

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.833.6 (043.3)

МАКАРЕВИЧ
Сергей Дмитриевич

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕЦЕССИОННОГО
РЕДУЦИРУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА С КОНИЧЕСКИМИ РОЛИКАМИ
ДЛЯ ПРИВОДА ПОДЪЕМНО-ТЯГОВОГО АВАРИЙНО-
СПАСАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.02.02 - машиноведение, системы приводов и детали машин

Могилев, 2011

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

Научный руководитель: **Громыко Петр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет».

Официальные оппоненты: **Скойбеда Анатолий Тихонович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Детали машин, подъемно-транспортные машины и механизмы» Белорусского национального технического университета.

Мардосевич Елена Ивановна, кандидат технических наук, заведующая сектором «Перспективные приводы и трибосистемы» Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

Оппонирующая организация: ПО «Минский тракторный завод»

Защита состоится « 20 » февраля 2012 г. в 13⁰⁰ на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.18.01 при Белорусско-Российском университете по адресу: 212030, г.Могилев, пр-т Мира, 43, ком. 323, e-mail: lustenkov@yandex.ru, телефон ученого секретаря: (0222)-25-36-71.

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

Автореферат разослан « 19 » января 2012 г.

Ученый секретарь Совета Д 02.18.01
по защите диссертаций, канд. техн наук, доц.

М.Е. Лустенков

ВВЕДЕНИЕ

Подъемно-тяговые устройства получили широкое распространение при проведении аварийно-спасательных работ. Потребность в данных устройствах растет, так как они используются при разборках завалов и разрушений, эвакуации людей с высоты и глубины, автоавариях и других чрезвычайных ситуациях. При проведении аварийно-спасательных работ в чрезвычайных ситуациях используется грузоподъемная техника, однако ее использование в стесненных условиях может быть затруднено, поэтому при необходимости работы под завалами требуются компактные средства.

На рынке предлагаются различные виды аварийно-спасательных компактных устройств. Однако во многих случаях работников аварийно-спасательных подразделений не устраивают существующие конструкции из-за повышенных массогабаритных и стоимостных показателей, а также низких эргономических качеств. Потребность Республики Беларусь в подъемно-тяговых устройствах для проведения аварийно-спасательных работ восполняется за счет их приобретения в странах ближнего и дальнего зарубежья. Однако высокая цена и низкие потребительские качества указанных устройств ограничивают их применение.

Разработка конструкции аварийно-спасательного устройства, отвечающего требованиям пониженных массогабаритных и стоимостных показателей, многофункциональности, является актуальной задачей. Одним из важнейших требований при эксплуатации аварийно-спасательного устройства является требование достижения максимально возможной скорости подъема груза при заданной грузоподъемности устройства. Обеспечение указанных требований во многом зависит от параметров редуцирующего механизма, используемого в приводе аварийно-спасательного подъемно-тягового устройства. Так, например, низкий КПД червячной передачи предопределяет работу аварийно-спасательного устройства с низкими скоростями подъема груза. Сложность конструкции планетарной зубчатой передачи отрицательно сказывается как на массогабаритных показателях, так и на стоимости подъемно-тягового аварийно-спасательного устройства. Применение обычного многоступенчатого редуктора с эвольвентными зубьями упрощает конструкцию, но большой вес и габариты не позволяют их использовать в труднодоступных местах в качестве аварийных устройств.

В данной работе проблема создания конструкции аварийно-спасательного устройства, отвечающего требованиям МЧС, решена на основе планетарного прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Выбранная тема соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на

2006-2010 годы (Перечень утвержден Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512):

-Механика машин, обеспечение надежности и безопасности технических систем, повышение конкурентоспособности продукции машиностроения (2.3 компьютерное моделирование и испытание машин и механизмов; 2.4 создание новых компонентов машин и оборудования для машиностроительного комплекса).

Научные исследования по теме диссертации проводились по заданию №66 раздела «Механика» 2.29 – «Разработка интеллектуальных систем управления качеством новых типов механических передач на основе компьютерного моделирования с целью повышения их технического уровня» (раздел задания 2.29.1 «Создание динамических моделей контактного взаимодействия звеньев коническо-цилиндрической прецессионной передачи с разработкой на их основе способов снижения кинематической погрешности и вибрационных характеристик прецессионных редукторов»), № гос. рег. 20061430, 2006-2010 гг.; по НИР, финансируемой Министерством образования РБ, «ГБ0618ф Разработка малогабаритных механических приводов с низкой энергоемкостью на базе планетарных передач и их промышленное внедрение», № гос. рег. 20061424, 2006-2008гг. в рамках реализации приоритетных направлений проведения научно-технической политики МЧС Республики Беларусь по теме «Разработать устройство для эвакуации из глубины для проведения аварийно-спасательных работ», № гос. рег. 20051689, 2006-2010гг.

Цель и задачи исследования. *Целью* исследований является расчет и проектирование прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами и создание малогабаритного подъемно-тягового устройства для проведения аварийно-спасательных работ.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие *задачи*:

1. Провести анализ различных структурных схем механических передач и оценить возможность их использования в конструкции приводов подъемно-тяговых аварийно-спасательных устройств.

2. Выполнить кинематический и силовой расчеты прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами на основе предложенной структурной схемы лебедки, используемой в качестве привода аварийно-спасательного подъемно-тягового устройства.

3. На основе исследований компьютерной модели прецессионного редуцирующего механизма уточнить полученные аналитические зависимости для расчета основных параметров звеньев.

4. Экспериментально подтвердить теоретические результаты и оценить эксплуатационные показатели редуцирующего механизма, встроенного в конструкцию подъемно-тягового аварийно-спасательного устройства.

5. Рассчитать и спроектировать прецессионный редуцирующий механизм для привода подъемно-тягового устройства и разработать рекомендации по их промышленному внедрению.

Объект исследования - планетарный редуцирующий механизм с кониче-

скими роликами, предназначенный для установки в конструкцию подъемно-тягового аварийно-спасательного устройства.

Предмет исследований – параметры прецессионного редуцирующего механизма, компьютерные модели и эксплуатационные показатели лебедки аварийно-спасательного устройства.

Положения, выносимые на защиту:

- аналитическая зависимость между передаточным отношением прецессионного редуцирующего механизма и его основными параметрами, учитывающая неравномерность скорости намотки каната на барабан при его прецессионном движении, обеспечивающая аварийно-спасательному устройству максимальную скорость подъема груза при заданной грузоподъемности;

- аналитические зависимости для определения сил и реакций в контактирующих звеньях прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами, полученные на основе силового расчета, учитывающие инерционные нагрузки из-за неравномерности скорости намотки каната на барабан;

- исследования компьютерных моделей, позволяющие определять значения механических потерь в контактирующих звеньях, а также вводить корреляционные коэффициенты в полученные аналитические зависимости для расчета сил и реакций в опорных подшипниках с учетом многопарности зацепления прецессионного редуцирующего механизма;

- расчет параметров и проектирования прецессионного редуцирующего механизма подъемно-тягового аварийно-спасательного устройства по критериям минимальных массогабаритных и стоимостных показателей;

- разработка и внедрение прецессионного редуцирующего механизма в составе аварийно-спасательного устройства.

Личный вклад соискателя. Соискателем лично получены следующие результаты: зависимость для расчета передаточного отношения прецессионного редуцирующего механизма, методика проведения компьютерных исследований прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами и результаты ее работы, силовой анализ прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами, на основании которого получены зависимости для расчета сил и реакций в его контактирующих звеньях, конструкции экспериментальных образцов и результаты их испытаний.

Совместно с научным руководителем профессором, д-ром техн. наук Громыко П.Н., доцентом, канд. техн. наук Макаревичем Д.М., канд. техн. наук Доконовым Л.Г. предложен структурный вариант планетарной прецессионной передачи с коническими роликами. Совместно с научным руководителем профессором, д-ром техн. наук Громыко П.Н. разработана методика расчета планетарного прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами для привода аварийно-спасательного устройства, разработана прогрессивная конструкция прецессионного редуцирующего механизма. Автор участвовал во всех этапах подготовки работ, опубликованных совместно с соавторами (П.Н. Громыко, М.Е. Лустенков, Д.М. Макаревич, Л.Г. Доконов).

Апробация результатов диссертации. Основные положения работы

представлены на следующих международных и республиканских научно-технических конференциях:

- ЧС: предупреждение и ликвидация: Международные научно-практические конференции. Минск, 2003 г.; Минск, 7-9 июня 2005 г.; Минск, 2007 г.;

- Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Международные научно-технические конференции. Могилев, 22-23 апреля 2004 г.; Могилев, 19-20 апреля 2007 г.; Могилев, 17-18 апреля 2008 г.; Могилев, 16-17 апреля 2009 г.; Могилев, 22-23 апреля 2010 г.;

- Содружество наук. Барановичи-2005: Международная научно-практическая конференция молодых исследователей. Барановичи, 22 февраля 2005 г.;

- Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Республиканские научно-технические конференции аспирантов, магистрантов и студентов. Могилев, 27 января 2005 г.; Могилев, 26 января 2006 г.; Могилев, 20-21 ноября 2008 г.;

- Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: Международные научно-технические конференции. Гомель, 4-5 декабря 2008 г.; Гомель, 27-28 мая 2010 г.;

- Перспективные приводные системы, трансмиссии и робототехнические комплексы: Международная научно-техническая конференция. Могилев, 20-21 октября 2011 г.

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 39 печатных работ (22,5 авторских листов), в том числе статей в рецензируемых журналах, включенных в список научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований – 6, в зарубежных изданиях – 6, материалов или тезисов докладов научных конференций – 21, депонированных работ – 1, патентов на полезную модель – 4, патентов на изобретение – 1.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка литературных источников (64 наименования, из них 1 на иностранном языке) и приложений. Она изложена на 183 страницах машинописного текста, включает 63 рисунка и 2 таблицы. Приложения приведены на 59 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** обоснована актуальность задачи создания подъемно-тяговых устройств для проведения аварийно-спасательных работ на базе прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами.

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

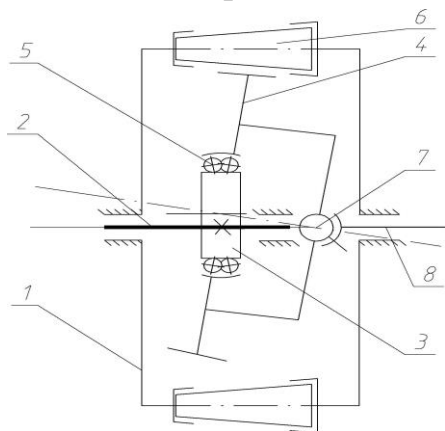
В **первой главе** проанализированы конструкции аварийно-спасательных

устройств и сформулированы предъявляемые к ним основные требования: надежность, пониженные массогабаритные и стоимостные показатели, многофункциональность. При этом скорость намотки каната на барабан лебедки должна иметь максимально возможное значение при обеспечении требуемой грузоподъемности устройства.

В Республике Беларусь отмечены отдельные случаи использования в устройствах для проведения аварийно-спасательных работ лебедок RUP 502, RUP 503 фирмы «Protekt» (Польша) и МН-20 производства фирмы «Sperian Protection» (США). Указанные устройства надежны в эксплуатации, следует отметить высокий уровень эргономической проработки. Однако повышенные массогабаритные показатели, а также высокая отпускная цена ограничивают их применение. Поэтому активно ведутся работы по созданию низких по себестоимости и массогабаритным показателям подъемно-тяговых аварийно-спасательных устройств с расширением их функциональных возможностей. Предложена конструкция подъемно-тягового аварийно-спасательного устройства, обеспечивающая расширение его функциональных возможностей. В конструкции устройства предусмотрено применение двух лебедок с механизмами перехвата канатов. Благодаря этому при эвакуации людей и грузов из глубины длина основного каната, определяющего глубину эвакуации, практически не ограничена. Возможен также подъем груза предложенным устройством одновременно двумя лебедками. Поэтому важно, чтобы используемые лебедки имели низкие массогабаритные показатели и себестоимость изготовления. С целью анализа лебедок, применение которых возможно в конструкции предложенного аварийно-спасательного устройства, разработана их классификация. На основе классификации сделан вывод, что лебедки с планетарной эксцентриковой передачей малогабаритны, имеют небольшое количество простых по конструкции деталей. Однако относительно низкое значение КПД при передаче больших крутящих моментов ограничивает их применение. Чтобы увеличить КПД у передач такого типа, необходимо обеспечить высокую жесткость контактирующих звеньев и повышенную точность изготовления и сборки деталей, что приведет к повышению габаритов и себестоимости изготовления разрабатываемых на их основе лебедок. Проблема снижения габаритных размеров и стоимости лебедки была решена на основе использования в ее конструкции планетарной прецессионной передачи. Отличительной чертой планетарной прецессионной передачи от планетарной эксцентриковой передачи является наличие косоугольного кривошипа и зубьев, имеющих бочкообразную форму. Неточность контактного взаимодействия наружных бочкообразных зубьев сателлита и внутренних зубьев центрального колеса, вызванная погрешностями изготовления и контактными деформациями звеньев, не приводит к существенному ухудшению условий работы прецессионного зацепления. Анализ конструкций лебедок с прецессионным редуцирующим механизмом позволил определить дальнейшие направления их совершенствования путем устранения кромочного контактного взаимодействия, приводящего к снижению показателей надежности, а также трудностей, возникающих при эксплуатации лебедки с механизмом быстрой раз-

МОТКИ.

В соавторстве с группой специалистов из Белорусско-Российского университета автором данной работы была предложена новая схема планетарной прецессионной передачи с коническими роликами (рисунок 1).



- 1 – корпус; 2 – входной вал;
3 – эксцентриковый кривошип;
4 – сателлит; 5 – сферический подшипник;
6 – конические ролики; 7 – угловая муфта;
8 – выходной вал

Рисунок 1 – Схема планетарной прецессионной передачи с коническими роликами

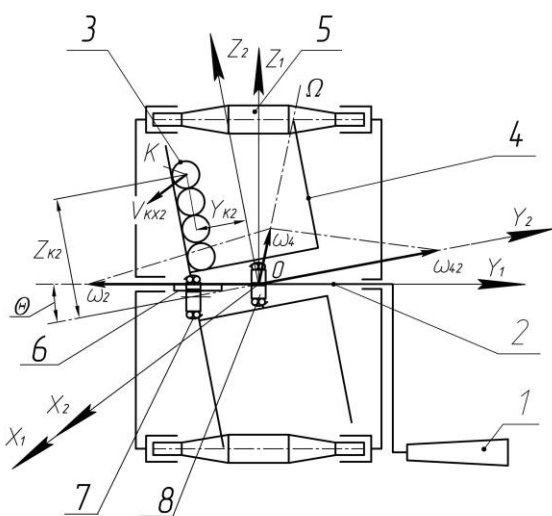


Рисунок 2 – Структурная схема предложенной лебедки

Вращение от рукоятки 1 передается на приводной вал 2. Благодаря наличию эксцентриситета наружной поверхности эксцентриковой втулки 6, а также наличию двух сферических подшипников 7 и 8, обеспечивается колебательное движение барабана 4. Зубчатые венцы, выполненные на ребрах барабана 4, взаимодействуют с конической частью роликов 5. Вследствие указанного взаимодействия барабан 4 получает вращательное движение вокруг своей оси, что приводит к наматыванию на поверхность барабана 4 закрепленного на нем каната 3.

Одним из основных эксплуатационных показателей подъемно-тяговых устройств является скорость подъема груза. Для лебедок, используемых при проведении аварийно-спасательных работ, скорость подъема груза должна иметь максимально возможное значение при заданном значении грузоподъем-

Применение конических роликов в конструкции предложенной передачи позволяет использовать в зацеплении высокотехнологичные зубчатые профили, представляющие собой зубья звездочки цепной передачи. Конструктивная простота, небольшое количество звеньев планетарной передачи с коническими роликами позволили сделать предположение о перспективности ее использования в качестве редуцирующего механизма для привода подъемно-тягового аварийно-спасательного устройства.

Вторая глава диссертации посвящена разработке теоретических основ расчета прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами применительно к аварийно-спасательным устройствам.

Предложена структурная схема лебедки, разработанная на базе планетарной прецессионной передачи с коническими роликами (рисунок 2). Вращение от рукоятки 1 передается на приводной вал 2. Благодаря наличию эксцентриситета наружной поверхности эксцентриковой втулки 6, а также наличию двух сферических подшипников 7 и 8, обеспечивается колебательное движение барабана 4. Зубчатые венцы, выполненные на ребрах барабана 4, взаимодействуют с конической частью роликов 5. Вследствие указанного взаимодействия барабан 4 получает вращательное движение

ности. Зависимость для расчета скорости подъема груза можно представить в виде:

$$V_{ep} = -\omega_2 \cdot \left(\left(\cos \theta - \left(1 - \frac{1}{u} \right) \right) \cdot z_{K2} - \sin \theta \cdot y_{K2} \right), \quad (1)$$

где η – КПД;

θ – угол наклона оси сателлита к оси входного вала, рад;

ω_2 – угловая скорость вращения приводного вала, c^{-1} ;

y_{K2}, z_{K2} – координаты, определяющие положение конца каната на барабане относительно системы координат, жестко связанной с барабаном, м,
а передаточное отношение прецессионного редуцирующего механизма можно определить из данного выражения:

$$u = \frac{-T \cdot z_{K2}}{F \cdot \eta \cdot l + T \cdot z_{K2} \cdot \cos \theta + T \cdot \sin \theta \cdot y_{K2} \cdot (1 - \cos(2\pi / z_5)) - T \cdot z_{K2}}, \quad (2)$$

где T – грузоподъемность, Н;

F – усилие на рукоятке, Н;

l – длина рукоятки, м;

z_5 – число конических роликов.

На основе предложенной структурной схемы лебедки составлена система динамических уравнений, решение которой позволяет определить силы во взаимодействующих звеньях и реакции в опорных элементах редуцирующего прецессионного механизма (рисунок 3).

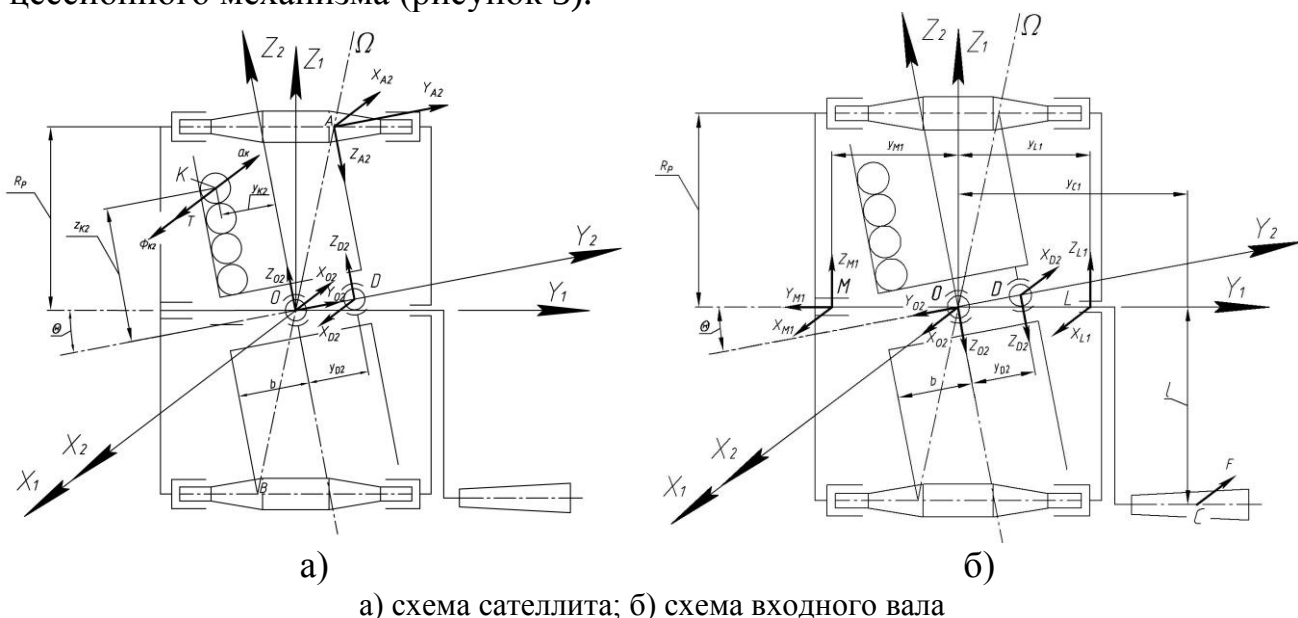


Рисунок 3 – Схемы силового равновесия звеньев прецессионного редуцирующего механизма

Сила в зацеплении зубьев сателлита с конической частью роликов можно определить из выражения:

$$R_{A2} = \frac{(\Phi_{K2} + T) \cdot z_{K2}}{\cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{R_p}{\cos \theta} - b \cdot \operatorname{tg} \theta \right)}, \quad (3)$$

где Φ_{K2} - сила инерции груза, Н;

α - угол зацепления, рад;

β - угол конусности роликов, рад;

R_p - радиус расположения конических роликов, м;

b - расстояние от точки прецессии до зубчатого венца барабана лебедки, м.

Реакции в опорном подшипнике D :

$$X_{D2} = \frac{(\Phi_{K2} + T) \cdot y_{K2} + R_{A2} \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot b}{y_{D2}}, \quad (4)$$

$$Z_{D2} = \frac{R_{A2} \cdot \left(\cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot b + \sin \beta \cdot \left(\frac{R_p}{\cos \theta} - b \cdot \operatorname{tg} \theta \right) \right)}{y_{D2}}. \quad (5)$$

Реакции в опорном подшипнике O :

$$Z_{O2} = R_{A2} \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha - Z_{D2}, \quad (6)$$

$$Y_{O2} = -R_{A2} \cdot \sin \beta, \quad (7)$$

$$X_{O2} = -R_{A2} \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha + X_{D2} + T + \Phi_{K2}. \quad (8)$$

Реакции в опорном подшипнике M :

$$X_{M1} = \frac{F \cdot (y_{L1} - y_{C1}) + X_{D2} \cdot y_{L1} - X_{O2} \cdot y_{L1} - X_{D2} \cdot y_{D2} \cdot \cos \theta}{y_{M1} + y_{L1}}, \quad (9)$$

$$Z_{M1} = Z_{D2} \cdot \cos \theta + Z_{O2} \cdot \cos \theta + Y_{O2} \cdot \sin \theta - Z_{L1}, \quad (10)$$

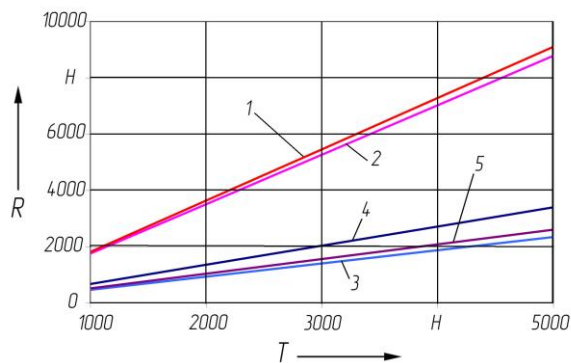
$$Y_{M1} = -Y_{O2} \cdot \cos \theta + Z_{O2} \cdot \sin \theta + Z_{D2} \cdot \sin \theta. \quad (11)$$

Реакции в опорном подшипнике L :

$$X_{L1} = -X_{M1} + X_{D2} - X_{O2} + F, \quad (12)$$

$$Z_{L1} = \frac{Z_{D2} \cdot (\cos \theta \cdot y_{M1} + y_{D2}) + Z_{O2} \cdot \cos \theta \cdot y_{M1} + Y_{O2} \cdot \sin \theta \cdot y_{M1}}{y_{M1} + y_{L1}}. \quad (13)$$

Графический анализ (рисунки 4, 5) полученных зависимостей позволил установить, что на значения силы в зацеплении R_{A2} и реакций в подшипниковых опорах X_{O2} , Y_{O2} , Z_{O2} , X_{D2} , Z_{D2} , X_{M1} , Y_{M1} , Z_{M1} и X_{L1} , Z_{L1} несущественно влияет изменение положения каната на барабане вдоль его оси, определяемого координатой y_{K2} . В то же время, чем дальше находится выходной виток каната от оси барабана (координата z_{K2}), тем выше значение реакций в подшипниковых



- 1 – реакция R_{D2} ; 2 – реакция R_{O2} ; 3 – реакция R_{M1} ; 4 – сила в зацеплении R_{A2} ; 5 – реакция R_{L1}

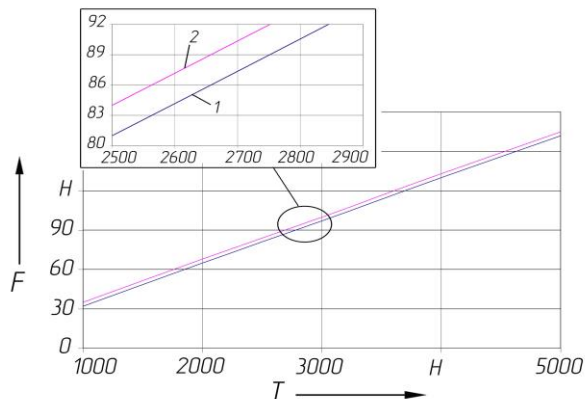
Рисунок 4 – Зависимость силы в зацеплении и реакций в подшипниковых опорах, а также усилия на рукоятке от веса груза

опорах.

Силы инерции Φ_{K2} , вызванные колебательным движением сателлита барабана, оказывают незначительное влияние на изменение величины усилия на рукоятке F . Результаты анализа были использованы при разработке и проведении исследований компьютерных моделей прецессионного редуцирующего механизма.

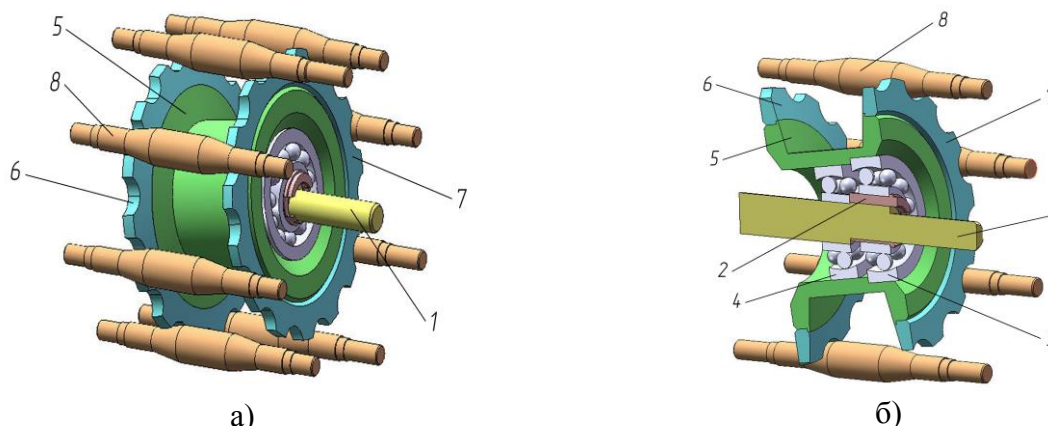
Получены зависимости для расчета основных параметров зацепления прецессионного редуцирующего механизма, к которым относятся: радиус впадин зубчатых венцов сателлита (R_{fc}), угол наклона оси сателлита к оси входного вала (θ), высота зуба f_c , радиус вершин зубьев сателлита R_{ac} , количество зубьев зубчатого венца барабана (z_2), радиус, на котором должны располагаться оси конических роликов от оси вращения входного вала (R_p), а также максимальный диаметр конического ролика d_{p1} .

В третьей главе проведены компьютерные исследования, позволившие определить параметры зацепления, получение которых аналитическим путем не представлялось возможным. Кроме этого скорректированы некоторые зависимости для расчета параметров зацепления планетарного редуцирующего механизма с учетом многопарности контактного взаимодействия.



- 1 – без учета силы инерции груза;
2 – с учетом силы инерции груза
- Рисунок 5 – Зависимость усилия на рукоятке от веса груза**

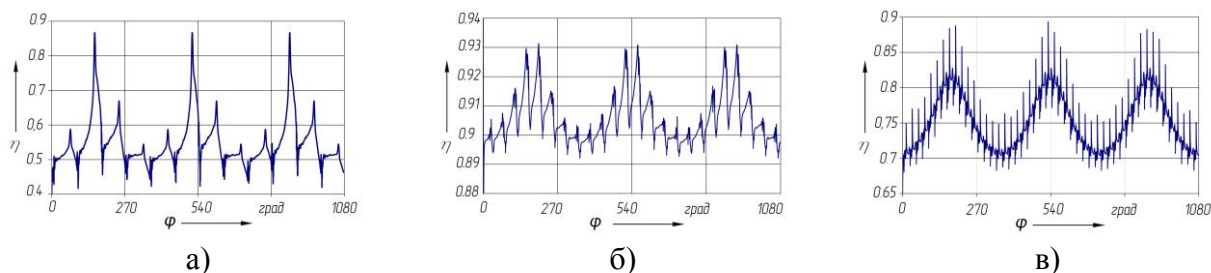
На рисунке 6 представлена компьютерная модель прецессионного редуцирующего механизма, предназначенного для аварийно-спасательного устройства, являющаяся основой для проведения компьютерных исследований.



а) - общий вид; б) – разрез; 1 - входной вал; 2 - эксцентриковая втулка; 3,4 - сферические подшипники; 5 - сателлит-барабан; 6,7 - зубчатые венцы; 8 - ролики

Рисунок 6 – Компьютерная модель прецессионного редуцирующего механизма

Исследования компьютерных моделей позволяют оценить значение КПД, осуществить анализ напряженно-деформированного состояния, а также определить величины сил и реакций в опорных подшипниках прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами. В результате исследований установлено, что количество конических роликов в зацеплении прецессионного редуцирующего механизма, обеспечивающее ему максимально возможное значение КПД, равно 8 (рисунок 7).



а) 4 ролика; б) 8 роликов; в) 16 роликов

Рисунок 7 – Зависимость КПД компьютерной модели прецессионного редуцирующего механизма от времени при использовании в конструкции различного количества роликов

Исследования напряженно-деформированного состояния элементов прецессионного редуцирующего механизма в системе расчета Ansys 13.1 позволили определить оптимальное значение угла конусности ролика. Исходя из критерия обеспечения максимальной площади контакта в зацеплении, определено, что этот угол должен находиться в диапазоне $4-4,5^{\circ}$ (рисунок 8).

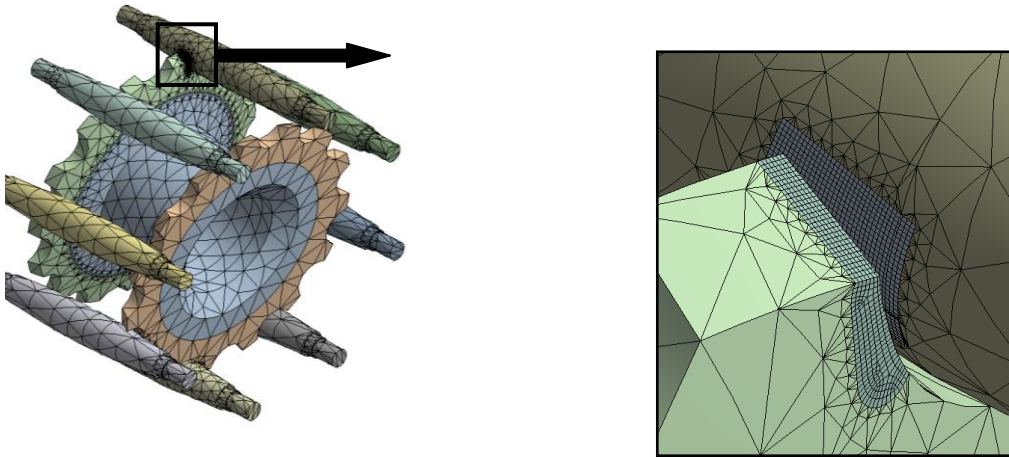


Рисунок 8 – Исследования напряженно-деформированного состояния элементов прецессионного редуцирующего механизма

Анализ направления сил (рисунок 9) в контакте конической части ролика с зубьями зацепления реборд барабана при различных угловых положениях входного вала позволил установить значение угла зацепления $\alpha = 30^\circ$.

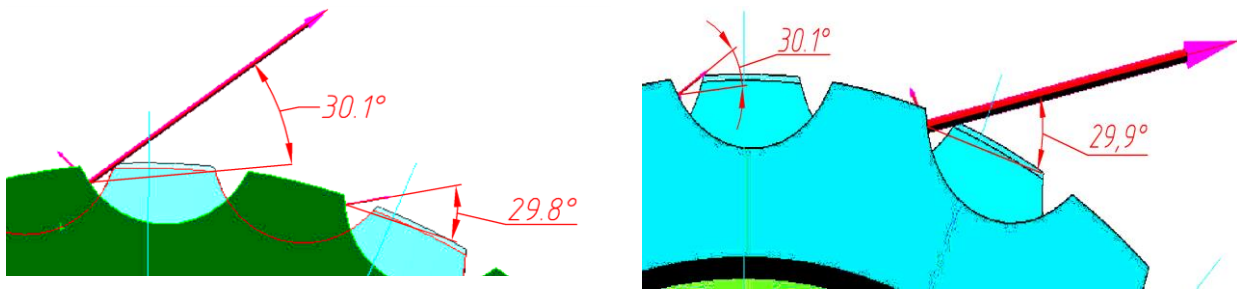


Рисунок 9 – Анализ направления сил в контакте конического ролика с зубьями барабана при различных угловых положениях приводного вала

На основе сопоставления значений, полученных аналитическим путем, и с помощью компьютерных моделей уточнены аналитические зависимости расчета сил в зацеплении и реакций в опорных подшипниках путем введения корреляционных коэффициентов:

$$R_{A2} = C_1 \cdot \frac{(\Phi_{K2} + T) \cdot z_{K2}}{\cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{R_p}{\cos \theta} - b \cdot \operatorname{tg} \theta \right)}, \quad (14)$$

$$R_D = C_2 \cdot \sqrt{X_D^2 + Z_D^2}, \quad (15)$$

$$R_O = C_3 \cdot \sqrt{X_O^2 + Y_O^2 + Z_O^2}, \quad (16)$$

$$R_{M1} = C_4 \cdot \sqrt{X_{M1}^2 + Y_{M1}^2 + Z_{M1}^2}, \quad (17)$$

$$R_L = C_5 \cdot \sqrt{X_L^2 + Z_L^2}, \quad (18)$$

где $C_1 = 0,7$; $C_2 = 0,8$; $C_3 = 0,4$; $C_4 = 0,8$; $C_5 = 0,5$.

Исследования напряженно-деформированного состояния элементов прецессионного редуцирующего механизма позволили уточнить значение коэффициента, учитывающего неравномерность распределения нагрузки между зубьями и по ширине зуба при проведении прочностного расчета зацепления прецессионного редуцирующего механизма, равное 0,86.

Результатом теоретических исследований явилась методика расчета и проектирования прецессионного редуцирующего механизма, включающая формулы для определения основных параметров его звеньев, полученные аналитически на основе проведения силового анализа, а также на основе их корректировки путем проведения компьютерных исследований.

Четвертая глава работы посвящена проектированию конструкции лебедки, проведению ее стендовых и эксплуатационных испытаний, а также расчету технико-экономической эффективности и разработке рекомендаций по ее внедрению в конструкции подъемно-тяговых аварийно-спасательных устройств.

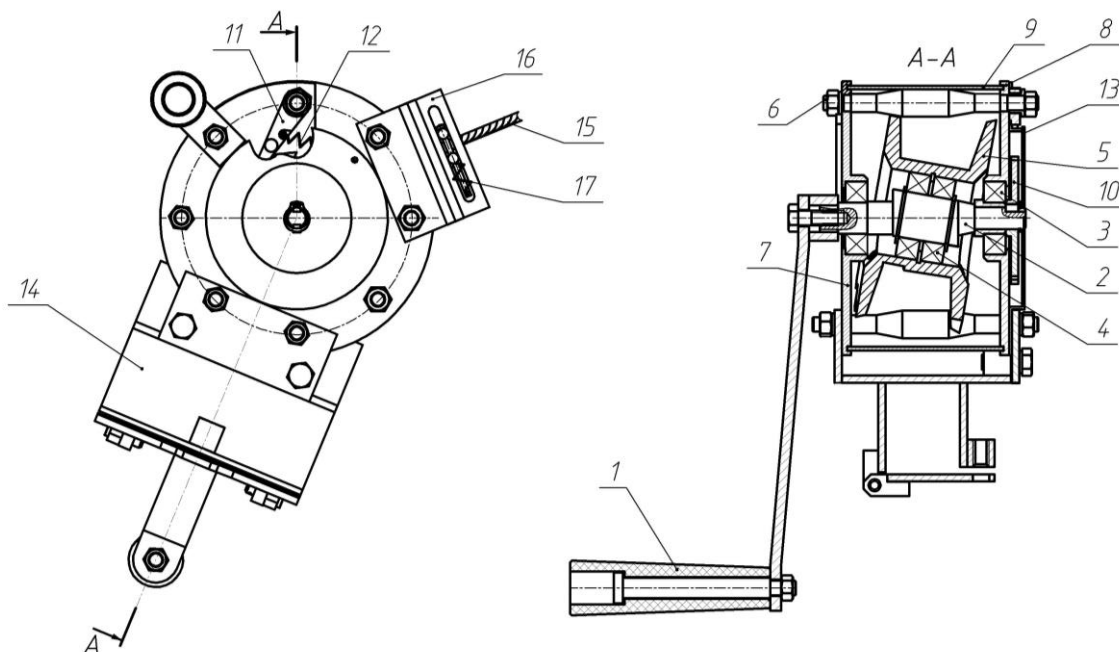


Рисунок 10 – Конструкция лебедки для аварийно-спасательного устройства

В соответствии с разработанной методикой расчета и проектирования прецессионного редуцирующего механизма были определены параметры и разработана конструкция ручной лебедки грузоподъемностью 500 кг, общий вид которой показан на рисунке 10. Исходные параметры для проектирования конструкции лебедки были взяты из разработанных автором технических условий на устройство для эвакуации людей и грузов из глубины (ТУ ВУ 700192199.002-2008).

Лебедка работает следующим образом: вращение от рукоятки 1 передается на приводной вал 2, вращающийся в подшипниках 3, и посредством подшипников 4 передает вращение на сателлит 5, который взаимодействует с роликами 6, установленными в крышках 7 и 8 и закрывающимися корпусом 9. Для предотвращения саморазматывания каната 15 на приводной вал 2 установлено храповое колесо 10, которое стопорится собачкой 11, подпружиненной пружиной 12. Храповой механизм закрыт крышкой 13. Лебедка крепится к треноге при помощи крепления 14. Для предварительного натяга троса 15 используется механизм 16, подпружиненный пружиной 17.

С целью проведения экспериментальных исследований были изготовлены три образца лебедки, общий вид которых показан на рисунке 11.

Один из экспериментальных образцов был использован для проведения ресурсных испытаний редуцирующего механизма на специально разработанном стенде. Общий вид стенда показан на рисунке 12.



Рисунок 11 – Экспериментальные образцы лебедки



1 – приводной электродвигатель;
2 – испытываемый прецессионный редуцирующий механизм; 3 – цепная передача;
4 – порошковый тормоз

Рисунок 12 – Специализированный стенд и испытываемый прецессионный редуцирующий механизм

Проведенные испытания учитывали специфику работы прецессионного редуцирующего механизма в приводе устройства для проведения аварийно-спасательных работ в условиях, близких к эксплуатационным. Номинальная нагрузка на выходе прецессионного редуцирующего механизма составляла 200 Н·м. Исходя из условий эксплуатации прецессионного редуцирующего механизма в устройстве для проведения аварийно-спасательных работ, до начала испытаний было рассчитано суммарное время работы прецессионного редуцирующего механизма (ресурс) в приводе аварийно-спасательного устройства, которое составило 182,5 часа.

Прецессионный редуцирующий механизм проработал на описанном выше стенде при моменте нагружения 200 Н·м в течение 200 часов, что превышает рассчитанный выше суммарный ресурс его работы в составе аварийно-спасательного устройства. Отклонений от нормальной работы редуктора не наблюдалось. На вышеописанном стенде, благодаря использованию заранее оттарированного по силе тока и моменту электродвигателя, были проведены

испытания по определению КПД экспериментального образца прецессионного редуцирующего механизма. На рисунке 13 показан график зависимости КПД прецессионного редуцирующего механизма от прилагаемой нагрузки. Как видно из графика, значение КПД прецессионного редуцирующего механизма при номинальной нагрузке колеблется в пределах 88-90%, что находится на уровне КПД редуцирующего механизма, используемого в аварийно-спасательном устройстве RUP 503 (Польша).

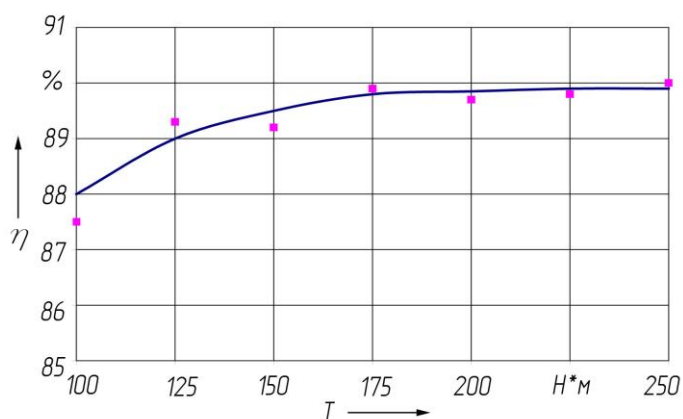


Рисунок 13 – График зависимости КПД прецессионного редуцирующего механизма от величины нагрузки на барабане



1 – тренога; 2 – лебедка; 3 – груз



2

Рисунок 14 – Стенд для проведения испытаний устройства для аварийно-спасательных работ

мотки троса не превышающим 30 с.

Разработанное аварийно-спасательное устройство с прецессионным редуцирующим механизмом прошло приемочные и эксплуатационные испытания в научно-практическом центре Могилевского областного управления МЧС РБ. Испытания проводились пожарным аварийно-спасательным отрядом Могилевского областного управления Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь на территории испытательной площадки отряда и Могилев-

Стендовые испытания устройства для эвакуации людей и грузов из глубины с прецессионным редуцирующим механизмом проводились в лаборатории кафедры «Подъемно-дорожных машин и оборудования» Белорусско-Российского университета на стенде, состоящем из опорной сварной конструкции, устройства для размещения груза и набора литых пластин (грузов) массой по 50 и 40 кг. (рисунок 14). По результатам

испытаний был сделан вывод о соответствии испытываемого устройства требованиям, предъявляемым к устройствам данного типа по грузоподъемности 500 кг, скорости подъема 1,5 – 3 м/мин, усилию на рукоятке не более 160 Н, времени полной ускоренной раз-

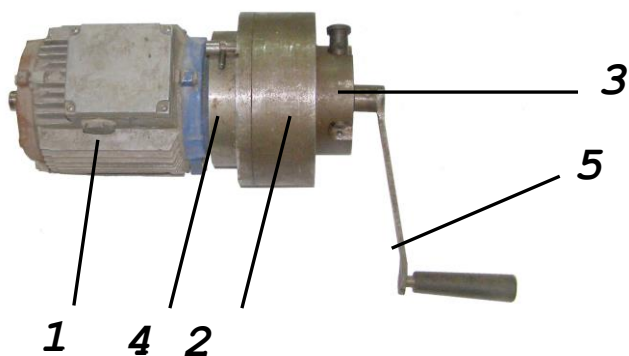
ским районным отделом по чрезвычайным ситуациям. В результате проведенных испытаний было установлено, что устройство для эвакуации из глубины соответствует требованиям, установленным ТУ ВУ 7001921.99.002-2008.

Сравнительные технико-экономические показатели ручной лебедки, разработанной на основе прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами (лебедка №1), и лебедки RUP 503 (лебедка № 2) производства фирмы «Protekt» (Польша) сведены в таблицу 1.

Таблица 1– Сравнительные технико-экономические показатели ручных лебедок

Сравниваемые лебедки	Грузоподъемность, кг	Передаточное отношение	Габаритные размеры, ВхLхН, мм	Масса лебедки, кг	Усилие на рукоятке, Н	Длина каната, намотанного на барабан, м	Отпускная цена за шт., тыс. бел. руб.
Лебедка №1	500	15	150х150х120	7	до 160	10	2000
Лебедка №2	500	22,2	380х300х250	22,5	до 220	25	7200

Конструкторская документация ЛС-03.00.000 на ручную лебедку с прецессионным редуцирующим механизмом передана на Могилевский завод вентиляционных заготовок ОАО «Трест Белсантехмонтаж №1» для организации производства в соответствии с лицензионным договором.



- 1 – электродвигатель; 2 – лебедка;
3 – переключатель быстрой размотки троса;
4 – переключатель режимов; 5 – рукоятка

Рисунок 15 – Многофункциональная лебедка, работающая как от ручного, так и электрического привода

ции за счет осуществления как ручной намотки каната на барабан, так с применением электрического привода (рисунок 15).

Результаты диссертационных исследований нашли применение также в других областях, где необходимо производить подъемно-тяговые работы. Опытнo-конструкторская и технологическая документация на ручную таль на базе прецессионного редуцирующего механизма передана в МГК «Унитарное дорожно-строительное предприятие». Результаты научно-исследовательской и

Экономический эффект от внедрения партии ручных лебедок в количестве 120 шт. в составе устройства для эвакуации людей и грузов из глубины рассчитывался путем сравнения с существующим на данный момент аналогом RUP 503 производства фирмы «Protekt» (Польша) и составляет 363 459 460 рублей.

Функциональные возможности лебедки для проведения аварийно-спасательных работ расширены в разработанной автором перспективной конструкции

опытно–конструкторской работы внедрены на ЭМУ–5 ОАО «Белэлектромонтаж», где изготовлена партия ручных талей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволили сделать следующие выводы:

1. Предложена новая структурная схема планетарной прецессионной передачи с коническими роликами, обеспечивающая повышение эксплуатационных характеристик лебедки подъемно-тягового аварийно-спасательного устройства грузоподъемностью 500 кг (снижение массы более чем в 2,5 раза, габаритных размеров – в 2 раза) по сравнению с выпускаемым серийно аналогом RUP 503 производства фирмы «Protekt» (Польша) [6, 25, 35, 39].

2. Получена формула для расчета передаточного отношения прецессионного редуцирующего механизма ручной лебедки, учитывающая неравномерность скорости намотки каната на барабан при его прецессионном движении, позволившая определить передаточное отношение, которое при грузоподъемности 500 кг обеспечивает усилие на рукоятке не более 160 Н, а также необходимую в условиях проведения аварийно-спасательных работ скорость подъема груза в диапазоне 1,5-3 м/мин [6].

3. Установлены аналитические зависимости для определения сил и реакций в контактирующих звеньях прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами, полученные на основе его силового анализа и корректировки результатов путем введения корреляционных коэффициентов, значения которых определены на основе исследования компьютерной модели, учитывающие инерционные нагрузки, возникающие из-за неравномерности скорости намотки каната на барабан, позволившие доказать, что сила инерции, вызванная неравномерностью скорости намотки каната на барабан незначительно (на 2 Н) повышает усилие на рукоятке [33].

4. На основе исследований компьютерной модели лебедки с прецессионным редуцирующим механизмом, при разработке которой канат лебедки представлен в виде отдельных звеньев, соединенных между собой сферическими шарнирами, что позволило произвести полную имитацию намотки каната на барабан, установлено, что количество конических роликов, обеспечивающих КПД прецессионного редуцирующего механизма порядка 88-90%, равно 8-ми [32].

5. Исследование напряженно–деформированного состояния элементов звеньев прецессионного редуцирующего механизма позволило установить, что значения угла конусности роликов, находящегося в диапазоне 4- 4,5°, обеспечивают в зацеплении планетарного прецессионного механизма распределение нагрузки по всей ширине зуба сателлита и значение контактных напряжений до 866 МПа [32].

6. Разработана методика расчета прецессионного редуцирующего

механизма с коническими роликами, полученная с использованием методов компьютерного моделирования, что позволило учесть при расчете параметров редуцирующего механизма многопарность зацепления и применение двухпоточной схемы, на основе которой спроектирована и изготовлена малогабаритная (150x150x120 мм), низкая по массе (7 кг) лебедка грузоподъемностью 500 кг для подъемно-тяговых аварийно-спасательных устройств [24, 33, 39].

Рекомендации по практическому использованию результатов

На основе проведенных исследований разработана и передана для освоения производства конструкторская документация ЛС-03.00.000 на ручную лебедку, разработанную на базе прецессионного редуцирующего механизма, на МГК «Унитарное дорожно-строительное предприятие». По разработанной конструкторской документации изготовлена партия ручных лебедок, которые прошли стендовые и эксплуатационные испытания в пожарном аварийно-спасательном отряде Учреждения «Могилевское областное управление МЧС». Установлено соответствие изготовленных лебедок требованиям ТУ ВУ 7001921.99.002-2008 [26, 31, 38, 39].

Экономический эффект от внедрения партии ручных лебедок в количестве 120 шт. в составе устройства для эвакуации людей и грузов из глубины рассчитывался путем сравнения с существующим на данный момент аналогом RUP 503 производства фирмы «Protekt» (Польша) и составляет 363,4 млн. рублей.

Экспериментальные образцы ручных лебедок с прецессионным роликовым зацеплением разработаны, изготовлены и применены в ремонтных мастерских при выполнении монтажных и ремонтных работ на различных объектах организации ОДО «Энергосталь» [39].

Разработанная методика расчета прецессионного редуцирующего механизма может быть использована различными проектными организациями и предприятиями, занимающимися проектированием и изготовлением подъемников, лебедок [24, 33].

Список опубликованных работ по теме диссертации

В научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Макаревич, С.Д. Ручная таль для аварийно-спасательных подразделений / С.Д. Макаревич, Д.А. Ковширко, М.Е. Лустенков // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2002. – №2 (12). – С. 74-81.
2. Громыко, П.Н. Сравнительный экспериментальный анализ грузоподъемности лебедок, разработанных на базе эксцентриковой и прецессионных передач / П.Н. Громыко, С.Д. Макаревич, А.А. Стаценко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2004. – №5(15). – С. 109-122.
3. Макаревич, Д.М. Модернизация конструкции двигательных приводов для высоковольтных разъединителей контактных сетей железных дорог / Д.М. Макаревич, А.П. Никитин, С.Д. Макаревич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2004. – №1. – С. 129-133.
4. Макаревич, Д.М. Силовой анализ планетарной эксцентриковой передачи типа 2 К-Н / Д.М. Макаревич, П.Н. Громыко, С.Д. Макаревич // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2005. – №7(17). – С. 173-180.
5. Громыко, П.Н. Определение рациональных способов формообразования зубьев сателлита малогабаритной электрической тали, разработанной на базе планетарной прецессионной передачи для проведения аварийно-спасательных работ / П.Н. Громыко, Д.М. Макаревич, С.Д. Макаревич, Л.Г. Доконов // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. ГИИ МЧС РБ. – 2009. Т.4, №2. – С. 24-31.
6. Макаревич, С.Д. Основы кинематического расчета прецессионного редуцирующего механизма лебедки для аварийно-спасательных устройств / С.Д. Макаревич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – №1. – С. 51-58.

Зарубежные научные издания

7. Макаревич, Д.М. Моторный привод для высоковольтных разъединителей контактных сетей и систем электрификации железных дорог. /Д.М. Макаревич, М.П. Слука, С.Д. Макаревич А.П. Никитин // Приводная техника. – 2004. – №6 (52). – С.51-55.
8. Громыко, П.Н. Исследование кинематики движения вращающихся звеньев электрической тали, разработанной на базе коническо-цилиндрической прецессионной передачи типа 2К-Н / П.Н. Громыко, С.Д. Макаревич, А.А. Леоненко // Детали машин и трибология: Межвузовский сборник научных трудов / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 2005. - С. 190 – 198.

9. Лустенков, М.Е. Лебедка со встроенной планетарной шариковой передачей / М.Е. Лустенков, Д.М. Макаревич, С.Д. Макаревич // Сборник научных трудов. Выпуск 5 / Брянская гос. ин.-техн. акад. – Брянск, 2006. - С. 94-97.

10. Макаревич, Д.М. Разработка и исследование малогабаритного привода для высоковольтных разъединителей контактных железных дорог / Д.М. Макаревич, А.П. Никитин, С.Д. Макаревич, Т.Н. Питкова // Сборник научных трудов. Выпуск 5 / Брянская гос. ин.-техн. акад.. – Брянск, 2006. - С. 100-105.

11. Лустенков, М.Е. Двигательный привод для переключения контактных разъединителей / М.Е. Лустенков, Д.М. Макаревич, А.П. Никитин, С.Д. Макаревич // Политранспортные системы Сибири: материалы VI Всероссийской научно-технической конференции, Новосибирск, 21-23 апреля 2009 г. / Сибирский гос. ун-т путей и сообщения. – Новосибирск, 2009. - Ч.2 - С. 13-19.

12. Лустенков, М.Е. Формообразование рабочих поверхностей зубьев и беговых дорожек основных деталей планетарных передач новых типов /М.Е. Лустенков, П.Н. Громыко, Д.М. Макаревич, С.Д. Макаревич, Л.Г. Доконов // Современный научный вестник: Информатика. Математика. Строительство. Техника. - Белгород, 2009. - №11(67) - С. 101-110.

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

13. Макаревич, Д.М. Разработка механизмов и устройств на базе планетарных передач / Д.М. Макаревич, С.Д. Макаревич // Машиностроение: сб. науч. тр. Вып.19. / УП «Технопринт»; под ред. И.П.Филонова. - Минск, 2003. - С. 500-504.

14. Макаревич, С.Д. Ручная таль для аварийно-спасательных подразделений / С.Д. Макаревич // ЧС: предупреждение и ликвидация: материалы 2-ой Международной НПК, Минск, 2003 г. / Научно-исследовательский ин-т пожарной безопасности; редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. - Минск, 2003. - С. 81-82.

15. Макаревич, С.Д. Проектирование ручных талей для аварийно-спасательных подразделений / С.Д. Макаревич // Материалы 8-й Республиканской научно-технической конференции студентов и аспирантов, Минск, 9-10 декабря, 2003 г. / Белорусский Национальный технический ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. - Минск, 2003. - Ч.1. -С. 182-183.

16. Макаревич, С.Д. Разработка механизмов и устройств на базе планетарных передач для проведения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС. / С.Д. Макаревич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 22-23 апреля 2004 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2004. – Ч.1. - С. 42-43.

17. Макаревич, С.Д. Механизм для проведения аварийно-спасательных работ при подъеме людей и грузов / С.Д. Макаревич // материалы Международной научно-практической конференции молодых исследователей, г.Барановичи, 22 февраля 2005 г. / Барановичский гос.ун-т; редкол.: В.И. Кочурков [и др.]. -Барановичи, 2005. - С. 281-283.

18. Макаревич, С.Д. Разработка устройства для эвакуации из глубины для проведения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС / С.Д. Макаревич // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Могилев, 27 января 2005 г. /Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев,2005. - С. 48.

19. Макаревич, С.Д. Разработка механизмов и устройств на базе планетарных передач для проведения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС / С.Д. Макаревич // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сборник тезисов докладов 3-й международной научно-практической конференции, Минск, 7-9 июня , 2005 г. / МЧС Республики Беларусь; редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. - Минск,2005. - Т.2. - С. 106-108.

20. Макаревич, С.Д. Разработка средств механизации на базе планетарных передач для проведения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС. / С.Д. Макаревич // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Могилев, 26 января 2006 г./ Белорусско-Российский ун-т ; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2006. - С. 54.

21. Макаревич, С.Д. Разработка средств механизации на базе планетарных передач для проведения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС. / С.Д. Макаревич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 19-20 апреля 2007 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев,2007. - Ч.1. - С. 136-137.

22. Макаревич, С.Д. Разработка средств механизации на базе планетарных передач для проведения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС / С.Д. Макаревич // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сборник тезисов докладов 4-й международной научно-практической конференции, Минск, 2007 г.; / МЧС Республики Беларусь; редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. - Минск,2007. - Т.1 - С. 115-117.

23. Макаревич, С.Д. Анализ напряженно-деформированного состояния мобильного устройства для поднятия грузов / С.Д. Макаревич, М.Э. Подымако // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 17-18 апреля 2008 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2008. – Ч.1. - С. 108-109.

24. Громыко, П.Н. К вопросу создания методики прочностного расчета планетарных, прецессионных передач / П.Н. Громыко, И.В. Трусов, С.Д. Макаревич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 17-18 апреля 2008 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2008. – Ч.1. - С. 81-82.

25. Макаревич, С.Д. Преимущества планетарной прецессионной передачи, разработка на основе конических роликовых тел качения / С.Д. Макаревич // материалы Международной конференции молодых ученых, Могилев, 20-21 ноября 2008 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2008. - С. 53.

26. Макаревич, С.Д. Разработка устройств на базе планетарных передач для проведения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС. / С.Д. Макаревич // материалы Международной научно-технической конференции, Гомель, 4-5 декабря 2008 г. / Гомельский инженерный ин-т МЧС РБ; редкол.: А.А. Поташкин [и др.]. - Гомель, 2008. – Ч.2. - С. 18-19.

27. Макаревич, С.Д. Ручные и электрические тали на базе планетарных передач новых типов / С.Д. Макаревич, Д.М. Макаревич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 16-17 апреля 2009 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2009. – Ч.1. - С. 155-156.

28. Макаревич, С.Д. Анализ напряженно-деформированного состояния мобильного устройства для поднятия (опускания) людей и грузов / С.Д. Макаревич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 22-23 апреля 2010 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2010. – Ч.1. - С. 121-122.

29. Макаревич, С.Д. Устройство спасательное / С.Д. Макаревич, Д.М. Макаревич, М.Э. Подымако // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 22-23 апреля 2010 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2010. – Ч.1. - С. 123-124.

30. Макаревич, С.Д. Анализ напряженно-деформированного состояния мобильного устройства для поднятия (опускания) людей и грузов / С.Д. Макаревич // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации ЧС-2010: материалы Международной научно-практической конференции, Гомель, 27-28 мая 2010 г. / Гомельский инженерный ин-т МЧС РБ ; редкол.: А.А. Поташкин [и др.]. - Гомель. - 2010. – Ч.1. - С. 130-132.

31. Макаревич, С.Д. Разработка устройства для эвакуации людей и грузов из глубины при проведении аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС / С.Д. Макаревич // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации ЧС-2010: материалы Международной научно-практической конференции,

Гомель, 27-28 мая 2010 г. / Гомельский инженерный ин-т МЧС РБ; редкол.: А.А. Поташкин [и др.]. - Гомель, 2010. – Ч.1. - С. 140-142.

32. Макаревич, С.Д. Определение количества конических роликов в зацеплении прецессионного редуцирующего механизма на основе оценки его КПД / С.Д. Макаревич, В.И. Тимофеева // Перспективные приводные системы, трансмиссии и робототехнические комплексы: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 20-21 октября 2011 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2011. – С. 55-57.

33. Громыко, П.Н. Особенности силового анализа прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами / П.Н. Громыко, М.Е. Лустенков, С.Д. Макаревич, Л.Г. Доконов // Перспективные приводные системы, трансмиссии и робототехнические комплексы: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 20-21 октября 2011 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2011. – С. 31-34.

Депонированная рукопись статьи

34. Лустенков, М.Е. Ручная таль для аварийно – спасательных подразделений / М.Е. Лустенков, С.Д. Макаревич, Д.А. Ковширко; МогГТУ. - Могилев, 2002. - 14с.: ил. - Библиогр: 4 назв. - Рус. - Деп в БелИСА 08.01.2003 г., №Д20031 // Рефер. сборник непублик. работ. Отчеты НИР, ОКР, ОТР, депонир. научные рукописи. Выпуск 2 (25). БелИСА. - Минск, 2002. – 103 с., С.94.

Патенты

35. Планетарная прецессионная передача: пат. 11078 Респ. Беларусь, МПК7 F 16H 1/32 / П.Н. Громыко, Д.М. Макаревич, С.Д. Макаревич, Л.Г. Доконов; заявитель Белорусско-Российский ун-т. - № а 20060411; заявл. 28.04.2006; опубл. 30.08.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. - 2008. - №4. - С. 121.

36. Устройство для эвакуации людей и грузов из глубины: пат. 3976U на полезную модель Респ. Беларусь, МПК7 B 66D 1/00 / С.Д. Макаревич, М.Е. Лустенков; заявитель Белорусско-Российский ун-т.- № u 20070279; заявл. 13.04.2007; опубл. 30.10.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. - №5. – С. 211.

37. Двигательный привод: пат. 3887U на полезную модель Респ. Беларусь, МПК7 F 16H / А.П. Никитин, П.Ф. Никитин, М.П. Слука, М.Е. Лустенков, С.Д. Макаревич; заявитель Белорусско-Российский ун-т. - № u 20070203; заявл. 23.03.2007; опубл. 30.10.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. - 2007. - №5. – С. 135.

38. Устройство для эвакуации людей и грузов из глубины: пат. 7088 на полезную модель Респ. Беларусь, МПК7 В 66Д 1/00 / П.Н. Громыко, М.Е. Лустенков, С.Д. Макаревич, Д.М. Макаревич, Л.Г. Доконов; заявитель Белорусско-Российский ун-т. - № и 20100705; заявл. 09.08.2010, опубл. 28.02.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. - 2011. - №1. - С. 193.

39. Лебедка: пат. 7342 на полезную модель Респ. Беларусь, МПК7 В 66Д 1/04 / П.Н. Громыко, М.Е. Лустенков, С.Д. Макаревич, Д.М. Макаревич, Л.Г. Доконов; заявитель Белорусско-Российский ун-т, № и 20100704; заявл. 09.08.2010; опубл. 30.06.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. - 2011. - №3. - С. 154.

РЭЗЮМЭ

Макарэвіч Сяргей Дзмітрыевіч

Разлік і праектаванне прэцэсійнага рэдуцыруючага механізма з канічнымі ролікамі для прывада пад'ёмна-цягавага аварыйна-выратавальнага абсталявання

Ключавыя словы: планетарная прэцэсійная перадача, прэцэсійны рэдуцыруючы механізм, канічныя ролікі, зубоу сатэліта, нахільны крывашып, аварыйна-выратавальнае абсталяванне, лябёдка.

Мэта працы: разлік і праектаванне прэцэсійнага рэдуцыруючага механізма з канічнымі ролікамі з наступным стварэннем малагабарытнага, нізкага па сабекошту пад'ёмна-цягавага абсталявання, якое прымяняецца для правядзення аварыйна-выратавальных работ.

Апаратура. Даследаванні праводзіліся ў лабараторыі планетарных прэцэсійных перадач, а таксама на стэндзе лабараторыі кафедры БДПТМіА Беларуска-Расійскага ўніверсітэта. Пры правядзенні даследаванняў выкарыстоўвалася наступная апаратура: датчык моманту і частаты вярчэння М20С-50 і М20С-500, дынамометр ДПУ-0.5-2, вагі ВНЭ-35, секундамер СОПпр-2а-3-000, парашковы тормаз ПТ-250.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Прапанавана новая структурная схема планетарнай прэцэсійнай перадачы з канічнымі ролікамі, якая забяспечвае павышэнне тэхнічных і эксплуатацыйных характарыстык лябёдкі пад'ёмна-цягавага аварыйна-выратавальнага абсталявання.

Атрымана залежнасць для вызначэння перадатчных адносін прэцэсійнага рэдуцыруючага механізма ручной лябёдкі, якая забяспечвае лябёдцы хуткасць пад'ёму грузу ў дыяпазоне 1,5-3 м/хвіліну пры грузападмальнасці 500кг і намаганні на ручцы не больш за 160 Н.

На аснове распрацаванай сістэмы дынамічных ураўненняў, а таксама камп'ютарных даследаванняў мадэляў прэцэсійнага рэдуцыруючага механізма ўстаноўлены залежнасці для вызначэння сіл у зачэпленні і рэакцый у апорных падшыпніках, якія дазволілі знайсці іх крытычныя значэнні пры розных месцазнаходжаннях канца каната на барабане лебедкі.

Распрацавана метадыка разліку і праектавання прэцэсійнага рэдуцыруючага механізма з канічнымі ролікамі, на аснове якой магчыма вырабляць малагабарытныя пад'ёмна-цягавыя аварыйна-выратавальныя абсталяванні з гадавым эканамічным эфектам 363 459 460 рублёў.

Ступень выкарыстання. Вынікі тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў дакладаліся, адобраны і прыняты для выкарыстання навукова-практычным цэнтрам Магілёўскага абласнога ўпраўлення МНС РБ.

Вобласць прымянення: пад'ёмна-цягавы аварыйна-выратавальны абсталяванне.

РЕЗЮМЕ

Макаревич Сергей Дмитриевич

Расчет и проектирование прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами для привода подъемно-тягового аварийно-спасательного устройства

Ключевые слова: планетарная прецессионная передача, прецессионный редуцирующий механизм, конические ролики, зубья сателлита, наклонный кривошип, аварийно-спасательное устройство, лебедка.

Цель работы: расчет и проектирование прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами с последующим созданием малогабаритного, низкого по себестоимости подъемно-тягового устройства, применяемого для проведения аварийно-спасательных работ.

Методы исследования: расчетно-экспериментальные, основанные на современных исследовательских методиках с использованием ЭВМ.

Аппаратура. Исследования проводились в лаборатории планетарных прецессионных передач, а также на стенде лаборатории кафедры СДПТМиО Белорусско-Российского университета. При проведении исследований использовалась следующая аппаратура: датчики момента и частоты вращения М20С-50 и М20С-500, динамометр ДПУ-0.5-2, весы ВНЭ-35, секундомер СОПр-2а-3-000, порошковый тормоз ПТ-250.

Полученные результаты и их новизна. Предложена новая структурная схема планетарной прецессионной передачи с коническими роликами, обеспечивающая повышение технических и эксплуатационных характеристик лебедки подъемно-тягового аварийно-спасательного устройства.

Получена зависимость для определения передаточного отношения прецессионного редуцирующего механизма ручной лебедки, обеспечивающего

скорость подъема груза в диапазоне 1,5- 3 м/мин при грузоподъемности 500 кг и усилия на рукоятке не более 160 Н.

На основе разработанной системы динамических уравнений, а также компьютерных исследований моделей прецессионного редуцирующего механизма установлены зависимости для определения сил в зацеплении и реакций в опорных подшипниках, позволившие найти их критические значения при различных положениях конца каната на барабане лебедки.

Разработана методика расчета и проектирования прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами, на основе которой можно изготавливать малогабаритные подъемно-тяговые аварийно-спасательные устройства с годовым экономическим эффектом 363 459 460 рублей.

Степень использования. Результаты теоретических и экспериментальных исследований доложены, одобрены и приняты к использованию научно-практическим центром Могилевского областного управления МЧС РБ.

Область применения: подъемно-тяговые аварийно-спасательные устройства.

SUMMARY

Makarevich Sergey Dmitrievich

Calculation and design of the precession reducing mechanism with conical rollers for the drive of the up-and-thrust rescue devices

Key words: planetary precession gear, precession reducing mechanism, conical rollers, satellite teeth, tilting crank, rescue device, winch.

Purpose of the research: Calculation and design of the precession reducing mechanism with conical rollers with the subsequent creation of compact, low cost up-and-thrust devices used for rescue works.

Research methods: computational and experimental, based on modern research techniques using a PC.

Equipment. The studies were conducted in a laboratory of planetary precession gears, as well as on the stand of SDPTMaO department of Belarusian-Russian University. The following equipment has been used during the studies: torque and rpm sensors M20C-50 and M20C-500, dynamometer DPU-0.5-2, scales STE – 35, stop watch SOPpr-2a-3-00, powder brake PT-250

Achieved results and their novelty. A new structural scheme of the planetary precession gear with conical rollers, providing increased technical and operational characteristics of the winch of the up-and-thrust rescue device has been offered.

A dependence to determine the gear ratio of the hand winch precession reducing mechanism is obtained, providing the lifting speed of the load within the range of 1,5-3 m/min. at lifting capacity of 500 kg. and exertion on the handle not more than 160 N.

On the basis of the developed system of dynamic equations, as well as computer simulation of the precession reduction mechanism models, dependences for determining of engagement forces and reactions in supporting bearings were found, allow-

ing finding their critical values at various positions of the rope end on the winch drum.

A method of the calculation and design of the precession reducing mechanism with conical rollers on the basics of which it is possible to produce compact, low cost up-and-thrust rescue devices with an annual economic effect of 363 459 460 rubles has been developed.

Extent of use. Results of theoretical and experimental studies are reported, confirmed and accepted for use by scientific-practical center of the Mogilev Region Emergency Department of the Republic of Belarus.

Sphere of application: up-and-thrust rescue devices.

Научное издание

МАКАРЕВИЧ
Сергей Дмитриевич

Автореферат

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

Подписано в печать 29.12.2011 г. Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,46. Тираж 110 экз. Заказ № 898.

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