

АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛОРУССКОЙ ССР
Институт проблем надежности
и долговечности машин

О. В. БЕРЕСТНЕВ

САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИЕСЯ ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА

МИНСК
«НАУКА И ТЕХНИКА»
1983

Берестнев О. В. Самоустанавливающиеся зубчатые колеса.— Мн.: Наука и техника, 1983.— 312 с.

В книге рассмотрены вопросы конструирования, расчета, испытаний и применения новых перспективных конструкций самоустанавливающихся зубчатых колес с упругими креплениями и повышенной податливостью зубчатых венцов, позволяющих значительно повысить нагрузочную способность и долговечность, снизить виброакустическую активность зубчатых передач. Описаны созданные автором и при его участии более 20 новых конструкций зубчатых колес и узлов передач на их основе, приведены результаты их обширных стендовых и эксплуатационных испытаний. Даны примеры их эффективного внедрения и рекомендации по организации производства и промышленного применения в передачах машин.

Предназначена для научных сотрудников, конструкторов, технологов, занимающихся конструированием, расчетом, изготовлением, изысканием путей повышения нагрузочной способности и долговечности зубчатых передач, работников заводских и исследовательских лабораторий, проводящих испытания, преподавателей, студентов вузов.

Табл. 24. Ил. 79. Библиогр.— 265 назв.

Научный редактор

Н. Л. Островерхов, канд. техн. наук

Рецензенты:

И. С. Цитович, чл.-кор. АН БССР,

А. Т. Скойбеда, д-р техн. наук

БВ 24439
Библиотека
АН БССР

270200000—119

Б — 83—83

М316—83

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Пути повышения долговечности с одновременным снижением виброактивности зубчатых передач	11
1.1. Краткий анализ основных направлений работ	11
1.2. Факторы, определяющие перспективность создания и применения зубчатых колес с упругими креплениями и повышенной податливостью зубчатых венцов	18
1.3. Анализ известных конструкций самоустанавливающихся зубчатых колес	21
1.3.1. Зубчатые колеса с повышенной податливостью зубьев, элементов дисков и ступиц	21
1.3.2. Зубчатые колеса с накладными и встроенными демпферами	24
1.3.3. Составные зубчатые колеса с упругими креплениями и повышенной податливостью зубчатых венцов	27
1.3.4. Зубчатые колеса с упругими промежуточными элементами в зубчатых зацеплениях	34
1.3.5. Металлополимерные зубчатые колеса	35
Глава 2. Основы конструирования и расчета самоустанавливающихся зубчатых колес	39
2.1. Общие принципы и схема построения методических основ	39
2.2. Обоснование целесообразности применения	41
2.3. Выбор типа зубчатых колес и конструктивных исполнений упругих соединений	42
2.4. Расчет параметров зубчатых сопряжений	44
2.5. Выбор рациональных соотношений параметров зубьев повышенной податливости	45
2.5.1. Методы расчета напряжений изгиба зубьев с нестандартным профилем	45
2.5.2. Применение метода конечных элементов (МКЭ)	47
2.5.3. Расчет методом интегральных уравнений	51
2.6. Определение параметров элементов упругих соединений	54
2.6.1. Задачи и условия расчета	54
2.6.2. Обеспечение условий прочности и работоспособности	55
2.6.3. Расчет параметров элементов упругих соединений из условий самоустановки обода под нагрузкой	60
2.6.4. Рекомендации к расчету по условию снижения виброактивности передачи	62
2.6.5. Расчет рациональных соотношений жесткостей обода и упругих соединительных элементов	67
2.7. Рекомендации по разработке технологических процессов изготовления	73
2.7.1. Рациональный выбор материалов и методов термической и химико-термической обработок	74
2.7.2. Изготовление, повышение долговечности и снижение виброактивности зубчатых венцов пластическим деформированием и холодным калиброванием	78
2.7.3. Выбор рациональных режимов холодного калибрования зубчатых венцов	81
2.8. Прогнозирование нагрузочной способности, долговечности и характеристик виброактивности	88

2.9. Экспериментальные сравнительные испытания передач с серийными и опытными зубчатыми колесами	89
--	----

Глава 3. Новые конструкции самоустанавливающихся зубчатых колес и узлы передач на их основе	90
--	-----------

3.1. Зубчатые колеса с соединением обода и ступицы через упругие стальные элементы	90
3.2. Зубчатые колеса с упругими промежуточными элементами в зубчатых зацеплениях	97
3.3. Зубчатые колеса с упругоподатливыми соединениями ободьев и ступиц через виброизолирующий и демпфирующий слой полимерных материалов	101
3.4. Зубчатые колеса с повышенной податливостью зубьев, элементов дисков и ступиц	106
3.5. Узлы зубчатых передач на основе самоустанавливающихся зубчатых колес	109
3.6. Образцы зубчатых колес для сравнительных исследований	115

Глава 4. Расчет прочности и долговечности зубчатых передач, включающих самоустанавливающиеся зубчатые колеса	121
---	------------

4.1. Анализ особенности расчета	121
4.2. Расчет коэффициентов, учитывающих динамическую нагрузку, возникающую в зацеплении	124
4.2.1. Обоснование методического подхода	124
4.2.2. Расчет по приближенным зависимостям	126
4.2.3. Исследование влияния упругопри соединенной массы ступицы	131
4.2.4. Расчет динамической составляющей нагрузки в зубчатом зацеплении с учетом влияния упругого соединения масс обода и ступицы колеса	136
4.3. Расчет коэффициентов, учитывающих неравномерность распределения нагрузки	141
4.3.1. Современное состояние вопроса	141
4.3.2. Основы методического подхода	146
4.3.3. Расчет коэффициента податливости обода и упругого соединения	152
4.3.4. Расчет коэффициента податливости диска колеса ($\alpha_{дм}$)	157
4.3.5. Определение коэффициента податливости вала и подшипниковых узлов ($\alpha_{вп}$)	158
4.3.6. Расчет коэффициентов, учитывающих распределение нагрузки по длине контактных линий, на примере конечной передачи тракторов «Беларусь»	158
4.4. Влияние самоустанавливающихся зубчатых колес на нагрузочную способность и долговечность зубчатых передач	162
4.4.1. Контактная выносливость активных поверхностей зубьев	162
4.4.2. Изгибная выносливость зубьев	163
4.4.3. Износостойкость рабочих поверхностей зубьев и общая расчетная оценка нагрузочной способности и долговечности	164
4.5. Прогнозирующий вероятностный расчет долговечности зубчатых передач с самоустанавливающимися колесами	166
4.5.1. Основы метода вероятностного расчета долговечности зубчатых передач	166
4.5.2. Вероятностный расчет долговечности зубчатых передач с самоустанавливающимися колесами	171

Глава 5. Анализ эффективности применения самоустанавливающихся зубчатых колес по передаточным свойствам динамических систем	173
5.1. Обоснование методического подхода	173
5.2. Метод комплексных сопротивлений	175
5.2.1. Основы метода	175
5.2.2. Анализ передаточных свойств приведенной системы цельное зубчатое колесо — подшипниковый узел	177
5.2.3. Исследование передаточных свойств приведенной системы составное зубчатое колесо — подшипниковый узел методом комплексных сопротивлений	182
5.3. Оценка эффективности применения самоустанавливающихся зубчатых колес по собственным формам динамических систем передач	189
5.3.1. Основы методического подхода	189
5.3.2. Критерий снижения виброактивности зубчатых передач по собственным формам	191
5.3.3. Пример расчета критерия снижения виброактивности зубчатой пары	195
5.4. Анализ вибрационных процессов в передачах с цельным и составным колесом моделированием на ЭВМ	197
5.5. Исследование характеристик и передаточных свойств динамических систем зубчатых мелко модульных приводных механизмов со сложными кинематическими схемами	207
5.5.1. Разработка динамических моделей	207
5.5.2. Расчет собственных частот и форм динамических моделей	210
5.5.3. Расчет и анализ передаточных свойств систем	212
Глава 6. Испытательное оборудование и методики сравнительных исследований нагруженности, долговечности и виброактивности зубчатых колес	216
6.1. Обоснование методического подхода	216
6.2. Испытательное оборудование	217
6.2.1. Универсальные и специальные испытательные стенды	217
6.2.2. Устройства для испытаний прочности и жесткости зубьев и элементов упругих соединений зубчатых колес	223
6.3. Методические основы сравнительных испытаний нагрузочной способности, долговечности и виброактивности исследуемых зубчатых колес	227
6.3.1. Методика испытаний контактной и изгибной выносливости зубьев	227
6.3.2. Методы исследования нагруженности зубьев на различных участках контактных линий по изменению структурных характеристик материалов	233
6.3.3. Методика сравнительных испытаний износостойкости рабочих поверхностей зубьев	235
6.3.4. Методика исследований виброактивности зубчатых колес при стендовых испытаниях	239

Глава 7. Экспериментальные сравнительные исследования нагруженности, долговечности и виброактивности серийных и опытных зубчатых колес, а также узлов передач на их основе

7.1. Организация сравнительных испытаний	246
7.2. Экспериментальные исследования эпюр распределения нагрузки по длине контактных линий	247
7.2.1. Исследование восстанавливающихся свойств зубчатых венцов под статической нагрузкой	247
7.2.2. Сравнительные исследования распределения нагрузки в динамике	250
7.2.3. Оценка неравномерности по эпюре износа зубьев	257
7.2.4. Анализ изменений структурных характеристик материалов контактирующих поверхностей	259
7.3. Сравнительные исследования контактной и изгибной выносливости зубьев	261
7.4. Сравнительные исследования износостойкости зубьев	269
7.5. Анализ результатов сравнительных исследований виброактивности серийных и экспериментальных зубчатых колес	276
Заключение	287
Литература	295



ОЛЕГ ВАСИЛЬЕВИЧ БЕРЕСТНЕВ. САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИЕСЯ ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА

Редактор *С. В. Машканова*. Художник *А. Н. Петров*. Художественный редактор *В. А. Жаховец*. Технический редактор *Т. В. Летъен*. Корректор *В. И. Мартинович*. ИБ № 1983

Печатается по постановлению РИСО АН БССР. Сдан в набор 15.03.83. Подписано в печать 28.06.83. АТ 13220. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 1. Гарнитура литературная. Высокая печать. Печ. л. 9,75. Усл. печ. л. 16,38. Усл. кр.-отт. 16,38. Уч.-изд. л. 17,6. Тираж 1500 экз. Зак. № 498. Цена 2000 к. Издательство «Наука и техника» Академии наук БССР и Государственного комитета БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220600 Минск, Ленинский проспект, 68. Типография им. Франциска (Георгия) Скоринны Издательства «Наука и техника». 220600. Минск, Ленинский проспект, 68.