

МОГИЛЕВСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

УДК 621.833.002:621 83 06(043.3)

ХАТЕТОВСКИЙ Станислав Николаевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ЗУБЬЕВ КОЛЕС ПЛАНЕТАРНОЙ  
ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ИХ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

05.02.08 Технология машиностроения  
05.02.02 Машиноведение и детали машин

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета  
<http://e.biblio.bru.by/xmlui/>



АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Могилев 2000

Работа выполнена в Могилевском машиностроительном институте.

Научный руководитель      канд. техн. наук, доц. Громыко П. Н.

Научный консультант      канд. техн. наук, доц. Жолобов А. А.

Официальные оппоненты      Заслуженный деятель науки Республики  
Беларусь, д-р техн. наук, проф. Игнатищев Р. М ; д-р  
техн. наук, проф. Минаков А. П.

Оппонирующая организация      Научно-технический центр “Строммаш”  
(г. Могилев)

Защита состоится “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2000 г. в \_\_\_\_\_ ч на заседании  
Совета по защите диссертаций К 02.18.01 по присуждению ученой степени  
кандидата технических наук в Могилевском машиностроительном институте по  
адресу: 212005, г. Могилев, ул. Ленина, 70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Могилевского  
машиностроительного института

Автореферат разослан “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2000 г.

Ученый секретарь  
Совета по защите диссертаций  
канд. техн. наук



И. М. Кузменко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации.

В настоящее время область применения перспективных вариантов планетарных прецессионных передач (ППП) в современной технике ограничена из-за наличия факторов как конструктивного, так и технологического характера. Обладая хорошими характеристиками, ППП тем не менее имеет сложную конструкцию. Усложнение конструкции вызвано наличием большого количества цилиндрических роликов, служащих в качестве венцов для центральных колес данной передачи. При этом конструкция также усложняется из-за наличия элементов крепления роликов в корпусе прецессионных редукторов. Следует заметить, что большое количество роликов и элементов их крепления не только усложняет конструкцию передачи, но и увеличивает ее габариты. Наличие роликов обуславливает также уменьшение жесткости и снижение нагрузочной способности.

Решить указанные проблемы можно путем модернизации зубьев колес ППП, т. е. путем замены роликов на внутренние эвольвентные зубья, которые являются более технологичными и имеют широкий диапазон изменения параметров.

Если эвольвентные внутренние зубья центральных колес в настоящее время хорошо изучены, то наличие пространственных зубьев у таких колес ППП, как сателлиты, требует разработки математических и геометрических моделей для их изучения. Из-за отсутствия информации о геометрии зубьев сателлита нет возможности осуществлять их контроль и производить оптимизацию их параметров.

Основной технологической проблемой, стоящей на пути широкого применения ППП, является обработка зубьев сателлита. Обработку пространственных зубьев сателлита можно осуществлять при помощи специальных станочных приспособлений, предназначенных для обработки пространственно - модифицированных зубьев колес зубчатых муфт. Однако подобные приспособления требуют существенной доработки конструкции, изменения кинематических цепей и адаптации к станочному оборудованию, на котором предполагается вести обработку. Кроме этого не существует рекомендаций по выбору режущего инструмента и его параметров, а также рекомендаций по контролю точности зубьев сателлита.

В связи с вышесказанным замена роликов в конструкции ППП на внутренние эвольвентные зубья и решение связанных с этим ряда задач представляют собой актуальные проблемы.



Связь работы с крупными научными программами, темами.

Научные исследования по теме диссертации проводились в рамках региональной научно-технической программы “Развитие Могилевской области” в соответствии с темой хоздоговора № 9978/МГ-001 “Разработать, изготовить и провести заводские испытания опытной партии малогабаритных мотор - редукторов общемашиностроительного применения на базе коническо-цилиндрического прецессионного зацепления с передаточным числом более 20”.

Цель и задачи исследования.

Целью настоящей работы является упрощение конструкции ППП, снижение ее габаритных параметров и разработка основ технологии обработки пространственных зубьев сателлита.

Поставленная цель обуславливает решение задач, которые приведены ниже.

1 Выбор вида профиля зубьев, предназначенных для замены роликов в конструкции ППП.

2. Выбор схемы процесса формообразования пространственных зубьев сателлита.

3. Создание геометрической и математической моделей внутренних эвольвентных зубьев центральных колес.

4 Создание геометрической и математической моделей пространственных зубьев сателлита.

5 Исследование геометрии пространственных зубьев.

6 Разработка методов обработки пространственных зубьев.

7. Разработка рекомендаций по выбору и применению режущих инструментов для обработки зубьев сателлита.

8 Разработка рекомендаций по выбору режимов резания и контролю точности пространственных зубьев.

9. Разработка рекомендаций по промышленному внедрению прецессионных редукторов с эвольвентным профилем зубьев центральных колес.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования являются модернизация зубчатых венцов колес ППП и технологические основы формирования пространственных зубьев сателлита. В роли предмета исследований выступают зубья центральных колес, сателлитов, а также прецессионные редукторы, выполненные на основе ППП.

Методология и методы проведенного исследования.

Методология работы связана с применением компьютерной техники и

направлена на решение задач определения геометрических параметров пространственных зубьев сателлитов и эвольвентных зубчатых профилей центральных колес ППП, изучения свойств зацепления данных зубчатых колес и облегчения анализа их зубьев. Вышеперечисленные задачи решаются путем исследования геометрических моделей зубьев, которые получаются при помощи ЭВМ в графических системах. Средствами графических систем можно определять геометрические параметры данных моделей и таким образом облегчать анализ геометрии зубьев.

Измерение погрешности профиля зубьев сателлита после их изготовления производилось при помощи инструментального микроскопа. Накопленная погрешность шага пространственных зубьев сателлита была определена на специальном стенде при помощи оптической делительной головки.

Определение КПД передач производилось по методике, разработанной на кафедре “Технология машиностроения” Могилевского машиностроительного института.

Работоспособность прецессионных редукторов исследовалась в эксплуатационных условиях на электрифицированных участках железной дороги.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

Впервые получены и исследованы математические модели пространственных зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи: разработана методика геометрического расчета зубьев сателлита, предложена методика оптимизации геометрических параметров зубьев сателлита.

Впервые разработана методика обработкой пространственных зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи стандартными режущими инструментами (червячными модульными фрезами и дисковыми долбьяками): разработаны общие принципы формообразования пространственных зубьев изделий, совершающих в механизмах прецессионное движение; разработаны специальные станочные приспособления к зубофрезерному и зубодолбежному станкам для обработки зубьев сателлита, выявлены характерные погрешности зубьев изделий, совершающих в процессе обработки прецессионное движение, и даны рекомендации по их уменьшению.

Практическая и экономическая значимость полученных результатов

Разработаны методика расчета геометрических параметров зубчатых колес ППП, а также методика, позволяющая оптимизировать данные параметры, способ определения контрольных параметров пространственных

зубьев сателлита, а также программное обеспечение, позволяющее рассчитывать параметры зубьев колес ППП и получать геометрические модели данных зубьев.

Разработаны методы, позволяющие производить обработку пространственных зубьев на стандартном станочном оборудовании стандартными режущими инструментами.

Выявлен ряд особенностей станочной обработки зубьев сателлита, который и лег в основу соответствующих рекомендаций.

Разработана методика расчета производящих профилей при обработке пространственных зубьев.

Разработаны методики назначения режимов резания и контроля точности зубьев сателлита.

Разработки и технические решения, основанные на результатах данной работы, внедрены с помощью ООО “Инженерные услуги” (г. Минск). В соответствии с разработанными методиками и рекомендациями была изготовлена партия прецессионных редукторов в количестве 40 штук. Данные редуктора являются составной частью электроприводов разъединителей двигательных ЭПД-1. Привода установлены на Минском, Оршанском и Брестском электрифицированных участках Белорусской железной дороги. При этом экономически обосновано, что замена роликов зубчатыми венцами позволяет упростить конструкцию передачи и снизить ее себестоимость.

Перспективным направлением применения ППП являются общемашиностроительные привода и, в особенности, привода с большими передаточными отношениями (500 - 1000). Важным направлением также может быть создание подъемно-тяговых механизмов и устройств.

Разработанное программное обеспечение, позволяющее получать геометрические модели зубьев колес ППП, может служить базой для исследований пятна контакта в зацеплении, прочностных характеристик зубьев, а также для других исследований.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Методики расчета параметров зубчатых колес ППП.
2. Методики анализа параметров зубьев сателлита и центрального колеса ППП на стадии проектирования и изготовления.
- 3 Направления формирования пространственных зубьев сателлита.

Личный вклад соискателя.

Автором диссертации лично разработаны приведенные выше основные положения и проведена экспериментальная часть работы В совместных работах соискатель принимал участие в разработке основной

идеи, проведении экспериментов и подготовке материалов к публикации. В госбюджетных и хоздоговорных НИР по теме диссертации он принимал активное участие как в теоретической, так и в экспериментальной частях. При этом соискатель являлся ответственным исполнителем некоторых из НИР.

#### Апробация результатов диссертации.

Основные положения представляемой работы доложены и обсуждены на международной научно-технической конференции в г. Могилеве “Современные направления развития производственных технологий и робототехника” (1999 г.), а также на открытом научном семинаре кафедры “Детали машин, ПТМ и М” Белорусской государственной политехнической академии (г. Минск, 2000 г.).

#### Опубликованность результатов.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 12-и научных работах, в том числе 1-ой статье в научно-техническом журнале, 2-х депонированных работах, 2-х статьях в сборниках, один из которых издан за рубежом, и 7-и тезисах докладов на конференциях. Общее количество страниц опубликованного материала - 42. Кроме этого основные результаты диссертации включены в 6 отчетов по НИР. Получены также 2 приоритетные справки по заявкам на изобретение: № а 19980644 “Планетарная прецессионная передача”, № а 19980647 “Устройство для обработки изделий с пространственно модифицированными зубьями”.

#### Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, состоящей из 5-и глав, заключения, списка использованных источников из 79-и наименований и 6-и приложений. Полный объем диссертации - 158 страниц. Диссертация содержит 78 страниц основного текста, 44 рисунка и 3 таблицы.



## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе рассмотрены особенности ПИП, в конструкцию которой входят ролики, выполняющие роль зубьев центральных колес (рис. 1).

Выявлено, что наличие роликов существенно усложняет конструкцию передачи, приводит к снижению нагрузочной способности, а также к увеличению габаритных размеров. Роликовые венцы центральных колес нетехнологичны и усложняют формообразование зубьев сателлитов, которые контактируют в ППП с центральными колесами. Геометрические параметры

зубьев сателлита, зависящие от геометрии роликов, приходится обрабатывать специальным инструментом, режущая часть которого копирует форму ролика. С целью устранения указанных недостатков роликового варианта ППП было предложено заменить ролики в конструкции венцов центральных колес на внутренние эвольвентные зубья. При этом геометрия зубьев сателлита, ранее зависевшая от параметров роликов, изменилась. Для формообразования зубьев сателлита, контактирующих с эвольвентными зубьями, необходим инструмент, режущая часть которого представляет собой также эвольвентные зубья. В настоящее время существует множество таких инструментов (долбяки, червячные фрезы), которые после учета особенностей формообразования зубьев сателлита могут быть применены для их обработки.

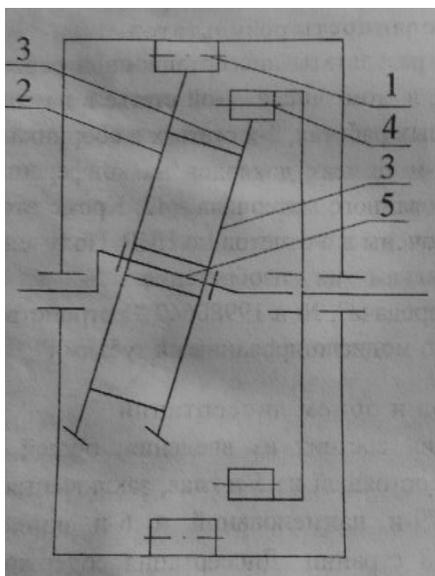


Рис.1. Кинематическая схема ППП: 1- неподвижное центральное колесо; 2- венец 3- венец; 4- подвижное центральное колесо; 5- кривошип

В настоящее время не существует зубообрабатывающих станков, кинематика которых позволяла бы осуществлять формообразование зубьев сателлита. Обработка зубьев, по геометрии близких к геометрии зубьев сателлита, осуществляется в основном при помощи специальных станочных приспособлений. Принцип работы этих приспособлений заключается в том, что заготовке сообщается наряду с вращательным еще и прецессионное движение. В результате анализа различных конструкций подобных приспособлений . была разработана обобщенная схема процесса

формообразования зубьев сателлита, которая была реализована в конструкции двух станочных приспособлений

Вторая глава посвящена решению вопросов, связанных с определением геометрических параметров зубьев центрального колеса и сателлита ППП. Для определения геометрии зубьев центрального колеса была разработана методика их расчета, основанная на теории эвольвентного зацепления и позволяющая принимать в качестве исходного данного радиус впадин центрального колеса  $R_{ик}$ , который является лимитирующим размером радиальных габаритов передачи.

С целью определения геометрии зубьев сателлита были получены на ЭВМ их каркасные модели. Получение моделей осуществлялось на основе графического метода синтеза сопряженных профилей - метода последовательных положений. Последовательные положения формообразующего профиля получались в соответствии с кинематикой ППП, условная схема которой показана на рис. 2.

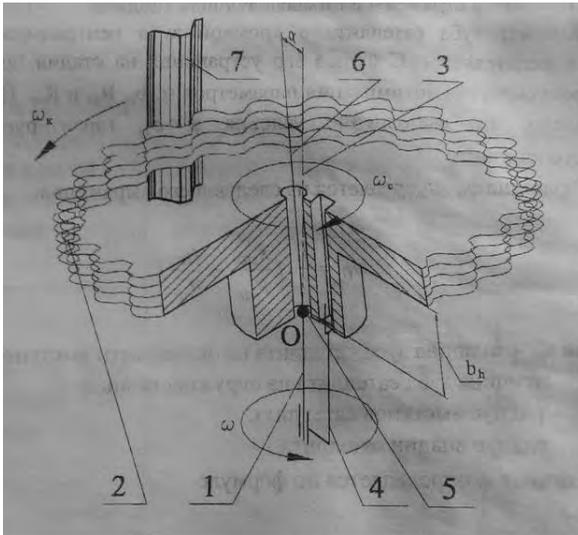


Рис 2. Условная схема ППП: 1 - кривошип; 2 - каркасная модель сателлита,

3 - ось вращения центрального колеса; 4 - вилка, 5 - центр прецессии, 6 - ось вращения сателлита; 7 - профиль центрального колеса;  $\omega$  - угловая скорость вращения кривошипа;  $\omega_c$  - угловая скорость вращения сателлита;  $\omega_k$  - угловая скорость вращения центрального колеса;  $\alpha$  - угол нутации;  $b_h$  - расстояние от центра прецессии до профиля сателлита

В качестве формообразующего профиля был использован зубчатый профиль центрального колеса. Полученные модели являются точным трехмерным изображением реальных зубьев. Средствами графических систем, таких как система AutoCAD, можно считывать значения геометрических параметров зубьев сателлита (высоту, толщину и т. п.) по их моделям.

На основе уравнений профиля сателлита, рассмотренных в работах других авторов, были также получены математические модели его зубьев. В результате анализа данных математических моделей было установлено, что форма зубьев сателлита определяется такими параметрами ППП, как угол нутации  $\alpha$ , расстояние от центра прецессии до профиля зуба  $b_h$ , а также радиусы впадин и выступов центрального колеса –  $R_{ik}$  и  $R_{ak}$ . Из этого следует, что зубчатые профили сателлита, расположенные на различных расстояниях  $b_h$  от центра прецессии, различаются между собой. Профили зубьев сателлита, расположенные на различных расстояниях от центра прецессии, по-разному контактируют с зубьями центрального колеса. Возможные способы контакта отражены в нижеследующей таблице

Контакт зуба сателлита с кромкой зуба центрального колеса не является желательным. С целью его устранения на стадии проектирования ППП предусмотрена оптимизация параметров  $\alpha$ ,  $b_h$ ,  $R_{ik}$  и  $R_{ak}$ . При этом было установлено, что выполнение условия  $\varphi < \varphi_0$  гарантирует отсутствие подобного контакта.

Величина  $\varphi_0$  определяется из следующего выражения:

$$\varphi_0 = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{s_{ac}}{R_{ac}} - \frac{s_{ic}}{R_{ic}} \right),$$

где  $s_{ac}$  - толщина зуба сателлита на окружности выступов;

$s_{ic}$  - толщина зуба сателлита на окружности впадин;

$R_{ac}$  - радиус выступов сателлита,

$R_{ic}$  - радиус впадин сателлита.

Величина  $\varphi$  определяется по формуле

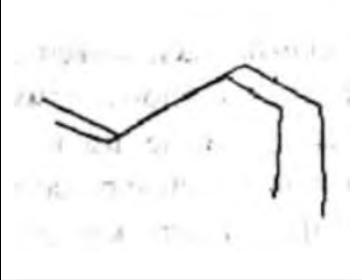
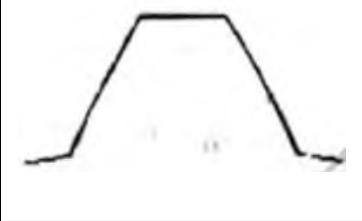
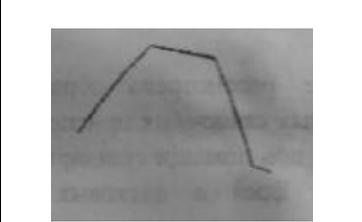
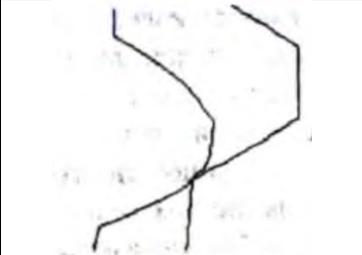
$$\varphi = \varphi_{кр} \cdot i - \arctg \frac{b_h \cdot \sin a \cdot \sin \varphi_{кр} \cdot \sqrt{1 - \sin^2 a \cdot \cos^2 \varphi_{кр}}}{R_{ак} - b_h \cdot \sin a \cdot \cos \varphi_{кр}}$$

где  $i$  - передаточное отношение кривошипа относительно сателлита,

$\varphi_{кр}$  - параметр, входящий в уравнения профиля зубьев сателлита ППП.



## Способы контакта зубьев сателлита и колеса в ППП

Описание способа	Изображение	Характеристика
Контакт боковой поверхности зуба сателлита с правой стороной зуба центрального колеса		Увеличивается многопарность зацепления
Контакт зуба сателлита с правой стороной одного и с левой стороной другого зуба колеса		Основной способ контактирования зубьев колес ППП
Контакт зуба сателлита с правой стороной одного и с левой стороной другого зуба колеса		Увеличивается многопарность зацепления
Контакт зуба сателлита с левой стороной зуба колеса		Увеличивается многопарность зацепления
Контакт зуба сателлита с кромкой зуба колеса		Возникает вероятность заклинивания передачи, ухудшаются характеристики зацепления

Параметр  $\varphi_{кр}$  определяется по формуле

$$\varphi_{кр} = \arccos \frac{R_{ак} - R_{ак}}{b_h \cdot \sin a},$$

Профили зубьев сателлита, расположенные на различных расстояниях от центра прецессии не только по-разному контактируют с зубьями центрального колеса, но могут и не иметь точек контакта. Отсутствие контакта зубьев сателлита и центрального колеса является нежелательным явлением. Для его устранения, также как и для устранения кромоочного контакта зубьев сателлита и центрального колеса, проводилась оптимизация параметров  $a$ ,  $b_h$ ,  $R_{ik}$  и  $R_{ак}$ . Было установлено, что при неотрицательном значении величины

$$\Phi = i - \frac{b_h \cdot \sin a \cdot \cos a}{R_{ак} - b_h \cdot \sin a},$$

зубья сателлита гарантированно имеют точки контакта с зубьями центрального колеса.

В третьей главе рассмотрена обработка зубьев сателлита с использованием специальных станочных приспособлений к зубофрезерному и зубодолбежному станкам при помощи стандартных режущих инструментов - червячных модульных фрез и дисковых долбяков соответственно. Применение данных стандартизованных инструментов стало возможным после разработки метода формообразования зубьев сателлита с использованием производящего колеса. В качестве производящего колеса выступает центральное колесо ППП, от геометрии зубьев которого зависит геометрия зубьев сателлита. Но данное производящее колесо имеет внутренние зубья, что при обработке наружных зубьев сателлита делает проблематичным получение производящего механизма огибания на станке. Поэтому вместо производящего колеса с внутренними эвольвентными зубьями было предложено использовать производящее колесо с наружными зубьями при условии, что данные колеса образуют конгруэнтную пару. Конгруэнтная производящая пара представлена на рис. 3.

С целью замены производящего колеса с внутренними зубьями на производящее колесо с наружными зубьями была разработана методика расчета геометрических параметров последнего. Данные параметры зависят от геометрических параметров центрального колеса, которое, как было сказано ранее, представляет собой производящее колесо с внутренними

зубьями. При этом было выявлено, что производящее и центральное зубчатые колеса имеют одинаковые модуль  $m$  и число зубьев  $z$ , а их коэффициенты толщины зуба  $\Delta$  отличаются лишь знаком. Радиус впадин производящего колеса  $R_{in}$  не больше радиуса выступов центрального колеса  $R_{ак}$ .

Разработанный метод формирования зубьев сателлита с использованием производящего колеса с наружными зубьями был реализован при помощи специальных станочных приспособлений. Принцип работы данных приспособлений иллюстрируется рис 2. Каждое из разработанных приспособлений имеет кинематику, которая позволяет сообщать заготовке прецессионное движение.

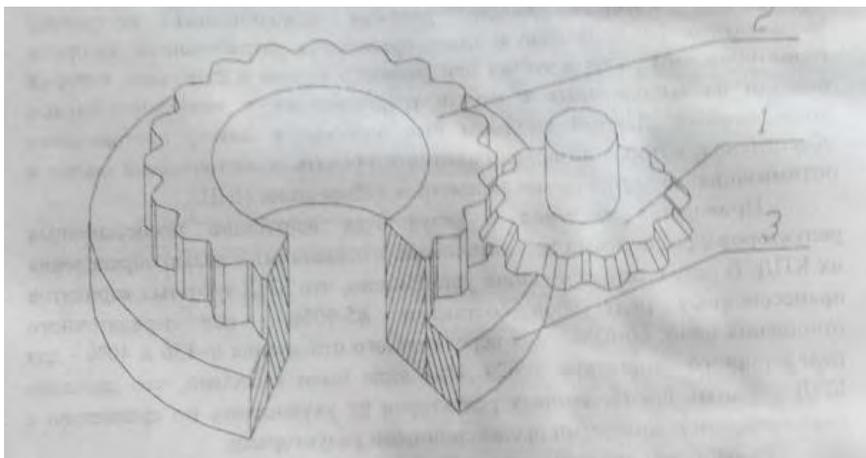


Рис. 3. Конгруэнтная производящая пара: 1 - инструмент; 2 и 3 - конгруэнтная производящая пара

В четвертой главе подтверждена достоверность полученных моделей зубьев сателлита путем сопоставления геометрических параметров реальных зубьев, обработанных с определенной точностью, и их моделей.

Рассмотрены факторы, влияющие на точность зубьев сателлита, присущие только процессу обработки последних. К данным факторам относятся нерегулярная прецессия, которую совершает заготовка на зубофрезерном приспособлении, а также погрешность кинематической цепи, которая включает цепи деления станка и приспособления. При этом установлено, что с целью уменьшения погрешности обработки, вызванной данными факторами, следует при использовании зубофрезерного приспособления назначать передаточное отношение его кинематической

цепи меньше 1, а при использовании зубодолбежного приспособления следует применять долбяк с меньшим количеством зубьев, чем у производящего колеса

Были определены погрешность профиля зубьев сателлита, а также накопленная погрешность шага. При этом было установлено, что для условий экспериментальной обработки величина данных погрешностей определяется погрешностью профиля инструмента и погрешностью приспособления, которые по величине превышают погрешность, вызванную нерегулярной прецессией и погрешностью цепи деления.

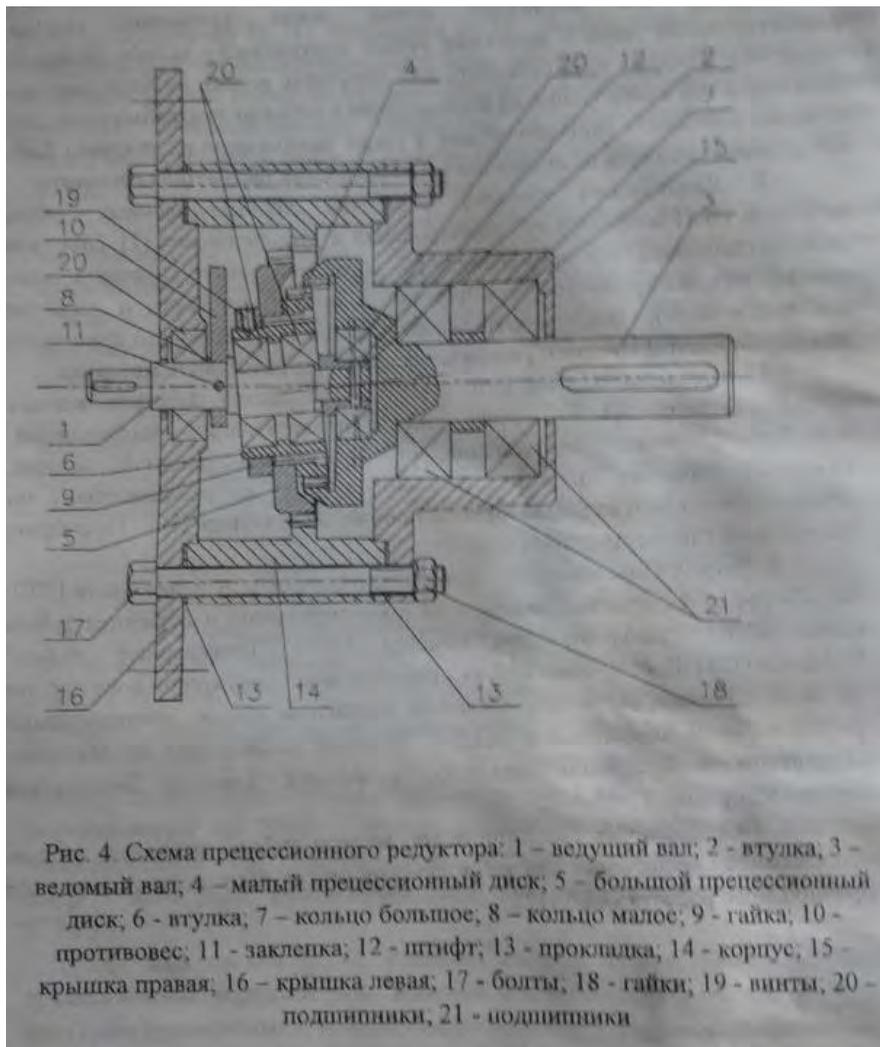
В пятой главе изложены рекомендации по промышленному внедрению прецессионных редукторов, созданных на основе ППП, в конструкции которых вместо роликов использованы внутренние эвольвентные зубья. В данной главе приводится разработанный алгоритм геометрического расчета зубьев центрального колеса и сателлита, который основан на выполненных в работе теоретических и экспериментальных исследованиях. Данный алгоритм был положен в основу программного обеспечения, которое позволило автоматизировать геометрический расчет и оптимизацию геометрических параметров зубьев колес ППП.

Приводятся сведения о результатах испытаний прецессионных редукторов с различными передаточными отношениями с целью определения их КПД. В результате испытаний установлено, что КПД зубчатых вариантов прецессионных редукторов составляет: 85-90% - для передаточного отношения  $u=40$ ; 60-65% - для передаточного отношения  $u=136$  и 40% - для передаточного отношения  $u=629$ . При этом было выявлено, что значения КПД зубчатых прецессионных редукторов не ухудшились по сравнению с аналогичными роликовыми прецессионными редукторами.

Разработана конструкция прецессионного редуктора (рис. 4) для работы в составе привода разъединителей ЭПД-1 (ТУ РБ 141512718.001-97), предназначенного для размыкания контактов на электрифицированных участках железной дороги. Партия приводов ЭПД-1 в количестве 40 штук установлена на Минском, Брестском и Оршанском участках Белорусской железной дороги. Экономически обосновано, что использование зубчатого варианта прецессионного редуктора предпочтительней, чем использование роликового варианта прецессионного редуктора. Экономический эффект был получен вследствие существенного упрощения конструкции. При этом было установлено, что нагрузочная способность зубчатого прецессионного редуктора в 2 раза выше, чем у роликового аналога при одних и тех же габаритных размерах.

Перспективными областями применения зубчатых вариантов прецессионных редукторов являются общее машиностроение, подъемно-

тяговые устройства и сельскохозяйственная техника.



1. Предложено использовать в ППП внутренние эвольвентные зубья центральных колес вместо роликов [1-2]. Для этого разработаны геометрические и математические модели зубьев центрального колеса и сателлита ППП [3-5] Проведены исследование вариантов контактирования

зубьев данных колес и анализ формы пространственных зубьев сателлита [6]. Установлено, что последний может иметь срезанные участки, контактирующие лишь с кромками зубьев центрального колеса. Выявлено также, что толщина зуба сателлита при обработке может уменьшаться; при этом такой зуб в зацеплении не контактирует с зубьями центрального колеса. С целью избежания срезания зубьев, а также уменьшения их толщины была предложена методика оптимизации геометрических параметров сателлита.

2. Разработаны способы обработки пространственных зубьев сателлита ППП методами зубофрезерования и зубодолбления [7]. При этом было установлено, что применение для обработки зубьев сателлита таких стандартных инструментов, как червячные модульные фрезы и дисковые долбки, возможно благодаря введению понятия производящего станочного колеса, параметры которого рассчитываются по разработанной методике.

3 Выявлены особенности станочной обработки пространственных зубьев сателлита [8-9] и дан ряд соответствующих рекомендаций. Разработаны также рекомендации по назначению режимов резания, контролю точности пространственных зубьев и рекомендации по техническому обслуживанию прецессионных редукторов [10]. Проведены исследования точности зубьев сателлита.

4 Разработаны методики геометрического расчета зубьев колес ППП. Разработки и технические решения по проектированию и обработке зубьев колес ППП внедрены при помощи ООО “Инженерные услуги” (г Минск) [11]. Изготовлена партия прецессионных редукторов в количестве 40 штук Данные редуктора являются составной частью электропривода разъединителей двигательных ЭПД-1. Привода установлены на Минском, Оршанском и Брестском электрифицированных участках Белорусской железной дороги.

5. Разработанные геометрические модели зубьев сателлита, а также программное обеспечение для их получения могут быть использованы для прочностного расчета ППП [12].

1. Громько П. Н., Макаревич Д. М., Хатетовский С. Н. Адаптация эвольвентного профиля зубьев колес прецессионного редуцирующего узла к условиям работы подъемно-тяговых устройств // Современные направления развития производственных технологий и робототехника: Материалы междунар. науч.-техн. конф. / Могилев машиностр. ин-т. - Могилев, 1999. - С. 106.

2. Громько П. Н., Стаценко А. А., Хатетовский С. Н. Создание технологических профилей прецессионного колеса путем адаптации эвольвентного профиля к условиям работы планетарной прецессионной передачи // Современные проблемы машиностроения и технический прогресс: Материалы междунар. науч.-техн. конф. / Донецк, гос. техн. ун-т. - Севастополь, 1996. - С. 98.

3. Громько П. Н., Хатетовский С. Н. Разработка каркасной модели пространственно модифицированного профиля зубчатого колеса планетарной прецессионной передачи / Могилев, машиностр. ин-т. - Могилев, 1998. - 11 с.: ил.: Библиогр.: 3 назв. Рус. Деп. в БелИСА 13.11.98, № Д199887 // Реф. сб. непубликуемых работ. Отчеты НИР, ОКР, ОТР, депонированные научные рукописи. — 1999. - № 1 (12). - С. 79-80.

4. Громько П. Р., Хатетовский С. Н. Адаптация эвольвентного профиля к условиям работы планетарной прецессионной передачи / Могилев, машиностр. ин-т. - Могилев, 1998. - 12 с.: ил.: Библиогр.: 2 назв. Рус. Деп. в БелИСА 07.12.98, № Д199889 // Реф. сб. непубликуемых работ. Отчеты НИР, ОКР, ОТР, депонированные научные рукописи. - 1999. - № 1 (12). - С. 84-85.

5. Громько П. Н., Стаценко А. А., Хатетовский С. Н. Решение задач оптимизации профилей прецессионных зубчатых колес путем графического моделирования на ЭВМ // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования и производства: Материалы междунар. науч.-техн. конф. / Ин-т техн. кибернетики Нац. акад. наук Беларуси. - Мн., 1996. - С. 74.

6. Хатетовский С. Н. Решение задачи оптимизации планетарной передачи при помощи аналитических методов // Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка: Материалы междунар. науч.-техн. конф. / Могилев, машиностр. ин-т. - Могилев, 2000. - С. 203.

7. Жолобов А. А., Хатетовский С. Н. Использование производящего колеса при обработке зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи // Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка: Материалы



междунар. науч.-техн. конф. / Могилев, малшноегр. ин-т. - Могилев, 2000  
С. 70.

8. Громыко П. Н, Хатетовский С Н. К вопросу изготовления зубчатых профилей сателлита планетарной прецессионной передачи // Изв. НАН Беларуси Сер. физ.-техн. наук - 2000. - № 1. - С. 50-53:

9. Планетарная прецессионная передача. Прочностной, энергетический и технологический аспекты ее создания / П. Н. Громыко, А. А. Стаценко, С. Н. Хатетовский, О. М. Пусков // Материалы Международной 53-й конференции профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов Белорусской государственной политехнической академии. / Бел. гос. политехнической академии - Мн, 1999. - Ч 1. - С. 144

10. К вопросу об особенностях ремонта планетарных прецессионных редукторов / А. А. Жолобов, П. Н. Громыко, С Н. Хатетовский и др. // Современные материалы, оборудование, технологии и восстановление деталей машин: Тематический сб. / Полоцк, гос. ун-т. - Новополоцк, 1999. - С. 290-292.

11. Разработка планетарной прецессионной передачи для мотор-редукторов общемашиностроительного применения / П. Н Громыко А. А. Стаценко, С. Н. Хатетовский, О. М Пусков // Современные направления развития производственных технологий и робототехника: Материалы междунар науч.-техн конф. / Могилев малпшостр ин-т. - Могилев, 1999. - С. 180.

12. Особенности прочностного расчета прецессионной планетарной передачи / П. Н Громыко, А. А. Жолобов, О. М. Пусков, С Н. Хатетовский *I Nove smery vo vyrobnych technologiach: Zbomfk referatov. / Technicka univerzita v Kosiciach. Fakulta vyrobnych technologi v Presove. - Presov, 1999.-С. 409-413.*



## РЕЗЮМЕ

ХАТЕТОВСКИЙ Станислав Николаевич

*“Совершенствование геометрии зубьев колес планетарной прецессионной передачи и технологическое обеспечение их формообразования”*

**Ключевые слова:** Планетарная прецессионная передача, прецессионный редуктор, сателлит, центральное колесо, производящее колесо, зубофрезерование, зубодолбление.

**Объектом исследований** являются геометрические параметры зубьев колес планетарной прецессионной передачи, а также технологическое обеспечение формообразования данных зубьев.

**Цель работы** заключается в упрощении конструкции прецессионной передачи, снижении ее габаритных размеров и разработке основ технологии обработки зубьев колес.

Поставленная цель достигается за счет использования внутренних эвольвентных зубьев вместо роликов в конструкции венцов центральных колес. Для этого были разработаны геометрические и математические модели зубьев центрального колеса и контактирующего с ним сателлита. На основе разработанных моделей были получены методики расчета геометрических параметров зубьев, включающие оптимизацию данных параметров

Разработан способ формообразования зубьев сателлита с использованием производящего колеса. Данный способ позволил применять стандартизованные режущие инструменты: червячные фрезы и долбяки.

Результаты работы были использованы при проектировании и изготовлении опытной партии прецессионных редукторов, в конструкции которых ролики заменены на внутренние эвольвентные зубья. Данные редуктора характеризуются более высокой нагрузочной способностью и более низкой себестоимостью по сравнению с роликовым вариантом

Результаты исследований, проведенных в работе, могут быть использованы при разработке редукторов общемашиностроительного применения.

## РЭЗЮМЕ

ХАЦЯТ09СК1 Шашслава Макаласвт

*"Удаскананьванне геаметрыі зубоу планетарной прэцэсійнай перадачы і тэхналагічнае забеспячэнне іх формаутварэння "*

**Ключавія словы:** планетарная прэцэсійная перадача, прэцэсны рэдуктар, сатэлэт, цэнтральнае кола, вытваральнае кола, зубафрэзераванне, зубадзяубанне.

**Аб'ектам даследавання** з'яўляюцца геаметрычныя параметры зубоу колау планетарная прэцэсійнай перадачы, а таксама тэхналагічнае забеспячэнне формаутварэння дадзеных зубоу.

Мэта работы заключаецца у спрашчэнні канструкцыі прэцэсійнай перадачы, зніжэнні яе параметраў і распрацоўцы асноў тэхналогі апрацоўкі зубоу колау.

Пастаўленая мэта дасягаецца за кошт выкарастання унутраных эвальвентных зубоу замест ролікаў у канструкцыі вяжка цэнтральных колаў. Для гэтага былі распрацаваны геаметрычныя і матэматычныя мадэлі зубоу цэнтральнага кола і кантактуючага з ім сатэліта. На аснове распрацаваных мадэлей былі атрыманы метадыкі разліку геаметрычных параметраў зубоу, уключаючы аптымізацыю дадзеных параметраў.

Распрацаваны спосаб формаутварэння зубоу сатэліта з выкарыстаннем вытваральнага кола. Дадзены спосаб дазволіў прымяняць стандартызаваныя рэжучыя інструменты: чарвячныя фрэзы і даўбякі.

Вынікі работы былі выкарыстаны пры практаванні і вырабу доследнай партыі прэцэсійных рэдуктараў, у канструкцыі якіх ролікі заменены на унутраныя эвальвентныя зубы. Дадзеныя рэдуктара характарызуюцца больш высокай нагрузчай здольнасцю і больш нізкім сабекоштам у параўнанні з ролікавым варыянтам.

Вынікі даследаванняў, праведзеных у рабоце, могуць быць выкарыстаны пры распрацоўцы рэдуктараў агульнамашынабудуначага прымянення.

## SUMMARY

KHATETOVSKJ Stanislav Nickolaevich

*"Planetary precessional transmission ring gears teeth geometry improvement and the technological provision of their shaping"*

**Key words:** planetary precessional transmission, planetary precessional reduction gear machine, satellite, central wheel, generating wheel, gear milling, gear shaping.

**The object of research** is planetary precessional transmission design gears teeth geometrical parameters and also the technological provision of these very teeth shaping

**Goal of the work** is planetary precessional transmission design simplification, its overall dimensions reducing and the principles of ring gears teeth manufacturing technology creation.

The goal has been achieved by means of utilizing internal involute teeth instead of the rolls in the central wheels ring gears design. The central wheel and the satellite interacting with this very wheel teeth geometrical and mathematical models have been developed for the purpose above. The methods of the teeth geometrical parameters calculations including the optimization of these very parameters have been obtained on the basis of the models developed.

The method of shaping the teeth of the satellite by virtue of generating wheel has been worked out This method allows to utilize the standardized cutting tools such as worm mills and shapers.

The results of the work have been used while designing and manufacturing a trial batch of planetary precessional reduction gear machines. The rolls in then structure have been substituted for the internal involute teeth. These machines are characterized by the higher loading capacity and the lower cost as compared to ones with the rolls in the design.

The results of the investigations carried out in this work can be utilized while developing the reduction gear machine of general application.

Хатетовский Станислав Николаевич

Совершенствование геометрии зубьев колес планетарной прецессионной  
передачи и технологическое обеспечение их формообразования

05.02.08 Технология машиностроения  
05 02 02 Машиноведение и детали машин

Автореферат диссертации на соискание учетной  
степени кандидата технических наук



---

Подписано к печати \_\_\_\_\_ 2000 г. Заказ \_\_\_\_\_

Формат 60x84 1/16. Тираж 100 экз.

Объем усл. печ. л. - 1,2 Уч.-изд. - 1,3.

Отпечатано в ММИ

г. Могилев, ул. Ленина, 70

Лицензия ЛП № 165 от 08.01.1998 г.