

АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

**Институт проблем надежности
и долговечности**

О.В. БЕРЕСТНЕВ

А.М. ГОМАН

Н.Н. ИШИН

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МЕХАНИКИ В ДИНАМИКЕ ПРИВОДОВ



МИНСК

«НАВУКА І ТЭХНІКА»

1992

Берестнев О. В., Гоман А. М., Ишин Н. Н.
Аналитические методы механики в динамике приводов.—
 Мн.: Навука і тэхніка, 1992.— 238 с.— ISBN 5-343-00932-8.

Рассмотрены методы аналитической механики, позволяющие эффективно решать задачи, связанные как с исследованием динамических процессов в механических приводах, так и с расчетом самоустанавливающихся зубчатых колес. Анализ эффективности применения самоустанавливающихся зубчатых колес в механических приводах производится с помощью передаточных функций. Приводится критерий снижения виброактивности приводов по собственным формам. Показано, что сравнительные исследования виброактивности при различных вариантах конструкций зубчатых передач привода могут быть выполнены по результатам моделирования на аналоговых вычислительных машинах. Даны результаты теоретических и экспериментальных исследований динамической нагруженности зубчатых сопряжений цельных и самоустанавливающихся зубчатых колес.

Предназначена для научных сотрудников, занимающихся конструированием, расчетом механических приводов. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам вузов.

Табл. 19. Ил. 81. Библиогр.: 79 назв.

Научный редактор
 д-р техн. наук Н. Л. Островерхов

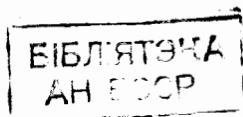
Рецензенты:
 д-р техн. наук А. Т. Скойбеда,
 канд. техн. наук А. С. Соболев

Б $\frac{2702000000-045}{M316(03)-92}$ 76—92

ISBN 5-343-00932-8

© О. В. Берестнев, А. М. Гоман,
 Н. Н. Ишин, 1992

В 326963



ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
--------------------	---

Глава I

Основы аналитической механики	10
1.1. Голономные системы	10
1.1.1. Связи и их классификация	10
1.1.2. Возможные скорости. Возможные и виртуальные перемещения	12
1.1.3. Степени свободы механической системы. Идеальные связи	14
1.1.4. Голономные системы. Обобщенные координаты. Обобщенные силы	17
1.1.5. Принцип виртуальных перемещений	19
1.1.6. Уравнения Лагранжа II рода	20
1.2. Вариационные принципы механики	37
1.2.1. Изохронные вариации обобщенных координат	37
1.2.2. Принцип Гамильтона—Остроградского	39
1.2.3. Применение вариационных методов к деформируемым упругим системам	42
1.3. Дифференциальные уравнения движения систем с неголономными связями	51
1.3.1. Уравнения Аппеля	51
1.3.2. Уравнения Аппеля в квазикоординатах	62
1.3.3. Уравнения движения с множителями Лагранжа. Уравнения Фаррерса	64
1.3.4. Теория качения пневматической шины	66

Глава 2

Малые колебания упругих систем	84
2.1. Дифференциальные уравнения малых колебаний упругих систем	84
2.2. Влияние жесткости и инерции системы на спектры частот собственных колебаний	88

2.3. Оценка действия малых сил сопротивления на колебания упругих систем	89
2.4. Определение собственных частот и форм колебаний зубчатой пары с составным зубчатым колесом	92
2.5. Случайные колебания упругих систем	97

Глава 3

Некоторые методы интегрирования дифференциальных уравнений движения механических систем	107
--	------------

3.1. Два метода теории возмущения	107
3.2. Метод вариации произвольных постоянных. Метод Ван-дер-Поля медленно изменяющихся амплитуд	107
3.3. Уравнения в вариациях	113
3.4. Автоколебательные системы	114

Глава 4

Исследование вибрационных процессов в приводах с самоустанавливающимися зубчатыми колесами методами передаточных функций и моделирования на аналоговых вычислительных машинах	125
--	------------

4.1. Обоснование методического подхода	125
4.2. Метод комплексных сопротивлений	127
4.2.1. Основы метода	127
4.2.2. Анализ передаточных свойств приведенной системы цельное зубчатое колесо — подшипниковый узел	130
4.2.3. Исследование передаточных свойств приведенной системы составное зубчатое колесо — подшипниковый узел методом комплексных сопротивлений	137
4.3. Оценка эффективности применения зубчатых колес пониженной виброактивности по собственным формам динамических систем передач	142
4.3.1. Основы методического подхода	142
4.3.2. Критерий снижения виброактивности зубчатых передач по собственным формам	144
4.3.3. Пример расчета критерия снижения виброактивности зубчатой пары	148
4.4. Анализ вибрационных процессов в передачах с цельным и составным колесами и моделированием на АВМ	151

Глава 5

Теоретическое и экспериментальное определение динамических нагрузок в передачах с самоустанавливающимися колесами

161

5.1. Расчет коэффициентов, учитывающих динамическую нагрузку, возникающую в зацеплении	161
5.2. Определение собственных частот колебаний испытательного стенда	168
5.3. Методика проведения экспериментальных работ по изучению динамической нагруженности и виброакустической активности передач с СЗК	171
5.3.1. Основные принципы методического подхода и выбора испытательного оборудования	171
5.3.2. Испытательное оборудование	173
5.3.3. Экспериментальные образцы зубчатых колес	177
5.3.4. Методика измерения усилий, действующих на зуб	179
5.3.5. Особенности организации эксперимента и обработки экспериментальных данных	183
5.4. Экспериментальные работы по определению динамической нагруженности и виброакустической активности зубчатых передач с СЗК	190
5.4.1. Результаты сравнительных испытаний динамической нагруженности передач с обычными и самоустанавливающимися колесами	190
5.4.2. Анализ экспериментальных данных	201
5.5. Результаты сравнительных виброакустических исследований передач с СЗК	206
5.6. Новые конструкции самоустанавливающихся зубчатых колес с улучшенными динамическими характеристиками	215
Заключение	229
Литература	232