

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.833.6 (043.3)

**ГОНЧАРОВ**  
**Павел Станиславович**

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРЕЦЕССИОННОГО РЕДУЦИРУЮЩЕГО  
МЕХАНИЗМА С ПОДВИЖНЫМИ РОЛИКАМИ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛЕБЕДКИ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов  
и детали машин»

Могилев 2013

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

Научный руководитель

**Громько Петр Николаевич,**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» (г. Могилев)

Официальные оппоненты

**Басинюк Владимир Леонидович,**

доктор технических наук, доцент, директор НТЦ «Технологии машиностроения и технологического оборудования» ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси» (г. Минск)

**Калина Алла Александровна,**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Детали машин, подъемно-транспортные машины и механизмы» БНТУ (г. Минск)

Оппонирующая организация

ОАО «Могилёвский завод «Электродвигатель»

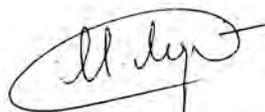
Защита состоится « 26 » июня 2013 г. в 13<sup>00</sup> на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.18.01 при ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» по адресу: Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, пр. Мира, 43, ком. 323, e-mail: [lustenkov@yandex.ru](mailto:lustenkov@yandex.ru), телефон ученого секретаря (0222)-25-36-71.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет».

Автореферат разослан 24 мая 2013 г.

Ученый секретарь

Совета Д 02.18.01 по защите диссертаций,  
кандидат технических наук, доцент



М.Е. Лустенков

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач, позволяющих решить проблему насыщения продовольственного рынка продукцией, является механизация сельскохозяйственных работ. Особенно остро стоит вопрос использования техники в приусадебном и дачном хозяйстве. Вспашка, боронование и окучивание растений на участках небольших размеров, где невозможно использование тракторов как по причине их значительных габаритных размеров, так и в связи с отсутствием специально подготовленного обслуживающего персонала, производится сельскохозяйственной лебедкой с электрическим приводом. В настоящее время повышенным спросом пользуется сельскохозяйственная лебедка, серийно выпускаемая РУП завод «Могилевлифтмаш», вследствие невысокой отпускной цены и отсутствия специальной подготовки обслуживающего персонала. Однако значительные габаритные размеры и масса ограничивают число потенциальных потребителей такой техники.

Проблема снижения массогабаритных показателей сельскохозяйственной лебедки может быть решена путем применения в ее конструкции редуцирующего механизма, разработанного на основе нового структурного варианта планетарной прецессионной передачи с подвижными роликами. Компактность и малогабаритность редуцирующего механизма этого типа позволяют встроить его внутри барабана электрической лебедки, что способствует снижению ее массы и габаритов. Однако отсутствие расчетных зависимостей для определения параметров предлагаемого варианта редуцирующего механизма ограничивает возможность его использования в приводе электрической лебедки. Применение ранее выполненных расчетов для определения параметров прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами невозможно, т. к. все они создавались для прецессионных механизмов с неподвижными роликами. Следует отметить, что при разработке расчета прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами возможно минимизировать механические потери в его зацеплении за счет создания гарантированного зазора при входе подвижных роликов в контактное зацепление с модифицированными поверхностями зубьев центральных колес. Повышение КПД редуцирующего механизма привода сельскохозяйственной лебедки улучшает ее эксплуатационные характеристики и, следовательно, делает ее более конкурентоспособной.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** Выбранная тема соответствует перечню приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011-2015 гг.: 7.1 Механика, надежность, безопасность и экологичность машин, трение и износ в машинах, методы расчета, моделирования, проектирования, конструирования и испытаний машин, агрегатов и узлов; 7.2 Процессы функционирования машин

и механизмов, механических, гидравлических, газовых и биомеханических систем, электронные системы управления узлами и агрегатами мобильных машин; 7.3 Теория, методы расчета и проектирования механических, гидравлических, электрических и комбинированных трансмиссионных систем.

Научные исследования по теме диссертации проводились в рамках:

– задания № 66 раздела «Механика 2.29» – «Разработка интеллектуальных систем управления качеством новых типов механических передач на основе компьютерного моделирования с целью повышения их технического уровня» подраздела 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», номер гос. рег. 20061430, 2006–2010 гг.;

– задания 1.13 ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия» раздела «Совершенствование методов расчета, моделирования, проектирования, конструирования и испытаний малогабаритных приводных систем на базе передач с промежуточными телами качения» подраздела «Разработка методики расчета и проектирования низких по себестоимости приводных механизмов, созданных на основе прецессионной роликовой передачи, с последующим их внедрением в конструкции различных машин и механизмов», номер гос. рег. 20121105, 2012–2013 гг.;

– хоздоговорной работы с Учреждением «Могилевское областное управление МЧС» (г. Могилев) по теме «Разработка лебедки с прецессионным редуцирующим механизмом на основе применения электрического привода установки для испытания ограждающих конструкций зданий и сооружений».

**Цель и задачи исследования.** *Целью* исследования является расчет параметров прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами, позволяющий создать малогабаритную с улучшенными служебными свойствами конструкцию электрического привода сельскохозяйственной лебедки.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие *задачи*:

1. Провести анализ различных типов механических передач по критерию оценки возможности их использования в конструкции электропривода сельскохозяйственной лебедки.

2. Получить аналитические зависимости для расчета параметров прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами, при входе которых в контактное зацепление с модифицированными поверхностями зубьев центральных колес обеспечивается гарантированный зазор.

3. Проанализировать влияние кинематических и силовых параметров зацепления на КПД прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами.

4. Разработать компьютерные модели прецессионного редуцирующего механизма и провести их исследования с целью определения КПД и кинематической погрешности вращения выходного вала.

5. Рассчитать параметры, спроектировать, изготовить прецессионный

редуцирующий механизм с подвижными роликами для электропривода сельскохозяйственной лебедки и провести его экспериментальные исследования.

*Объект исследования* – планетарный прецессионный редуцирующий механизм с подвижными роликами, предназначенный для установки в конструкцию электропривода сельскохозяйственной лебедки.

*Предмет исследований* – параметры прецессионного редуцирующего механизма, компьютерные модели и эксплуатационные показатели электрической сельскохозяйственной лебедки.

**Положения, выносимые на защиту:**

- новая структурная схема прецессионного редуцирующего механизма, отличающаяся наличием подвижных роликов, расположенных на сателлитном колесе, левые и правые концы которых взаимодействуют с модифицированными поверхностями зубьев неподвижного и подвижного центральных колес, обеспечивающая компактность, структурную простоту и малогабаритность электропривода сельскохозяйственной лебедки;

- аналитическая зависимость для нахождения эксцентриситета кривошипа ролика в граничном сечении, определяющем переход от циклоидальной к модифицированной поверхности зубьев центральных колес, на основе которой осуществляется расчет параметров прецессионного редуцирующего механизма, обеспечивающих его работу с минимальными потерями мощности в зацеплении;

- аналитические зависимости для расчета диаметра и угла конусности роликов, при которых обеспечивается гарантированный зазор при входе ролика в контактное взаимодействие, что способствует повышению КПД зацепления прецессионного редуцирующего механизма и технологичности конструкции за счет возможности использования упрощенных профилей зубьев;

- расчет параметров прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами, при входе которых в контактное зацепление с модифицированными поверхностями зубьев центральных колес обеспечивается гарантированный зазор, позволяющий создать малогабаритную с улучшенными служебными свойствами конструкцию электрического привода сельскохозяйственной лебедки.

**Личный вклад соискателя.** При выполнении работы исполнителем лично установлены зависимости для определения эксцентриситета кривошипа, а также диаметра и угла конусности ролика; разработаны компьютерные модели прецессионного редуцирующего механизма и получены основные выходные показатели; проведен силовой анализ прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами, по результатам которого определены значения сил и реакций в контактирующих звеньях; разработаны конструкции экспериментальных образцов прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами и проведены их стендовые и эксплуатационные испытания.

Научный руководитель соискателя д-р техн. наук, профессор П. Н. Громько участвовал в определении цели и задач исследований, в

обсуждении их результатов, в написании статей и заявок на патенты. Совместно с научным руководителем была предложена новая структурная схема планетарного прецессионного механизма с подвижными роликами и выдвинута идея о необходимости создания гарантированного зазора при входе подвижных роликов в контактное взаимодействие с модифицированными поверхностями зубьев центральных колес, разработан расчет планетарного прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами для электропривода сельскохозяйственной лебедки.

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

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертации доложены и обсуждены на республиканских научно-технических и научно-практических конференциях: Международных конференциях молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности», Могилев, 2009–2012 гг.; Международных научно-технических конференциях «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», Могилев, 2010–2011 гг.; Международной научно-технической конференции «Современные технологии, машины и материалы для зимнего содержания автомобильных дорог», Могилев, 2010 г.; Международной научно-технической конференции «Перспективные приводные системы, трансмиссии и робототехнические комплексы», Могилев, 2011 г.; XII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления», Гомель, 2012 г.; Республиканская студенческая научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии их обработки», Минск, 2012 г.

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе монография – 1, статей в рецензируемых журналах, включенных в список научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, – 5, материалов или тезисов докладов научных конференций – 11, патентов на изобретение – 3.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка источников литературы (102 наименований), приложений. Полный объем диссертации составляет 216 страниц, включает 114 рисунков, 8 таблиц, 12 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность задачи создания электрической лебедки для проведения сельскохозяйственных работ. Сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, представлена общая характеристика работы и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проанализированы конструкции различного рода машин, с помощью которых проводятся сельскохозяйственные работы на небольших по размерам участках земли. Рассмотрены разные варианты структурных схем редуцирующих механизмов, применение которых возможно в приводах электрических лебедок, структурных схем планетарных прецессионных передач и используемых в этих передачах типов зацеплений.

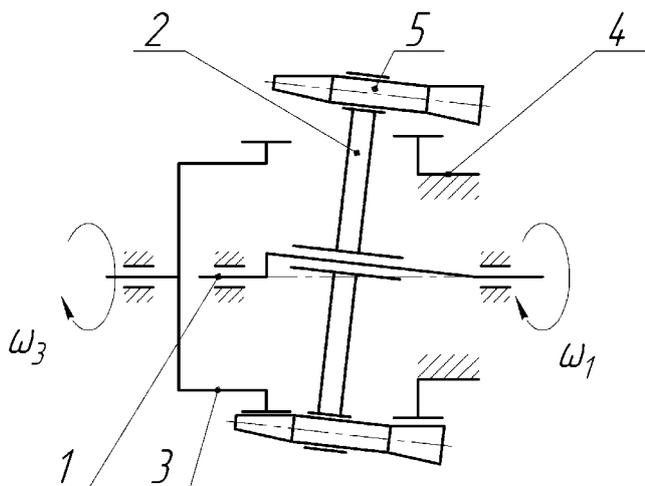
При проведении сельскохозяйственных работ мини-тракторная техника не всегда является доступной как по цене, так и по наличию специалистов по ее обслуживанию. Одним из предложений на рынке техники для проведения сельскохозяйственных работ является электрическая лебедка. Невысокой ценой, простотой в обслуживании и проведении работ, надежностью в эксплуатации объясняется ежегодное увеличение объема производства лебедок на РУП завод «Могилевлифтмаш». Расширить число потенциальных потребителей электрической сельскохозяйственной лебедки возможно путем снижения ее массы и габаритных размеров за счет применения в конструкции компактного малогабаритного редуцирующего механизма. В настоящее время в серийно выпускаемой лебедке применяется двухступенчатая зубчатая эвольвентная передача. Наличие двух ступеней, а также звеньев для создания дополнительной оси, на которой расположены шестерни, усложняет конструкцию и приводит к увеличению габаритных размеров лебедки. Помимо того, консольное расположение барабана относительно опор предполагает использование подшипников высокой нагрузочной способности, что также сказывается на габаритных размерах лебедки.

Анализ компоновочных решений по размещению различных видов редуцирующих механизмов в конструкции барабана лебедки позволил сделать вывод, что наиболее удачно komponуется внутри конструкции барабана редуцирующий механизм, разработанный на основе планетарной эксцентриковой передачи типа 2К-Н с цевочным зацеплением. Передача данного типа малогабаритна, компактна, однако высокое значение механических потерь делает ее неконкурентоспособной по сравнению с другими видами механических передач. Причинами низкого значения КПД являются повышенные потери в зацеплении, обусловленные высокими значениями скоростей относительного скольжения и нормальных сил в зоне контакта взаимодействующих звеньев. Кроме этого, упругие деформации звеньев при передаче значительных вращающихся моментов приводят к созданию нерегламентированных условий работы зацепления, а следовательно, к повышенным потерям мощности в зацеплении.

Автором работы совместно с руководителем был предложен новый структурный вариант планетарной прецессионной передачи с подвижными роликами (рисунок 1). Отмечено, что в развитие планетарных прецессионных передач существенный вклад внесли И. А. Бостан, В. Е. Дулгеру, А. Т. Скойбеда, Б. А. Лопатин, В. И. Безруков и др.

Предложенная планетарная прецессионная передача работает следующим образом. При вращении входного вала 1 благодаря наличию на его поверхности наклонной эксцентриковой части составляющий с ней вращательную пару сателлит 2 совершает сферическое движение. Правые концы конических

роликов 5, установленных в осевых отверстиях сателлита 2, контактируют с зубьями неподвижного центрального зубчатого колеса 4. Благодаря указанному взаимодействию сателлит 2 получает вращение вокруг своей оси.



**Рисунок 1 – Структурная схема планетарной прецессионной передачи с подвижными роликами**

барабана сельскохозяйственной лебедки. Кроме возможности создания компактной малогабаритной конструкции электрической сельскохозяйственной лебедки, автором работы совместно с руководителем д-ром техн. наук, профессором П. Н. Громько была выдвинута идея о необходимости создания в прецессионном редуцирующем механизме гарантированного зазора при входе роликов в контактное взаимодействие с модифицированными поверхностями зубьев центральных колес. Гарантированный зазор обеспечит минимизацию механических потерь в зацеплении предлагаемого механизма, а следовательно, улучшит служебные свойства разрабатываемой на его основе электрической лебедки.

**Вторая глава** диссертации посвящена созданию теоретических основ расчета прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами.

Описаны полученные зависимости для определения чисел подвижных роликов  $Z_5$ , зубьев подвижного  $Z_3$  и неподвижного  $Z_4$  центральных колес, а также передаточного отношения  $i$  прецессионного редуцирующего механизма (см. рисунок 1).

$$Z_5' = 1 + \frac{\omega_{\text{дв.}} \cdot R_{\text{мин}}}{V_{\text{мин}} \cdot i_{\text{рем}}};$$

$$Z_3 = Z_5 - 1; Z_4 = Z_5 - 2; i = Z_3,$$

где  $\omega_{\text{дв.}}$  – угловая скорость вращения вала электродвигателя;

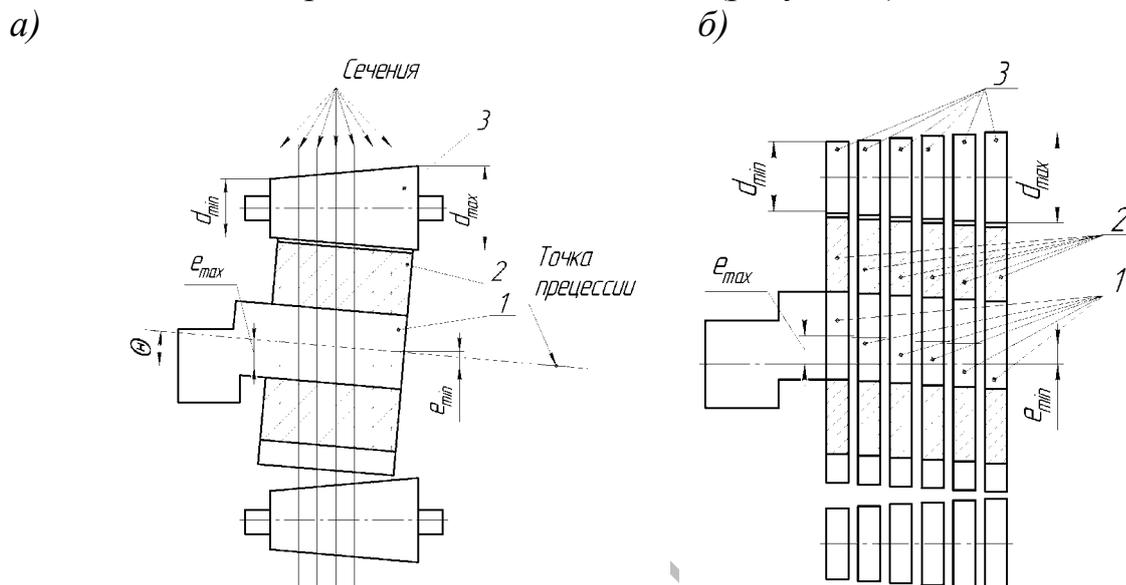
$i_{\text{рем.}}$  – передаточное отношение клиноременной передачи, используемой для трансформации вращения от двигателя к входному звену;

$V_{\text{мин}}$  – минимальная скорость движения рабочего органа лебедки (плуга);

$R_{\text{мин}}$  – минимальное расстояние от выходного витка каната до оси вращения барабана;

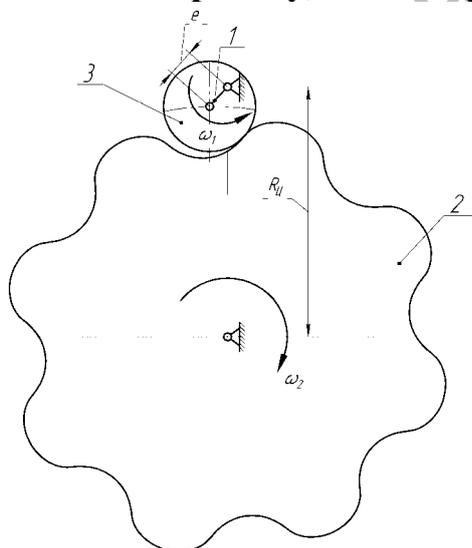
$Z_5$  – количество подвижных роликов, полученное путем округления до ближайшего большего расчетного значения  $Z_5'$ .

Для подтверждения выдвинутой идеи о необходимости создания гарантированного зазора было предложено рассматривать планетарную прецессионную передачу в виде набора тонкослойных сечений с различными значениями эксцентриситетов в каждом слое (рисунок 2).



а – планетарная прецессионная передача с разбивкой ее по сечениям;  
 б – набор тонкослойных сечений, составляющих планетарную прецессионную передачу;  
 1 – эксцентрик; 2 – сателлитное колесо; 3 – конический ролик

**Рисунок 2 – Трансформация планетарной прецессионной передачи в передачу, состоящую из набора тонкослойных сечений**



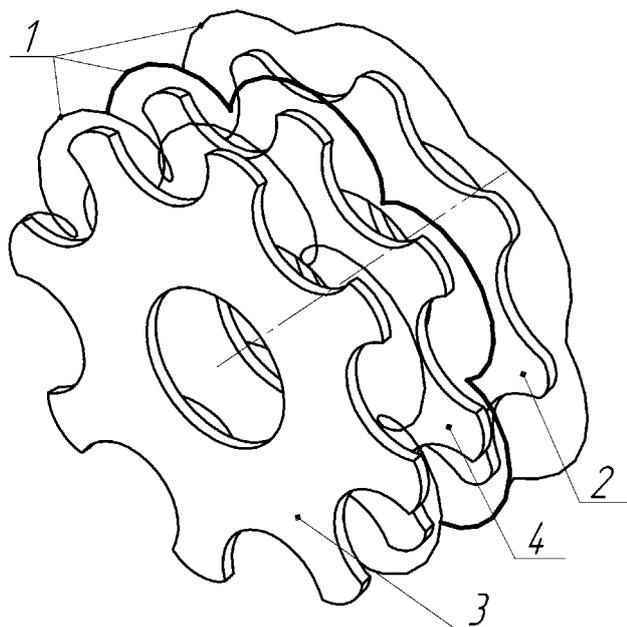
1 – кривошип; 2 – центральное колесо;  
 3 – ролик

**Рисунок 3 – Упрощенная схема контактного взаимодействия ролика с поверхностью зубьев центрального колеса**

ролика 3, равной длине кривошипа 1 (см. рисунок 3), и расстояния  $R_{Ц}$  между

С целью упрощения процесса исследования контактного взаимодействия в зацеплении тонкослойного сечения прецессионной передачи было рассмотрено контактное взаимодействие с зубьями центрального колеса 2 только одного эксцентрично расположенного относительно оси вращения кривошипа 1 ролика 3 (рисунок 3). На основе упрощенной схемы контактного взаимодействия, изображенной на рисунке 3, были разработаны математическая и каркасная (рисунок 4) модели зубьев центральных колес в различных тонкослойных сечениях прецессионной передачи. Анализ полученных поверхностей зубьев позволил сделать вывод о том, что в зависимости от отношения величины эксцентриситета  $e$

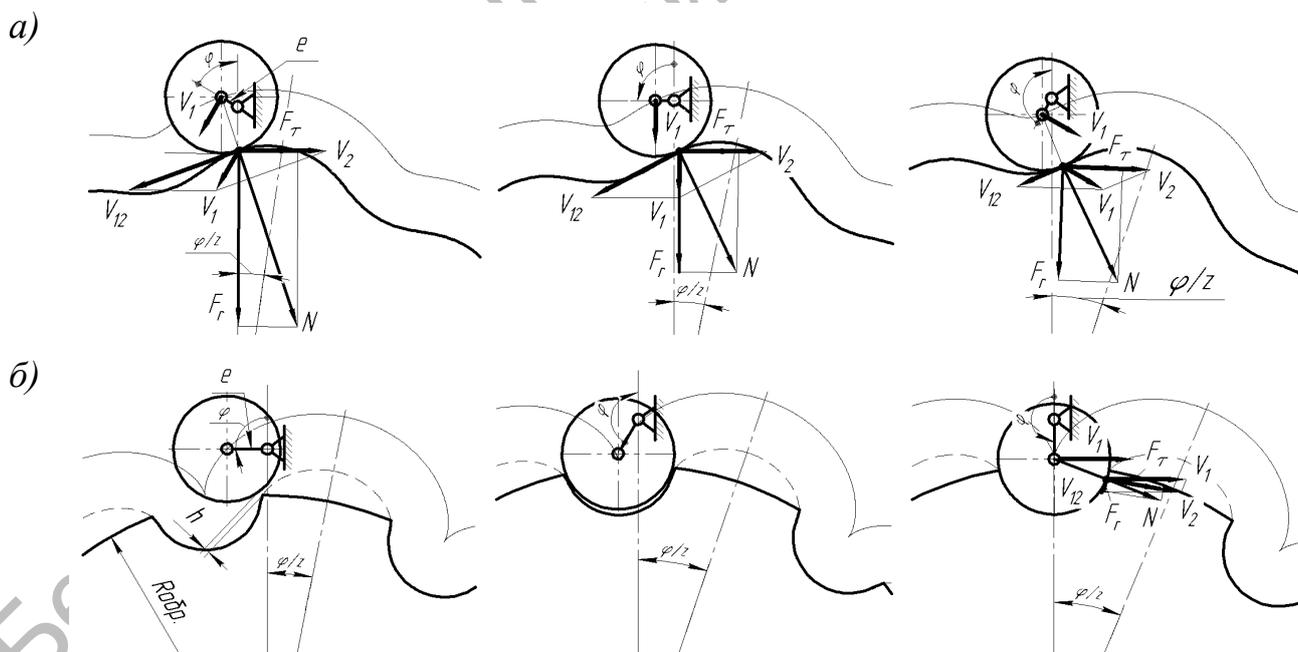
осями вращения кривошипа 1 и центрального колеса 2 на поверхности последнего могут образовываться зубья с циклоидальным и модифицированным профилями (см. рисунок 4).



1 – траектория движения центра ролика;  
2 – сечение с циклоидальным профилем зубьев;  
3 – сечение с модифицированным профилем зубьев;  
4 – граничное сечение

**Рисунок 4 – Каркасная модель поверхности зубьев центрального колеса**

Кинематический и силовой расчеты зацепления ролика с циклоидальным и модифицированным профилями зубьев центрального колеса позволили получить значения и направления векторов скоростей и сил в зоне контакта указанных звеньев (рисунок 5). На основе их анализа установлено, что в тонкослойных сечениях прецессионной передачи с циклоидальным профилем зубьев центрального колеса контактное взаимодействие осуществляется сразу при входе ролика во впадину зуба (см. рисунок 5, а). Оно характеризуется высокими значениями сил и скоростей относительного скольжения звеньев на протяжении всего контактного взаимодействия.



а – циклоидальный профиль зуба; б – модифицированный профиль зуба

**Рисунок 5 – Схемы для кинематического и силового расчетов контактного взаимодействия ролика с поверхностью зубьев центрального колеса**

В прецессионной передаче с модифицированным профилем при входе ролика во впадину зуба обеспечивается гарантированный зазор  $h$  (см. рисунок 5, б). Контактное взаимодействие осуществляется при выходе ролика из впадины зуба. Вследствие этого скорости относительного скольжения и нормальные силы в несколько раз ниже, чем в передаче с циклоидальным профилем зубьев центрального колеса (см. рисунок 5, б). Это позволило сделать вывод о целесообразности использования при разработке прецессионного редуцирующего механизма только модифицированной поверхности зуба центрального колеса.

С целью установления параметров планетарной прецессионной передачи, при которых возможно применение в зацеплении только модифицированной поверхности зуба, была определена зависимость, на основе которой устанавливается значение эксцентриситета  $e_1$  ролика в граничном сечении центрального колеса прецессионной передачи:

$$\frac{e_1 \cdot (1-z) \cdot [\beta \cdot \cos \alpha + R_{\text{ц}} \cdot e_1^2 \cdot \sin^2 \alpha]}{z \cdot \beta \cdot \sqrt{\beta - e_1^2 \cdot \sin^2 \alpha}} = 0; \quad (1)$$

где

$$\alpha = \frac{\varphi}{z} - \varphi; \quad \beta = R_{\text{ц}}^2 + 2 \cdot \cos \alpha \cdot R_{\text{ц}} \cdot e_1 + e_1^2; \quad \varphi = z \frac{\pi}{z-1}.$$

где  $R_{\text{ц}}$  – радиус центров установки роликов;

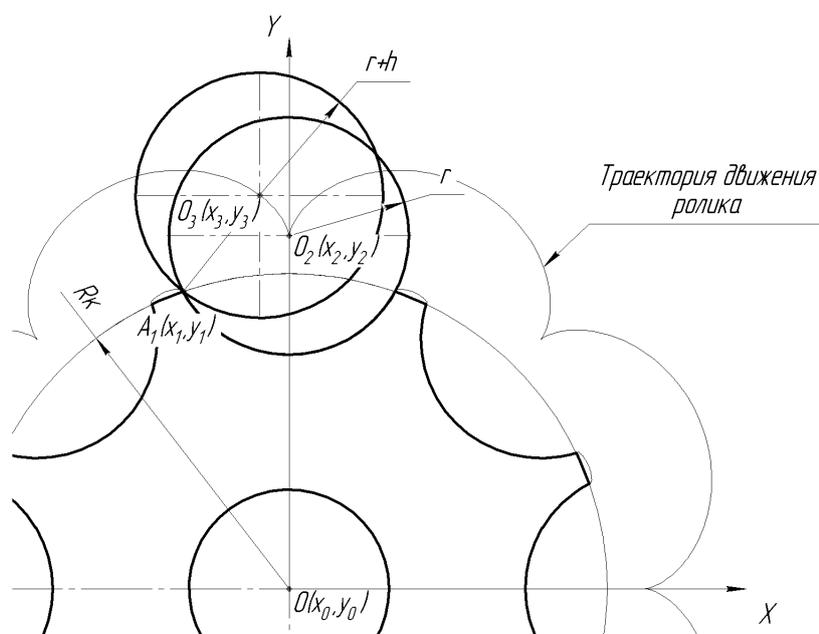
$e_1$  – эксцентриситет ролика в граничном тонкослойном сечении;

$z$  – число зубьев центрального колеса;

$\varphi$  – угол поворота кривошипа.

Под граничным сечением центрального колеса следует понимать такое тонкослойное сечение центрального колеса, от которого все сечения, находящиеся ближе к точке прецессии, имеют циклоидальный профиль зубьев (см. рисунок 4). Тонкослойные сечения, располагающиеся дальше от граничного сечения по отношению к точке прецессии, имеют модифицированный профиль зубьев центрального колеса.

Учитывая, что радиус ролика  $r$  в граничном сечении прецессионной передачи определяется по формуле  $r=2 \cdot e_1$ , основным параметром, обеспечивающим величину гарантированного зазора, принятую равной  $h=0,02 \cdot r$ , является наружный радиус  $R_K$  центрального колеса (рисунок 6). Для его определения были установлены координаты точки  $A_1(x_1, y_1)$  пересечения трех окружностей: наружной окружности радиусом  $R_K$ , центр которой расположен в начале координат  $O(x_0, y_0)$  окружности радиусом  $r$  ролика, центр которой расположен в нижней точке траектории движения центра ролика  $O_2(x_2, y_2)$  и окружности радиусом  $r+h$  с центром, расположенным в точке входа ролика в контактное взаимодействие  $O_3(x_3, y_3)$  (см. рисунок 6).



**Рисунок 6 – Схема для определения геометрических параметров центрального колеса**

В соответствии со схемой, приведенной на рисунке 6, была составлена система из трех уравнений:

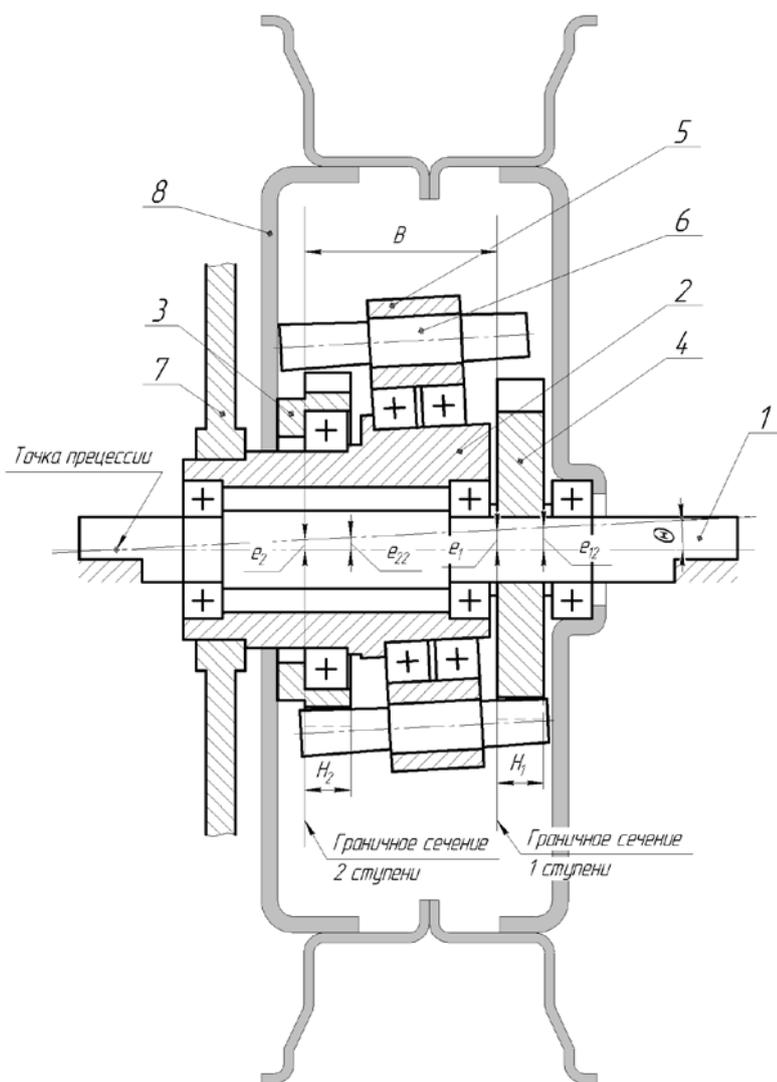
$$\begin{cases} (x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 = R_K^2; \\ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 = r^2; \\ (x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 = (r + h)^2. \end{cases}$$

Решение системы уравнений позволило определить координаты  $(x_1, y_1)$  точки  $A_1$  пересечения трех окружностей, а следовательно, и значение такого наружного радиуса центрального колеса  $R_K$ , который обеспечивает получение необходимого значения гарантированного зазора  $h$ .

Так как планетарный прецессионный механизм с подвижными роликами имеет две ступени контактного взаимодействия, вышеприведенные расчеты могут быть использованы для определения параметров зацепления как для первой, так и для второй его ступеней. На рисунке 7 приведена компоновочная схема прецессионного редуцирующего механизма с изображенными на ней основными параметрами звеньев первой и второй ступеней.

Одним из основных параметров прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами является угол наклона оси сателлитного колеса 5 к оси основного вала 1 – угол нутации  $\theta$ , который определялся из полученных по зависимости (1) значений эксцентриситетов ролика в граничных сечениях первой  $e_1$  и второй  $e_2$  ступеней редуцирующего механизма, а также из минимально возможного, исходя из конструктивных и прочностных соображений, расстояния  $B$  между граничными сечениями неподвижного 4 и подвижного 3 центральных колес.

$$\theta = \arctg\left(\frac{e_1 - e_2}{B}\right).$$



- 1 – неподвижный основной вал; 2 – входное звено;  
 3 – подвижное центральное зубчатое колесо;  
 4 – неподвижное центральное зубчатое колесо;  
 5 – сателлитное колесо с подвижными роликами;  
 6 – конические ролики; 7 – шкив приводного звена;  
 8 – барабан

**Рисунок 7 – Компонировочная схема планетарного прецессионного механизма типа 2К-Н, разработанная для конструкции сельскохозяйственной лебедки**

кривых движения центров роликов первой и второй ступеней механизма была рассчитана на основе исследования уравнений этих движений путем составления программы, позволяющей фиксировать изменения знака угловой координаты радиуса-вектора, определяющего положения точек центра ролика.

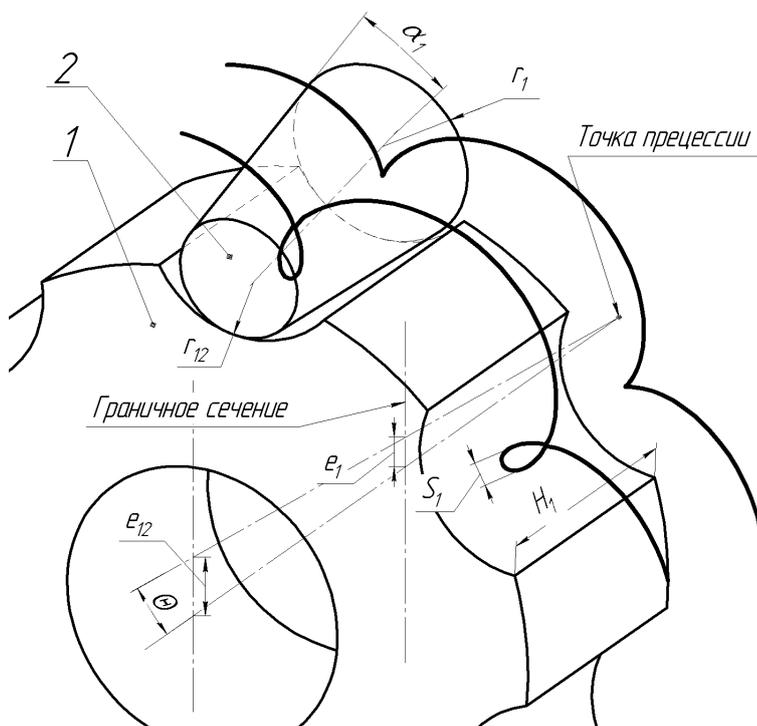
Исходным для расчета радиусов роликов  $r_{12}$  и  $r_{22}$  в таких сечениях первой и второй ступеней редуцирующего механизма, которые наиболее удалены от точки прецессии, являлось технологическое условие, согласно которому в зацеплении должны использоваться зубья центральных колес, имеющие одинаковый профиль в каждом осевом сечении (рисунок 8).

Для определения углов конусности левого и правого концов ролика 6 были получены зависимости, позволяющие рассчитать значения радиусов  $r_{12}$  и  $r_{22}$ :

$$r_{12} = r_1 - S_1 / 2; \quad r_{22} = r_2 - S_2 / 2,$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – ширина петель кривых, описывающих движение центра ролика в сечениях, наиболее удаленных от точки прецессии, для первой и второй ступеней прецессионного редуцирующего механизма (см. рисунок 8).

Ширина петель  $S_1$  и  $S_2$



1 – центральное колесо; 2 – конический ролик

**Рисунок 8 – Схема для определения параметров зацепления первой ступени прецессионного редуцирующего механизма**

Толщины  $H_1$  (см. рисунок 8) и  $H_2$  центральных подвижного 3 и неподвижного 4 (см. рисунок 7) колес определялись исходя из обеспечения условия прочности.

Углы конусности  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  концов ролика для первой и второй ступеней прецессионного редуцирующего механизма рассчитывались по следующим зависимостям:

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{r_1 - r_{12}}{H_1}\right); \quad \alpha_2 = \arctg\left(\frac{r_2 - r_{22}}{H_2}\right).$$

Силовой анализ структурной схемы прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами позволил установить зависимости для расчета таких нормальных сил и реакций в опорных подшипниках, которые были использованы для оценки его КПД и выбора подшипников качения.

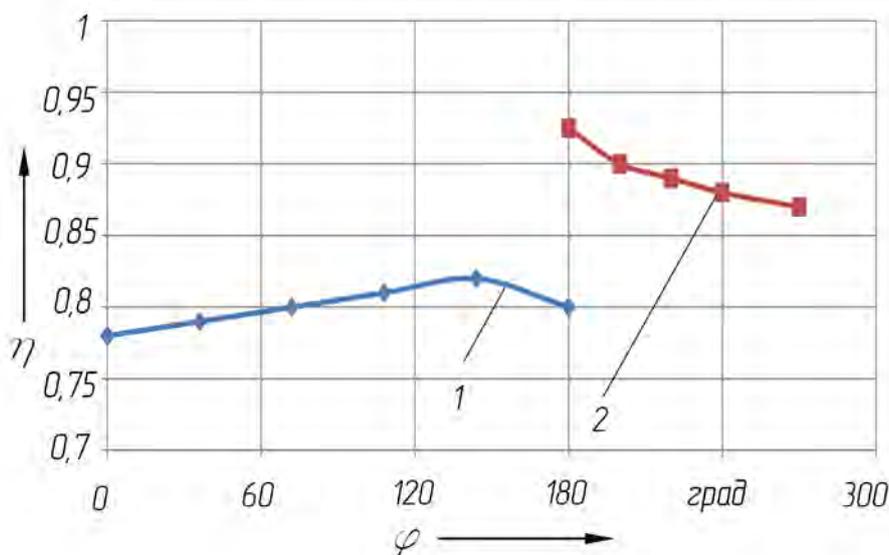
Установлена зависимость КПД от угла поворота входного вала в зацеплении прецессионных редуцирующих механизмов, отличающихся друг от друга типами используемых поверхностей зубьев центральных колес.

При этом в уравнениях кривых движения центра ролика были использованы новые параметры – эксцентриситеты ролика  $e_{12}$  (см. рисунок 8) и  $e_{22}$  в сечениях, наиболее удаленных от точки прецессии. Указанные параметры рассчитывались согласно выражениям:

$$e_{12} = e_1 + H_1 \cdot \operatorname{tg} \theta;$$

$$e_{22} = e_2 + H_2 \cdot \operatorname{tg} \theta,$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – толщины центральных колес первой и второй ступеней прецессионного редуцирующего механизма;  $\theta$  – угол нутации.



1 – циклоидальная поверхность;  
2 – модифицированная поверхность

**Рисунок 9 – Зависимость КПД прецессионного редуцирующего механизма от угла поворота входного вала при использовании различных типов зубчатых поверхностей центральных колес**

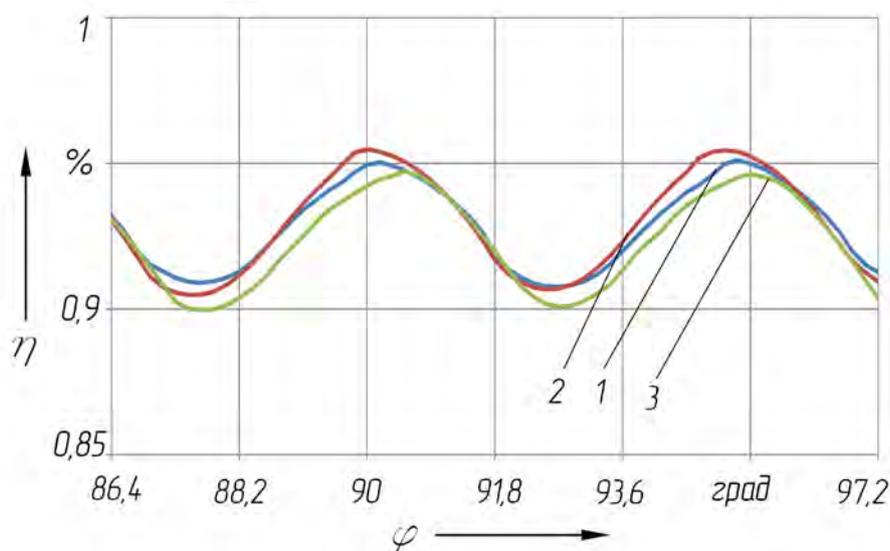
Установлено, что КПД редуцирующего механизма с циклоидальной поверхностью зубьев центральных колес на 7–10 % ниже, чем КПД в прецессионном редуцирующем механизме с модифицированной поверхностью зубьев центральных колес (рисунок 9).

В третьей главе описаны компьютерные исследования, позволившие подтвердить основные результаты теоретических исследований, а также дать сравнительную оценку выходных показателей передач с разными типами поверхностей зубьев центральных колес.

Для проведения компьютерных исследований был разработан алгоритм, на основе которого создана программа, позволяющая в среде графического редактора Solidworks получать теоретические, т. е. полносопряженные с подвижным роликом прецессионного редуцирующего механизма, поверхности зубьев центральных колес. Преимуществом разработанного программного продукта является то, что форма поверхностей зубьев может быть построена без ограничения диапазона исходных параметров центрального колеса.

На первом этапе компьютерных исследований на основе создания жестких кинематических связей между совершающим сферическое движение коническим роликом и вращающимся центральным колесом с модифицированной поверхностью зубьев был проведен анализ продолжительности контактного зацепления при различных углах нутации  $\theta$  по критерию наличия или отсутствия нормальной силы в зацеплении передачи. Установлено, что при значениях угла нутации более  $2,5^\circ$  обеспечивается продолжительность контактного зацепления в планетарной прецессионной передаче, соответствующая значениям коэффициента перекрытия более единицы.

Для определения рационального значения угла нутации  $\theta$  по критерию максимального значения КПД были созданы компьютерные модели многопарной планетарной прецессионной передачи, отличающиеся друг от друга значениями углов нутации. Результаты компьютерных исследований этих моделей отражены в виде графиков (рисунок 10).



1 – угол нутации  $\theta = 2^\circ$ ; 2 – угол нутации  $\theta = 3^\circ$ ;  
3 – угол нутации  $\theta = 4^\circ$

**Рисунок 10 – Графическая зависимость КПД от угла нутации и типа поверхности зубьев центрального колеса**

Как видно из графиков, приведенных на рисунке 10, изменение угла нутации в интервале от  $2^\circ$  до  $5^\circ$  существенного влияния на значения КПД не оказывает. Максимальное значение КПД отмечено при угле нутации, равном  $3^\circ$ . Незначительное падение КПД зацепления при угле нутации  $2^\circ$  объясняется

снижением коэффициента перекрытия зацепления до значений менее 1, что приводит к нарушению регламентированных условий работы зацепления. Относительно низкое значение КПД при угле нутации  $4^\circ$  обосновано увеличением продолжительности контактного зацепления, приводящей к взаимодействию ролика с зубьями центрального колеса в зоне повышенных значений скоростей относительного скольжения и нормальных сил.

Повышение технологичности изготовления зубьев центральных колес прецессионного редуцирующего механизма может быть обеспечено за счет применения стандартного зуборезного инструмента. В результате нарезания центрального колеса этим инструментом образуются зубья с упрощенными профилями. На основе анализа результатов исследований компьютерных моделей планетарной прецессионной передачи с применением теоретически точных и упрощенных профилей зубьев центрального колеса установлено, что использование упрощенных профилей не приводит к снижению плавности вращения выходного вала и КПД зацепления исследуемой передачи.

На основе разработанного расчета параметров прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами была создана компьютерная модель для привода сельскохозяйственной лебедки. Исследования указанной компьютерной модели в среде графического редактора CosmosMotion позволили установить, что КПД прецессионного редуцирующего механизма колеблется в пределах 88–92 %, а кинематическая погрешность вращения выходного вала не превышает значения 2 угл. мин.

В среде Ansys на основе исследования напряженно-деформированного состояния элементов звеньев было проверено соблюдение условия обеспечения контактной прочности при взаимодействии конических роликов с зубьями центральных колес (коэффициент запаса прочности зубьев равен 1,5).

**Четвертая глава** работы посвящена проектированию конструкции привода электрической лебедки, разработанного на основе планетарного прецессионного механизма с подвижными роликами, проведению его стендовых и эксплуатационных испытаний.

На основе результатов теоретических и компьютерных исследований были определены параметры прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами и изготовлен экспериментальный образец, детали которого показаны на рисунке 11.



1 – сателлит с роликами; 2 – подвижное центральное колесо; 3 – эксцентрик; 4 – неподвижное центральное колесо с основным валом

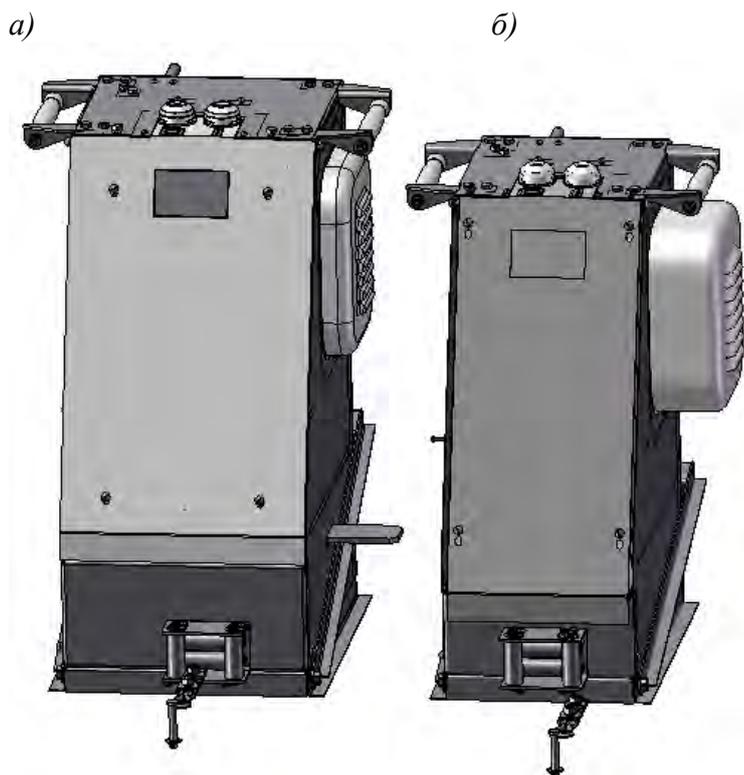
**Рисунок 11 – Вид деталей прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами**

выпускаемый РУП завод «Могилевлифтмаш», с двухступенчатой эвольвентной зубчатой передачей. Второй – барабан со встроенным в его конструкцию экспериментальным прецессионным редуцирующим механизмом с подвижными роликами. Сравнительные результаты стендовых испытаний барабанов сельскохозяйственной лебедки позволили экспериментально подтвердить теоретически полученные значения КПД (90–92 %) прецессионного редуцирующего механизма. Установлено, что КПД серийно выпускаемого РУП завод «Могилевлифтмаш» редуцирующего механизма, разработанного на основе двухступенчатой зубчатой эвольвентной передачи, ниже в среднем на 5–7 %.

Сельскохозяйственной лебедкой с прецессионным редуцирующим механизмом с подвижными роликами была произведена вспашка земли на экспериментальном участке РУП завод «Могилевлифтмаш». В процессе испытаний было установлено, что намотка каната на барабан лебедки при рабочем режиме осуществлялась равномерно (без рывков). Вспашка производилась с максимально возможной шириной дерна. При этом остановки привода лебедки по причине его перегрузки не наблюдалось.

С целью подтверждения вышеполученных теоретических результатов, а также определения основных выходных показателей прецессионного редуцирующего механизма, смонтированного в барабан сельскохозяйственной лебедки, были проведены стендовые испытания экспериментальных образцов. Испытаниям на специальном стенде были подвергнуты два барабана

сельскохозяйственной лебедки со встроенными в их конструкции редуцирующими механизмами. Первый барабан – это барабан, серийно



а – серийно выпускаемая РУП завод «Могилевлифтмаш»;  
 б – разработанная на базе прецессионного редуцирующего механизма  
**Рисунок 12 – Компьютерные модели сельскохозяйственных лебедок**

механизмом с подвижными роликами (см. рисунок 12, б) и лебедки, серийно изготавливаемой на РУП завод «Могилевлифтмаш» (см. рисунок 12, а).

С целью оценки перспективности освоения производства сельскохозяйственной лебедки с прецессионным редуцирующим механизмом был осуществлен сравнительный анализ ее основных показателей с показателями лебедки, серийно выпускаемой РУП завод «Могилевлифтмаш».

Габаритные размеры, а также масса сельскохозяйственной лебедки с прецессионным редуцирующим механизмом с подвижными роликами, приведенные в таблице 1, были определены на основе создания ее компьютерной модели. На рисунке 12 показаны компьютерные модели (в одном масштабе) лебедки сельскохозяйственной с прецессионным редуцирующим

Таблица 1 – Результаты анализа показателей сравниваемых лебедок

Показатель	Лебедка, серийно выпускаемая РУП завод «Могилевлифтмаш»	Лебедка, разработанная на основе прецессионного редуцирующего механизма
Масса	58±3 кг	43±2 кг
Габариты	600x418x384 мм	536x418x345 мм
Длина троса	40 м	80 м
Тяговое усилие	2000 Н	2700 Н

Достижение положительного эффекта от использования лебедки с прецессионным редуцирующим механизмом с подвижными роликами ожидается от снижения массы лебедки на 15 кг, габаритных размеров в 1,2 раза, повышения тягового усилия на 700 Н, а также увеличения канатоемкости барабана на 40 м. Это позволит облегчить условия ее эксплуатации, расширить функциональные возможности, а также улучшить эргономические показатели.

Следует отметить, что на основе расчета, представленного в работе, разработана электрическая лебедка с прецессионным редуцирующим механизмом привода установки для испытаний ограждающих конструкций

зданий и сооружений, которая внедрена в Учреждении «Могилевское областное управление МЧС».

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны алгоритм и программное обеспечение для автоматизированного расчета прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами.

В работе приведены также перспективные конструкции прецессионного мотор-редуктора с расположенными на конической поверхности корпуса цилиндрическими роликами, а также магнитного привода, разработанного на основе прецессионного редуцирующего механизма типа 2К-Н, позволяющие повысить технологичность изготовления и сборки смонтированных на их основе приводных устройств.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Результаты кинематического и силового расчетов упрощенной схемы взаимодействия ролика с зубьями центрального колеса в тонкостойном сечении планетарной прецессионной передачи позволили обосновать целесообразность использования при разработке прецессионного редуцирующего механизма только модифицированных поверхностей зубьев центральных колес, что обеспечивает минимизацию механических потерь в зацеплении [1, 16–19].

2. Установлены аналитические зависимости для определения эксцентриситета и диаметра ролика в граничном сечении центральных колес, позволяющие получить гарантированный зазор при входе подвижных роликов во впадину модифицированных поверхностей зубьев центральных колес и рассчитать геометрические параметры зацепления прецессионного редуцирующего механизма, обеспечивающие повышенное на 5–7 % значение КПД по сравнению с зацеплением, использующим циклоидальные поверхности зубьев центральных колес [2, 3, 7–9, 12].

3. Получена зависимость для расчета углов конусности роликов, обеспечивающих использование в зацеплении прецессионного редуцирующего механизма технологичных в изготовлении с использованием стандартного зуборезного инструмента, профилей зубьев центральных колес [10, 11].

4. Результаты исследований компьютерных моделей, созданных на основе разработанного в среде Solidworks программного обеспечения, дающего возможность без ограничения диапазона исходных параметров получать модифицированные поверхности зубьев центральных колес, позволили установить значение угла нутации, равное  $3^\circ$ , при котором достигается максимальное значение КПД в зацеплении прецессионной передачи (92 %) [5, 12–15].

5. Разработаны алгоритм и программное обеспечение для автоматизированного расчета прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами, левые и правые концы которых взаимодействуют с зубьями подвижного и неподвижного центральных колес, обеспечивающие

создание компактной конструкции сельскохозяйственной лебедки, имеющей пониженные массогабаритные показатели (снижение массы с 58 до 43 кг, габаритных размеров в 1,2 раза), а также повышенное значение тягового усилия на рабочем органе (с 2000 до 2700 Н) по сравнению с серийно изготавливаемым аналогом на предприятии РУП завод «Могилевлифтмаш» [4, 6, 16, 17, 20].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

На РУП завод «Могилевлифтмаш» проведены заводские и эксплуатационные испытания опытных образцов сельскохозяйственной лебедки с прецессионным редуцирующим механизмом с подвижными роликами, разработана техническая документация на сельскохозяйственную лебедку для организации выпуска опытно-промышленной партии. Эффект от внедрения лебедки заключается в снижении массогабаритных показателей и повышении тягового усилия, а следовательно, в создании ее более конкурентоспособной конструкции [16].

Кроме этого, электрическая лебедка с прецессионным редуцирующим механизмом внедрена в установку для испытаний ограждающих конструкций зданий и сооружений Учреждения «Могилевское областное управление МЧС».

Расчет параметров прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами может быть использован различными проектными организациями и предприятиями, занимающимися проектированием и изготовлением электрических лебедок.

# СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

## Монография

1. Прецессионные редуцирующие механизмы для приводных устройств различного назначения: монография / П. Н. Громыко, Д. М. Макаревич, Л. Г. Доконов, С. Д. Макаревич, П. С. Гончаров, И. В. Трусков; под общ. ред. П. Н. Громыко. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2013. – 273 с.: ил.

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

2. Структурные варианты исполнения планетарных магнитных приводов, разработанных на базе прецессионных передач различных типов / П. Н. Громыко, Л. Г. Доконов, П. С. Гончаров, Е. Г. Кривоногова // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 48–54.

3. Гончаров, П. С. Основные параметры прецессионной роликовой передачи при различных вариантах ее структурного исполнения / П. С. Гончаров // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2012. – № 3. – С. 17–27.

4. Корректировка результатов силового анализа прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами на основе использования методов компьютерного моделирования / П. Н. Громыко, Л. Г. Доконов, С. Д. Макаревич, Е. Г. Кривоногова, П. С. Гончаров // Горная механика. – 2012. – № 2. – С. 73–83.

5. Исследование влияния на выходные показатели планетарной прецессионной передачи упругих деформаций ее контактирующих звеньев / П. Н. Громыко, Л. Г. Доконов, П. С. Гончаров, Е. Г. Кривоногова // Изв. НАН. – 2012. – № 3. – С. 66–70.

6. Скойбеда, А. Т. Этапы разработки прецессионного редуцирующего механизма для электропривода сельскохозяйственной лебедки / А. Т. Скойбеда, П. Н. Громыко, П. С. Гончаров // Наука и техника. – 2013. – № 1. – С. 8–12.

## Статьи и доклады в сборниках научных трудов и в материалах научно-технических конференций

7. Галюжин, Д. С. Применение планетарной прецессионной передачи в исполнительных механизмах имитационной техники / Д. С. Галюжин, П. С. Гончаров, А. Г. Чеховский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. конф. молодых ученых. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – С. 32.

8. Галюжин, Д. С. Нормирование точности планетарной прецессионной передачи / Д. С. Галюжин, П. С. Гончаров, А. Г. Чеховский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. конф. молодых ученых. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – С. 33.

9. Галюжин, Д. С. Применение планетарных прецессионных передач в редуцирующих устройствах исполнительных механизмов дорожной техники / Д. С. Галюжин, П. С. Гончаров // Современные технологии, машины и материалы для зимнего содержания автомобильных дорог: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – С. 20.

10. Громыко, П. Н. Основные направления совершенствования способов формообразования зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи / П. Н. Громыко, Л. Г. Доконов, П. С. Гончаров // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – С. 38–39.

11. Галюжин, Д. С. Разработка методики определения кинематической погрешности планетарных прецессионных передач на основе использования методов компьютерного моделирования / Д. С. Галюжин, П. С. Гончаров, А. Г. Чеховский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – С. 91–92.

12. Кривоногова, Е. Г. Планетарные магнитные приводы, разработанные на базе прецессионных передач различных типов / Е. Г. Кривоногова, П. С. Гончаров // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – С. 42.

13. Гончаров, П. С. Использование компьютерного моделирования для исследований механических передач новых типов / П. С. Гончаров, Е. Г. Кривоногова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2011. – С. 105–106.

14. Сравнительный анализ планетарных передач эксцентрикового типа на основе использования методов компьютерного моделирования / П. Н. Громыко, П. С. Гончаров, Е. Г. Кривоногова, В. И. Лябик // Перспективные приводные системы, трансмиссии и робототехнические комплексы: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2011. – С. 27–30.

15. Гончаров, П. С. Применение различных САЕ-систем при решении прочностных задач для передач новых типов / П. С. Гончаров, Е. Г. Кривоногова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2011. – С. 55.

16. Гончаров, П. С. Разработка прецессионного цевочного механизма типа 2К-Н применительно к электроприводу сельскохозяйственной лебедки / П. С. Гончаров // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2012. – С. 8–11.

17. Гончаров, П. С. Разработка конструкции привода сельскохозяйственной лебедки с планетарным прецессионным редуцирующим механизмом / П. С. Гончаров // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. студ., магистр. и молодых ученых. – Гомель: Гомел.-гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, 2012. – С. 49–52.

## Патенты

18. Пат. 14938 ВУ, МПК F 16 Н 1/32. Планетарная прецессионная передача / П. Н. Громыко, И. В. Трусов, П. С. Гончаров; заявитель и патентообладатель ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет». – № а 20091553; заявл. 11.02.09; опубл. 30.06.11. – 3 с.

19. Пат. 15825 ВУ, МПК F 16 Н 49/00. Планетарный магнитный привод / П. Н. Громыко, Д. С. Галюжин, П. С. Гончаров, Е. В. Бутолин; заявитель и патентообладатель ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет». – № а 20100787; заявл. 19.05.10; опубл. 30.12.11. – 3 с.

20. Лебедка: заявка на выдачу патента на изобретение, МПК (2006.01) В 66 D 1/02 / П. Н. Громыко, П. С. Гончаров; заявитель П. Н. Громыко, П. С. Гончаров – № а 20110711; заявл. 23.05. 01.

## РЭЗЬЮМЭ

Ганчароў Павел Станіслававіч

### РАЗЛІК ПАРАМЕТРАЎ ПРЭЦЭСІЙНАГА РЭДУЦЫРУЮЧАГА МЕХАНІЗМА З РУХОМЫМІ РОЛІКАМІ ДЛЯ ЭЛЕКТРАПРЫВАДА СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ЛЯБЁДКІ

**Ключавыя словы:** планетарная прэцэсійная перадача, прэцэсійны рэдуцыруючы механізм, канічныя ролікі, зубы сатэліта, нахільныя крывашыпы, сельскагаспадарчая лябёдка.

**Аб'ектам** даследавання з'яўляецца прэцэсійны рэдуцыруючы механізм з рухомымі ролікамі, прызначаны для ўстаноўкі ў канструкцыю электрапрывада сельскагаспадарчай лябёдка.

**Прадметам** даследавання выступаюць параметры прэцэсійнага рэдуцыруючага механізму, камп'ютарныя мадэлі і эксплуатацыйныя паказчыкі электрычнай сельскагаспадарчай лябёдка.

**Мэтай** даследавання з'яўляецца разлік параметраў прэцэсійнага рэдуцыруючага механізму з рухомымі ролікамі, які дазваляе стварыць малагабарытную з палепшанымі службовымі ўласцівасцямі канструкцыю электрычнага прывода сельскагаспадарчай лябёдка.

На аснове вынікаў даследаванняў распрацаваны:

- структурная схема планетарнага прэцэсійнага механізму з рухомымі ролікамі;
- залежнасці для вызначэння эксцэнтрысітэту крывашыпа, дыяметра і вуглоў конуснасці ролікаў;
- праграмае забеспячэнне для правядзення камп'ютарных даследаванняў;
- канструкцыі эксперыментальных абразцоў.

Выкананы сілавы аналіз прэцэсійнага рэдуцыруючага механізму з рухомымі ролікамі, на падставе якога атрыманы значэнні сіл і рэакцый у кантактуюць яго звёнах. Праведзены выпрабаванні эксперыментальных абразцоў.

Сумесна з навуковым кіраўніком:

- Прапанавана выкарыстоўваць у зачэпленне прэцэсійнага рэдуцыруючага механізму мадыфікаваныя паверхні зубоў цэнтральнага кола;
- Распрацаваны разлік прэцэсійнага рэдуцыруючага механізму з рухомымі ролікамі для электрапрывада сельскагаспадарчай лябёдка;
- Распрацаваны прагрэсіўныя канструкцыі прэцэсійнага рэдуцыруючага механізму з нахільнымі цыліндрычнымі ролікамі і магнітнага прывада, створанага на аснове планетарнай прэцэсійнага перадачы.

## РЕЗЮМЕ

Гончаров Павел Станиславович

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРЕЦЕССИОННОГО РЕДУЦИРУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА С ПОДВИЖНЫМИ РОЛИКАМИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛЕБЕДКИ

**Ключевые слова:** планетарная прецессионная передача, прецессионный редуцирующий механизм, конические ролики, зубья сателлита, наклонный кривошип, сельскохозяйственная лебедка.

**Объектом** исследований является прецессионный редуцирующий механизм с подвижными роликами, предназначенный для установки в конструкцию электропривода сельскохозяйственной лебедки.

**Предметом** исследований выступают параметры прецессионного редуцирующего механизма, компьютерные модели и эксплуатационные показатели электрической сельскохозяйственной лебедки.

**Целью** исследований является расчет параметров прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами, позволяющий создать малогабаритную с улучшенными служебными свойствами конструкцию электрического привода сельскохозяйственной лебедки.

На основе результатов исследований разработаны:

- структурная схема планетарного прецессионного механизма с подвижными роликами;
- зависимости для определения эксцентриситетов кривошипа, диаметра и углов конусности роликов;
- программное обеспечение для проведения компьютерных исследований;
- конструкции экспериментальных образцов.

Выполнен силовой анализ прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами, на основании которого получены значения сил и реакций в контактирующих его звеньях. Проведены испытания экспериментальных образцов.

Совместно с научным руководителем:

- предложено использовать в зацеплении прецессионного редуцирующего механизма модифицированные поверхности зубьев центрального колеса;
- разработан алгоритм и программное обеспечение для автоматизированного расчета прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами для электропривода сельскохозяйственной лебедки;
- разработаны прогрессивные конструкции прецессионного редуцирующего механизма с наклонными цилиндрическими роликами и магнитного привода, созданного на основе планетарной прецессионной передачи.

## SUMMARY

Goncharov Pavel Stanislavovich

### COMPUTATION THE PARAMETERS OF PRECESSIONAL REDUCING MECHANISM WITH MOVING ROLLERS FOR ELECTRIC AGRICULTURAL WINCH

**Key words:** planetary precessional transmission, precessional reducing gear, tapered rollers, teeth satellite, oblique crank, agricultural winch.

**The object** of research is the precessional reducing mechanism with moving rollers, designed for installation in the design of the electric agricultural winch.

**The subject** of the research are the parameters of the precessional reducing mechanism, computer models and operating characteristics of electric agricultural winch.

The purpose of research is to estimate the parameters of the precessional reducing mechanism with moving rollers, allowing a small-sized design with improved serviceability of electric drive agricultural winch.

Based on research results are developed:

- the schematic diagram of the planetary precessional mechanism with moving rollers;
- expressions for estimating the eccentricities of the crank, diameter and angle of taper rollers;
- the software for computer aided research;
- designs of the experimental samples.

A force analysis of the precessional reducing mechanism with moving rollers were performed, based on which, the values of forces and reactions in contacting his links obtained. The experimental samples were tested.

Together with the supervisor:

- the use of modified teeth surfaces of the wheel of the precessional reducing mechanism engagement is proposed;
- the algorithm and software for automated calculation of the precessional reducing mechanism with moving rollers for electric agricultural winch are developed;
- the innovative designs of the precessional reducing mechanism with angled cylindrical rollers, and magnetic drive, based on the planetary precessional transmission are developed.

**ГОНЧАРОВ**  
**Павел Станиславович**

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРЕЦЕССИОННОГО РЕДУЦИРУЮЩЕГО  
МЕХАНИЗМА С ПОДВИЖНЫМИ РОЛИКАМИ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛЕБЕДКИ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов  
и детали машин»

Подписано в печать 22.05.2013. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл.-печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,7. Тираж 110 экз. Заказ № 357.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
ЛИ № 02330/0548519 от 16.06.2009.  
пр. Мира, 43, 212000, Могилев.