

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ**  
**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.833.6 (043.3)

**ГАЛЮЖИН**  
**ДАНИИЛ СЕРГЕЕВИЧ**

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**  
**ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ**  
**РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ И**  
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЗАЦЕПЛЕНИЯ**

Специальность 05.02.02 -  
машиноведение, системы приводов и детали машин

**Автореферат диссертации**  
**на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Могилев 2006**

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

Научный руководитель	- доктор технических наук, профессор, Петр Николаевич Громько, ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев
Официальные оппоненты	- доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технология машиностроения» Михаил Федорович Пашкевич, ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев  - кандидат технических наук, доцент, Николай Николаевич Ишин, заведующий лабораторией диагностических систем, институт механики и надежности машин НАН Республики Беларусь, г. Минск
Оппонирующая организация	Республиканское производственное унитарное предприятие «Могилевский завод «Строммашина», г. Могилев

Защита диссертации состоится « 4 » июля 2006 г. в 14<sup>00</sup> на заседании Совета по защите диссертаций К 02.18.01 при государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» по адресу: 212005, г. Могилев, пр-т Мира, 43.

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

Автореферат разослан « \_\_\_ » июня 2006 г.

Ученый секретарь Совета  
по защите диссертаций К 02.18.01  
доктор физико-математических наук,  
профессор

В.И. Борисов

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы диссертации.**

Механические приводы, создаваемые на основе известных типов червячных и зубчатых передач, во многих случаях не отвечают современным требованиям по обеспечению высокого КПД, низких массогабаритных показателей и себестоимости изготовления. Поэтому расширение видов механических передач является актуальной задачей, стоящей перед исследователями и разработчиками в любой области машиностроения.

К одним из прогрессивных видов передач можно отнести эксцентриковые передачи. Они выгодно отличаются от широко применяемых обычных передач малогабаритностью, компактностью, возможностью передачи крутящего момента с высокими значениями коэффициента редуцирования. Разновидностью эксцентриковых передач является планетарная прецессионная передача, отличительной особенностью которой является наклонное расположение эксцентрика на входном валу. Однако области их применения ограничены. Зачастую это объясняется сложностью конструкции таких передач из-за большого количества составляющих звеньев и комплектующих изделий, а также необходимостью использования специального инструмента и приспособлений при изготовлении. Попытки упрощения конструкции и повышения технологичности исследуемой передачи приводили к ухудшению эксплуатационных показателей. Таким образом, до сих пор не создана прецессионная передача с минимальным количеством звеньев, изготавливаемых стандартным режущим инструментом на стандартном оборудовании, с эксплуатационными показателями, находящимися на уровне показателей широко распространенных механических передач.

В настоящее время проектирование различных инженерных устройств практически не обходится без применения современных методов компьютерного моделирования. Особенно такого рода моделирование незаменимо при исследовании новых видов механических передач, т. к. оно позволяет не только сократить время исследований и проектирования, но и повысить точность расчета параметров, определяющих их эксплуатационные показатели.

Ранее исследования планетарной прецессионной передачи проводилось с использованием множества допущений. Так, например, при проведении кинематических и силовых расчетно-теоретических исследований использовались стержневые модели передачи, не учитывающие форму контактирующих зубьев и наличие многопарного зацепления. Это приводило к значительным погрешностям при определении параметров передачи, что в результате отрицательно сказывалось на их эксплуатационных показателях.

На основе использования способов компьютерного моделирования возможно создание современных методик расчета исследуемой передачи, позволяющих разработать приводы с необходимыми эксплуатационными показателями при высокой технологичности конструкции. Такой подход

расширит область применения исследуемой передачи, а также позволит сделать значительные шаги в направлении создания на её основе общемашиностроительных редукторов.

### **Связь работы с крупными научными программами, темами.**

Научные исследования по теме диссертации проводились в рамках государственной программы фундаментальных исследований «Развитие теории и разработка методов прогнозирования и повышения надежности технических систем (Надежность и безопасность)», согласно перечня приоритетных направлений фундаментальных научных исследований республики Беларусь на 2002-2005 гг., межвузовской программы «Машиностроение» (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.), гранта (тема «Создание динамической модели коническо-цилиндрической прецессионной передачи с разработкой на ее основе способов снижения вибрационных характеристик» № гос. рег. 20041985, 2004 г.), а также в рамках хозяйственной работы «Разработка средств малой механизации для проведения ремонтных работ контактной сети и подвижного состава троллейбусного парка» (2004-2005 гг.).

### **Цель исследований.**

Целью исследований является улучшение эксплуатационных показателей планетарных прецессионных передач на основе использования методов компьютерного моделирования.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать методику создания компьютерных моделей звеньев планетарной прецессионной передачи, а также методику проведения исследований на основе указанных моделей;

- с помощью разработанных методик осуществить выбор структурной схемы исследуемой передачи и оптимальных геометрических параметров её звеньев;

- на основе способов компьютерного моделирования на стадии проектирования оценить эксплуатационные показатели планетарной прецессионной передачи, а также установить влияние погрешностей изготовления на плавность вращения выходного вала;

- провести оценку переходных процессов, происходящих в планетарной прецессионной передаче при её работе;

- разработать методы уравнивания вращающихся звеньев исследуемой передачи;

- экспериментально оценить эксплуатационные показатели опытных образцов редукторов, разработанных на базе планетарной прецессионной передачи;

- разработать методику проектирования планетарной прецессионной передачи на основе методов компьютерного моделирования.

### **Объект и предмет исследования.**

Объектом исследования является планетарная прецессионная передача типа К-Н-V с минимальной разницей чисел зубьев сателлита и центрального колеса.

Предмет исследований – эксплуатационные показатели мотор-редуктора, разработанного на основе исследуемой передачи.

**Гипотезой** исследований являлось предположение о возможности использования в зацеплении планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V сателлита и центрального колеса с минимальной разностью чисел зубьев, обеспечивающей создание малогабаритных приводов.

### **Методы исследований.**

Основные результаты исследований, позволившие осуществить рациональный выбор параметров планетарной прецессионной передачи, а также усовершенствовать геометрию зацепления, получены на основе разработанных компьютерных моделей при помощи специализированных САПР на ЭВМ. Адекватность созданных моделей, а также расчетных методов была проверена путем сравнения теоретических и экспериментальных результатов.

Полученные теоретические результаты, касающиеся определения значения КПД планетарных прецессионных передач, а также ресурса их работы, подтверждены экспериментальными исследованиями, проведенными в лаборатории кафедры «Технология машиностроения» Белорусско-Российского университета, а также в лаборатории ИМИНМАШ НАН Беларуси.

Достоверность результатов исследования переходных динамических процессов, происходящих в исследуемой передаче, а также выводов, полученных на основе исследований плавности вращения выходного вала и уравнивания вращающихся звеньев, подтверждены испытаниями, проведенными на РУП «Могилевский завод «Электродвигатель», а также на испытательном полигоне ОАО «МИСОМ ОП».

Вывод о преимуществе предлагаемого привода на базе планетарной прецессионной передачи для бетонозаглаживающей машины СО-170, по сравнению с применяемым в настоящее время приводом с планетарным цевочным редуктором, основан на сравнительном технико-экономическом анализе.

### **Научная новизна и значимость полученных результатов.**

Доказано, что критерием, позволяющим косвенным путем на стадии проектирования оценить качество работы планетарной прецессионной передачи, является амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала.

На основе использования методов компьютерного моделирования впервые обоснована возможность использования в исследуемой передаче типа К-Н-V сателлита и центрального колеса с минимальной разностью чисел зубьев.

Впервые доказано, что расхождение амплитуды колебаний частоты вращения выходного вала при использовании в зацеплении планетарной прецессионной передачи приближенных профилей зубьев сателлита, образуемых стандартным режущим инструментом, в сравнении с теоретически точными профилями не превышает 1%. Это позволяет применять зубья с приближенным профилем в зацеплении исследуемой передачи.

На основе исследований компьютерных моделей планетарной прецессионной передачи получена формула для расчета расстояния от ближайшего торцевого сечения зубчатого венца сателлита до точки прецессии, при котором колебания частоты вращения выходного вала минимальны.

Впервые проведены исследования переходных процессов процессов, происходящих в исследуемой передаче, позволяющие оценить их качество.

На основе полученных формул для расчета значения величины дисбаланса противовеса и его расположения относительно точки прецессии с помощью способов компьютерного моделирования, позволяющих осуществить статическую и динамическую балансировку, даны рекомендации по расположению противовеса в конструкции прецессионного редуктора.

Впервые разработана методика расчета планетарной прецессионной передачи на основе использования способов компьютерного моделирования. Предложено перспективное направление совершенствования исследуемой передачи путем использования двойного эксцентрика на её входном валу, обеспечивающее повышение ресурса работы передачи.

#### **Практическая и экономическая значимость полученных результатов.**

Разработанная при непосредственном участии автора методика проектирования планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V под руководством проф., д.т.н. Громыко П.Н. позволила создать прецессионный редуктор с эксплуатационными показателями, удовлетворяющими требованиям к приводам строительной-отделочной техники, при низкой себестоимости изготовления. Предложенная конструкция привода на основе данной планетарной прецессионной передачи принята к внедрению в ОАО «МИСОМ ОП» (г. Минск).

Результаты исследований также использованы на МГКУП «Горэлектротранспорт» (г. Могилев) в виде методик проектирования ручных и электрических талей на основе планетарной прецессионной передачи, предназначенных для проведения ремонта контактной линии и подвижного состава.

Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке новых конструктивных решений, на основе которых созданы малогабаритные планетарные прецессионные мотор-редукторы для приводов строительной-отделочных машин, а также – редуцирующие механизмы для талей.

Годовой экономический эффект от использования планетарных прецессионных редукторов в приводе бетонозаглаживающей машины СО-170 составит более 130 млн. бел. руб. при годовом объеме выпуска 600 шт.

## **Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

Результаты теоретических исследований исследуемой передачи типа К-Н-V, основанные на применении методов компьютерного моделирования.

Методика расчета планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V с минимальной разностью чисел зубьев сателлита и центрального колеса, позволяющая оценить прогнозируемый ресурс работы передачи.

Результаты экспериментальных исследований, позволившие подтвердить выводы теоретической части работы, а также осуществить оценку эксплуатационных свойств редукторов, разработанных на основе планетарной прецессионной передачи.

Новая конструкция редуктора, разработанная на основе планетарной прецессионной передачи применительно к приводу бетонозаглаживающей машины СО-170.

### **Личный вклад соискателя.**

Основные результаты, представленные в диссертационной работе, получены соискателем самостоятельно. При этом доказано, что оптимальной структурой исследуемой передачи для создания малогабаритных приводов, является планетарная прецессионная передача типа К-Н-V с минимальной разницей чисел зубьев сателлита и центрального колеса равной единице. Получены формулы для расчета значения величины дисбаланса противовеса и его расположения относительно точки прецессии, при которых обеспечиваются минимальные значения суммарных реакций в подшипниковых опорах. Доказано, что в зацеплении планетарной прецессионной передаче рационально использовать приближенный профиль зубьев сателлита, образуемый стандартным режущим инструментом.

Самостоятельно соискателем были проведены исследования переходных процессов, происходящих в исследуемой передаче.

Разработана совместно с научным руководителем методика проектирования планетарной прецессионной передачи на основе использования методов компьютерного моделирования, позволяющая определить прогнозируемый ресурс работы прецессионных редукторов. Совместно с научным руководителем предложено направление совершенствования исследуемой передачи на основе использования двойного эксцентрика на её входном валу, обеспечивающее повышение ресурса её работы.

В процессе исследований соискатель являлся ответственным исполнителем хоздоговорной НИР.

### **Апробация результатов диссертации.**

Основные положения работы представлены на внутри вузовских конференциях: «36-я студенческая научно-техническая конференция» ( г.Могилев, 2000 г.); на международных научно-технических конференциях: «Современные технологии, материалы, машины и оборудование» ( г.Могилев, 2002 г. ), «Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование» ( г.Могилев, 2003 г. ), «III международная межвузовская научно-технической конференции студентов, аспирантов и магистрантов»

( г.Гомель, 2003г. ), «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» ( г. Могилев 2004г. ), «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» ( г. Могилев, 2004г. ); в сборниках научных трудов: «Перспективные технологии, материалы и системы сб. науч. тр. МГТУ» ( г.Могилев, 2001г. ), «Перспективные технологии, материалы и системы: сб. науч. тр. МГТУ» ( г.Могилев, 2003г. ), «Перспективные технологии, материалы и системы сб. науч. тр. Бел.-Рос. ун-т» ( г.Могилев 2005г. ), «Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. сб. науч. тр.» ( г.Минск, 2002г. ), «Вестник МГТУ» ( г.Могилев, 2002г.) «Вестник МГТУ» ( г.Могилев, 2004г.), «Вестник МГТУ» ( г.Могилев, 2006г.).

Механизмы на базе планетарных прецессионных передач экспонировались на следующих выставках и ярмарках: Ганноверская промышленная ярмарка 2003 г. Ганновер ФРГ, 7-12 апреля 2003г., Ганноверская промышленная ярмарка 2003 г.Ганновер ФРГ, 19-24 апреля 2004г., Белорусский промышленный форум г.Минск, 18-21 мая 2004г., Ганноверская промышленная ярмарка 2005 г.Ганновер ФРГ, 11-15 апреля 2005г., III международная выставка вооружения и военной техники «MILEX-2005» г.Минск, 17-20 мая 2005г., Первый Белорусско-Российский экономический форум и Российская национальная выставка г.Минск, 6-9 сентября, IV-я Национальная выставка «Беларусь-2005» в Литовской Республике г. Вильнюс, 5-8 октября.

Результаты диссертации были доложены и обсуждены на совместном семинаре кафедр «Теоретическая механика» и «Основы проектирования машин» Белорусско-Российского университета.

#### **Опубликованность результатов.**

По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 8 статей в рецензируемых журналах и сборниках, 5 материалов конференций, 1 депонированная работа. Получено 10 актов и справок о внедрении и эксплуатационных испытаниях.

#### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа изложена на 104 страницах машинописного текста, содержит таблиц 9, рисунков 133. Состоит из 4 разделов, заключения и приложений. Список использованных источников включает 112 наименований

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность научно-технической задачи улучшения эксплуатационных показателей планетарной прецессионной передачи. Отмечено, что решение вопросов снижения уровня шума и вибраций, повышение плавности вращения входного вала, а также обеспечения требуемого ресурса работы позволит расширить области применения исследуемой передачи.



Сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, дана общая характеристика работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации выполнен анализ конструкций механических передач с соосным расположением входного и выходного валов. На его основе сделан вывод о перспективности соосных эксцентриковых передач. Низкие массогабаритные показатели эксцентриковых передач привлекали и привлекают в настоящее время внимание многих исследователей. Среди них Скворцова Н.А., Шанников В.М., Пашкевич М. Ф., Борисенко Л.А., Янкевич Н.Г., Басинюк В.Л. Болотов И.А. и др. Цевочные передачи эксцентрикового типа нашли свое применение в некоторых областях промышленности. В Японии и США налажено их серийное производство. Несмотря на то, что эксплуатационные показатели указанных передач соответствуют лучшим мировым аналогам, из-за высокой стоимости они используются, как правило, лишь в приводах технологического оборудования. Попытки снизить себестоимость изготовления цевочных передач путем снижения точности изготовления их звеньев или путем применения в их зацеплении стандартного эвольвентного профиля до настоящего времени к успеху не привели.

Особое место среди класса эксцентриковых передач занимают планетарные прецессионные передачи. Отличительной их особенностью является использование наклонного эксцентрика на входном валу. Планетарные прецессионные передачи можно подразделить на две группы. В планетарных прецессионных передачах первой группы в качестве контактирующих звеньев используются тела качения. Исследованиями таких прецессионных передач занимаются специалисты кишиневской школы (Технический университет Молдовы, г. Кишинев) под руководством д-ра техн. наук, профессора И.А. Бостана. Редуцирующие узлы, спроектированные специалистами указанной школы, нашли применение в приводах установок для подводного бурения. Однако применение прецессионных передач с телами качения в общемашиностроительных редукторах проблематично ввиду наличия в их конструкции большого количества элементов (роликов), которые необходимо точно позиционировать и надежно крепить в корпусе передачи.

Исследованием второй группы планетарных прецессионных передач, отличительной особенностью которых является использование в качестве формообразующего профиля зуба центрального колеса эвольвенты, занимаются специалисты в Южно-Уральском государственном университете (г. Челябинск) под руководством д-ра техн. наук, профессора Б.А. Лопатина, а также в Белорусско-Российском университете (г. Могилев) под руководством д-ра техн. наук, профессора П.Н. Громыко.

Преимуществом планетарной прецессионной передачи, разрабатываемой специалистами челябинской школы, является обеспечение многопарности в зацеплении за счет увеличения числа параллельных потоков мощности, что позволило использовать её в конструкциях электромеханических приводов космических аппаратов. Однако исполнение

эксцентриковых кривошипов в виде коленчатого вала и наличие двух наклонных сателлитов приводят к усложнению конструкции данной передачи.

Наиболее эффективный способ упрощения планетарной прецессионной передачи предложен специалистами могилевской школы. Сущность его в том, что в структуре данной передачи используется один наклонный кривошип и один сателлит. При такой конструкции передачи возможно уменьшение габаритных размеров редуктора за счет доведения разницы между числом зубьев сателлита и числом зубьев центрального колеса до единицы. При этом для данной структурной схемы планетарной прецессионной передачи достигается максимально возможное передаточное отношение. У планетарной прецессионной передачи данной группы имеются широкие возможности рационального выбора параметров звеньев и совершенствования геометрии зацепления. Это позволяет выделить исследования могилевской школы в самостоятельное направление.

Весомый вклад в исследования планетарных прецессионных передач, как с телами качения, так и с эвольвентным формообразующим профилем зубьев, внес д-р техн. наук, профессор А.Т. Скойбеда (Белорусский национальный технический университет, г. Минск).

Проектирование планетарных прецессионных передач специалистами всех выше названных школ до настоящего времени в основном базировались на создании математических моделей, в основу которых были положены упрощенные схемы исследуемых передач с многочисленными допущениями. Например, специалистами могилевской школы ранее использовалась упрощенная стержневая модель планетарной прецессионной передачи, при этом не учитывалась многопарность в зацеплении и вид профиля контактирующих зубьев. Результаты исследований носили относительный характер, расчеты передачи делались с большой погрешностью. Специалистами могилевской школы были разработаны многочисленные конструкции редуцирующих устройств на базе планетарной прецессионной передачи, которые нашли своё применение в приводах контактных разъединителей, устанавливаемых на электрифицированных участках железной дороги, а также в конструкциях ручных лебедок. Однако до последнего времени в приводах общего машиностроения такие планетарной прецессионной передачи не находили применения. Это объясняется тем, что при относительной простоте конструкции ряд эксплуатационных показателей исследуемой передачи находился на относительно низком уровне. К данным эксплуатационным показателям следует отнести: шумовые и вибрационные характеристики, плавность вращения входного вала, а также требуемый ресурс работы.

Анализ различных типов планетарных прецессионных передач, приведенный в данной главе, позволил выбрать для проведения исследований передачу, выполненную по схеме К-Н-V, которая изображена на рис.1.

В заключение первой главы обосновывается перспективность такого направления исследований механических передач, как компьютерное моделирование, основанное на создании компьютерных моделей.

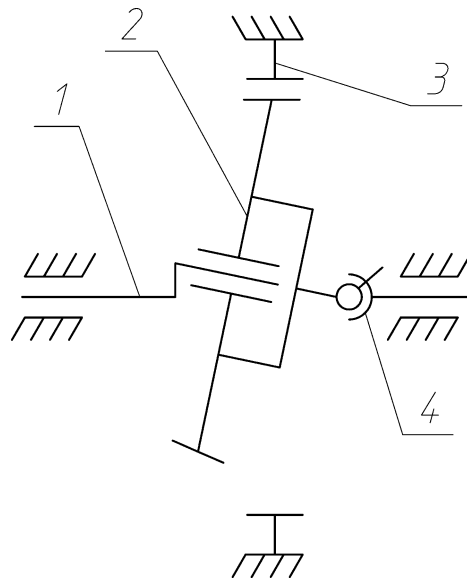


Рис. 1. Планетарная прецессионная передача типа К-Н-V: 1 – входной вал с наклонным кривошипом, 2 – сателлит, 3 – центральное неподвижное колесо с внутренним зубчатым венцом, 4 – угловая муфта, передающая вращение на выходной вал

**Вторая глава** диссертации посвящена вопросам улучшения эксплуатационных показателей планетарной прецессионной передачи на основе рационального выбора параметров звеньев.

В начале главы описана методика создания компьютерных моделей зацепления. Особенностью данной методики является то, что она позволяет выполнять формообразование пространственно-модифицированных зубьев сателлита. Общий вид созданной компьютерной модели планетарной прецессионной передачи показан на рис.2.

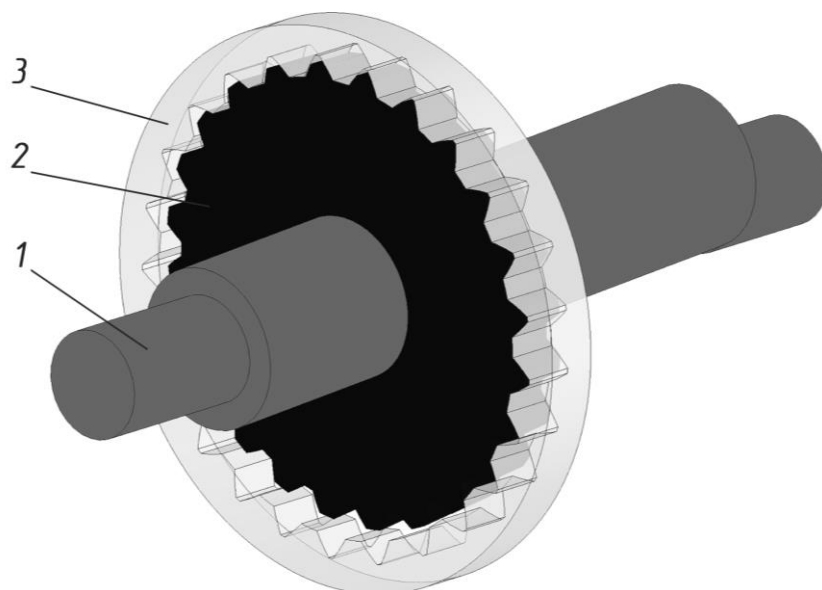


Рис. 2. Общий вид компьютерной модели планетарной прецессионной передачи: 1 – входной вал с наклонным кривошипом, 2 – сателлит с наружным зубчатым венцом, 3 – центральное неподвижное колесо с внутренним зубчатым венцом.

Критерием оценки работы планетарной прецессионной передачи выбрана амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала. В качестве численного значения критерия принята амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала стандартной эвольвентной передачи. Для этого была создана её компьютерная модель и определена упомянутая амплитуда. Графики зависимости в стандартной эвольвентной зубчатой передаче и планетарной прецессионной передаче типа К-Н-V, приведенные на рис.3, показывают сопоставимость значений амплитуды колебаний выходного вала. Следует отметить, что применение угловой муфты для снятия вращения с сателлита на выходной вал увеличивает указанную выше амплитуду колебаний на 0,2%.

Сравнительный анализ компьютерных моделей исследуемых передач типа 2К-Н и типа К-Н-V позволили установить, что амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала у передачи типа К-Н-V более чем в четыре раза ниже, чем у передачи типа 2К-Н. Это подтвердило правильность выбора структурной схемы планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V.

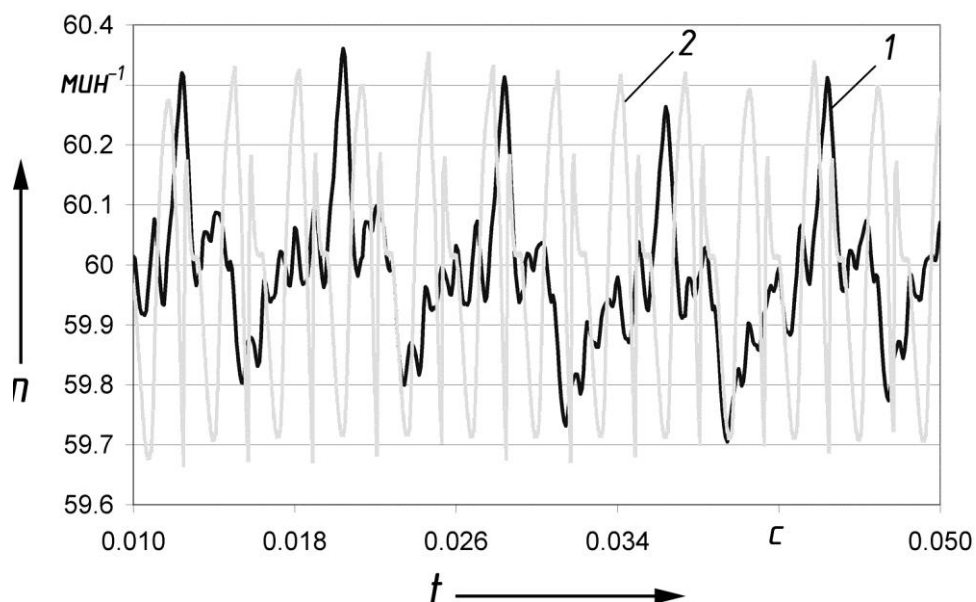


Рис. 3. Зависимость колебаний частоты вращения выходного вала от времени: 1 – в стандартной эвольвентной зубчатой передаче; 2 – в планетарной прецессионной передаче типа К-Н-V

Получена зависимость (см. формулу 1) между основными параметрами зацепления планетарной прецессионной передачи, а именно между углом нутации  $\alpha$ , расстоянием от точки прецессии до ближайшего торца зубчатого венца сателлита, а также передаточным отношением  $i$ , при выполнении которой обеспечивается повышение плавности вращения выходного вала более 5 %.

$$b = -\frac{R_{ca} + R_{cf}}{2 \cdot i \cdot \sin \alpha}, \quad (1)$$

где  $R_{ca}$ ,  $R_{cf}$  – радиусы впадин и выступов сателлита соответственно.

От точности уравнивания вращающихся звеньев планетарной прецессионной передачи зависят такие эксплуатационные показатели как уровень шума и вибрации. Для этого была составлена расчетная схема (рис.4) и получены выражения (2) для расчета равнодействующей сил инерции, позволяющей определить величину дисбаланса противовеса, а также место его расположения на входном валу.

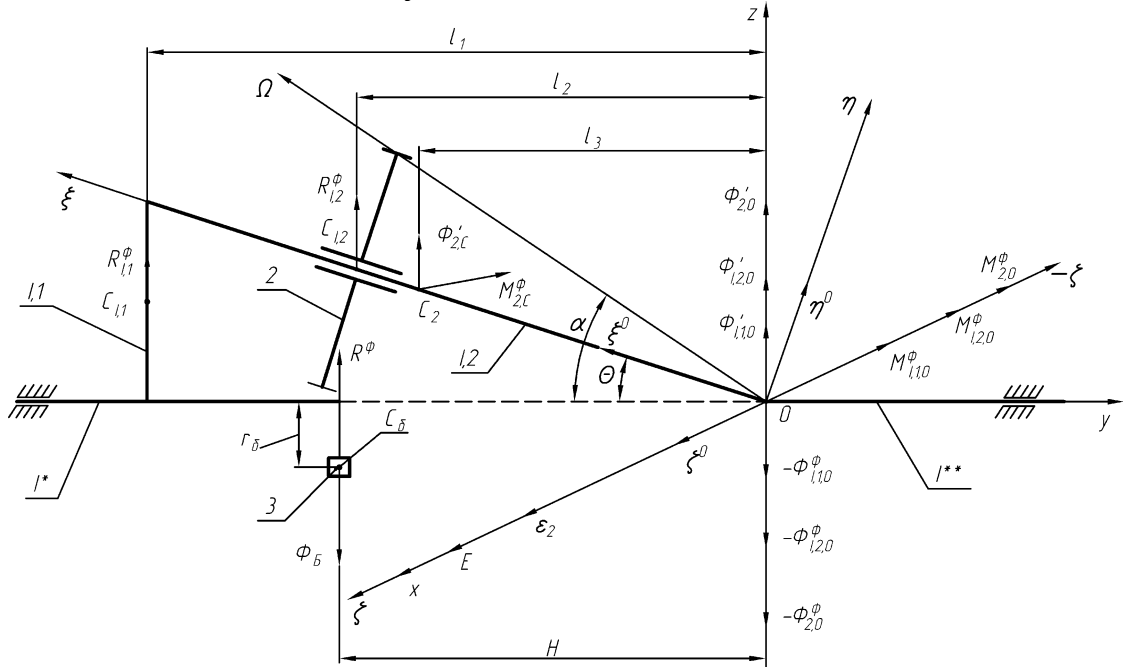


Рис. 4. Расчетная схема для определения величины дисбаланса противовеса

$$\begin{cases} R^\Phi = (m_{I,1} \cdot r_{C_{I,1}} + m_{I,2} \cdot r_{C_{I,2}} + m_2 \cdot r_{C_2}) \cdot \omega_1^2 \\ H = \frac{(m_{I,1} \cdot r_{C_{I,1}} \cdot l_1 + m_{I,2} \cdot r_{C_{I,2}} \cdot l_2 + \frac{\varepsilon_2}{\omega_1^2} I_{2E}^{np}) \cdot \omega_1^2}{(m_{I,1} \cdot r_{C_{I,1}} + m_{I,2} \cdot r_{C_{I,2}} + m_2 \cdot r_{C_2})} \end{cases} \quad (2)$$

где:  $R^\Phi$  – равнодействующая сил инерции вращающихся звеньев,

$H$  – расстояние от центра прецессии до центра масс противовеса,

$m_2, m_{I,1}, m_{I,2}$  – массы сателлита, щеки и шейки наклонного вала соответственно,

$r_{C_2}, r_{C_{I,1}}, r_{C_{I,2}}$  – радиусы вращения центра масс сателлита, щеки и шейки наклонного вала, относительно точки прецессии,

$\omega_1$  – угловая скорость вала,

$\varepsilon_2$  – угловое ускорение сателлита,

$l_1, l_2$  – расстояние от точки прецессии до центра масс щеки и шейки наклонного вала соответственно,

$I_{2E}^{np}$  – приведенный момент инерции сателлита

Для проверки адекватности уравнений (2) и возможности использования их для инженерных расчетов были дополнительно проведены исследования уравнивания вращающихся звеньев планетарной прецессионной передачи с помощью методов компьютерного моделирования (рис.5). На основе критерия минимума значения реакций в подшипниковых опорах было определено оптимальное расположение противовеса в конструкции прецессионной передачи.

На компьютерных моделях были также проведены исследования влияния погрешностей изготовления звеньев планетарной прецессионной передачи на плавность вращения выходного вала. Установлено, что из всех вероятных погрешностей наибольшее влияние на величину амплитуды колебаний частоты вращения выходного вала оказывает погрешность изготовления эксцентрика входного вала.

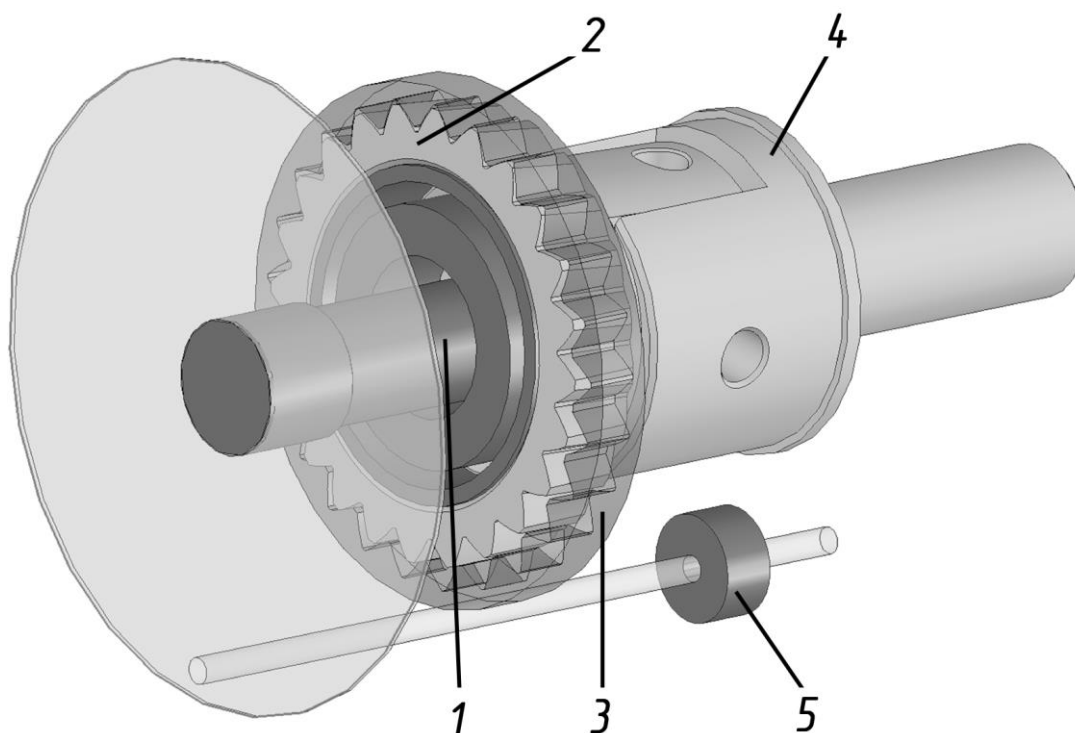


Рис. 5. Общий вид компьютерной модели для уравнивания вращающихся звеньев планетарной прецессионной передачи: 1 – входной вал, 2 – сателлит, 3 – центральное колесо, 4 – выходной вал, 5 – противовес

Колебания частоты вращения выходного вала планетарной прецессионной передачи могут происходить из-за неправильного выбора параметров упругих и диссипативных элементов. Это вызвало необходимость в проведении исследований переходных процессов, происходящих в планетарной прецессионной передаче. Общий вид динамической модели привода с прецессионной передачей представлен на рис.6.

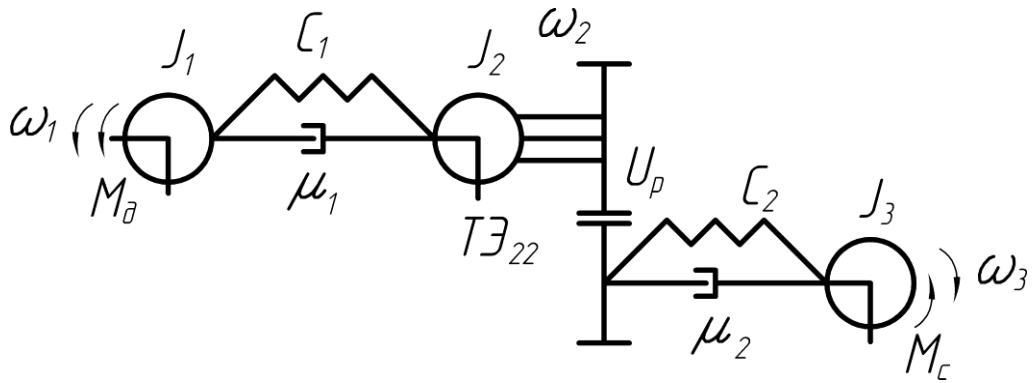


Рис.6. – Общий вид динамической модели привода с планетарной прецессионной передачей

В результате была получена система дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\omega_1}{dt} = \frac{M_d - (M_{C_1} + M_{\mu_1})}{J_1}; \\ \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{(M_{C_1} + M_{\mu_1}) - \frac{(M_{C_2} + M_{\mu_2})}{U_p \cdot \eta}}{J_2}; \\ \frac{d\omega_3}{dt} = \frac{(M_{C_2} + M_{\mu_2}) - M_c}{J_3}; \\ \frac{dM_{C_1}}{dt} = C_1(\omega_1 - \omega_2); \\ \frac{dM_{C_2}}{dt} = C_2 \left( \frac{\omega_2}{U_p} - \omega_3 \right) \end{array} \right. \quad (3)$$

где:  $M_d$  – крутящий момент на двигателе,  
 $M_c$  – момент сопротивления на выходном валу,  
 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  – угловые скорости вращения звеньев системы,  
 $C_1, C_2$  – значения крутильной жесткости звеньев системы,  
 $\mu_1, \mu_2$  – значения коэффициентов упругости для звеньев системы,

В результате проведенных расчетно-теоретических исследований с помощью системы дифференциальных уравнений подобраны параметры привода с прецессионной передачей, обеспечивающие необходимое время переходного процесса (0,01-0,02 с).

**Третья глава** работы посвящена вопросам совершенствования геометрии зацепления планетарной прецессионной передачи.

Известно, что планетарная прецессионная передача типа К-Н-V имеет минимальные габаритные размеры при разности между числом эвольвентных зубьев центрального колеса и числом зубьев сателлита равной единице. Считалось, что указанная разница может быть достигнута только в мелко модульном зацеплении. Однако это приводит к снижению нагрузочной

способности передачи. С помощью компьютерных моделей исследуемой передачи путем варьирования коэффициента смещения исходного контура зубонарезного инструмента и модуля, была доказана возможность создания зацепления планетарной прецессионной передачи с минимальной разностью между числами зубьев центрального колеса и сателлита. При этом нет необходимости в использовании мелко модульного зацепления.

Исследования компьютерных моделей планетарной прецессионной передачи с указанной выше разницей равной единице показали, что амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала в этом случае удовлетворяет выбранному критерию. С увеличением разницы чисел зубьев центрального колеса и сателлита повышается плавность работы исследуемой передачи, но при этом значительно возрастают ее габаритные размеры.

Кроме того, была выполнена оценка качества работы различных зацеплений: эвольвентный внутренний зуб центрального колеса входит в зацепление с зубом сателлита с теоретически точным профилем; эвольвентный внутренний зуб центрального колеса – с зубом сателлита с приближенным профилем, образуемым стандартным режущим инструментом; круговой внутренний зуб центрального колеса – с теоретически точным зубом сателлита с теоретически точным профилем; круговой внутренний зуб центрального колеса – с зубом сателлита с приближенным профилем. Анализ работы описанных зацеплений позволил установить, что расхождение амплитуды колебаний частоты вращения выходного вала не превышает 1%. Из технологических соображений преимущество при выборе зацепления отдано варианту: эвольвентный внутренний зуб центрального колеса входит в зацепление с зубом сателлита с приближенным профилем.

Затем, используя компьютерные модели указанных выше зацеплений, была осуществлена оценка КПД планетарной прецессионной передачи. На рис. 7 показан график зависимости КПД от времени для выбранного варианта зацепления.

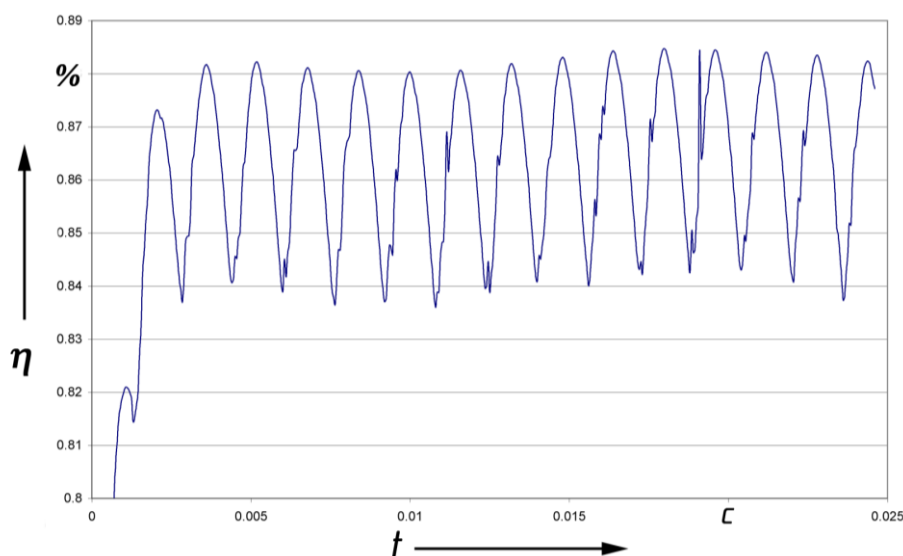


Рис.7. Зависимость КПД от времени для варианта зацепления: эвольвентный внутренний зуб центрального колеса входит в зацепление с зубом сателлита с приближенным профилем



КПД в случае использования эвольвентных зубьев центрального колеса в паре с зубом сателлита с теоретически точным профилем находится уровне 86%. В случаях, когда использовался круговой внутренний зуб центрального колеса КПД планетарной прецессионной передачи был ниже в среднем на 5%. Данные исследования подтвердили правильность ранее сделанного выбора варианта зацепления.

Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния зубьев контактирующих колес планетарной прецессионной передачи, имеющих разницу между числом зубьев центрального колеса и сателлита равную единице и двум, позволил установить, что контактные напряжения в первом случае в 1,5 раза меньше, чем во втором.

Руководствуясь критерием плавности вращения выходного вала, на основе компьютерных моделей планетарной прецессионной передачи был разработан алгоритм для определения критического значения износа контактирующих поверхностей зубьев.

Особенностью разработанной методики расчета планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V с разницей между числом зубьев центрального колеса и сателлита равной единице является широкое использование методов компьютерного моделирования.

В конце третьей главы предложено перспективное направление совершенствования зацепления исследуемой передачи на основе использования двойного эксцентрика на входном валу, обеспечивающее повышение ресурса работы.

**В основу четвертой главы** положены экспериментальные исследования опытных образцов прецессионных редукторов, а также приведен расчет технико-экономической эффективности применения их в приводах бетонозаглаживающей машины СО-170.

Анализ приводов строительно-отделочных машин позволил установить, что к данным приводам предъявляются повышенные требования к его осевому размеру. Уменьшение данного размера приводит не только к снижению массогабаритных показателей, но и положительно сказывается на качестве работы машин. В настоящее время в составе указанных приводов в основном применяются планетарные цевочные редукторы, имеющие завышенный осевой размер. Кроме того, себестоимость планетарных цевочных редукторов относительно высока, так как для обеспечения заданных эксплуатационных показателей предъявляются повышенные требования к точности изготовления их звеньев, достижение которой возможно на специальном высокоточном оборудовании.

На основе разработанной методики расчета планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V создана конструкция и изготовлены прецессионные мотор-редукторы с передаточным отношением 24 для привода бетонозаглаживающей машины СО-170. Общий вид мотор-редуктора, а также детали, составляющие его конструкцию, показаны на рис. 8.

Разработанные мотор-редукторы прошли обкатку и показали свою работоспособность на специализированном стенде кафедры «Теоретическая механика» Белорусско-Российского университета. Для измерения величины

износа зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи (рис. 9) был адаптирован металлографический комплекс, разработанный на базе микроскопа МКИ-2М-1.

Благодаря определенной с помощью изложенных выше методов критической величины износа контактирующих зубьев, а также экспериментально установленной скорости их износа, был оценен прогнозируемый ресурс работы прецессионного мотор-редуктора в приводе бетонозаглаживающей машины. Он составил более 10000 часов. Для подтверждения этого результата на стендах лаборатории ИМИНМАШ НАН Беларуси были проведены ресурсные испытания двух опытных образцов прецессионных мотор-редукторов, которые показали достаточную сходимость прогнозируемого и полученного по результатам испытаний ресурса работы.

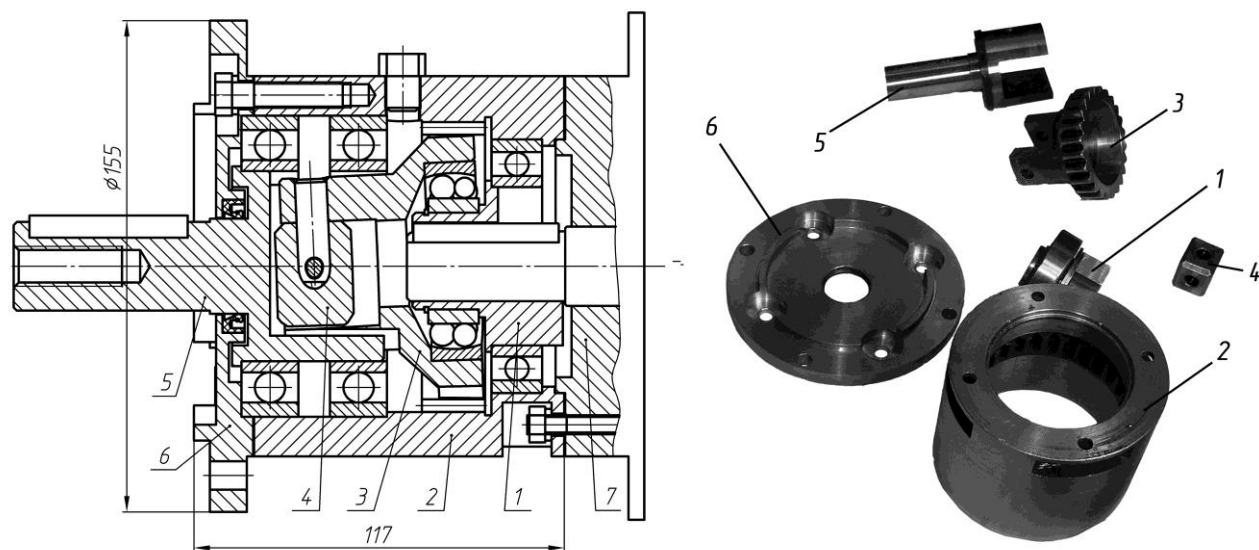
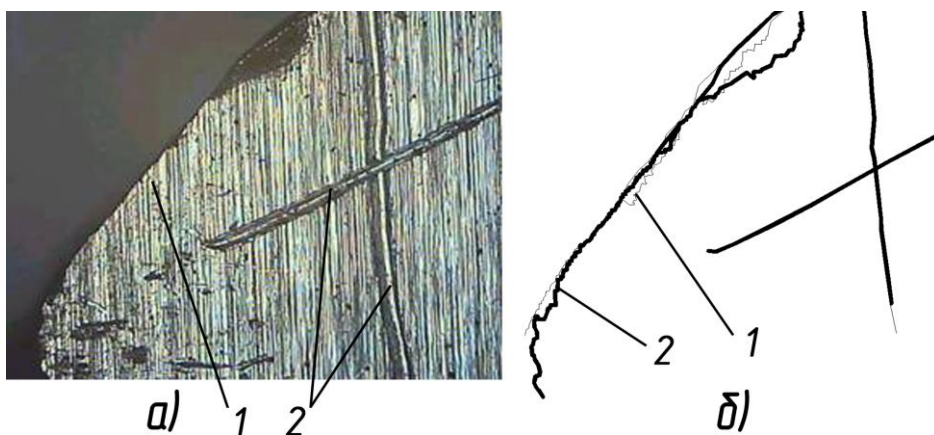


Рис. 8. Общий вид мотор-редуктора на базе планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V и его основные детали: 1 – противовес, 2 – корпус, 3 – сателлит, 4 – камень, 5 – выходной вал, 6 – крышка, 7 – электродвигатель



1 – изношенная поверхность зуба; 2 – ориентирующие штрихи  
Рис. 9. Вид торцевой части зуба сателлита: а) после эксперимента; б) после компьютерного анализа

На стендах кафедры «Технология машиностроения», лаборатории ИМИНМАШ НАН Беларуси, а также в испытательном центре РУП «Могилевский завод «Электродвигатель» были измерены такие эксплуатационные показатели прецессионных мотор-редукторов, как КПД, амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала и уровень шума. В таблице приведены технико-экономические характеристики трех редукторов для привода строительно-отделочной машины, разработанных на основе различных схем механических передач эксцентрикового типа. Редуктор №1 разработан на основе планетарной прецессионной передаче типа К-Н-V по методике, предложенной в данной диссертационной работе. Редуктор №2 – на основе планетарной прецессионной передаче типа 2К-Н на основе ранее созданных методик. Редуктор №3 – на основе планетарной цевочной передачи.

Таблица

Применяемый редуктор	Габаритные размеры, DxL, мм	КПД, %	Уровень шума, дБА	Амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала, мин <sup>-1</sup>	Прогнозируемый ресурс работы, час.	Отпускная цена, тыс. бел. руб.
Редуктор №1	155x117	85-88	66	1,75	10 000	235
Редуктор №2	155x125	82-86	80	4,3	-	368
Редуктор №3	155x190	85	65-72	1,72	10 000	500

На основании результатов экспериментов, приведенных в таблице 1, был сделан вывод, что эксплуатационные показатели мотор-редуктора, разработанного на основе планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V, соответствует требованиям, предъявляемым к приводу бетонозаглаживающей машины СО-170. На полигоне ОАО «МИСОМ ОП» (г. Минск) были проведены эксплуатационные испытания мотор-редуктора в составе бетонозаглаживающей машины СО-170 (рис. 10).

Положительные результаты эксплуатационных испытаний позволили рекомендовать разработанный мотор-редуктор для серийного производства.

Результатом разработки явилось уменьшение осевого размера привода бетоно-заглаживающей машины по сравнению с приводом, разработанным на основе циклоидального редуктора, со 190 мм до 117 мм, а также годовой экономический эффект от применения прецессионного редуктора, который составит более 130 млн. бел.руб.

Результаты проведенных исследований также использованы при разработке ручной и электрической лебедок, эксплуатируемых в МГКУП «Горэлектротранспорт» (г. Могилев).



Рис.10. Бетонозаглаживающая машина СО-170 с мотор-редуктором на базе планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V: 1 – электродвигатель, 2 – прецессионный редуктор, 3 – электрооборудование, 4 – рабочий орган

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. За критерий при исследовании компьютерных моделей звеньев планетарной прецессионной передачи, позволяющий косвенным путем на стадии проектирования оценить качество работы передачи, может быть принята амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала /3/.

2. На основе использования методов компьютерного моделирования:

- обоснована возможность использования в планетарной прецессионной передаче типа К-Н-V зубчатого колеса сателлита и зубчатого центрального колеса с минимальной разностью чисел зубьев;

- доказана целесообразность применения приближенных профилей зубьев сателлита, образуемых стандартным режущим инструментом;

- получена зависимость между основными параметрами зацепления исследуемой передачи, а именно между углом нутации, расстоянием от точки прецессии до ближайшего торца зубчатого венца сателлита, а также передаточным отношением, при выполнении которой обеспечивается повышение плавности вращения выходного вала более 5 % /3, 6, 7, 8/.

3. Предложено перспективное направление совершенствования зацепления планетарной прецессионной передачи на основе использования двойного эксцентрика на входном валу, обеспечивающее повышение ресурса работы /14/.

4. Разработана методика расчета планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V с разностью чисел зубьев центрального колеса и сателлита равной единице, основанная на исследовании компьютерных моделей, учитывающая

влияние переходных процессов, происходящих при работе передачи /1, 2, 4, 9, 12, 13, 14/.

5. Стендовые и эксплуатационные испытания опытных образцов прецессионных мотор-редукторов для привода бетонозаглаживающей машины показали, что амплитуда колебаний частоты вращения выходного вала, уровень шума и вибрации, а также КПД, соответствуют допустимым техническим нормам, предъявляемым к приводам строительно-отделочных машин /5, 7,10, 11/.

6. Применение разработанного прецессионного мотор-редуктора в бетонозаглаживающей машине позволило уменьшить осевой размер привода со 190 мм до 117мм. Годовой экономический эффект от применения прецессионного мотор-редуктора для привода бетонозаглаживающей машины СО-170 составляет более 130 млн. бел. руб. при объеме выпуска 50 шт. в месяц.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Галюжин, Д.С. Определение моментов инерции вращающихся звеньев коническо-цилиндрической прецессионной передачи // Вестник МГТУ. –2002. – №2. – С. 34-38.

2. Галюжин, Д.С. Применение математической модели в исследовании динамики коническо-цилиндрической прецессионной передачи // Вестник МГТУ. –2004. – №1. – С.22-24.

3. Галюжин, Д.С. Оптимизация формообразующей поверхности центрального колеса по критерию плавности вращения выходного звена // Вестник МГТУ. –2006. – №1. – С. 37-40.

4. Колосов, Г.А. Определение скоростей и ускорений точек контакта взаимодействующих звеньев коническо-цилиндрического прецессионного редуктора / Г.А. Колосов, Д.С. Галюжин, А.А. Стаценко // Перспективные технологии, материалы и системы: сб. науч. тр. МГТУ. – Могилев, 2001. – С.200-204.

5. Громько, П.Н. Исследование причин возникновения вибраций коническо-цилиндрических прецессионных редукторов (КЦПР) / П.Н. Громько, Д.С. Галюжин // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. сб. науч. тр. БНТУ Вып.1, в 3-х т. - Т.2./Под общ. ред. П.А. Витязя. – Мн.: УП «Технопринт», 2002 – С. 148-151.

6. Галюжин, Д.С. Снижение вибраций в коническо-цилиндрической прецессионной передаче // сб. материалов III междунар. межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и магистрантов. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2003. – С. 48-50.

7. Басинюк, Б.В. Применение современных технологий при исследовании коническо-цилиндрического прецессионного редуктора / Б.В. Басинюк, Д.С. Галюжин // Перспективные технологии, материалы и системы: сб. науч. тр. Бел.-Рос. ун-т, – Могилев, 2005. – С.31-35.

8. Галюжин, Д.С. Полное уравнивание вращающихся звеньев коническо-цилиндрической прецессионной передачи // Перспективные технологии, материалы и системы: сб. науч. тр. МГТУ. – Могилев, 2003. – С.32-36.

9. Галюжин, Д.С. Динамическая модель планетарного прецессионного зацепления / 36-я студенческая научно-техническая конференция: тезисы докладов Могилев, 22-26 мая 2000г. – Могилев: МГТУ, 2000. – С.18

10. Громыко, П.Н. Кинематическая схема винтового прецессионного редуктора / П.Н. Громыко, Г.А. Колосов, Д.С. Галюжин // Современные технологии, материалы, машины и оборудование : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: МГТУ, 2002. – С.43.

11. Громыко, П.Н. Разработка ручной лебедки для монтажа и ремонта контактных троллейбусных сетей / П.Н. Громыко, С.Н. Хатетовский, Д.С. Галюжин // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование // Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: МГТУ, 2003. – С. 173-174.

12. Галюжин, Д.С. Математическая модель коническо-цилиндрического прецессионного редуктора // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2004. – Ч.1. – С. 24-25.

13. Галюжин, Д.С. Моделирование работы коническо-цилиндрического прецессионного редуктора / Галюжин Д.С., Доконов Л.Г. // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы республиканской науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов – Могилев, 2005. – С.24.

14 Громыко, П.Н., Галюжин, Д.С. Разработка динамической модели силового взаимодействия контактирующих звеньев коническо-цилиндрической прецессионной передачи// Могилев, 2001. – ... с.: ил. – Библиогр.: ... назв. — Деп. В БелИСА 10.10.2001, №Д 200161 // Реф. сб. неpubл. работ. Отчеты НИР, ОКР, ОТР, деп.. науч. рукоп. - Мн., 2002.- Вып. 1. – С. 96.

**РЭЗІЮМЭ**  
**ГАЛЮЖЫН Данііл Сяргеевіч**

**Паляпшэнне эксплуатацыйных паказчыкаў планетарнай прэцэсійнай  
перадачы на аснове рацыянальнага выбару параметраў і ўдасканалвання  
геаметрыі зачэплівання**

Ключавыя словы: планетарная прэцэсійная перадача, эксплуатацыйныя паказчыкі, сатэліт, нахілены крывашып, сувосевы рэдуктар, цэнтральнае кола, прэцэсійны рэдуктар, камп'ютарнае мадэліраванне, геаметрыя зачэплівання.

Аб'ектам даследавання з'яўляецца планетарная прэцэсійная перадача тыпу К-Н-V з розніцай колькасці зубоў сатэліта і цэнтральнага кола, роўнай адзінцы.

Прадмет даследавання – эксплуатацыйныя паказчыкі рухавік-рэдуктар, распрацаванага на аснове планетарнай прэцэсійнай перадачы.

Мэтай даследавання з'яўляецца расшырэнне галіны прымянення планетарных прэцэсійных перадач на аснове паляпшэння іх эксплуатацыйных паказчыкаў.

Асноўныя вынікі даследавання, дазволіўшыя ажыццявіць рацыянальны выбар параметраў даследуемай перадачы, а таксама ўдасканалваць геаметрыю зачэплівання, атрыманы на аснове распрацаваных камп'ютарных мадэляў пры дапамозе спецыялізаваных САПР на ЭВМ. Адэкватнасць створаных матэматычных і камп'ютарных мадэляў, а таксама разліковых метадаў была правярана шляхам параўнання тэарэтычных і эксперыментальных вынікаў.

Распрацавана методыка разліку планетарнай прэцэсійнай перадачы тыпу К-Н-V з розніцай зубоў сатэліта і колькасцю зубоў цэнтральнага кола роўнай адзінцы, дазволіўшая стварыць малагабарытны і нізкі па сабекошту прывод.

Вынікі даследавання выкарыстаны пры распрацоўцы прэцэсійнага рухавіка-рэдуктора для прывода бетоназагладжваючай машыны СА-170, прымяняемай пры правядзенні будаўніча-адзелачных работ, а таксама пры распрацоўцы ручной і электрычнай лябедак для правядзення рамонтных работ.



## РЕЗЮМЕ

ГАЛЮЖИН Даниил Сергеевич

### Улучшение эксплуатационных показателей планетарной прецессионной передачи на основе рационального выбора параметров и совершенствования геометрии зацепления

**Ключевые слова:** планетарная прецессионная передача, эксплуатационные показатели, сателлит, наклонный кривошип, соосный редуктор, центральное колесо, сателлит, прецессионный редуктор, компьютерное моделирование, геометрия зацепления.

**Объектом исследования** является планетарная прецессионная передача типа К-Н-V с разницей чисел зубьев сателлита и центрального колеса, равной единице.

Предмет исследований – эксплуатационные показатели мотор-редуктора, разработанного на основе планетарной прецессионной передачи.

**Целью исследований** является расширение области применения планетарных прецессионных передач на основе улучшения их эксплуатационных показателей.

Основные результаты исследований, позволившие осуществить рациональный выбор параметров исследуемой передачи, а также совершенствовать геометрию зацепления, получены на основе разработанных компьютерных моделях при помощи специализированных САПР на ЭВМ. Адекватность созданных математических и компьютерных моделей, а также расчетных методов была проверена путем сравнения теоретических и экспериментальных результатов.

Разработана методика расчета планетарной прецессионной передачи типа К-Н-V с разницей зубьев между числом зубьев сателлита и числом зубьев центрального колеса равной единице, позволившая создать малогабаритный и низкий по себестоимости привод.

Результаты исследований использованы при разработке прецессионного мотор-редуктора для привода бетонозаглаживающей машины СО-170, применяемых при проведении строительно-отделочных работ, а также при разработке ручной и электрической лебедок для проведения ремонтных работ.



## SUMMARY

**GALIUZHIN Daniel Sergeevich**

### **Planetary Precession Transmission Maintenance Characteristics Improving on the Basis of Rational Choice of the Parameters and Gear Engagement Mastering**

**Key Words:** planetary precession transmission, maintenance characteristics, satellite, cranks pitch, coaxial gearbox, central wheel, planetary precession gearbox, computer modeling, engagement geometry.

**The Object of Research** is K-H-V planetary precession transmission with satellite and central wheel teeth difference of one tooth.

The Subject of Research is maintenance characteristics of a gear-motor drive based on planetary precession transmission.

**Goal of the Research** is planetary precession transmission application diversification on the basis of their maintenance characteristics mastering.

The principle results of the research allowed making the rational choice of the transmission and mastering the geometry engagement have been worked out on the basis of the specialized CAD computer models. Conformity of the mathematic and computer models created and also the calculation methods used have been checked by virtue of theoretic research and experimental data results comparison.

The calculation methods for K-H-V planetary precession transmission with satellite and central wheel teeth difference of one tooth within the engagement have been created. It results in a compact low cost-efficient drive creation.

The results of the work have been applied while designing the planetary precession gear-motor box for the concrete floating machine CO-170 used for construction finishing works and also the hand and electric winches for fixing and maintenance works.

**ГАЛЮЖИН Даниил Сергеевич**

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ  
РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ И  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЗАЦЕПЛЕНИЯ**

05.02.02 - машиноведение, системы приводов и детали машин

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

Подписано в печать 31.05.06. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл.печ.л. 1,63 Тираж 75 экз. Заказ № 269

---

Издатель и полиграфическое исполнение  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
ЛИ №02330 от 29.06.2004г.  
212005, г. Могилев, пр. Мира, 43

© ГУВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2006