и реализовать технологии обработки формообразования зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи с использованием упрощенных профилей.

Поставленная цель обуславливает решение следующих задач:

– разработать классификацию способов обработки зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи, позволяющую установить область исследования;

– определить взаимосвязи между параметрами зацепления прецессионной передачи, на основе которых возможно достижение максимального приближения поверхности теоретически точных зубьев сателлита и зубьев сателлита с упрощенными профилями;

– на основе использования методов компьютерного моделирования разработать методику оценки точности зубьев сателлита и методику определения кинематической погрешности планетарных прецессионных передач;

– используя методы компьютерного моделирования, исследовать влияние способов обработки зубьев сателлита на точность их изготовления, а также на кинематическую погрешность поворота выходного звена;

– разработать технологические процессы изготовления зубьев сателлита прецессионного редуктора с использованием новых способов зубообработки;

– экспериментально исследовать точность обработки зубьев сателлита и экспериментально определить эксплуатационные показатели прецессионных

редукторов;

– разработать рекомендации по рациональным областям использования прецессионных редукторов и реализовать новые технологии обработки зубьев сателлита.

Объектом исследований являются технологии формообразования пространственно модифицированных зубьев сателлита с использованием упрощенных профилей. В роли предмета исследований выступают способы формообразования пространственно-модифицированных зубьев сателлита, их компьютерные модели и точность обработки, кинематическая погрешность передачи, геометрия прецессионного зацепления, выходные показатели экспериментальных образцов прецессионных мотор-редукторов. Выбор объекта и предмета исследования обусловлен приоритетными направлениями научных исследований в Республике Беларусь.

Положения, выносимые на защиту:

– зависимости для расчета параметров эвольвентных и круговых профилей зубьев сателлита, позволяющие достигать максимального приближения поверхности теоретически точных зубьев сателлита и зубьев с упрощенными профилями, что является необходимым условием для использования новых способов изготовления сателлита;

– методики оценки точности формообразования поверхности зубьев сателлита и определения кинематической погрешности на основе создания прикладного программного обеспечения в САПР SolidWorks, позволившие установить, что указанная точность может быть повышена более чем в 10 раз, а кинематическая погрешность уменьшена в 2 раза при использовании для обработки зубьев сателлита способов двойного рабочего хода и конического зубофрезерования по сравнению с применением в зацеплении планетарной прецессионной передачи эвольвентных зубьев, образованных традиционными способами зубообработки;

– технологии, реализующие новые способы обработки зубьев сателлита, использующие упрощенные профили, позволяющие подтвердить простоту процессов их формообразования;

– методика контроля зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи, на основе которой установлено, что применение новых способов и технологий изготовления зубьев сателлита позволяет повысить точность их обработки по сравнению с точностью применявшихся ранее в зацеплении планетарной прецессионной передачи эвольвентных зубьев, образованных традиционными способами зубообработки, более чем в 7 раз;

– результаты экспериментальных, заводских и эксплуатационных испытаний прецессионных редукторов, которые показали, что путем замены в конструкции прецессионного редуктора эвольвентных зубьев сателлита, образованных традиционными способами зубообработки, на зубья, выполненные способом конического зубофрезерования, уровень шума прецессионных редукторов снижен на 10 дБ, значение виброскорости – на 8 мм/с, а кинематической погрешности – на 70 угловых минут.

Личный вклад соискателя

Соискателем лично получены следующие результаты:

– разработаны методики оценки точности зубьев сателлита и определения кинематической погрешности его вращения;

– разработаны технологии, реализующие новые способы обработки зубьев сателлита, использующие упрощенные профили;

– разработана конструкция контрольного приспособления;

– получены результаты экспериментальных исследований по определению кинематической погрешности прецессионных редукторов, а также результаты заводских и эксплуатационных испытаний.

Совместно с научным руководителем:

– предложен способ двойного рабочего хода инструмента;

– получены зависимости для расчета параметров эвольвентных и круговых профилей зубьев сателлита, позволяющие достигать максимального приближения поверхности теоретически точных зубьев сателлита и зубьев сателлита с упрощенными профилями;

– разработана прогрессивная конструкция прецессионного роликового редуктора.

В процессе исследований соискатель являлся ответственным исполнителем трех госбюджетных и одной хоздоговорной НИР, тематика которых соответствует тематике диссертационных исследований.

Апробация результатов диссертации

Основные положения работы представлены на внутривузовских конференциях: «37 студенческая научно-техническая конференция» (г. Могилев, 2001 г.); «38 студенческая научно-техническая конференция (г. Могилев, 2002 г.); «41 студенческая научно-техническая конференция (г. Могилев, 2005 г.); на международных научно-технических конференциях: «Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: материалы (г. Могилев 2003 г.); «III Международная межвузовская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов» (г. Гомель 2003 г.); «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (г. Могилев, 2004, 2005, 2007 гг.); «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин» (г. Новополоцк, 2007, 2009 гг.); на республиканских научно-технических конференциях: «Материалы VIII Республиканской научно-технической конференции студентов и аспирантов» (г. Минск, 2003 г.); «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (г. Могилев, 2004, 2006 гг.); «XII научно-техническая конференция преподавателей и студентов» (г. Витебск, 2008 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 31 научная работа, в том числе 1 монография (объем – 5,8 авторских листа), 9 статей в рецензируемых журналах и сборниках, 6 из которых включены в перечень ВАКа (объем – 2 авторских листа), 18 материалов конференций, 1 депонированная работа (объем – 1,2 авторских листа). Кроме этого, основные результаты диссертации включены в четыре отчета по госбюджетным финансируемым НИР. Получено 2 патента на изо-

бретение. Общий объем публикаций составил 9 авторских листов из них личный вклад соискателя – 2,25 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Структура диссертационной работы обусловлена логической последовательностью решения задач для достижения поставленной цели. В первой главе проводится анализ способов формообразования пространственно-модифицированных зубьев, а также предлагаются новые способы их получения. Во второй главе на основе компьютерного моделирования доказывается возможность применения предложенных способов зубообработки. В третьей главе проводятся сравнения теоретически точных профилей зубьев сателлита с профилями зубьев, обработанных способами, полученными на основании разработанных технологических процессов. В четвертой главе отражены результаты экспериментальных исследований мотор-редукторов, подтверждающие эффективность применения новых способов формообразования зубьев сателлита. Полный объем диссертации составляет 200 страниц, из них 84 рисунка на 34 страницах, 12 таблиц на 4 страницах, 9 приложений на 49 страницах и 114 библиографических ссылок на 11 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении и общей характеристике работы** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, изложены основные положения, выносимые на защиту.

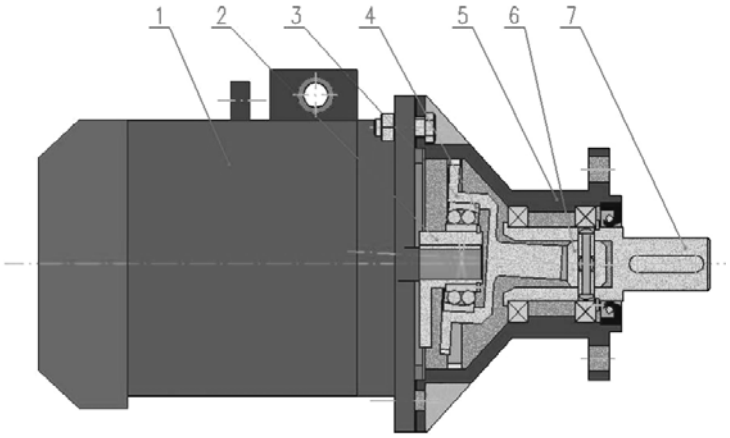
В **первой главе** анализируются способы получения пространственно-модифицированных зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи.

Показано, что эксцентриковые редукторы привлекают к себе внимание, прежде всего, возможностью реализовать широкий диапазон передаточных отношений при малых габаритных размерах. Существенный вклад в развитие эксцентриковых передач внесли А.Т. Скойбеда, М.Ф. Пашкевич, В.Л. Басинюк, И.А Бостан, В.Е. Дулгеру, В.И. Безруков, Б.А. Лопатин, Р.М. Игнатищев, Н.Г. Янкевич, Л.А. Борисенко.

В Белорусско-Российском университете разработкой и внедрением планетарной прецессионной передачи типа K-H-V, относящейся к типу эксцентриковых передач, занимаются сотрудники лаборатории по прецессионным передачам под руководством доктора технических наук, профессора Петра Николаевича Громыко. Структурная схема данной передачи показана на рисунке 1.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили установить, что благодаря особенностям структуры прецессионной передачи возможно сочетание при ее работе одновременно редуцирующих функций и функций компенсирующей муфты. Указанное сочетание функций позволяет изготавливать прецессионные редукторы на основе деталей с приемлемой для обычного производства точностью, но в то же время имеющие высокий технический уровень.

Это указывает на то, что на базе планетарной прецессионной передачи возможна разработка и серийное изготовление конкурентоспособных редуцирующих механизмов.



1 – электродвигатель; 2 – эксцентрик; 3 – сателлит с наружным зубчатым венцом; 4 – подшипник сферический; 5 – корпус с внутренним зубчатым венцом; 6 – угловая муфта; 7 – вал выходной

Рисунок 1 – Структурная схема планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V

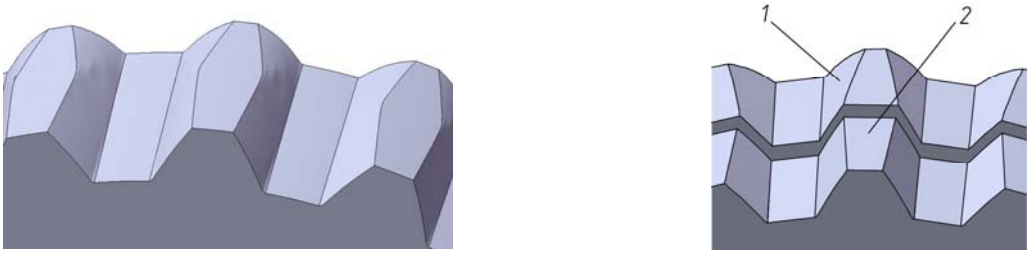
Однако основной причиной, сдерживающей применение планетарных прецессионных передач в промышленности и сельском хозяйстве, являются трудности, связанные с изготовлением зубьев сателлита, имеющих сложный пространственно-модифицированный профиль. Применяемые ранее для их изготовления способы требовали использования специальных станочных приспособлений. Из-за сложности конструкций этих приспособлений возникали погрешности изготовления зубьев сателлита, приводящие к снижению эксплуатационных показателей прецессионных редукторов.

Прецессионные редукторы нашли применение в приводах контактных разъединителей на электрифицированных участках железной дороги, в подъемно-тяговых механизмах. Указанные внедрения стали возможны благодаря использованию в их зацеплении эвольвентных зубьев, образованных традиционными способами зубообработки. Эвольвентные зубья цилиндрических колес зубчатых передач путем использования различного рода модификаций зубьев были приспособлены к условиям работы в прецессионном зацеплении. Однако технический уровень прецессионных редукторов с эвольвентными зубьями, образованными традиционными способами зубообработки оставался низким, а их внедрение было возможно только в приводах, которые не предъявляли высоких требований к техническим характеристикам встраиваемых в их конструкцию передачам.

Поэтому актуальной являлась разработка способов изготовления зубьев сателлита, с одной стороны, отличающихся простотой реализации, с другой стороны, обеспечивающих точность изготовления, позволяющую достигать прецессионным редукторам относительно высоких выходных показателей.

Проведенный анализ разработанных компьютерных моделей теоретических поверхностей зубьев сателлита позволил установить, что часть поверхности зуба сателлита представляет собой простую по форме коническую поверхность (рисунок 2). Это явилось предпосылкой для использования в зацеплении прецессионных редукторов зубьев сателлита, имеющих упрощенные профили.

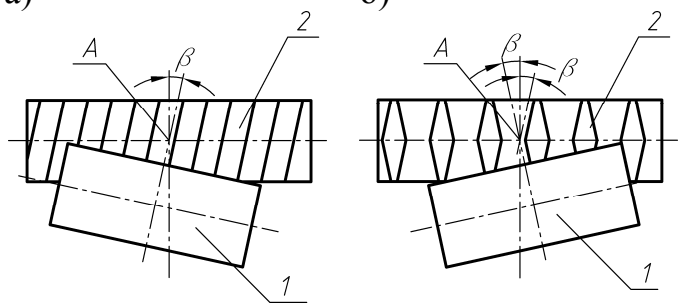
а) б)



а – компьютерная модель поверхности теоретического зуба сателлита; б – разделенный на две части зуб; 1 – часть поверхности, имеющая сложную пространственно-модифицированную форму; 2 – часть поверхности, представляющая собой эвольвентную коническую поверхность с малым углом конуса

Рисунок 2 – Общий вид компьютерной модели теоретически точной поверхности зуба сателлита

а) б)



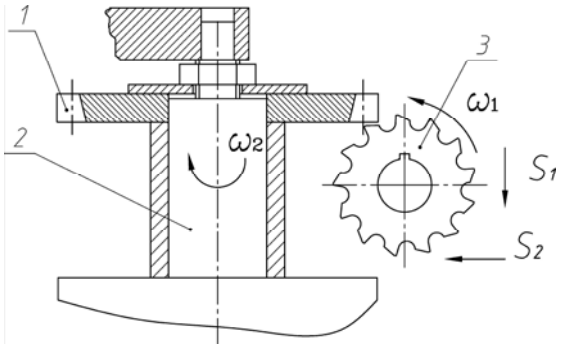
а – при правом наклоне зубьев; б – при левом наклоне зубьев; 1 – инструмент; 2 – заготовка сателлита

Рисунок 3 – Схема установки фрезы относительно заготовки сателлита для нарезания зубьев способом двойного рабочего хода

Для формообразования зубьев сателлита были предложены три способа, базирующихся на использовании упрощенных профилей.

Первый способ – это изготовление упрощенных зубьев сателлита способом двойного рабочего хода. Сущность способа заключается в нарезании на заготовке сателлита косых зубьев поочередно с левым и правым углами наклона (рисунок 3).

Второй способ – образование упрощенных зубьев сателлита способом конического зубофрезерования. Он заключается в нарезании зубьев сателлита червячной фрезой при одновременном осуществлении осевой S_1 и радиальной S_2 подач, обеспечивающих зубьям сателлита коническую форму (рисунок 4).

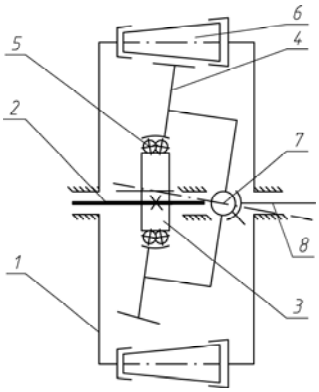


1 – заготовка сателлита; 2 – оправка; 3 – инструмент

Рисунок 4 – Схема формообразования упрощенных зубьев сателлита способом конического зубофрезерования

Нарезание зубьев сателлита третьим способом представляет собой процесс, аналогичный процессу обработки зубьев звездочки цепной передачи. Применение сателлита с формой зуба звездочки цепной передачи возможно благодаря использованию в конструкции планетарной прецессионной передачи в качестве зубчатого венца центрального колеса конических роликов. Структурная схема планетарной прецессионной передачи с зубьями сателлита, имеющими профиль зубьев звездочки цепной пе-

редачи, и коническими роликами центрального колеса показана на рисунке 5.



1 – корпус; 2 – вал входной; 3 – втулка эксцентриковая; 4 – сателлит с зубьями, имеющими профиль зубьев звездочки цепной передачи; 5 – подшипник сферический; 6 – ролик конический; 7 – муфта угловая; 8 – вал выходной

Рисунок 5 – Структурная схема планетарной прецессионной передачи с коническими роликами

Во **второй главе** работы проведены исследования процессов формообразования поверхностей зубьев сателлита на основе методов компьютерного моделирования.

С целью уточнения объектов для исследований была разработана классификация способов обработки зубьев сателлита (рисунок 6), на основе которой был сделан вывод о перспективности предлагаемых способов изготовления зубьев с использованием упрощенных профилей.

Для сравнительной оценки точности изготовления зубьев сателлита, которая может быть обеспечена каждым из предложенных новых способов, была разработана компьютерная методика. Указанная методика включала в себя:

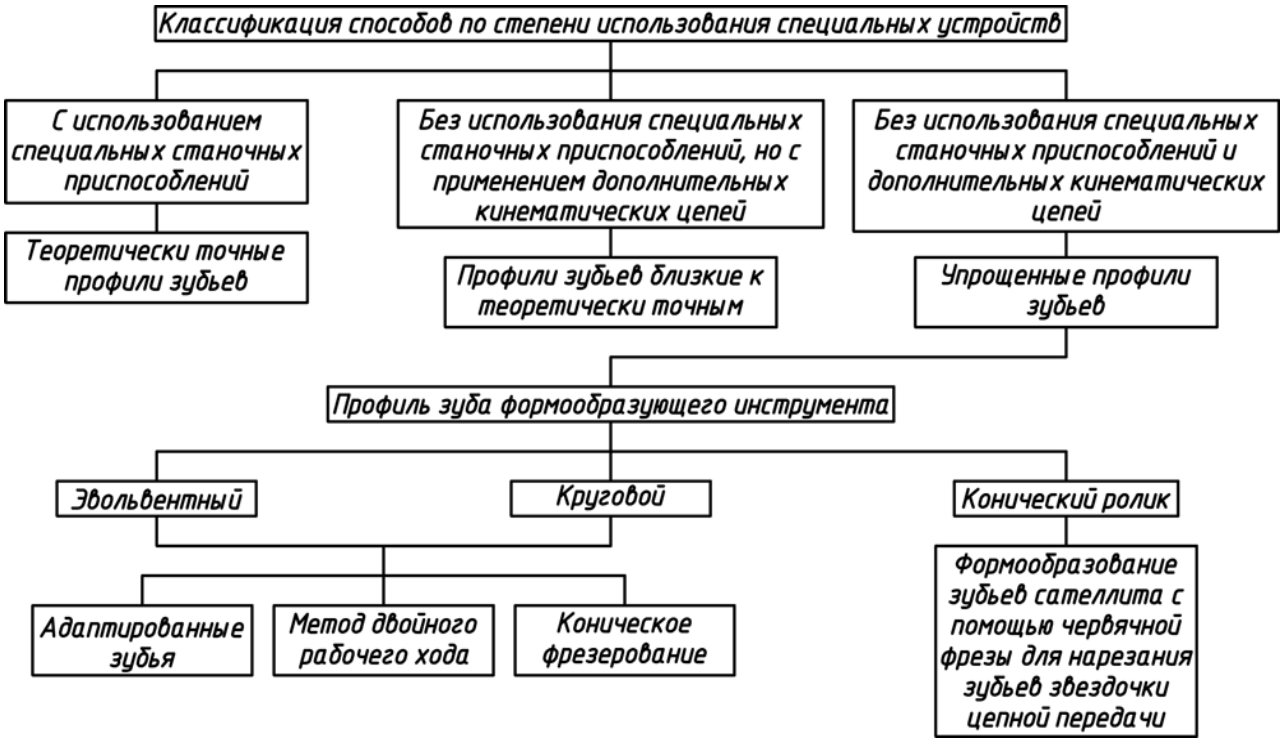
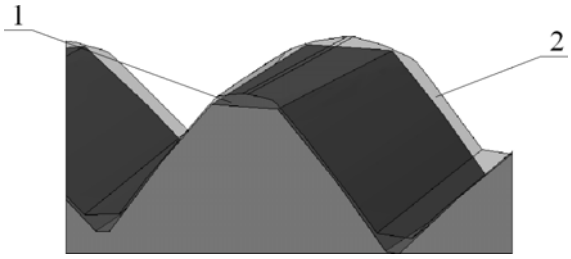


Рисунок 6 – Классификация способов обработки зубьев сателлита

– разработку компьютерных моделей поверхностей теоретически точных

зубьев сателлита и зубьев сателлита, полученных на основе предлагаемых способов (рисунок 7);



1 – эвольвентный зуб, образованный традиционными способами зубообработки; 2 – теоретически точный зуб

Рисунок 7 – Совмещение компьютерных моделей зубьев сателлита

– процесс измерения отклонений между указанными поверхностями средствами графического редактора САПР SolidWorks;

– получение зависимостей, на основе которых возможна минимизация указанных отклонений.

При разработке указанной методики, на основе условия равнопрочности и формул теории эвольвентного зацепления, получена зависимость между основными параметрами зубьев сателлита, образованных способом двойного рабочего хода и способом конического зубофрезерования:

$$\frac{\pi}{(1+k)\cdot z_c} = \left(\frac{\pi}{2\cdot z_c} - \frac{\Delta_c}{z_c} - \left(inv\alpha - inv\alpha_{ac}\right)\right), \qquad (1)$$

где z_c – число зубьев сателлита;

k – коэффициент, учитывающий отклонение толщины тела зуба от толщины впадины зуба;

Δ_c – коэффициент толщины зуба сателлита;

α – угол профиля формообразующего инструмента;

α_{ac} – угол профиля зуба сателлита на среднем радиусе зуба.

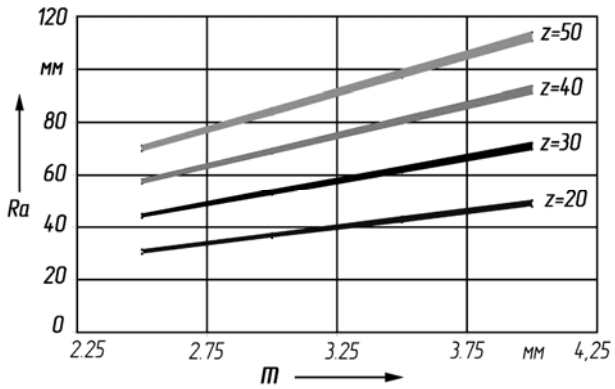


Рисунок 8 – Графики для определения радиуса выступов зубьев сателлита

Уравнение (1) позволяет получать графические зависимости (рисунок 8) между радиусом выступов и модулем зубьев эвольвентного зацепления прецессионной передачи при различных числах зубьев сателлита.

С помощью разработанной методики возможно также получение компьютерных моделей поверхностей теоретически точных зубьев сателлита с круговым профилем, а также поверхностей зубьев сателлита с круговым профилем, полученных на основе использования упрощенных профилей.

Параметрические уравнения поверхности теоретически точных зубьев сателлита, а также зубьев сателлита, формообразованных червячной фрезой с круговыми зубьями, имеют следующий вид:

$$x_2 = \rho\cdot\cos(\varphi+\tau); \qquad y_2 = \rho\cdot\sin(\varphi+\tau), \qquad (2)$$

где параметры ρ и τ определяются:

– в случае получения теоретически точного профиля зуба сателлита:

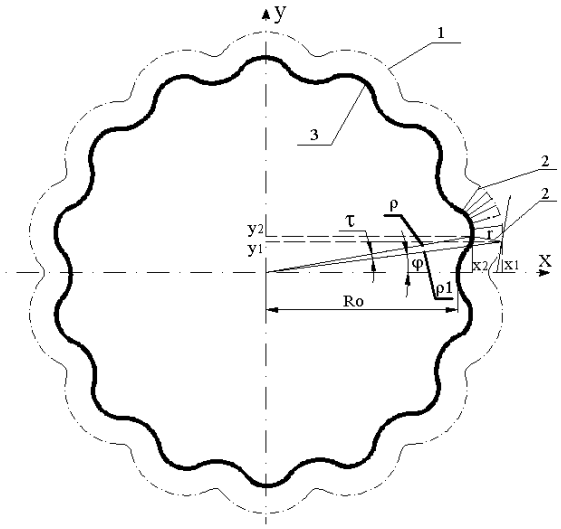
$$\rho = \sqrt{\rho_1^{\,2} + r^2 - 2 \cdot r \cdot \rho_1 \cdot cos\left(\frac{\pi}{2} - arctg\left(\frac{y_1'}{x_1'}\right) + \frac{\varphi_1}{z} \pm \theta\right)};$$

$$\tau = \frac{r \cdot sin\left(\frac{\pi}{2} - arctg\left(\frac{y_1'}{x_1'}\right) + \frac{\varphi_1}{z} \pm \theta\right)}{\sqrt{\rho_1^{\,2} + r^2 - 2 \cdot r \cdot \rho_1 \cdot cos\left(\frac{\pi}{2} - arctg\left(\frac{y_1'}{x_1'}\right) + \frac{\varphi_1}{z} \pm \theta\right)}};$$

– в случае формообразования поверхности зубьев сателлита червячной фрезой с круговыми зубьями:

$$\rho = \sqrt{\left(\frac{R_0}{cos(z\varphi)}\right)^2 + r^2 - 2\frac{R_0}{cos(z\varphi)} r\, cos\left(\frac{\pi}{2} - arctg\frac{y_1^{/}}{x_1^{/}} + \varphi\right)};$$

$$\tau = arc\, cos\left(\frac{\rho_1\, cos\,\varphi - r\, cos\left(arctg\,\frac{y_1^{/}}{x_1^{/}} - \frac{\pi}{2}\right)}{\rho}\right).$$



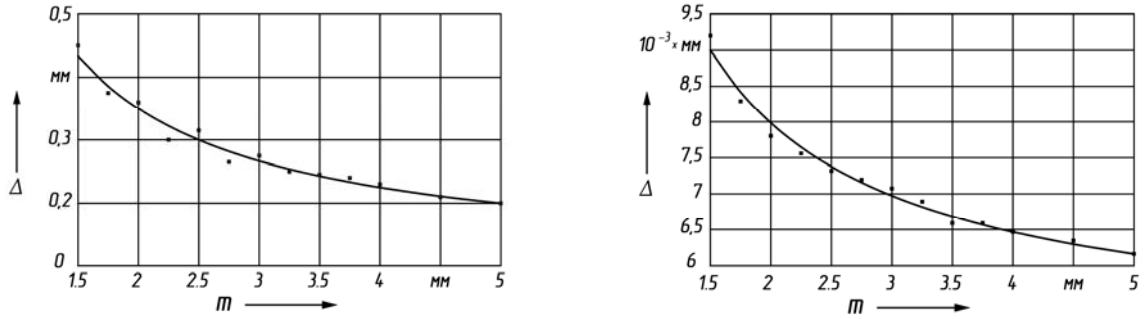
1 – кривая движения центра ролика;
2 – нормаль к кривой 1; 3 – профиль круговых зубьев сателлита в рассматриваемом сечении

Рисунок 9 – Схема для вывода уравнений профилей поверхности круговых зубьев сателлита

Другие параметры, входящие в уравнения (2), для расчета координат точек профилей круговых зубьев сателлита, показаны на рисунке 9.

Исследования, проведенные на основе разработанной методики, позволили установить, что минимальные отклонения параметров поверхности зубьев сателлита от поверхности зубьев теоретически точных моделей обеспечиваются обработкой зубьев червячной фрезой с круговыми зубьями, когда в качестве формообразующих зубьев центрального колеса используются конические ролики. Определена точность обработки зубьев сателлита, которая может быть повышена более чем в 10 раз при использовании способов двойного рабочего хода и конического зубофрезерования по сравнению с точностью эвольвентных зубьев, полученных традиционными способами обработки (рисунок 10).

а) б)

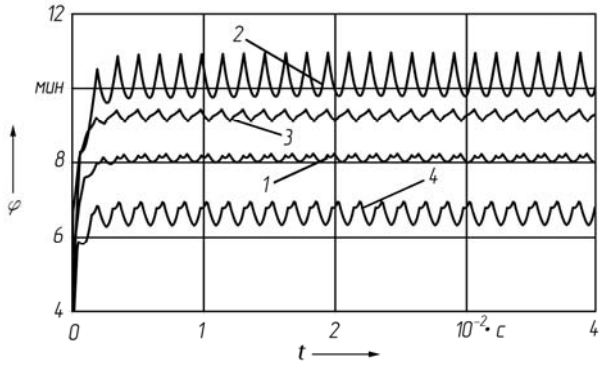


а – эвольвентные зубья, полученные традиционными способами обработки;
б – зубья, образованные способом двойного рабочего хода

Рисунок 10 – Графики зависимости погрешности толщины зуба от модуля

Используя разработанную методику, можно добиться значений отклонений поверхности теоретически точных зубьев от поверхности зубьев, полученных новыми способами формообразования, не превышающих значений допусков на погрешность профиля зуба для цилиндрических эвольвентных колес, соответствующих по норме плавности 8-й степени точности.

Проведенные исследования на основе созданных компьютерных моделей планетарной прецессионной передачи, а также разработанной методики для определения кинематической погрешности вращения сателлита позволили установить, что:



1 – круговой профиль зубьев;
2 –эвольвентные зубья полученные традиционными способами зубообработки;
3 – зубья, полученные способом конического зубофрезерования; 4 – зубья, полученные способом двойного рабочего хода

Рисунок 11 – Графики кинематической погрешности сателлита при использовании упрощенных профилей зубьев

– уменьшение кинематической погрешности сателлита более чем в 2 раза обеспечивается в прецессионных передачах с зубьями сателлита, образованными новыми способами обработки, по сравнению с передачами, использующими в зацеплении эвольвентные зубья, образованные традиционными способами зубообработки (рисунок 11);

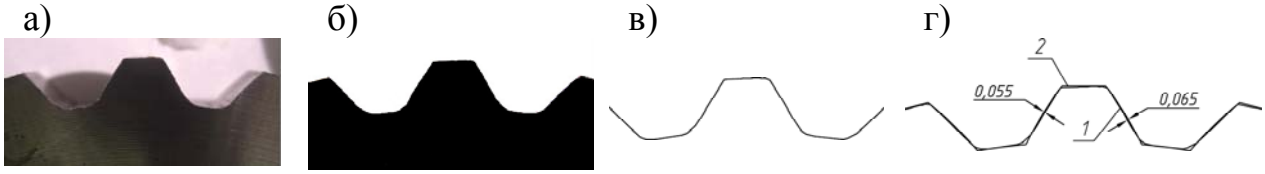
– наименьшее значение кинематической погрешности сателлита обеспечивается при использовании в зацеплении в качестве зубьев центрального колеса конических роликов и зубьев сателлита, представляющих собой зубья звездочки цепной передачи.

Третья глава диссертации посвящена разработке технологических процессов формообразования поверхностей зубьев сателлита и вопросам контроля точности их изготовления.

Реализация новых способов обработки зубьев сателлита, использующих упрощенные профили, позволила установить простоту их осуществления, отсутствие необходимости в применении специальных приспособлений и зубо-

резного инструмента.

Для контроля точности обработки зубьев сателлита было создано специальное устройство, в основу которого положены измерительный микроскоп БМИ-1 и цифровой фотоаппарат Canon PowerShot A1000. Обработка исходного изображения торцевого сечения зубьев (рисунок 12, *а*) велась в программе Photoshop, в результате чего было получено монотонное изображение зуба (рисунок 12, *б*), а затем его контур, который был подвергнут векторизации (рисунок 12, *в*) в программе Aglobal Raster to Vector Conversion. Далее производилось наложение полученного контура и теоретически точного профиля зубьев сателлита и измерялась разница между их геометрическими параметрами (рисунок 12, *г*).



а) – исходное изображение; б) – монотонное изображение; в) – изображение после векторизации; г) – измерение расстояния между теоретическим (2) и реальным (1) профилем зуба;

Рисунок 12 – Основные этапы методики контроля точности профилей зубьев сателлита

Благодаря разработанной методике контроля точности, позволяющей определять отклонения профилей зубьев сателлита в торцевых сечениях, обработанных предложенными способами, от теоретически точных профилей, установлено, что:

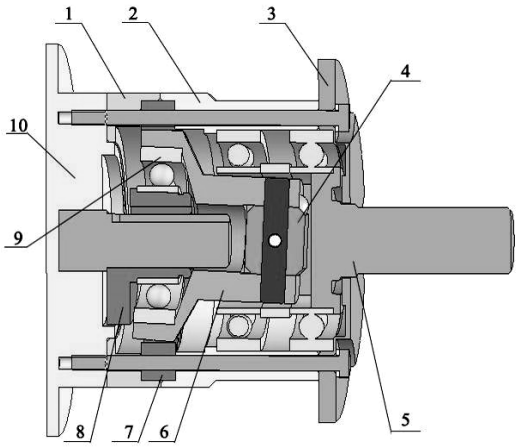
– наибольшая точность обработки зубьев сателлита достигается при зубофрезеровании червячной фрезой с круговыми зубьями в случае, когда в качестве формообразующих зубьев центрального колеса используются конические ролики;

– применение новых способов изготовления зубьев сателлита позволяет уменьшить погрешность на толщину зуба более чем в 7 раз по сравнению с погрешностью, получаемой при изготовлении эвольвентных зубьев традиционными способами зубообработки;

– погрешности, возникающие при формообразовании зубьев предложенными новыми способами, находятся в пределах допуска на толщину зубьев цилиндрического эвольвентного колеса, соответствующего по норме плавности 8-й степени точности.

В **четвертой главе** представлены результаты стендовых, заводских и эксплуатационных испытаний прецессионных редукторов с зубьями сателлита, полученных новыми способами формообразования.

Испытания экспериментального образца прецессионного редуктора (рисунок 13), изготовленного с возможностью использования различных профилей зубьев зацепления путем замены в его конструкции сателлита и центрального колеса, позволили установить, что:

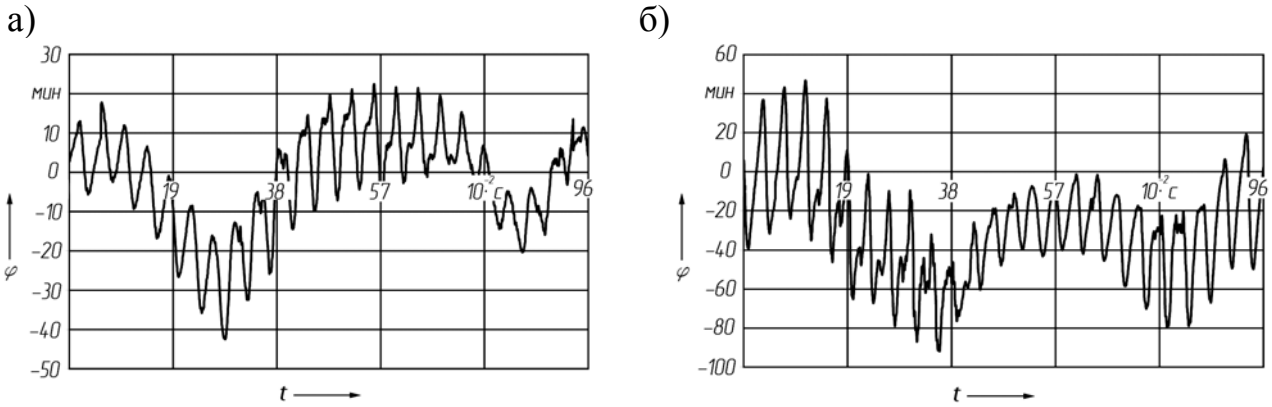


1– корпус левый; 2 – корпус правый; 3 – крышка; 4 – муфта; 5 – вал выходной; 6 – сателлит; 7 – колесо центральное; 8 – эксцентрик; 9 – подшипник сферический; 10 – электродвигатель

Рисунок 13 – Общий вид экспериментального образца прецессионного редуктора

– наименьшую кинематическую погрешность имеет экспериментальный образец прецессионного редуктора в случае, когда в его конструкции используются центральное колесо с коническими роликами и сателлит с зубьями, имеющими профиль зубьев звездочки цепной передачи;

– более чем в 2 раза наблюдается уменьшение кинематической погрешности редуктора при использовании в зацеплении зубьев сателлита, изготовленных способом двойного рабочего хода, по сравнению с редуктором, в зацеплении которого используются эвольвентные зубья сателлита, полученные традиционными способами зубообработки (рисунок 14).



а – с зубьями сателлита, полученными способом конического зубофрезерования;
б – с эвольвентными зубьями, полученными традиционными способами зубообработки

Рисунок 14 – Графики кинематической погрешности экспериментального образца прецессионного мотор-редуктора

На РУП «Могилевский завод «Электродвигатель» были проведены испытания трех образцов прецессионных мотор-редукторов. Испытаниями установлено, что наименьший уровень шума и вибрации имели прецессионные мотор-редукторы с зубьями сателлита, изготовленными способом конического зубофрезерования и способом двойного рабочего хода, по сравнению с прецессионным редуктором, использующим в зацеплении эвольвентные зубья, полученные традиционными способами зубообработки.

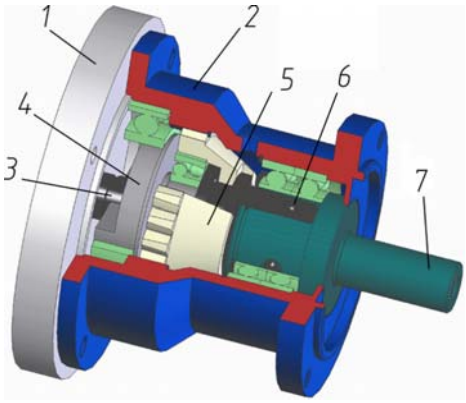
Новые технологические процессы формообразования зубьев сателлита были реализованы в конструкциях прецессионных редукторов для приводов контактных разъединителей, а также ручных лебедок, что позволило улучшить

их технические характеристики. Так, в результате стендовых испытаний приводов контактных разъединителей установлено, что максимальное значение момента на выходном валу привода при его запуске с прецессионным редуктором, зубья сателлита которого изготовлены способом двойного рабочего хода, в 1,2 раза выше по сравнению со значениями максимального момента с прецессионным редуктором, использующим в зацеплении эвольвентные зубья, полученные традиционными способами зубообработки.

Использование новых технологий при изготовлении зубьев сателлита прецессионных редукторов позволило повысить их технические показатели по сравнению с техническими показателями прецессионных редукторов, в зацеплении которых применяются эвольвентные зубья, полученные традиционными способами зубообработки. Уровень шума был снижен на 10 дБ, значение виброскорости – на 8 мм/с, а кинематической погрешности – на 70 угловых минут.

Указанные технические характеристики обеспечили эффективность применения прецессионного редуктора с зубьями сателлита, выполненными способом конического зубофрезерования, в приводе заглаживающей машины СО – 170 (рисунок 15).

а)



1 – электродвигатель; 2 – корпус; 3 – входной вал; 4 – эксцентрик с противовесом; 5 – сателлит; 6 – угловая муфта; 7 – выходной вал

б)

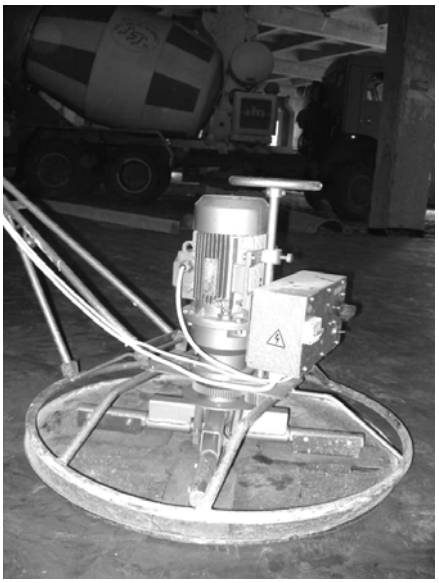


Рисунок 15 – Общий вид прецессионного мотор-редуктора (а) и фотография (б) заглаживающей машины СО–170 со встроенным в ее конструкцию прецессионным редуктором

Заглаживающие машины СО-170 со встроенными в их конструкцию прецессионными мотор-редукторами эксплуатируются организацией ОДО «Трансстрой» (г. Мозырь).

Экономический эффект от внедрения прецессионных редукторов в привод заглаживающей машины СО-170, которое стало возможным благодаря замене сателлита с эвольвентными зубьями, полученными традиционными способами зубообработки, на сателлит с зубьями, обработанными способом конического зубофрезерования, составляет более 130 млн белорус. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволили сделать следующие выводы.

1. Предложены новые способы изготовления зубьев сателлита, основанные на использовании упрощенных профилей, позволяющие вести обработку на традиционном зуборезном оборудовании без применения специальных приспособлений, что позволяет осуществлять процесс формообразования зубьев общедоступными способами и повышает технологичность прецессионных редукторов [2, 3, 10, 11, 14 – 16, 18, 19, 21, 24, 27, 28 – 30].

2. Установлены математические зависимости для расчета параметров эвольвентных и круговых профилей зубьев сателлита, позволяющие обеспечить приближение зубьев сателлита с упрощенными профилями к теоретически точным зубьям сателлита, что является основным условием для использования новых способов изготовления зубьев сателлита [1, 4, 17, 20, 22, 25].

3. Разработанные компьютерные методики оценки точности зубьев сателлита и определения их кинематической погрешности позволили установить, что:

– минимальное отклонение поверхности зубьев сателлита от поверхности теоретически точных моделей обеспечивает способ обработки зубьев червячной фрезой с круговыми зубьями, когда в качестве формообразующих элементов центрального колеса используются конические ролики;

– точность обработки зубьев сателлита может быть повышена более чем в 10 раз при использовании способов двойного рабочего хода и конического зубофрезерования по сравнению с использованием в зацеплении эвольвентных зубьев, полученных традиционными способами зубофрезерования;

– разработанные методики позволяют обеспечить отклонения поверхности теоретически точных зубьев от поверхности зубьев, полученных новыми способами формообразования, не превышающие допусков на погрешность профиля зуба для цилиндрических эвольвентных колес по норме плавности 8-й степени точности;

– наименьшее значение кинематической погрешности сателлита получено при использовании в зацеплении в качестве зубьев центрального колеса конических роликов и зубьев сателлита, представляющих собой зубья звездочки цепной передачи;

– уменьшение кинематической погрешности сателлита более чем в 2 раза установлено на компьютерных моделях прецессионных передач с зубьями сателлита, образованных новыми способами, по сравнению с моделями прецессионной передачи при использовании в ее зацеплении эвольвентных зубьев, образованных традиционными способами зубофрезерования.

4. Благодаря разработанной методике для контроля зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи, а также устройству, позволяющему реализовать указанную методику, установлено, что: [5,23]

– наибольшая точность обработки зубьев сателлита достигается при зубофрезеровании червячной фрезой с круговыми зубьями в случае, когда в качестве формообразующих зубьев центрального колеса используются конические ролики;

– применение новых способов изготовления зубьев сателлита позволяет уменьшить погрешность на толщину зуба более чем в 7 раз по сравнению с погрешностью, получаемой при изготовлении эвольвентных зубьев традиционными способами зубообработки;

– погрешности, возникающие при нарезании зубьев предложенными новыми методами, не превышают величин допуска на толщину зуба цилиндрического эвольвентного колеса, соответствующего по норме плавности 8-й степени точности.

5. Анализ результатов испытаний экспериментального образца прецессионного редуктора показал, что: [6 – 9, 12, 13, 26, 31]

– наименьшая кинематическая погрешность прецессионного редуктора обеспечивается, когда в его конструкции используются центральное колесо с коническими роликами и сателлит с зубьями, имеющими профиль зубьев звездочки цепной передачи;

– более чем в 2 раза уменьшается кинематическая погрешность редуктора с зубьями сателлита, изготовленными способом двойного рабочего хода, по сравнению с вариантом, когда в конструкции использованы эвольвентные зубья, полученные традиционными способами зубофрезерования.

6. Испытания экспериментальных образцов прецессионных редукторов в заводских условиях показали, что в результате замены в конструкции прецессионного редуктора эвольвентных зубьев сателлита, образованных традиционным способом зубообработки, на зубья сателлита, выполненные способом конического зубофрезерования, уровень шума прецессионных редукторов снижен на 10 дБ, значение виброскорости – на 8 мм/с, а кинематической погрешности – на 70 угловых минут. Годовой экономический эффект от внедрения прецессионных редукторов в привод машины СО-170. составляет более 130 млн. белорусских рублей.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Способы обработки зубьев сателлита используются при изготовлении деталей прецессионных редукторов для привода переключения контактных разъединителей сети системы электрификации железных дорог, мотор-редукторов к машинам СО-170, эксплуатируемым организацией «ОДО Трансстрой» (г. Мозырь), деталей прецессионного зацепления, применяемого в конструкциях ручных лебедок службами МЧС.

Результаты работы могут быть реализованы различными проектными организациями, занимающимися проектированием и изготовлением механических приводов транспортеров, подъемников, лебедок, ленточных и цепных конвейеров, арматуры, строительно-отделочной техники и т.д.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Монография

1. Компьютерное моделирование планетарных прецессионных передач: монография / П. Н. Громыко, А.А. Жолобов, С.Н. Хатетовский, Д.С. Галюжин, Л.Г. Доконов; под общ. ред. П. Н. Громыко. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 271 с. : ил.

Статьи в научных изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, рекомендуемый ВАК

2. Громыко, П.Н. Формообразование пространственных зубьев сателлита коническо-цилиндрической прецессионной передачи традиционными методами зубообработки / П. Н. Громыко, С. Н. Хатетовский, Л. Г. Доконов // Вестн. МГТУ. – 2004. – № 1. – С. 34–36.
3. Скойбеда, А.Т. Формообразование поверхности зубьев сателлитных колес прецессионной роликовой передачи / А. Т. Скойбеда, П. Н. Громыко, Л.Г. Доконов // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 1. – С. 262–266.
4. Доконов, Л.Г. Устройство для контроля сложнопрофильных поверхностей деталей планетарной прецессионной передачи / Л.Г. Доконов // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 2. – С. 66–71.
5. Основные этапы проектирования прецессионного редуктора на основе использования методов компьютерного моделирования / П. Н. Громыко, С. Н. Хатетовский, Д. С. Галюжин, Л. Г. Доконов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2006. – № 4. – С. 83–90.
6. Разработка методики исследования плавности работы планетарной прецессионной передачи на основе использования методов компьютерного моделирования / П. Н. Громыко, Д. С. Галюжин, Л. Г. Доконов, И. В. Трусов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 82–89.
7. Создание специализированного стенда для комплексного исследования технических характеристик мотор-редукторов / П. Н. Громыко, Д.С. Галюжин, Л. Г. Доконов, И. В. Трусов // Горная механика. – 2008. – № 4. – С. 75–80.

Статьи в сборниках научных трудов

8. Громыко, П.Н. Методика прогнозирования ресурсов работы коническо-цилиндрической прецессионной передачи / П.Н. Громыко, С.Н. Хатетовский, Л.Г. Доконов // Перспективные технологии, материалы и системы : сб. науч. тр. / МГТУ; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2003. – С. 57–60.
9. Использование традиционных методов обработки для формообразования зубьев сателлита коническо-цилиндрической прецессионной передачи / А.Т. Скойбеда, П.Н. Громыко, С.Н. Хатетовский, Л.Г. Доконов // Современные

методы проектирования машин: Респ. межведомств. сб. науч. тр. / БНТУ; под общ. ред. П. А. Витязя. – Минск. : Технопринт, 2004. – Т. 5. – С. 33–36.

10. Громыко, П.Н. Адаптация эвольвентного профиля к условиям работы коническо-цилиндрической прецессионной передачи / П.Н. Громыко, С.Н. Хатетовский, Л.Г. Доконов // Детали машин и трибология: межвузов. сб. науч. тр. / Калинингр. гос. техн. ун-т; под общ. ред. С.В. Федорова. – Калининград, 2005. – С. 199–208.

11. Определение длины активной линии зацепления планетарной прецессионной передачи / П.Н. Громыко, А.А. Стаценко, Л.Г. Доконов, А.А. Леоненко // Перспективные технологии, материалы и системы: сб. науч. тр. / БРУ редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2005. – С. 96–101.

12. Доконов, Л.Г. Способы формообразования пространственно-модифицированых зубьев коническо-цилиндрической прецессионной передачи / Л.Г. Доконов, П.Н. Громыко, С.Н. Хатетовский // Сб. науч. работ студ. высших учебных заведений Респ. Беларусь «НИРС» / редкол. А.И. Жук [и др.]. Минск, 2005 – Ч.2. – С.132–135

Материалы научных конференций

13. Доконов, Л.Г. Анализ силовых взаимодействий в коническо-цилиндрической прецессионной передаче / Л.Г. Доконов // Материалы 37-й студенческой науч.-техн. конф., Могилев, 21–25 мая 2001 г. / МГТУ; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев: МГТУ, 2001.– С. 54-56.

14. Доконов, Л.Г. Особенности кинематики станочных приспособлений для обработки зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи / Л.Г. Доконов // Материалы 38-й студенческой науч.-техн. конф., Могилев, 22–25 мая 2002 г. / МГТУ; редкол.: И.С.Сазонов [и др.]. – Могилев: 2002. – С. 61 – 63.

15. Доконов, Л.Г**.** Исследование формообразующего зубчатого профиля центрального колеса коническо-цилиндрической прецессионной передачи / Л.Г. Доконов // Материалы III Междунар. межвузов. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 24–25 апреля 2003 г. / ГГТУ им. П.О. Сухого; редкол.: Н.Б. Козловская [и др.]. – Гомель: 2003. – С. 45–47.

16. Громыко, П.Н. Использование традиционных методов зубообработки для формирования зубчатых поверхностей сателлита коническо-циллиндрической прецессионной передачи / П.Н. Громыко, С.Н. Хатетовский, Л.Г. Доконов // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 15–16 мая 2003 г. / МГТУ; редкол.: И.С.Сазонов [и др.]. – Могилев: 2003. – С. 33.

17. Доконов, Л.Г. Определение области существования коническо-цилиндрического прецессионного зацепления / Л.Г. Доконов // Материалы VIII Рес. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Минск, 9–10 дек. 2003 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталев [и др.] – Минск, 2003. – С. 183–184.

18. Громыко, П.Н. Способ обработки пространственных зубьев сателлита коническо-цилиндрической прецессионной передачи / П.Н. Громыко,

С.Н. Хатетовский, Л.Г. Доконов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апр. 2004 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2004. – С. 32–33.

19. Доконов, Л.Г. Способ обработки зубчатого изделия с пространственно-модифицированными зубьями / Л.Г. Доконов // Образование, наука, производство. II Междунар. студенческий форум: Белгород, 26–28 мая 2004 г. Белгород, 2004. – С. 86.

20. Галюжин, Д.С. Моделирование работы коническо-цилиндрического прецессионного редуктора / Д.С. Галюжин, Л.Г. Доконов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Респ. науч-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С.Сазонов [и др.]. – Могилев: 2005. – С. 24.

21. Громыко, П.Н. Устройство для чистовой обработки пространственно-модифицированных зубьев / П.Н. Громыко, Л.Г. Доконов, Е.И. Лачев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 апр. 2005г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев: 2005. – С. 37.

22. Громыко, П.Н. Повышение КПД планетарных прецессионных передач путем оптимизации геометрии ее зацепления / П.Н. Громыко, Л.Г. Доконов, А.А. Стаценко // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21-22 апр. 2005 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев: 2005. – С. 87.

23. Доконов, Л.Г. Сравнение теоретической и практической моделей пространственно-модифицированных зубьев / Л.Г. Доконов // Материалы 41-й студенческой науч.-техн. конф., Могилев, 22–25 мая 2005 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев: 2005.– С. 47.

24. Доконов, Л.Г. Основные этапы формообразования зубьев колес коническо-цилиндрических прецессионных редукторов / Л.Г. Доконов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов: Могилев, 26 янв. 2006 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев; 2006. – С. 3–8.

25. Повышение технологичности конструкции прецессионного мотор-редуктора на основе оптимизации допусков на изготовление его основных звеньев / А.А. Жолобов, П.Н. Громыко, Д.С. Галюжин, Л.Г. Доконов // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: VI Междунар. науч-техн. конф., Новополоцк, 24-26 апр. 2007 г.: в 3 т. / ПГУ редкол.: М.Л. Хейфец [и др.] – Новополоцк: 2007 – Т. 1 – С. 10–13.

26. Трусов, И.В. Разработка стенда для испытания соосных мотор-редукторов / И. В. Трусов, Д. С. Галюжин, Л. Г. Доконов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф.: в 3 ч. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2007. – Ч. 1. – С. 151–152.

27. Доконов, Л.Г. Совершенствование способов формообразования зубьев планетарной прецессионной передачи на основе использования традиционных методов зубообработки. / Л.Г. Доконов // XII науч.-техн. конф. преподавателей и студентов / ВГТУ; редкол.: О.А. Минаев [и др.]. – Витебск, 2008. – С. 25–26.

28. Громыко, П.Н. Технология формообразования поверхностей зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи с использованием упрощенных профилей / П.Н. Громыко, А.А. Жолобов, Л.Г. Доконов // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: VII Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29–30 апр. 2009 г.: в 3 т. / ПГУ; под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика – Новополоцк, 2009 – Т. 2 – С. 128–132.

Патенты

29. Способ обработки зубчатого изделия с пространственно-модифицированными зубьями: пат. 8366 Респ. Беларусь, МПК 7 С1 В 23 F 17/00 / П.Н. Громыко, Л.Г. Доконов; заявитель ГУ ВПО Белорусско-Российский ун-т. – № а 20031141; заявл. 03.12.2003; опубл. 30.08.2006 // Афіційны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 3. – С. 174.

30. Планетарная прецессионная передача: пат. 11078 Респ. Беларусь, МПК (2006) С1 F 16 H 1/32 / П.Н. Громыко, Д.М. Макаревич, С.Д. Макаревич, Л.Г. Доконов: заявитель ГУ ВПО Белорусско-Российский ун-т. – № а20060411; заявл. 28.04.2006; опубл. 30.08.2008 // Афіційны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 3. – С. 126.

Депонированная рукопись

31. Громыко, П.Н. Исследование относительных скоростей скольжения в зацеплении коническо-цилиндрической прецессионной передачи / П.Н. Громыко, А.А. Стаценко, Л.Г. Доконов; МГТУ. – Могилев, 2001. – 15 с. – Деп. в БелИСА 06.08.2001, № Д–200152.

РЭЗЮМЭ

ДОКАНАЎ ЛЕАНІД ГЕНАДЗЬЕВІЧ

Тэхналогія формаўтварэння зубоў сатэліта планетарнай прэцэсійнай перадачы з выкарыстаннем спрошчаных профіляў

Ключавыя словы: планетарная прэцэсійная перадача, тэарэтычна дакладныя камп'ютарныя мадэлі, спрошчаныя спосабы формаўтварэння, спосаб падвойнага працоўнага ходу, спосаб канічнага зубафрэзеравання, зубы сатэліта, нахільны крывашып, прэцэсійны рэдуктар.

Аб'ектам даследаванняў з'яўляюцца тэхналогіі формаўтварэння прасторава-мадыфікаваных зубоў сатэліта з выкарыстаннем спрошчаных профіляў.

У ролі прадмета даследаванняў выступаюць спосабы формаўтварэння прасторава-мадыфікаваных зубоў сатэліта, іх камп'ютарныя мадэлі, дакладнасць апрацоўкі, кінематычная хібнасць сатэліта і выходнага вала, геаметрыя прэцэсійнага зачаплення, выходныя паказчыкі эксперыментальных узораў прэцэсійных матор-рэдуктараў.

Мэтай даследаванняў з'яўляецца распрацоўка і рэалізацыя тэхналогіі апрацоўкі зуб'яў сатэліта планетарнай прэцэсійнай перадачы з выкарыстаннем спрошчаных профіляў.

Распрацаваныя камп'ютарныя методыкі адзнакі дакладнасці зубоў сатэліта і азначэнні яго кінематычнай хібнасці, якія дазваляюць правесці параўнальны аналіз эфектыўнасці ўжывання новых тэхналагічных працэсаў формаўтварэння зубоў сатэліта.

Вызначаныя залежнасці для разліку параметраў эвальвентных і кругавых профіляў зубоў сатэліта, на аснове якіх магчыма максімальнае набліжэнне паверхняў тэарэтычна дакладных зубоў сатэліта і зубоў сатэліта са спрошчанымі профілямі, што з'яўляецца неабходнай умовай для рэалізацыі новых спосабаў вырабу зубоў сатэліта.

Створаны тэхналогіі апрацоўкі зубоў сатэліта з выкарыстаннем спрошчаных профіляў, якія дазваляюць пацвердзіць прастату працэсаў іх формаўтварэння. Распрацавана методыка кантролю дакладнасці зубоў сатэліта планетарнай прэцэсійнай перадачы.

Праведзена апрабацыя распрацаваных спосабаў формаўтварэння зубоў сатэліта пры вырабе дэталяў прэцэсійных рэдуктараў і дадзены практычныя рэкамендацыі па іх укараненню.

РЕЗЮМЕ

ДОКОНОВ ЛЕОНИД ГЕННАДЬЕВИЧ

Технология формообразования зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи с использованием упрощенных профилей

Ключевые слова: планетарная прецессионная передача, теоретически точные компьютерные модели, упрощенные способы формообразования, способ двойного рабочего хода, способ конического зубофрезерования, зубья сателлита, наклонный кривошип, прецессионный редуктор.

Объектом исследований являются технологии формообразования пространственно-модифицированных зубьев сателлита с использованием упрощенных профилей.

В роли предмета исследований выступают способы формообразования пространственно-модифицированных зубьев сателлита, их компьютерные модели, точность обработки, кинематическая погрешность сателлита и выходного вала, геометрия прецессионного зацепления, выходные показатели экспериментальных образцов прецессионных мотор-редукторов.

Целью исследований является разработка и реализация технологии обработки зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи с использованием упрощенных профилей.

Разработаны компьютерные методики оценки точности зубьев сателлита и определения его кинематической погрешности, позволяющие провести сравнительный анализ эффективности применения новых технологических процессов формообразования зубьев сателлита.

Определены зависимости для расчета параметров эвольвентных и круговых профилей зубьев сателлита, на основе которых возможно максимальное приближение поверхностей теоретически точных зубьев сателлита и зубьев сателлита с упрощенными профилями, что является необходимым условием для реализации новых способов изготовления зубьев сателлита.

Созданы технологии обработки зубьев сателлита, использующие упрощенные профили, позволяющие подтвердить простоту процессов их формообразования. Разработана методика контроля точности зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи.

Проведена апробация разработанных способов формообразования зубьев сателлита при изготовлении деталей прецессионных редукторов и даны практические рекомендации по их внедрению.

SUMMARY

DOKONOV LEONID GENNADYEVICH

The Technology of Formation of Satellite Teeth of Planetary Precession Gearing Using Simplified Profiles

Key words: planetary precession gearing, theoretically exact computer models, simplified methods of formation, method of double working stroke, method of conical teeth milling, satellite teeth, inclined crank, precession reduction gear

The object of the research is the technologies of formation of spatially modified satellite teeth using simplified profiles.

The subject of the research is the ways of formation of spatially modified satellite teeth, their computer models, the accuracy of their treatment, kinematic error of satellite and output shaft, the geometry of precession engagement, output indices of experimental samples of precession motor-reduction gears.

The objective of the research is to develop and to implement the technology of machining of satellite teeth of planetary precession gearing with the application of simplified profiles.

Computer methods of evaluating the satellite teeth accuracy are developed and also methods of determining its kinematic error which allow the comparative analysis of the effectiveness of new technological processes of satellite teeth formation to be made.

Dependencies to calculate the parameters of involute and round profiles of satellite teeth are determined, on the basis of which maximum approximation of the surfaces of theoretically accurate satellite teeth and those of satellite teeth with simplified profiles is possible, this being the necessary condition to realize new technologies of satellite teeth production.

The technologies of satellite teeth machining using simplified profiles are developed which prove the simplicity of processes of their formation. Methods of controlling the accuracy of satellite teeth of planetary precession gearing are worked out.

The developed technologies of satellite teeth formation for the production of precession reduction gear elements are tested and practical recommendations for their introduction are given.

ДОКОНОВ ЛЕОНИД ГЕННАДЬЕВИЧ

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ САТЕЛЛИТА ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРОЩЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.02.08
«Технология машиностроения»

Подписано в печать 26.05.2009 Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл.-печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 70 экз. Заказ № 395.

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
ЛИ № 02330/375 от 29.06.2004 г.
212000, г. Могилев, пр. Мира, 43