

УДК 621.822.6
ББК 34.445
П44

Издание доступно в электронном виде по адресу
ebooks.bmstu.press/catalog/283/book1207.html

Факультет «Робототехника и комплексная автоматизация»
Кафедра «Основы конструирования машин»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Авторы: М.М. Ермолаев, Б.И. Зубренков, А.С. Иванов, М.С. Куц,
С.В. Муркин, М.В. Фомин, А.В. Чиркин, А.В. Шматов

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор БГТУ им. Д.Ф. Устинова (Военмех) *В.Н. Ражиков*;
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой
«Теория механизмов и машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана *Г.А. Тимофеев*

Подшипники приводов : учебное пособие / [М. М. Ермолаев и др.] ;
П44 под ред. А. С. Иванова. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана,
2019. — 198, [2] с. : ил.
ISBN 978-5-7038-5106-7

Рассмотрены особенности расчета нагружающих подшипники сил, которые возникают в передачах: цилиндрических, конических, гипоидных, червячных, планетарных, планетарно-цевочных, с гибкой связью, в муфтах; приведены соответствующие формулы. Изложены расчет подшипников на ресурс в соответствии с действующим межгосударственным стандартом и расчет радиальных шариковых подшипников с увеличенным радиальным зазором. Особое внимание уделено области применения и расчету керамических подшипников, изготовленных из нитрида кремния или оксида циркония. Показано, что шариковые радиальные подшипники с увеличенным радиальным зазором способны воспринимать большие осевые силы. Рассмотрены области применения, конструктивные исполнения, особенности изготовления и расчеты опорно-поворотных подшипников. Уделено внимание конструктивным исполнениям и расчету подшипниковых узлов трех- и четырехопорных валов, применяемых в зарубежных мотор-редукторах. Затронуты вопросы диагностики шума и вибраций, создаваемых подшипниками. Представлены способы уменьшения материалоемкости подшипниковых узлов и машин в целом, уделено внимание проблемам их собираемости и разбираемости. Все главы содержат вопросы для самопроверки и многие из них – примеры расчета.

Для магистрантов технических университетов, обучающихся по направлению подготовки 150700 «Машиностроение». Может быть полезно аспирантам, преподавателям, а также специалистам в области машиностроения.

УДК 621.822.6
ББК 34.445

ISBN 978-5-7038-5106-7

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Основные обозначения	5
Глава 1. Приводы и их нагружение	7
1.1. Классификация приводов	7
1.2. Расчетные нагрузки приводов	8
1.3. Перегрузки приводов	12
Вопросы для самопроверки	14
Глава 2. Силы, возникающие в передачах и муфтах	15
2.1. Силы в зацеплении эвольвентной цилиндрической передачи	15
2.2. Силы в зацеплениях зубчатых конической и гипоидной передач	16
2.3. Силы в зацеплении червячной передачи	21
2.4. Силы в зацеплениях планетарной передачи	22
2.5. Силы в зацеплениях планетарно-цевочных передач	23
2.6. Силы, действующие в механизме параллельных кривошипов планетарно-цевочного редуктора $k-h-v$	26
2.7. Реакции в подшипниках сателлита планетарно-цевочного редуктора $k-h-v$	26
2.8. Реакции в подшипниках сателлита планетарно-цевочного редуктора $2k-v$	27
2.9. Силы, нагружающие валы передач с гибкой связью	27
2.10. Силы, возникающие от муфт	28
Вопросы для самопроверки	29
Глава 3. Напряжения и деформации в подшипниковом узле	30
3.1. Напряжения и деформации при начальных контактах в точке и по линии	30
3.2. Сближения при контакте по поверхности	34
3.3. Сближения тел качения с кольцами подшипника	37
3.4. Сближения подшипника по его посадочным поверхностям с валом и корпусом	39
Вопросы для самопроверки	39
Глава 4. Типы подшипников качения и их статическая грузоподъемность	40
4.1. Преимущества и недостатки подшипников качения. Их классификация	40
4.2. Обозначения подшипников	41
4.3. Основные типы подшипников	43
4.4. Распределение нагрузки в подшипнике по телам качения	50
4.5. Причины выхода из строя подшипников и критерии их расчета	51
4.6. Материалы подшипников и допускаемые в них напряжения	52
4.7. Геометрические и кинематические параметры подшипника	56
4.8. Статическая грузоподъемность подшипника	57
Вопросы для самопроверки	61

Глава 5. Параметры подшипников и требования к посадочным местам	62
5.1. Предельные частоты вращения	62
5.2. Зазоры в подшипниках	62
5.3. Преднатяг в подшипниках	63
5.4. Посадки колец подшипников качения	64
5.5. Технические требования к базирующим поверхностям валов и корпусов	66
5.6. Установочные размеры для подшипников качения	68
Вопросы для самопроверки	69
Глава 6. Динамическая грузоподъемность и расчетный ресурс подшипника	70
6.1. Основы расчета ресурса подшипника качения	70
6.2. Базовая динамическая грузоподъемность подшипника	70
6.3. Модифицированный ресурс подшипника	73
6.4. Системный коэффициент модификации ресурса	74
6.5. Относительная вязкость смазочного материала	75
6.6. Коэффициенты загрязнения для жидких смазочных материалов	75
6.7. Предел усталостной нагрузки	77
6.8. Эквивалентная динамическая нагрузка	77
6.9. Коэффициенты радиальной и осевой динамических нагрузок	78
6.10. Коэффициент вращения	80
6.11. Коэффициенты динамичности и температуры	81
6.12. Расчеты сдвоенных подшипников	82
6.13. Расчеты опор при переменных режимах нагружения	84
6.14. Нагрузочная способность радиального шарикового подшипника с увеличенным радиальным зазором	85
Вопросы для самопроверки	92
Глава 7. Установка вала на двух опорах	93
7.1. Виды осевой фиксации валов	93
7.2. Опоры с подшипниками нерегулируемых типов	95
7.3. Опоры с подшипниками регулируемых типов	104
7.4. Опоры эксцентриковых валов планетарно-цевочного редуктора $2k-v$	110
Вопросы для самопроверки	113
Глава 8. Установка вала на одной опоре. Опорно-поворотные подшипники	114
8.1. Конструктивные исполнения опорно-поворотных подшипников	114
8.2. Опорно-поворотные подшипники с проволочными дорожками качения ...	120
8.3. Расчет опорно-поворотных подшипников	121
8.4. Расчет винтов, крепящих опорно-поворотный подшипник к изделию	126
Вопросы для самопроверки	132
Глава 9. Установка вала на трех и четырех опорах	133
9.1. Конструктивные исполнения четырехопорных валов мотор-редукторов	133
9.2. Конструктивные исполнения трехопорных валов мотор-редукторов	135
9.3. Расчет реакций, возникающих в опорах многоопорных валов мотор- редукторов	140
Вопросы для самопроверки	147

Глава 10. Вибрация подшипников приводов	148
10.1. Вибрация, возбуждаемая подшипниками	148
10.2. Методы выделения вибрации подшипников при вибродиагностике качества сборки	155
10.3. Вибродиагностические признаки некачественной сборки	155
10.4. Вибродиагностика подшипниковых узлов в процессе эксплуатации	158
10.5. Экспериментальное определение собственных частот колебаний подшипниковых узлов	160
Вопросы для самопроверки	161
Глава 11. Конструктивное исполнение опор	162
11.1. Резьбовое соединение крышки подшипника с корпусом	162
11.2. Использование пружинного упорного кольца для передачи осевых сил от вала на корпус	168
11.3. Рекомендации по конструированию подшипниковых узлов	169
Вопросы для самопроверки	172
Глава 12. Смазывание подшипников	173
12.1. Виды смазывания	173
12.2. Смазывание подшипников жидким смазочным материалом	175
12.3. Вязкость смазочного материала	177
12.4. Пластичный смазочный материал, закладываемый в подшипники со встроенными защитными шайбами	178
Вопросы для самопроверки	180
Глава 13. Уплотнения	181
13.1. Виды уплотнений	181
13.2. Манжетные уплотнения	181
13.3. Торцовые уплотнения	183
13.4. Уплотнения опорно-поворотных подшипников	185
Вопросы для самопроверки	186
Глава 14. Монтаж подшипников	187
14.1. Механические методы монтажа	187
14.2. Монтаж подшипников в нагретом состоянии	187
14.3. Монтаж с охлаждением охватываемой детали	189
Вопросы для самопроверки	190
Заключение	191
Литература	193