

Г.Н. Лимаренко

Г.Н. Лимаренко

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РЕЕЧНЫХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ МАШИН
С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ
ПРИВОДОМ

монография

Методология проектирования реечных передач
для машин с автоматизированным приводом

политехнический институт



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

Министерство образования и науки РФ
Сибирский федеральный университет

Г.Н. Лимаренко

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РЕЕЧНЫХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ МАШИН
С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПРИВОДОМ**

Монография

Красноярск
СФУ
2010

УДК 621.891.83

ББК 34.445

Л 58

Рецензенты:

профессор кафедры «Прикладная механика» Сибирского государственного технологического университета, д-р техн. наук Н.И. Галибей;
заведующий кафедрой «Детали машин и технологии металлов» Красноярского государственного аграрного университета д-р техн. наук, профессор В.А. Меновщиков

Л 58 Лимаренко Г.Н. Методология проектирования реечных передач для машин с автоматизированным приводом: монография / Г.Н.Лимаренко. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2010. – 363 с.

ISBN 978-5-7638-2073-7

В монографии освещены вопросы проектирования, теоретического, экспериментального и опытно-производственного исследования реечных преобразователей движения и поступательных приводов на их основе в создаваемых многоцелевых автоматизированных машинах, предназначенных для технологического применения в отраслях транспортного, энергетического, атомного машиностроения, судостроения, авиакосмической и оборонной техники.

Предназначена для инженерно-технических и научных работников, занимающихся разработкой и модернизацией приводов автоматизированного технологического оборудования, а также для студентов вузов, обучающихся по направлению 150900.68 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», для аспирантов.

ISBN 978-5-7638-2073-7

© Сибирский
федеральный
университет, 2010

ВВЕДЕНИЕ

В опубликованной в 2008 г. Концепции формирования Государственной комплексной программы развития России машиностроение как системообразующая отрасль отечественной экономики, определяющая уровень производственного и кадрового потенциалов страны, обороноспособности государства, а также устойчивого функционирования всех отраслей промышленности, названа главным плацдармом подъема экономики и придания ей инновационного характера [49].

Одной из основных задач отечественного машиностроения является обновление и реконструкция технологической базы промышленности, обеспечение предприятий, в первую очередь обрабатывающих отраслей, производственным оборудованием. Для нужд авиационной и судостроительной промышленности, транспортного и горного машиностроения, оборонного комплекса и энергетики требуются современные высокопроизводительные, точные и высокоавтоматизированные станки и комплексы. В производстве крупногабаритных изделий необходимы, в частности, тяжелые станки, в том числе продольнообрабатывающие с подвижным столом, фрезерные-расточно-сверлильные с перемещающейся колонной и подвижным порталом. Для приводов поступательного перемещения изделия или инструмента более чем на 3 м в этих станках применяются различные реечные передаточные механизмы (ПМ). К приводам с большой величиной хода поступательного перемещения предъявляются такие же требования, как и для приводов с шариковыми винтовыми передачами (ШВП), используемых в малых и средних станках с автоматическим управлением: они должны отвечать современным требованиям по тяговому усилию, быстроходности, точности, безлюфтовости, долговечности, жесткости, виброустойчивости, высокого к.п.д. К сожалению, в технической литературе вопросам проектирования поступательных приводов автоматических машин на базе современных зубчатых реечных механизмов с выбором зазоров, червячно-реечных передач с гидростатической смазкой, волновых и других реечных передач уделяется мало внимания. Настоящая монография призвана в какой-то степени устранить этот недостаток.

В работе рассматриваются вопросы методики проектирования приводов машин с реечными передаточными механизмами. Целью,

поставленной при подготовке монографии, являлась разработка теории и методов проектирования механических систем приводов поступательного перемещения машин с реечными передаточными механизмами и автоматизированным приводом, отвечающих возрастающим функциональным требованиям и обеспечивающих сокращение сроков конструкторской подготовки производства приводов. Для достижения цели мы ставили задачи, рассматриваемые в соответствующих главах монографии.

В первой главе монографии рассматриваются методологические основы проектирования автоматических машин, основные задачи проектирования их поступательных приводов. Дан обзор существующих реечных механизмов, используемых для преобразования вращательного движения в поступательное, методы их проектирования. Приведен обзор работ многих авторов по проектированию регулируемых и следящих приводов поступательных перемещений рабочих органов (РО) машин, выявлению требований к их исполнительным характеристикам. Систематизированы вопросы управления проектированием приводов машин на основе системного подхода. Сформулирована цель и задачи исследования по теме монографии.

Во второй главе рассмотрены методы анализа геометрических, кинематических, силовых характеристик и к.п.д. зубчатых реечных передач с ортогональным и неортогональным расположением оси приводной шестерни к направлению движения рейки. Приведены модели и методы расчета упругих систем конечных звеньев приводов. Предложен метод синтеза устройств выбора зазоров в приводах с реечными механизмами. Поставлена и решена задача многопарного контактного взаимодействия косозубой консольной вал-шестерни с рейкой путем конечно-элементного моделирования в программном комплексе ANSYS.

В третьей главе приведены результаты исследований по методике проектирования поступательного привода и его конечного звена – зубчатой реечной передачи. Рассмотрены и предложены методы расчета зубчатой реечной передачи по критериям работоспособности. Разработана методика определения оптимальных параметров зубчатой реечной передачи по критерию максимума парциальной частоты колебаний при взаимодействии РО с реечной шестерней. Приведена методика проектирования исполнительного механизма следящего привода подачи РО.

Четвертая глава посвящена исследованиям по впервые разработанной и реализованной на предприятии совместно с НПО ЭНИМС в продольном фрезерно-расточном станке с контурным числовым программным управлением (модель 6М610Ф3) конструкции и технологии опытно-промышленного производства червячно-реечной передачи с гидростатической смазкой (ЧРПГС). Выполнены расчеты ЧРПГС при схеме подачи давления смазки через вращающийся червяк. Описана методика проектирования исполнительного механизма следящего привода подачи с ЧРПГС.

В пятой главе изложены результаты расчетно-экспериментальных исследований по динамике привода стола станка с неортогональной зубчатой реечной передачей по параметрам разработанной конструкции экспериментального стенда, учитывающей две доминирующие формы его колебаний: вдоль направляющих и угловых колебаний в горизонтальной плоскости вокруг оси, проходящей через центр жесткости. Приведены также результаты теоретических исследований по разработанной динамической модели подачи рабочего органа станка в виде стойки с перемещающейся по ней шпиндельной бабкой. Модель учитывает три обобщенные координаты в системе и включает подвижный привод с выбором зазора в реечном зацеплении и подвижно-поворотную стойку.

В шестой главе даны результаты экспериментальных исследований приводов рабочих органов тяжелых станков на модели-стенде (комбинированный строгально-фрезерный станок мод. 7225 с зубчатой винто-реечной передачей и устройством гашения колебаний) и на опытном образце станка с контурной системой ЧПУ мод. 6М610Ф3, с установленной впервые изготовленной отечественной червячно-реечной передачей с гидростатической смазкой.

В седьмой главе приведены результаты расчетно-теоретических и экспериментальных исследований по реечным механизмам приводов с промежуточными звеньями и волновым принципом действия. Рассмотрены методы геометро-кинематического и силового синтеза механизмов и их анализа, в том числе при создании вводов движения в герметичное пространство. Изложены данные по результатам экспериментальных исследований волновых реечных механизмов и проблемных задачах по их совершенствованию.

Материалы, включенные в монографию, основаны на результатах исследований, полученных при участии и под руководством автора вы-

полняемых конструкторских работ и освоении в производстве тяжелых продольно-строгальных, строгально-фрезерных и фрезерно-расточных станков коллективом Новосибирского ОАО «Тяжстанкогидропресс» (1958-1968 гг), тяжелых фрезерно-расточных станков с ЧПУ и многоцелевых тяжелых станков с автоматической сменой инструмента коллективом Минского станкообъединения «МЗОР» (1968-1978 г), при выполнении научно-исследовательских работ на кафедре проектирования и экспериментальной механики машин в Политехническом институте Сибирского федерального университета в последующие годы.

При выполнении расчетов, моделировании элементов приводов и оформлении материалов монографии большую помощь мне оказали коллеги по кафедре и студенты-дипломники.

Искренне благодарю коллективы предприятий, коллег по кафедре и студентов. Особую благодарность выражаю моему научному консультанту – доктору технических наук, профессору В.И. Усакову за ценные указания и замечания по работе, помощь в подготовке рукописи к изданию.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. Методы проектирования приводов машин с реечным и передаточными механизмами.....	7
1.1. Технологические машины с поступательно перемещаемыми рабочими органами и основы проектирования их приводов.....	7
1.1.1. Основные типы технологических машин с поступательными рабочими органами.....	7
1.1.2. Методология проектирования привода рабочих органов.....	12
1.2. Обзор конструкций и методик проектирования реечных передаточных механизмов.....	34
1.2.1. Конструкции реечных передаточных механизмов	34
1.2.2. Расчеты и исследования реечных передаточных механизмов	45
1.3. Методы проектирования исполнительных механизмов автоматизированных электроприводов для поступательных перемещений рабочих органов.....	61
1.3.1. Приводы поступательных перемещений.....	61
1.3.2. Взаимодействие привода перемещения рабочего органа с несущей системой.....	66
1.4. Проблемы создания приводов подач с реечными механизмами	71
Выводы по главе 1	74
ГЛАВА 2. Исследование характеристик зубчатых реечных передаточных механизмов	75
2.1. Геометрические и кинематические характеристики.....	75
2.1.1. Геометрия ортогональных реечных передач	75
2.1.2. Кинематика ортогональных реечных передач	86
2.1.3. Геометрия и кинематика неортогональных реечных передач.....	91
2.2. Силовой анализ реечных передаточных механизмов	92
2.2.1. Силовое взаимодействие звеньев	92
2.2.2. Коэффициент полезного действия.....	94
2.3. Характеристики упругой системы в реечном приводе рабочего органа	100
2.3.1. Модели упругих систем приводов.....	100
2.3.2. Синтез устройств выбора зазоров в приводах.....	110
2.4. Моделирование контактного взаимодействия шестерни с рейкой в ортогональном зацеплении.....	118
2.4.1. Формирование твердотельных моделей элементов передачи.....	118
2.4.2. Расчетная модель передачи в ПК ANSYS.....	119
Выводы по главе 2.....	126
ГЛАВА 3. Проектирование исполнительных механизмов приводов с зубчатыми реечными передачами	127
3.1. Проектирование механического привода для перемещения рабочего органа	127
3.1.1. Управление проектированием привода	127

3.1.2. Подготовка исходных данных к проектированию привода	132
3.2 Методика проектирования зубчатого реечного механизма.....	137
3.2.1. Методика расчета на контактную выносливость.....	138
3.2.2. Методика расчета передач на изгибную выносливость	146
3.2.3. Методика расчета передач на прочность при максимальной нагрузке	149
3.3. Алгоритм проектирования конечного звена привода	151
3.4. Проектирование исполнительного механизма привода.....	158
3.4.1. Кинематический расчет привода подач	158
3.4.2. Синтез кинематической схемы привода	164
3.5. Программный модуль для синтеза зубчатой реечной передачи	165
Выводы по главе 3	166
ГЛАВА 4. Проектирование и исследование характеристик червячно-реечной передачи с гидростатической смазкой.....	168
4.1. Методология проектирования механического привода с ЧРПГС	168
4.1.1. Основы проектирования опор и передач с гидростатической смазкой	168
4.1.2. Конструкция и геометрия червячно-реечных передач с гидростатической смазкой.....	171
4.2. Исследование технических характеристик ЧРПГС.....	175
4.2.1. Расчет технических характеристик	175
4.2.2. ЧРПГС как конечное звено привода.....	183
4.2.3 Критерии работоспособности передачи.....	188
4.3. Проектирование механического привода с ЧРПГС	189
4.3.1. Выбор конструктивной схемы привода	189
4.3.2 Кинематический расчет привода подач	190
Выводы по главе 4	194
ГЛАВА 5. Исследование характеристик электромеханических приводов с реечными передачами при проектировании	195
5.1. Расчетно-экспериментальные исследования динамической системы стационарно установленного привода стола.....	195
5.1.1. Динамическая система привода стола.....	195
5.1.2. Расчет динамических характеристик.....	205
5.2. Расчетные исследования подвижного привода, установленного на рабочем органе	216
5.2.1. Динамическая система привода, установленного на подвижной стойке	216
5.2.2. Исследование динамической системы привода	221
Выводы по главе 5	225
ГЛАВА 6. Экспериментальные исследования приводов рабочих органов машин с реечными передачами.....	227
6.1. Исследования привода стола станка 7225 на стенде-модели	227
6.1.1. Экспериментальный стенд и измерительная аппаратура	227
6.1.2. Экспериментальные характеристики стенда	232

6.1.3. Исследование колебаний стола при его движении по направляющим	237
6.1.4. Исследование движения стола с устройством демпфирования в приводе	241
6.2. Исследования гидростатической червячно-реечной передачи в приводе стола станка 6М610Ф3	242
6.2.1. Оценка эффективности применения передачи в приводе станка при контурном фрезеровании	244
6.2.2. Экспериментальная оценка технических характеристик привода подачи стола	246
6.3. Разработка рекомендаций по совершенствованию и применению ЧРПГС в тяжелых станках	255
Выводы по главе 6	258
ГЛАВА 7. Синтез реечных передаточных механизмов с промежуточными звеньями.....	260
7.1. Устройства линейного перемещения на базе волновой реечной передачи	260
7.1.1. Области применения и требуемые характеристики поступательных модулей	261
7.1.2. Классификация модулей на основе ВРП	264
7.2. Геометрический и кинематический синтез зацепления роликового толкателя с зубьями рейки	265
7.2.1. Синтез зацепления роликовых толкателей с зубьями рейки	265
7.2.2. Синтез закона движения толкателя	272
7.3. Силовой анализ ВРП	278
7.3.1. Силовой анализ ВРП с роликовыми толкателями	279
7.3.2. Силовой анализ ВРП с зубчатыми толкателями	292
7.3.3. Выбор зазора и создание натяга в зацеплении	301
7.4. Экспериментальные исследования опытных образцов ВРП с промежуточными звеньями	303
7.4.1. Экспериментальный стенд и методика исследований	304
7.4.2. Результаты экспериментальных исследований ВРП с роликовыми толкателями	309
7.4.3. Экспериментальные и теоретические исследования приводных поступательных модулей на основе ВРП	318
Выводы по главе 7	320
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	322
СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ.....	325
ПРИЛОЖЕНИЯ	344