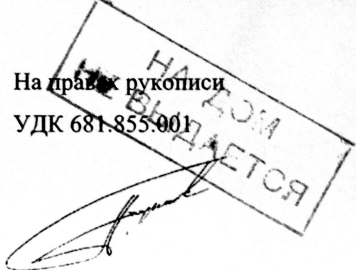


На правах рукописи
УДК 681.855.901



Скорюнов Антон Андреевич

**МЕХАНИКА СПЕЦИАЛЬНЫХ РОЛИКОВЫХ ЦЕПНЫХ ПЕРЕДАЧ
С ВНУТРЕННИМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ**

**Специальность 05.02.02. – Машиноведение,
системы приводов и детали машин**

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

Москва - 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Кубанский государственный технологический университет» на кафедре «Техническая механика и гидравлика».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Бережной Сергей Борисович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Учаев Петр Николаевич,
профессор кафедры «Машиностроительные
технологии и оборудование»
Юго-западного государственного университета

кандидат технических наук, доцент
Байков Борис Александрович,
доцент кафедры «Основы конструирования машин»
Московского государственного технического
университета им. Н.Э. Баумана

Ведущая организация: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук (ИМАШ РАН)

Защита диссертации состоится 5 октября 2015 г. в 14:30 на заседании диссертационного совета Д 212.141.07 при ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по указанному выше адресу.

Автореферат разослан _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.141.07,
доктор технических наук

Сарач Е.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Базой экономического развития государства является состояние машиностроительного комплекса, промышленности, основой которых являются машины, оборудование и механизмы. Научно-технический прогресс в машиностроении определяется наличием современных технологий, машин, станочного парка, в том числе созданием новых типов передач и совершенствованием существующих. Цепные передачи относятся к механическим передачам с гибкой связью и занимают особый значительный сегмент. Они нашли широкое применение в спецавтотранспортной и военной технике, подъемно-транспортных, дорожно-строительных, сельскохозяйственных, текстильных и полиграфических машинах, судовых двигателях, автомобилях, мотоциклах и велосипедах.

Достоинство цепных передач заключается в простоте конструкции, малых габаритах, по сравнению с ременными передачами, постоянстве среднего передаточного числа, высоком коэффициенте полезного действия, простоте монтажа, возможности передачи энергии одновременно нескольким валам, компенсации погрешностей изготовления и монтажа за счет податливости цепи и др.

Значительный вклад в развитие передач гибкой связью – цепных передач внесли следующие ученые и исследователи: Н.В. Воробьев, Н.С. Ачеркан, Д.Н. Решетов, И.П. Глушенко, И.И. Ивашков, А.А. Петрик, С.Б. Бережной, А.А. Готовцев, И.П. Котенок, Г.Б. Столбин, О.А. Ряховский, С.А. Метильков, О.И. Остапенко, А.В. Пунтус, О.И. Пилипенко, Г.К. Рябов, А.А. Война, К.П. Жуков, С.А. Дубиняк, В.Е. Рыбак, П.Н. Учаев, Х. Цоллер, Г. Фейшер, Р. Биндер, Н. Рахнер.

В тоже время в литературе недостаточно сведений об исследовании, проектировании и создании специальных цепных передач, которые включают в себя проектирование звездочек с внутренними зубьями, роликов, шин и других элементов. Особенно недостаточно материала в области кинематики, динамики и силового исследования специальных цепных передач.

В связи со всем вышеизложенным, актуальной задачей является исследование механики специальных цепных передач.

Работа выполнена в соответствии с:

- тематическим планом инициативных и комплексных НИР № 5.3.11-15, п. 47 на 2011-2015 гг. кафедры технической механики и гидравлики ФГБОУ ВПО «КубГТУ» утвержденным ректором КубГТУ по теме «Исследование, расчет и проектирование систем приводов и деталей машин с целью повышения технического уровня механического оборудования и подъемно-транспортных устройств»;
- НИОКР по государственному контракту №10232Р/16852 от 28 апреля 2012 года на проектирование и изготовление специального редуктора для сельскохозяйственной техники в рамках программы «УМНИК».

Объект исследования. Объектом диссертационного исследования является специальная роликовая цепная передача с внутренним зацеплением (ЦПВЗ).

Цель и основные задачи. Целью настоящей работы является решение задачи расширения существования роликовых цепных передач за счет исследования внутреннего цепного зацепления и создания специальных передач.

На основании вышеизложенного поставлены следующие задачи.

1. Провести анализ патентной и научной литературы в области цепных передач.

2. Исследовать конструктивные особенности не традиционных роликовых цепных передач и определить требования к проектированию элементов этих передач.

3. Разработать классификацию специальных роликовых цепных передач.

4. Рассмотреть особенности построения схем роликовых цепных передач с внутренним зацеплением, определить область их существования, рассчитать блокировочные контуры, дать методику геометрического расчета.

5. Исследовать проблемы профилирования и нарезания звездочек с эвольвентными внутренними зубьями. Разработать комплексное программное обеспечение моделирования процесса нарезания звездочек с внутренними зубьями и расчета сил, действующих на шарниры цепи по всему цепному контуру.

6. Разработать методики силового расчета передачи, коэффициентов сцепления цепи с зубьями звездочек, натяжения ветвей.

7. Провести исследования вынужденных поперечных колебаний ведущей ветви цепной передачи с внутренним зацеплением и определить траектории перемещений шарниров, суммарные угловые перемещения валика относительно втулки в шарнире, обусловленные этими колебаниями.

8. Исследовать износостойкость роликовой цепи в специальной передаче, разработать модель прогнозирования ее изнашивания.

9. Выполнить анализ потерь мощности в передаче и определить коэффициент полезного действия ЦПВЗ.

10. Провести экспериментальные и производственные испытания специальных роликовых цепных передач.

Методы исследования. Геометрические, кинематические, силовые и динамические характеристики передачи исследовались с использованием методов теоретической и аналитической механики, теории механизмов и машин. При решении поставленных задач использовались современные программные комплексы, такие как Mathcad, Mathlab, AutoCAD, 3DMAX и SolidWorks.

Экспериментальные исследования проводились на базе двух ведущих предприятий Майкопском редукторном заводе (ОАО «ЗАРЕМ») и ОАО «CLAAS». Измерение элементов передачи производились на координатно-измерительных машинах DEA GLOBAL Performance, Cimcore CA7 Arm и инструментальном микроскопе УИМ-21. Испытательный стенд был спроектирован и смонтирован в специализированной испытательной лаборатории Майкопского редукторного завода.

Научная новизна. В результате проведенных исследований были разработаны и установлены следующие положения и закономерности:

1. Разработана современная классификация специальных роликовых цепных передач.

2. Определены области существования и разработаны блокировочные контуры для цепных передач с внутренним зацеплением.

3. Определены зависимости для расчета геометрических параметров передачи.

4. Разработана комплексная программа моделирования процесса нарезания эвольвентных звездочек с внутренними зубьями, пакет прикладных программ формообразования и нарезания этих звездочек и расчета силовых характеристик зацепления.

5. Разработана методика силового расчета ЦПВЗ, которая позволяет произвести расчет коэффициентов сцепления и определение натяжения ветвей, сил действующих на шарниры цепи.

6. Предложена модель прогнозирования изнашивания приводной роликовой цепи, которая базируется на вероятностно-статистической основе и учитывает условия эксплуатации передачи, путь трения и давление в шарнирах цепи.

Практическая значимость работы. Представленная методика расчета износа шарниров позволяет реально прогнозировать долговечность цепи, что подтверждается ресурсными экспериментальными испытаниями.

В ходе экспериментальных испытаний в испытательной лаборатории Майкопского редукторного завода (ОАО «ЗАРЕМ»), были подтверждены теоретические расчёты, проведенные по разработанным методикам.

Экспериментально доказана работоспособность специальной цепной передачи с внутренним зацеплением при заявленных параметрах и режимах работы. Редуктор выдержал всю программу испытания без отказов, и его конструкция признана работоспособной.

Реализация результатов работы. Разработана конструкция и спроектирована специальная роликовая цепная передача, позволяющая передавать энергию между соосными валами и валами с малыми межцентровыми расстояниями.

Изготовлен соосный цепной редуктор с внутренним зацеплением, который успешно прошел экспериментальные испытания.

Выполнена работа по исследованию, проектированию, изготовлению и внедрению в промышленность специального редуктора с внутренним цепным зацеплением. Редуктор был установлен в систему транспортера печатной продукции на ОАО «Издательство «Советская Кубань» и проработал 970 часов.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс кафедры технической механики и гидравлики, что подтверждено соответствующими актами.

Результаты исследований использованы при выполнении НИОКР по государственному контракту №10232Р/16852 от 28 апреля 2012 года на проектирование и изготовление специального редуктора для сельскохозяйственной техники в рамках программы «УМНИК».

Апробация результатов работы. Основные положения работы были представлены на всероссийских и международных выставках и конференциях:

- Всемирная Парижская выставка «Лепин-2013» (Франция, 2013 г.);
- Международный салон изобретений «Тунис-Иннов-2014» (Тунис, 2014 г.);

- 16 Московский международный салон изобретений и инновационных технологий «Архимед» (г. Москва, 2013 г.);
- II международный симпозиум «Современные проблемы создания и производства механических передач» (г. Москва, 2013 г.);
- XXVI Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов МИКМУС-2014 (г. Москва, 2014 г.);
- XIII Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи НТТМ-2013, (г. Москва, 2013);
- Всероссийский конкурс УМНИК «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (г. Краснодар, 2012 г.);
- Региональный этап Всероссийского конкурса НТТМ-2013 в Краснодарском крае (г. Краснодар, 2013 г.);
- Региональный конкурс Минобрнауки краснодарского края на лучшую аспирантскую научную работу по техническому направлению (г. Краснодар, 2013 г.);
- Региональный конкурс молодежных научных и инновационных проектов «InnoTech-2014» (г. Краснодар, 2014 г.).

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 25 научных работах, в числе которых 6 в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, получено 6 патентов РФ и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, общим объемом (3,8 п.л.).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 90 наименований, приложений, и изложена на 156 страницах машинописного текста, включая 57 рисунков и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертации, сформулированы научная новизна и практическая ценность работы, отражены основные положения, выносимые на защиту, и приведены сведения об апробации работы и публикациях автора.

В первой главе выполнен анализ существующих исследований по традиционным и специальным роликовым цепным передачам. Рассмотрены наиболее значимые научные исследования в области цепных передач, которые посвящены вопросам расчета, проектирования, монтажа и настройки, цепного зацепления, распределения сил в зацеплении при различных формах расположения шарниров цепи, тяговой способности и предельного состояния цепного зацепления.

Представлен краткий обзор современных отечественных и зарубежных разработок специальных роликовых цепных передач со звездочками с внутренними зубьями. Определены требования к конструктивному исполнению специальных роликовых цепных передач с внутренним зацеплением, к цепи, ведущей и ведомой звездочкам, натяжным устройствам. Поставлены цель и задачи исследования.

Во второй главе разработана классификация специальных роликовых цепных передач (цепные передачи с внутренним зацеплением, с малым межосевым расстоянием, планетарные, волновые и зубчато-цепные передачи).

Программа позволяет: в масштабе визуализировать процесс нарезания зубьев звездочки; производить построение зацепления шарниров цепи с зубьями звездочки; выполнять расчет сил действующих на шарниры цепи в зацеплении с зубьями звездочки; проводить проверку геометрических параметров и силовых характеристик; не проводя изготовление звездочек, на этапе проектирования производить корректировку параметров передачи и звездочек.

В третьей главе разработана методика силового расчета цепной передачи с внутренним зацеплением (Рисунок 4), которая позволяет провести расчет коэффициентов сцепления, натяжения ветвей и сил, действующих на шарниры цепи в контуре передачи.

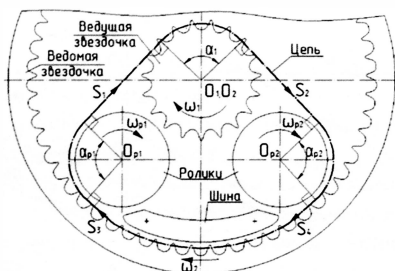


Рисунок 4. Схема цепной передачи с внутренним зацеплением

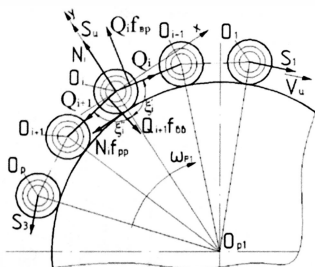


Рисунок 5. Шарниры цепи на направляющем ролике

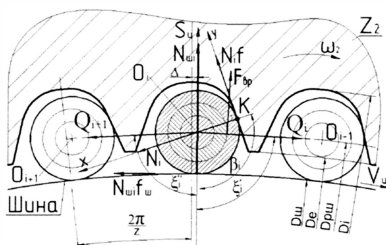


Рисунок 6. Шарниры цепи в зацеплении с ведомой звездочкой

Расчет сил действующих в зацеплении шарниров цепи с направляющим роликом производится по следующим зависимостям (Рисунок 5):

$$Q_{i+1} = \frac{Q_i \cdot (\cos(\frac{\pi}{2} - \xi'_i) - f \cdot \sin(\frac{\pi}{2} - \xi'_i) + f_{vp} \cdot f_{pp} \cdot \sin(\xi'_i) + f_{vp} \cdot \cos(\xi'_i)) + S_{\alpha} \cdot f_{pp}}{(\cos(\frac{\pi}{2} - \xi''_i) + f_{pp} \cdot \sin(\frac{\pi}{2} - \xi''_i) + f_{vv} \cdot f_{pp} \cdot \sin(\xi''_i) - f_{vv} \cdot \cos(\xi''_i))}; - \quad \text{сила}$$

действующая на i-й шарнир цепи со стороны i+1 шарнира;

$$N_i = Q_i \cdot \sin(\frac{\pi}{2} - \xi'_i) + Q_{i+1} \cdot \sin(\frac{\pi}{2} - \xi''_i) - Q_i \cdot f_{vp} \cdot \sin(\xi'_i) + Q_{i+1} \cdot f_{vv} \cdot \sin(\xi''_i) - S_{\alpha}; - \quad \text{сила}$$

действующая на i-й шарнир цепи со стороны направляющего ролика;

$B_i = \frac{Q_i}{Q_{i+1}}$ - коэффициент сцепления i -ого шарнира цепи с направляющим роликом.

Расчет сил действующих в зацеплении цепи с ведомой звездочкой (Рисунок 6) проводится по следующим зависимостям:

$S_3 = \frac{S_1}{B_2}$ - натяжение короткой ветви между роликом и шиной;

$S_4 = B_3 \cdot S_2$ - натяжение короткой ветви между шиной и роликом, где B_3 - коэффициент сцепления цепи с направляющим роликом.

$B_4 = \frac{S_3}{S_4}$ - коэффициент сцепления цепи с ведомой звездочкой z_2 .

Расчет сил действующих в зацеплении шарниров цепи с ведомой звездочкой проводится по зависимостям

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma X = 0; \quad Q_{i-1} \cdot \cos(x) - Q_i \cdot \cos(y) + N_i - N_{ш} \cdot \cos(z) + \\ \quad + N_{ш} \cdot f_{ш} \cdot \cos(a) + Q_{i+1} \cdot f_{ш} \cdot \cos(c) - Q_i \cdot f_{ш} \cdot \cos(b) - S_u \cdot \cos(z) = 0; \\ \Sigma Y \geq 0; \quad Q_{i-1} \cdot \sin(\beta_i + \xi_i' - \pi) - Q_i \cdot \sin(\beta_i - \xi_i') + N_i \cdot f + N_{ш} \cdot \sin(\pi - \beta_i) + \\ \quad + N_{ш} \cdot f_{ш} \cdot \sin(\beta_i - \frac{\pi}{2}) - Q_{i+1} \cdot f_{ш} \cdot \sin(\frac{3\pi}{2} - \xi_i' - \beta_i) + \\ \quad + Q_i \cdot f_{ш} \cdot \sin(\frac{\pi}{2} + \xi_i' - \beta_i) + S_u \cdot \sin(\pi - \beta_i) = 0; \end{array} \right.$$

где $x = (\beta_i + \xi_i' - \pi)$; $y = (\beta_i - \xi_i')$; $z = (\pi - \beta_i)$; $a = (\beta_i - \frac{\pi}{2})$; $b = (\frac{\pi}{2} + \xi_i' - \beta_i)$.

В результате проведенных силовых исследований был получен график, сил действующих на шарниры цепи в контуре передачи (Рисунок 7).

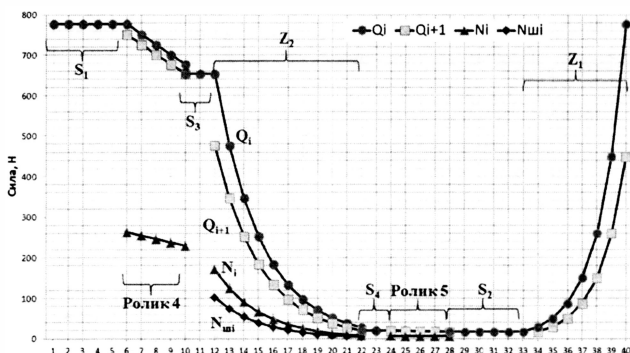


Рисунок 7. Силы действующие на шарниры цепи в целом контуре передачи

Представлена методика силового расчета цепной передачи с внутренним зацеплением, которая позволяет произвести расчет коэффициентов сцепления, натяжения ветвей и сил, действующих на шарниры цепи в контуре передачи.

В четвертой главе проведены исследования вынужденных поперечных колебаний ведущей ветви цепной передачи с внутренним зацеплением, определены траектории перемещений шарниров и суммарные угловые перемещение валика относительно втулки в шарнире.

Специфичность цепной передачи состоит в том, что работа сопровождается циклическими возмущениями, от граненности звездочек (расположением звеньев цепи на звездочки в виде граней многогранника) и их эксцентриситетов, соударения шарниров цепи о зубья ведущей звездочки в начальный момент зацепления.

Траекторию шарнира цепи рассчитывают по уравнению

$$U_1(x) = A_1 \cdot \frac{x}{L_2} + \sum_{k=1}^{\infty} A_{k1} \cdot \frac{\sin \frac{kz_1 \omega_1 a_2}{a_2^2 - v^2} \cdot x}{\sin \frac{kz_1 \omega_1 a_2}{a_2^2 - v^2} \cdot L_2} \cdot \cos kz_1 \omega_1 \left(\frac{x}{v} + \frac{v(x - L_2)}{a_2^2 - v^2} \right) +$$

$$+ A_2 \cdot \frac{L_2 - x}{L_2} + \sum_{k=1}^{\infty} A_{k2} \cdot \frac{\sin \frac{kz_1 \omega_p a_2}{a_1^2 - v^2} \cdot (L_2 - x)}{\sin \frac{kz_1 \omega_p a_2}{a_1^2 - v^2} \cdot L_2} \cdot \cos kz_1 \omega_p \left(\frac{x}{v} + \frac{\psi_{z1}}{\omega_p} + \frac{vx}{a_2^2 - v^2} \right)$$

Результат расчета траектории шарнира цепи в процессе его перемещения по ведущей ветви представлен на Рисунке 8.

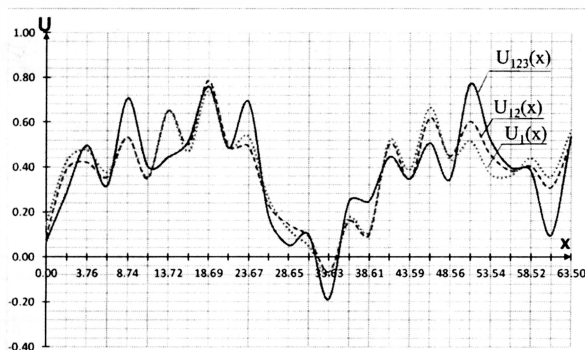


Рисунок 8. Траектория движения шарнира цепи при поперечных колебаниях ведущей ветви передачи с внутренним зацеплением с номерами гармоник $k=1$ ($U_1(x)$), $k=2$ ($U_{12}(x)$), $k=3$ ($U_{123}(x)$)

Поскольку при поперечных колебаниях ветвей в процессе перемещения звеньев цепи происходит относительный поворот смежных звеньев, обуславливающий износ шарниров, представляет интерес исследования пути трения в шарнире цепи.

$$\varphi_i = \frac{U_{2i+2} - 3U_{2i+1} + 3U_{2i} - U_{2i-1}}{t},$$

где $U_{2i+2}, U_{2i+1}, U_{2i}, U_{2i-1}$ - ординаты $i+2, i+1, i, i-1$ шарниров цепи.

На Рисунке 9 представлена гистограмма углового перемещения в шарнире цепи при его пробеге по ведущей ветви в процессе поперечных колебаний.

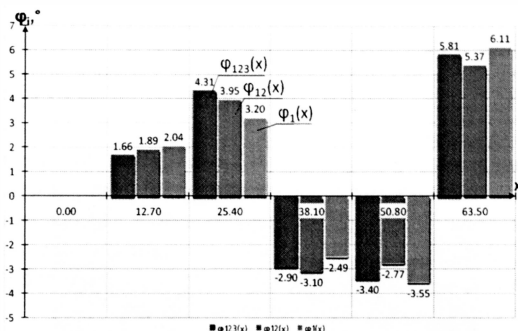


Рисунок 9. Гистограмма углового перемещения валика относительно втулки в шарнире цепи при его пробеге по ведущей ветви в процессе поперечных колебаний с номерами гармоник $k=1$ ($\varphi_1(x)$), $k=2$ ($\varphi_{12}(x)$), $k=3$ ($\varphi_{123}(x)$)

Приведенные расчеты представляют практический интерес и позволяют оценить и минимизировать дополнительный износ цепи в контуре передачи с внутренним зацеплением. Применение данной методики на стадиях проектирования и разработки передачи позволит избежать дополнительного износа цепи и улучшить эксплуатационные показатели передачи.

Разработана модель прогнозирования изнашивания приводной роликовой цепи в ЦПВЗ на базе вероятностно-статистического расчета, которая учитывает условия эксплуатации передачи, путь трения и давление в шарнирах цепи.

Износ приводной роликовой цепи в работающей передаче происходит непрерывно при перемещении звеньев по контуру передачи, вследствие относительных угловых перемещений в шарнире как в процессе входа в зацепление с зубом ведущей звездочки так и выхода из зацепления с зубом ведомой звездочки, при вынужденных поперечных колебаниях ветвей цепной передачи.

Интенсивности изнашивания цепи по увеличению среднего шага цепи рассмотрим как отношение математического ожидания (МО) износа цепи Δ , (%), к МО пути трения изнашивания $\bar{S}_T$ (м)

$$\bar{I}_{\Delta T} = \frac{\bar{\Delta}}{\bar{S}_T}.$$

За время работы T цепной передачи с внутренним зацеплением путь трения в шарнире составит

$$S_T = 1800 \frac{T \nu d_s \varphi_\Sigma}{W_{ik} t}$$

где d_s - диаметр валика цепи; W_{ik} - количество звеньев в цепном контуре передачи.

Зависимость для прогнозирования приращения среднего шага приводной роликовой цепи в передаче с внутренним зацеплением

$$\overline{\Delta}_i = I_n K_s S_T \bar{p}$$

Существующие в настоящее время расчеты изнашивания приводных роликовых цепей передач по критерию износостойкости нельзя признать эффективными, поскольку имеют существенные недостатки и выполнены на детерминированном уровне. С целью устранения имеющихся недостатков и с учетом вероятностного процесса изнашивания, разработан новый метод прогнозирования ресурса цепных передач на вероятностно-статистической основе при непосредственном учете интенсивности изнашивания цепи, который исключает перечисленные недостатки.

На Рисунке 10 приведены зависимости увеличения среднего шага цепи от наработки для различных условий эксплуатации передачи рассчитанных по новой методике и по справочнику (при картерной смазке).

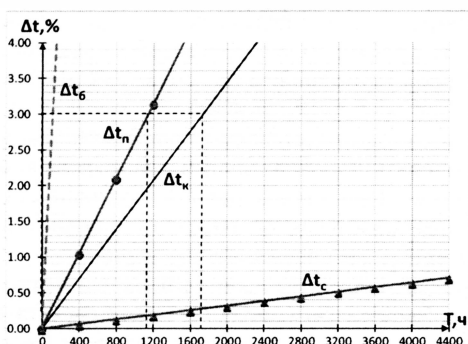


Рисунок 10. График увеличения среднего шага приводной роликовой цепи.

Δt_c – рассчитанный по справочнику; Δt_k – при картерной смазке;

Δt_n – при периодической смазке; Δt_b – без смазки.

Результаты теоретических расчетов КПД редуктора с внутренним цепным зацеплением показали 94%. В ходе экспериментальных испытаний в испытательной лаборатории Майкопского редукторного завода были проведены измерения коэффициента полезного действия. КПД передачи составил 93%.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных и производственных испытаний специальной роликовой цепной передачи.

На кафедре КубГТУ был спроектирован и изготовлен редуктор с внутренним цепным зацеплением (Рисунок 11).

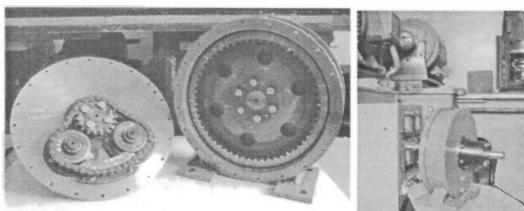


Рисунок 11. Редуктор с внутренним цепным зацеплением

Были проведены экспериментальные исследования данного опытного образца на испытательном стенде (Рисунок 12) в испытательной лаборатории Майкопского редукторного завода (ОАО «ЗАРЕМ»).

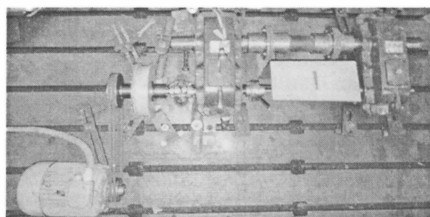


Рисунок 12. Испытательный стенд

В ходе эксперимента производились контрольные измерения втулочно-роликовой цепи с помощью измерительной системы для контроля действительных шагов цепи в исследовательской лаборатории кафедры технической механики и гидравлики КубГТУ. Замеры шума выполнялись шумомером-регистратором АКТАКОМ АТЕ-9030. На Рисунках 13, 14 представлены функциональная схема и фотография измерительной системы.

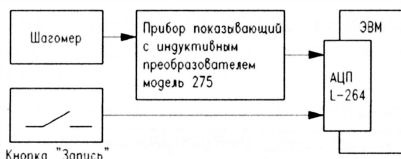


Рисунок 13. Функциональная схема измерительной системы для контроля действительных шагов роликовой цепи

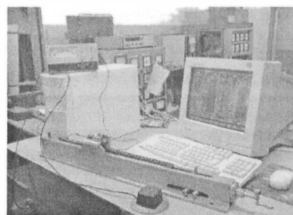


Рисунок 14. Измерительная система

На графике (Рисунок 15) представлены результаты теоретических расчетов износа шага цепи (1) и результаты измерений износа шага цепи (по внутренним звеньям 2; по наружным звеньям 3; среднее значение 4), полученные в ходе экспериментальных испытаний.

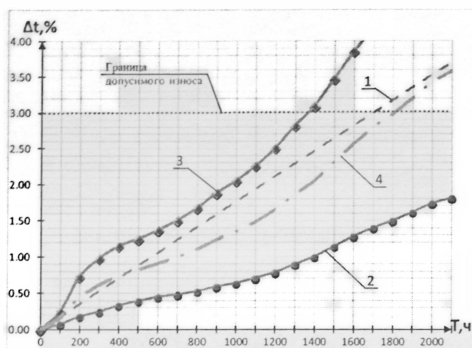
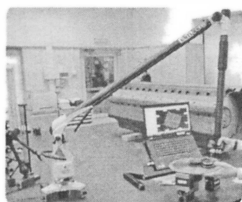


Рисунок 15. График увеличения шага цепи

Из графика видно, что теоретическое значение отличается от среднего значения не значительно и на границе допустимого износа (3%) составляет всего 0,3%. Это подтверждает адекватность модели прогнозирования износа втулочно-роликовой цепи в передаче с внутренним зацеплением.

Все измерения проводились на координатно-измерительных машинах DEA GLOBAL Performance, CmcCore CA7 Arm в лабораториях ОАО «ЗАРЕМ» и ОАО «CLAAS» (Рисунок 16). Результаты представлены в Таблице 1.



а



б

Рисунок 16. Координатно-измерительные машины: CmcCore CA7 Arm (ОАО «ЗАРЕМ») (а) и DEA GLOBAL Performance (ОАО «CLAAS») (б)

Таблица 1.

Средняя величина износа зубьев звездочек, мкм

Всдушая звездочка с внешними зубьями				Ведомая звездочка с внутренними зубьями			
Диаметр измерения, мм	Время наработки, ч			Диаметр измерения, мм	Время наработки, ч		
	100	500	1000		100	500	1000
82.9	35	63	87	232.6	29	87	103
80.9	48	115	204	234.6	43	92	143
78.9	52	128	253	236.6	57	114	162
76.9	58	136	241	238.6	51	127	154
74.9	45	119	209	240.6	34	94	126
72.9	25	102	187	242.6	31	54	95
70.9	22	92	165	244.6	15	39	64

Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические положения и выводы, а производственные испытания подтвердили работоспособность.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В ходе теоретических и экспериментальных исследований, производственных испытаний были получены следующие результаты.

1. Выполнен анализ патентов и существующих отечественных и зарубежных исследований по традиционным и специальным роликовым цепным передачам. Определены требования к конструктивному исполнению специальных роликовых цепных передач.

2. Разработана классификация специальных роликовых цепных передач по следующим признакам: передаточному отношению, межосевому расстоянию, направлению вращений ведущего и ведомого валов относительно друг друга, исполнению передачи и режиму смазки, формы профиля зубьев звездочек, количеству ведомых валов, а также типу и рядности цепи.

3. Определены области существования цепных передач с внутренним зацеплением. Рассчитаны блокировочные контуры для определения диапазонов передаточных отношений и межосевых расстояний, ограниченные размерами звездочек, тяговой способностью передачи.

4. Разработаны методики геометрического и силового расчета цепных передач с внутренним зацеплением. Предложена комплексная программа моделирования процесса нарезания эвольвентных звездочек с внутренними зубьями и расчета сил, действующих на шарниры цепи в зацеплении со звездочкой с внутренними зубьями.

5. Выполнены исследования вынужденных поперечных колебаний ведущей ветви цепной передачи, определены траектории перемещений шарниров и суммарные угловые перемещение валика относительно втулки в шарнире.

6. Разработана модель прогнозирования долговечности приводной роликовой цепи в ЦПВЗ на базе вероятностно-статистического расчета, подтвержденная экспериментальными испытаниями.

7. Выполнен анализ потерь мощности в передаче. Теоретические результаты расчетов КПД редуктора показали приемлемый показатель на уровне 94% и подтверждены экспериментально (93%).

8. Проведены экспериментальные и производственные испытания специальной роликовой цепной передачи.

Представлены результаты периодических измерений износа цепи, ведущей и ведомой звездочек, направляющих роликов, шины и показателей шума передачи. Измерения втулочно-роликовой цепи выполнены с помощью измерительной системы для контроля действительных шагов звеньев, на базе лаборатории кафедр технической механики и гидравлики (КубГТУ).

9. На базе выполненных теоретических и экспериментальных исследований, спроектирован редуктор с внутренним цепным зацеплением и изготовлены два опытных образца. Один опытный образец был установлен в системе

транспортера подачи печатной продукции ОАО «Издательство «Советская Кухня». Производственные испытания показали надежную работоспособность передачи в течение года ее работы. Второй опытный образец прошел успешные заводские (ОАО «ЗАРЕМ») экспериментальные испытания и подтвердил свою работоспособность.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Бережной С.Б., Скорюнов А.А. Силовое исследование цепной передачи с внутренним зацеплением для нефтегазового оборудования // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2013. №6. С. 310-330. URL: http://www.ogbus.ru/authors/BerezhnoySB/BerezhnoySB_1.pdf (1,25 п.л /0,6 п.л.)
2. Бережной С.Б. Прогнозирование изнашивания приводной роликовой цепи в специальных цепных передачах, работающих в машинах и оборудовании нефтегазового комплекса / С.Б. Бережной, С.А. Метильков, А.А. Скорюнов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097). – IDA [article ID]: 0971401080. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/80.pdf> (1,15 п.л /0,4 п.л.)
3. Скорюнов А.А. Расчет роликовой цепной передачи с внутренним зацеплением // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ. 2014. №06(100). - IDA [article ID]: 1001406032. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/32.pdf> (1,2 п.л /1,2 п.л.)
4. Бережной С.Б., Метильков С.А., Скорюнов А.А. Поперечные колебания ведущей ветви в специальных цепных передачах, работающих в машинах и оборудовании нефтегазового комплекса // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. №8. С. 40-43. (0,2 п.л /0,07 п.л.)
5. Бережной С.Б. Зубчато-цепной привод / С.Б. Бережной, С.А. Метильков, А.В. Пунтус, А.А. Война, А.А. Скорюнов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097). – IDA [article ID]: 0971401083. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/83.pdf> (0,75 п.л /0,2 п.л.)
6. Метильков С.А., Бережной С.Б., Скорюнов А.А. Цепные передачи с малыми межосевыми расстояниями // Журнал ВАК «Приводная техника» №4 / Под ред. Г.Б. Онищенко. – Москва, 2010. С. 49-53. (0,25 п.л /0,1 п.л.)
7. Berezhnoi S.B., Metil'kov S.A., Skoryunov A.A. Transverse vibrations of a leading strand in special chain drives functioning in the machinery and equipment of an oil and gas complex // Chemical and Petroleum Engineering. 2014. Т. 50, № 7-8. С. 536-541. (0,3 п.л /0,1 п.л.)
8. Бережной С.Б., Юнин В.В., Скорюнов А.А. Прогнозирование износа цепи в цепной передаче с внутренним зацеплением // XXVI Международная Инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов

- (МИКМУС-2014): труды конференции (Москва, 17-19 декабря 2014 года) / М: Изд-во ИМАШ РАН. 2015. С. 398-402. (0,3 п.л /0,1 п.л.)
9. Бережной С.Б., Пунтус А.В., Мевша Н.В., Скорюнов А.А. Экспериментальные исследования специальной цепной передачи // XXVI Международная Инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС-2014): труды конференции (Москва, 17-19 декабря 2014 года) / М: Изд-во ИМАШ РАН. 2015. С. 393-397. (0,3 п.л /0,07 п.л.)
 10. Бережной С.Б., Скорюнов А.А. Специальные механические передачи с гибкой связью // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2014. №3. С. 48-60. (0,75 п.л /0,35 п.л.)
 11. Бережной С.Б., Остапенко О.И., Война А.А., Скорюнов А.А. Блокирующие контуры для цепных передач с малыми межосевыми расстояниями // Перспективы развития науки и образования: сб. науч. тр. по мат-лам Междуна. науч.-практ. конф. 28 сентября 2012 г.: в 14 частях. Часть 10; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество». 2012. С. 35-38. (0,2 п.л /0,05 п.л.)
 12. Бережной С.Б., Метильков С.А., Скорюнов А.А. Определение области существования передач с малыми межосевыми расстояниями // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2010». Том 5. Технические науки. – Одесса: Черноморье. 2010. С. 38 - 44. (0,38 п.л /0,15 п.л.)
 13. Бережной С.Б., Остапенко О.И., Скорюнов А.А. Тяговая способность передач с малыми межосевыми расстояниями // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2010». Том 4. Технические науки. – Одесса: Черноморье. 2010. С. 35-37. (0,15 п.л /0,05 п.л.)
 14. Бережной С.Б., Остапенко О.И., Скорюнов А.А. Применение эвольвентных звездочек в цепных передачах //XXII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС -2010) «Будущее машиностроения России»: сборник материалов конференции с элементами научной школы для молодежи (Москва, 26-29 октября 2010 г.) / М: Изд-во ИМАШ РАН. 2010. 69 с. (0,06 п.л /0,02 п.л.)
 15. Бережной С.Б., Остапенко О.И., Курапов Г.В., Скорюнов А.А. Проектирование зубчатых передач с использованием радиального и тангенциального смещения инструмента // Региональный технологический парк как инструмент модернизации промышленности юга России. Сборник докладов Международной научно-практической конференции, 16 - 19 января 2012 г. / М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «Кубан. гос. технол. ун-т», Междуна. открытое акционер. о-во «Седин». - Краснодар: Издательский дом - Юг. 2012. С. 80-81. (0,15 п.л /0,04 п.л.)
 16. Бережной С.Б., Остапенко О.И., Скорюнов А.А. Зубчато-цепная передача // Машиностроение: межвуз. сб. науч. ст. / ФГБОУ ВПО Кубан. гос. технол. ун-т.; под общ. ред. проф. С.Б. Бережного. - Краснодар: Издательский дом - Юг. Вып. 4. 2011. С. 41-43. (0,15 п.л /0,05 п.л.)

17. Бережной С.Б., Остапенко О.И., Война А.А., Скорюнов А.А. Геометрический расчет зубчато-цепной передачи // Машиностроение: межвуз. сб. науч. ст. / ФГБОУ ВПО Кубан. гос. технол. ун-т.; под общ. ред. проф. С.Б. Бережного. – Краснодар: Издательский дом - Юг. Вып. 4. 2011. С. 44-47. (0,2 п.л /0,05 п.л.)
18. Курапов Г.В., Бережной С.Б., Остапенко О.И., Скорюнов А.А. Определение основных геометрических параметров эвольвентных звездочек с целью изготовления стандартным режущим инструментом // Перспективы развития науки и образования: сб. науч. тр. по мат-лам Междур. науч.-практ. конф. 28 сентября 2012 г.: в 14 частях. Часть 8; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество». 2012. С. 69-71. (0,2 п.л /0,05 п.л.)
19. Пат. 141362 Российская Федерация, МПК F 16 Н 7/06. Цепная передача с внутренним зацеплением / Бережной С.Б., Пунтус А.В., Скорюнов А.А.; Фед. гос. бюд. обр. уч. высшего проф. обр. Кубанский гос. технологический университет (ФГБОУ ВПО КубГТУ). №2013154819/11; заявл. 10.12.13; опубл. 24.04.14, Бюл. №23. 2 с.
20. Пат. 2520185 Российская Федерация, МПК F 16 Н 37/02, F 16 Н 7/06. Зубчато-цепная передача с внутренним зацеплением / Бережной С.Б., Остапенко О.И., Война А.А., Скорюнов А.А.; Фед. гос. бюд. обр. уч. высшего проф. обр. Кубанский гос. технологический университет (ФГБОУ ВПО КубГТУ). №2012157483/11; заявл. 26.12.11; опубл. 20.06.14, Бюл. №15. 4 с.
21. Пат. 131433 Российская Федерация, МПК F 16 Н 37/02. Зубчато-цепная передача с внутренним цепным зацеплением / Бережной С.Б., Остапенко О.И., Война А.А., Скорюнов А.А., Курапов Г.В.; Фед. гос. бюд. обр. уч. высшего проф. обр. Кубанский гос. технологический университет (ФГБОУ ВПО КубГТУ). №2013122154/11; заявл. 14.05.13; опубл. 20.08.13, Бюл. №23. 2 с.
22. Пат. 2469229 Российская Федерация, МПК F 16 Н 37/02, F 16 Н 7/06. Зубчато-цепная передача / Бережной С.Б., Остапенко О.И., Понякин М.В., Скорюнов А.А.; Гос. обр. уч. высшего проф. обр. Кубанский гос. технологический университет (ГОУ ВПО КубГТУ). №2011120967/11; заявл. 24.05.11; опубл. 10.12.12, Бюл. №34. 4 с.
23. Пат. 120477 Российская Федерация, МПК F 16 Н 7/06. Зубчато-цепная передача / Бережной С.Б., Остапенко О.И., Война А.А., Скорюнов А.А., Курапов Г.В.; Гос. обр. уч. высшего проф. обр. Кубанский гос. технологический университет (ГОУ ВПО КубГТУ). №2012124592/11; заявл. 14.06.12; опубл. 20.09.12, Бюл. №26. 2 с.
24. Пат. 110440 Российская Федерация, МПК F 16 Н 7/06. Зубчато-цепная передача / Бережной С.Б., Остапенко О.И., Понякин М.В., Скорюнов А.А.; Гос. обр. уч. высшего проф. обр. Кубанский гос. технологический университет (ГОУ ВПО КубГТУ). №2011134905/11; заявл. 19.08.11; опубл. 20.11.11, Бюл. №32. 2 с.
25. Бережной С.Б., Война А.А., Скорюнов А.А. Геометрическое и силовое моделирование зацепления втулочно-роликовой цепи с эвольвентной звездочкой с внутренними зубьями. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2014614644; Кубанский государственный технологический университет. – №2014612077; заявл. 12.03.14; опубл. 05.05.14.