

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

УДК 621.9

Губенко Александр Александрович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ
ЧЕРВЯЧНО РЕЕЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ
СТАНКОВ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ

8.05050301 – металлорежущие станки и системы

Автореферат магистерской работы

Краматорск - 2015

Работа выполнена на кафедре компьютеризированные мехатронные системы, инструменты и технологии Донбасской государственной машиностроительной академии Министерства образования и науки Украины.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Ковалев Виктор Дмитриевич

Защита состоится 28 декабря 2015 года в 10 часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии Донбасской государственной машиностроительной академии.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основные задачи, стоящие перед станкостроением – значительное повышение производительности труда и уровня автоматизации в машиностроении, удовлетворение непрерывно повышающихся требований к точности обработки, повышение надёжности станков.

К тенденции развития тяжёлых токарных станков с ЧПУ относят: повышение точности позиционирования режущего инструмента, увеличение плавности медленных перемещений суппорта, автоматическую смену режущего инструмента, комплектацию станка необходимым режущим инструментом для выполнения определённого вида работы.

Анализ существующих путей повышения точности показывает, что в некоторых случаях они не позволяют достичь требуемой точности, особенно на тяжёлых станках. В других случаях их реализация связана со значительными затратами и экономически не целесообразна. Таким образом, поиск новых альтернативных путей повышения точности, не связанных со значительными затратами, является весьма актуальной задачей в современном станкостроении.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Исследования, которые выполнены в магистерской работе, связаны с государственными бюджетными темами кафедры компьютеризированные мехатронные системы, инструменты и технологии Донбасской государственной машиностроительной академии Д03-13 «Разработка технологических систем для экологической обработки деталей энергетики на базе адаптивных многоцелевых тяжёлых станков».

Цель и задачи исследования. Целью работы является проектирование работоспособной гидростатической червячно-реечной передачи с регулируемым зазором в качестве привода продольных перемещений.

Достижение цели осуществляется путем решения следующих задач:

1. Проанализировать существующие конструкции тяжёлых токарных станков с гидростатической червячно реечной передачей.
2. Провести исследования компоновок, материалов, методов изготовления передачи.
3. Провести теоритическое моделирование передачи тяжёлого станка и сравнить результаты с экспериментальными данными.
4. Разработать мехатронную систему адаптивного управления гидростатической червячно реечной передачи.

Объект исследования – гидростатическая червячно реечная передача

Предмет исследования – : закономерности работы гидростатической червячно реечной передачи тяжёлого токарного станка для обеспечения повышенной точности.

Методы исследования. Работа выполнена на основе фундаментальных положений, технологии машиностроения, теории резания, проектирования

станков и систем, теории квалиметрии, мехатронных систем, начертательной геометрии, компьютерной графики.

Научная новизна полученных результатов:

1. Усовершенствованы методы моделирования гидростатической червячно реечной передачи.

2. Создана мехатронная адаптивная система управления гидростатической червячно реечной передачи на основе системы датчиков и микропроцессорной обработки данных для обратной связи по средствам регулируемых клапанов.

Практическую ценность составляют:

1. Разработана конструкция гидростатической червячно реечной передачи.

2. Произведен сравнительный анализ экспериментальных данных с теоретическими определена точность вычислений.

3. Разработано программное обеспечение управления мехатронной системой на основе микроконтроллера ATmega8

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов работы обеспечивается точностью постановки задач, использованием математически корректных методов исследования.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке цели и задач работы; разработке методов их решения; проведении экспериментальных исследований. Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, состоял в непосредственном участии во всех стадиях работы.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты докладывались на конференциях:

Студенческая научно-техническая конференция «Разработка системы компенсации геометрических и температурных отклонений направляющих продольного движения тяжелого токарного станка нового поколения».

Публикации. По результатам магистерской работы опубликовано 2 статьи в специализированных изданиях и 1 тезисы.

Структура и объем работы. Магистерская работа состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованных источников. Основной текст изложен на 109 страницах, содержит 38 рисунков, 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследования, научная новизна и практическое значение полученных результатов. Приведен уровень апробации работы, личный вклад соискателя и количество публикаций.

Первый раздел посвящен анализу нынешнего состояния вопроса по теме.

Гидростатическая червячно-реечная передача (рисунок 1) состоит из червяка 1 и рейки 2, в зазор между которыми нагнетается масло. Когда передача не нагружена, давление во всех карманах одинаково и зазоры h_Q по

обеим сторонам профиля равны. При нагружении передачи зазоры с одной стороны профиля уменьшаются, а давление в них возрастает. С другой стороны профиля изменения зазоров и давления масла противоположны. В результате внешняя нагрузка уравнивается разностью сил давления масла.

Конструкции, в которых масло подводится через червяк, относительно просты, но при большой частоте вращения червяка нагрузочная способность передачи снижается вследствие выбрасывания масла из его каналов центробежными силами. Передача с подводом масла через рейку не имеет этого недостатка, но более сложна. Передача с карманами для масла, выполненными на червяке, технологична, но характеризуется непостоянством нагрузочной способности и жесткости, обусловленным переменностью числа карманов в зоне зацепления при вращении червяка. Передача с карманами на рейке более трудоемка в изготовлении, но имеет повышенную нагрузочную способность.

В системе питания типа "насос—карман" имеется два сдвоенных насоса (рисунок 1.12, а). Один подает масло в карманы, находящиеся на левых сторонах профиля, другой — в карманы, расположенные на его правых сторонах. Давление в карманах устанавливается в зависимости от нагрузки F на передачу. Эти насосы питают также два упорных гидростатических подшипника. Система проста в изготовлении, обеспечивает высокую нагрузочную способность передачи, характеризуется малыми энергетическими потерями, но иногда при ее применении не достигается требуемая жесткость или компактность привода. В этих случаях применяют систему питания с мембранным делителем потока (рисунок 1.12, б) и одним сдвоенным насосом (один его насос подает масло во все карманы на обеих сторонах профиля, другой питает упорные гидростатические подшипники опор червяка). При отсутствии нагрузки на передачу делитель 3 распределяет масло поровну между карманами на обеих сторонах профиля, так как мембрана 4 толщиной 0,6...0,8 мм занимает среднее положение между соплами. При нагружении передачи давление в карманах на одной стороне профиля повышается, в карманах на другой стороне снижается. Соответственно изменяется давление в карманах делителя, и мембрана прогибается. Подача масла в более нагруженные карманы увеличивается, в менее нагруженные уменьшается.

Для гидростатической передачи червяк-рейка характерны большая нагрузочная способность, высокий КПД (не ниже 0,95), высокая точность, достаточная жесткость, отсутствие изнашивания, хорошая демпфирующая способность. Передачу целесообразно применять в качестве звена привода подачи тяжелых станков с числовым программным управлением.

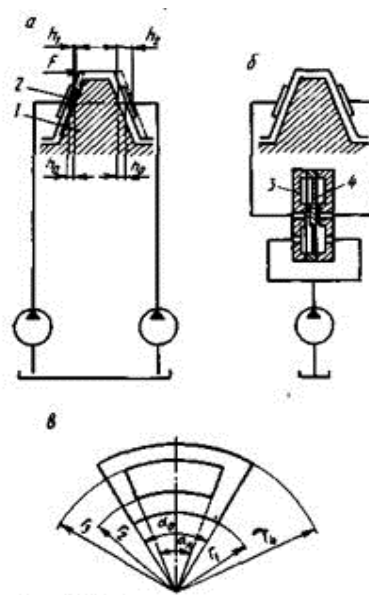


Рисунок 1.- Схема гидростатической червячно реечной передачи

Второй раздел посвящен теоритическим сведениям о гидростатических червячно реечных передач..

Произвели расчёт несущей способности и жёсткости гидростатической червячно-реечной передачи.

Пример конструкции передачи. Узел червяка гидростатической передачи изображен на рисунке 2.12. Масло подводится в кольцевую канавку Е, из которой по продольным пазам Б, прорезанным на валу 1, попадает в отверстия Г и кар-маны В, изготовленные на левых сторонах профиля червяка. Точно так же из кольцевой канавки Ж по пазам А масло поступает в карманы, имеющиеся на правых сторонах профиля червяка. Радиальная нагрузка на червяк восприни-мается двухрядными роликовыми подшипниками 2, осевая упорными гидростатическими подшипниками Д и упорными роликовыми подшипниками 3.

Особенности технологии изготовления передачи. Для того чтобы обеспечить совпадение профилей зубьев червяка и рейки, точный шаг и практически постоянный боковой зазор, равный 0,03...0,05 мм, передачи изготавлиют по следующей технологии. На токарном станке производят грубое нарезание рейки таким образом, чтобы реечный боковой зазор в зацеплении составлял около 1 мм. После обезжиривания на ее профиль наносят эпоксидную смолу с наполнителем в виде металлического порошка и с отвердителем. Необходимый профиль резьбы формируют с помощью модели червяка, толщина зубьев которой больше толщины зубьев рабочего червяка на величину заданного рабочего зазора в передаче. Длинную рейку получают путем стыковки нескольких коротких.

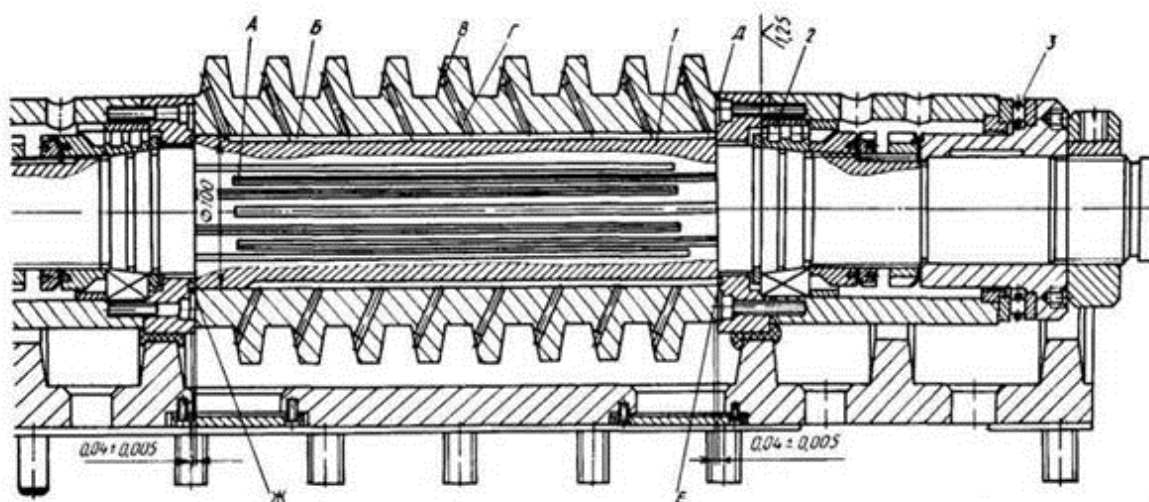


Рисунок 2. – Конструкция червяка гидростатической червячно-реечной передачи

Расчет передачи. Передачу с системой питания "насос—карман" рассчитывают следующим образом. Делают эскизный проект передачи, на основе которого находят геометрические параметры профиля резьбы рейки, параметры червяка и вычисляют эффективную площадь передачи (см. рисунок 1, в)

$$S = \frac{\alpha_0 z}{4} \left(\frac{r_4^2 - r_3^2}{\ln \frac{r_4}{r_3}} - \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right) \quad (1)$$

где α_0 расчетный угол охвата: угол кармана; α_p – угол охвата рейки; κ — коэффициент, $\alpha_0 = 0,5 (\alpha_k + \alpha_p) \kappa$; α_k — учитывающий использование площади поверхности резьбы (если карманы выполнены на рейке, $\kappa = 1$, если они выполнены на червяке и в зоне контакта с одним витком рейки, $\kappa = (n-1)/n$); z — число витков червяка; r_1, r_2, r_3, r_4 - радиусы участков профиля резьбы.

Нагрузочная способность (Н) передачи при использовании системы питания "насос—карман"

$$F = P_H S (1-\epsilon)^3 \left[\frac{1}{(1-\epsilon)^3} - \frac{1}{(1+\epsilon)^3} \right] \quad (2)$$

где p_H — давление, развиваемое насосом, Па; ϵ — максимальное допустимое относительное смещение в передаче: $0,3 \leq \epsilon \leq 0,425$.

Радиальная сила, действующая на червяк,

$$R = \frac{2}{\alpha} P_H S \sin \frac{\alpha}{2} \tan(1-\epsilon)^3 \left[\frac{1}{(1-\epsilon)^3} + \frac{1}{(1+\epsilon)^3} \right] \quad (3)$$

где β - половина угла профиля резьбы.

Максимальная и минимальная жесткость масляного слоя

$$j_{max} = \frac{3}{h_0} P_H S (1-\epsilon)^3 \left[\frac{1}{(1-\epsilon)^4} - \frac{1}{(1+\epsilon)^4} \right] \quad (4)$$

$$j_{min} = \frac{6}{h_0} P_H S (1-\epsilon)^3 \quad (5)$$

где h_Q — расчетный осевой зазор в передаче с одной боковой стороны профиля резьбы, м.

Третий раздел посвящен разработке адаптивной системе управления. Также была спроектирована передача.

Была спроектирована гидростатическая червячно реечная передача тяжелого токарного станка (Схема передачи представлена на рис. 3). Несущая система передачи состоит из двух частей червяка. Твёрдотельная модель проектируемой станины была выполнена в программном пакете Solid Works. Используя инструмент «сборка» была создана полноценная модель трёх секционной станины в реальную величину и с указанием всех материалов конструкции.



Рисунок 3 – Гидростатическая червячно реечная передача в сборе

Также разработана блок-схема алгоритма работы управляющего микроконтроллера. Алгоритм работы разбит на три функциональные части:

основную программу, подпрограмму перевода прямого двоичного кода в код датчика и обработчик прерывания по переполнению таймера.

Четвертый раздел является экономической частью магистерского дипломного проекта, в которой рассчитана себестоимость единицы продукции, оптовая и отпускная цена, рентабельность производства.

Пятый раздел посвящен вопросу охраны труда. Проведен анализ опасных и вредных производственных факторов, мероприятия по промышленной санитарии, технике безопасности. Выполнен расчет освещения помещения механического цеха, рассчитана система защитного заземления.

ВЫВОДЫ

1. В ходе анализа известных методов повышения точности обработки резанием установлено, что наиболее эффективным является адаптивное управление точностью.

2. Доминирующими факторами, оказывающими влияние на точность обработки на тяжелых токарных станках, являются геометрические погрешности и тепловые деформации направляющих продольного перемещения, а наиболее проблемным параметром точности типовых изделий является точность формы в продольном сечении.

3. Исследованы степень и характер влияния смещения и перекосов осей червяка и червячных реек на нагрузочные характеристики гидростатической червячно-реечной передачи. Показано, что давление, устанавливающееся в карманах передачи при перекосе осей червяка и реек, зависит от величины гидравлического сопротивления истечению смазочного масла через уплотняющие перемычки, которое пропорционально толщине смазочного слоя в третьей степени.

4. Найдены решения ряда конструкторско-технологических задач, которые способствуют быстрейшему освоению гидростатической червячно-реечной передачи в производстве, в том числе определены основные допуски на изготовление и монтаж передач, от чего в прямой зависимости находятся эксплуатационные характеристики механизма.

5. Предложена технология изготовления червячных реек высокой точности на токарно-винторезном станке, что позволяет отказаться от формирования профиля зубьев реек с помощью полимерных материалов. А так же разработана новая конструкция гидростатической червячно-реечной передачи с возможностью регулирования величины зазора, изготавливаемой без полимерных материалов.

6. Разработано описание системы адаптивного управления обеспечивающей программное вычисление давления исходя из измерений перемещения суппорта под нагрузкой и определения давления которое противодействует перемещению суппорта

7. Разработана и исследована конструкция гидростатической червячно

реечной передачи для тяжёлого станка.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ МАГИСТЕРСКОГО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

1. Ковалев В. Д. Адаптивная система компенсации упругих деформаций с приведением измерительной базы к поверхности заготовки. / В. Д. Ковалев, М. С. Мельник // Вісник Академії наук Вищої школи України. Механіка та машинобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2002. – Вип.1. – С. 3–6.

2. Ковалев В. Д. Адаптивное управление точностью тяжелых токарных станков / В. Д. Ковалев, О. Ф. Бабин, М. С. Мельник // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – Запорожье, 2001.– Вып.2. – С. 108–110.

3. Ковалев В. Д. Адаптивные системы управления точностью тяжелых токарных станков / В. Д. Ковалев, О. Ф. Бабин, М. С. Мельник. // Матеріали ІХ міжнародної науково-технічної конференції «Надійність інструменту та сучасні технологічні системи». – Краматорськ : ДГМА, 2002. – С. 21.

4. Ковалев В. Д. Быстродействующий исполнительный привод для систем адаптивного управления. / В. Д. Ковалев, М. С. Мельник. // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. НТУ "ХПІ". Відділення механіки та машинобудування Академії наук Вищої школи України. – Харків : НТУ "ХПІ", 2003. – №1. – Том 2. – С. 265–269.

5. Мельник М. С. Определение совокупности параметров технологической системы, оказывающих доминирующее влияние на точность обработки на тяжелых токарных станках. / М. С. Мельник // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку : матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції 4–7 червня 2007 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ : ДДМА. – 2007. – С. 84.

АННОТАЦИИ

Губенко А.А. Разработка и исследование гидростатических червячно реечной передачи для тяжелых токарных станков повышенной точности. – Рукопись.

Магистерская работа на получение академической степени магистра по специальности 8.05050301 - Металлорежущие станки и системы. - Донбасская государственная машиностроительная академия. Краматорск, 2015.

Магистерская работа посвящена решению научно-технической задачи - разработке гидростатической червячно реечной передачи для тяжелого токарного станка.

Для реализации цели работы решены следующие задачи:

Найдены решения ряда конструкторско-технологических задач, которые способствуют быстрейшему освоению гидростатической червячно-реечной передачи в производстве, в том числе определены основные допуски на изготовление и монтаж передач, от чего в прямой зависимости находятся эксплуатационные характеристики механизма. Предложена гидростатическая червячно-реечная передача изготавливаемая с помощью механической обработки с возможностью регулирования радиального зазора в зацеплении. На основании проведенного анализа сформулированы задачи и разработана методика исследований.

Ключевые слова: тяжелый станок, адаптивная система, качество, несущая система.

АНОТАЦІЇ

Губенко О.О. Розробка і дослідження гідростатичних черв'ячно рейкової передачі для важких токарних верстатів підвищеної точності. - Рукопис..

Магістерська робота на отримання академічного ступеня магістра за спеціальністю 8.05050301 - Металорізальні верстати та системи. - Донбаська державна машинобудівна академія. Краматорськ, +2015.

Магістерська робота присвячена вирішенню науково-технічної задачі - розробці гидростатической черв'ячно рейкової передачі для важкого токарного верстата.

Для реалізації мети роботи вирішені наступні завдання:

Знайдені рішення ряду конструкторсько-технологічних завдань, які сприяють якнайшвидшому освоєнню гидростатической черв'ячно-рейкової передачі у виробництві, у тому числі визначені основні допуски на виготовлення і монтаж передач, від чого в прямій залежності знаходяться експлуатаційні характеристики механізму. Предложена гідростатична черв'ячно-рейкова передача ізготовляється з допомогою механічної обробки з можливістю регулювання радіального зазору в зацепленні. На

підставі проведеного аналізу сформульовані завдання і розроблена методика досліджень..

Ключові слова: важкий верстат, адаптивна система, якість, несуча система.

ANNOTATIONS

Hubenko AA Development and research of hydrostatic worm rack gear for heavy lathes increased accuracy. - Manuscript..

Master's thesis for a master's degree in an academic specialty 8.05050301 - Metal-cutting machines and systems. - Donbass State Engineering Academy. Kramatorsk, 2015.

Master's thesis is devoted to solving scientific and engineering problems - the development of a hydrostatic worm rack gear for heavy lathe.

To implement the objectives of the work are solved the following problems:

Found solving a number of design and technological challenges that contribute to the rapid development of the hydrostatic worm-rack gear in production, including the basic manufacturing tolerances and assembly of transmissions, from which are directly dependent on the performance of hydrostatic mehanizma. Predlozhena worm-rack gear izgotovlyae- May machined with adjustable radial clearance in zatseplenii. Na Based on the analysis set forth objectives and the method of research.

Keywords: heavy machine-tool, adaptive system, quality, bearing system.