

О. П. ЛЕЛИКОВ

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

СПРАВОЧНИК

3-е издание, исправленное

МОСКВА
«ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2023

УДК 621.822.6
ББК 34.445
Л43

Леликов О.П.

Л43 Подшипники качения: справочник. 3-е изд., испр. М.: Инновационное машиностроение, 2023. 667 с.: ил.
ISBN 978-5-907523-44-9

Рассмотрено контактное взаимодействие деталей подшипника. Приведены общие технические требования, технические характеристики подшипников качения, рекомендации по конструированию, монтажу и обслуживанию подшипниковых узлов. Приведены также технические данные новых типов подшипников: класса исполнения Explorer, сенсорных, с керамическими телами качения, с встроенными защитными шайбами или уплотнениями, с электроизолирующими, противоизносными покрытиями. Приведена номенклатура современных российских и зарубежных подшипников.

Изложена новая методика расчета ресурса подшипников, позволяющая учесть возможную степень загрязнения смазочного материала, качество изготовления и габариты подшипника.

Большое внимание уделено конструкциям уплотнений подшипниковых узлов, схемам установки подшипников и конструктивному оформлению опор на валах и в корпусах.

Представленные материалы сопровождаются многочисленными примерами расчета.

Для инженеров-конструкторов и специалистов всех отраслей промышленности, может быть полезен также слушателям факультета повышения квалификации, студентам вузов.

УДК 621.822.6
ББК 34.445

ISBN 978-5-907523-44-9

© ООО "Издательство "Инновационное машиностроение", 2023

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ	8
Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	8
Глава 2. КРАТКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДШИПНИКОВ ОСНОВНЫХ ТИПОВ	14
Глава 3. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	24
3.1. Общие сведения	24
3.2. Классы точности	25
3.3. Предельные отклонения	25
3.4. Материалы деталей подшипников	37
3.5. Шероховатость поверхностей подшипников качения	43
3.6. Показатели качества	44
Глава 4. КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ	45
4.1. Общие сведения	45
4.2. Теория упругого контакта (теория Г. Герца)	47
4.3. Развитие теории Г. Герца	60
4.4. Анализ напряженного состояния	63
4.5. Контактная прочность	66
4.6. Испытания на контактную усталость	71
4.7. Испытания подшипников качения на ресурс	73
4.8. Контактная жесткость	76
4.9. Проскальзывание при качении	78
4.10. Распределение сил по телам качения	83
4.11. Кинематика подшипника. Определение числа циклов нагружения	87
Глава 5. ЗАЗОРЫ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ НАТЯГИ В ПОДШИПНИКАХ	90
Глава 6. СТАТИЧЕСКАЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ, СТАТИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ НАГРУЗКА	100
6.1. Общие сведения, основные определения	100
6.2. Формулы для расчета базовой статической радиальной C_{0r} (осевой C_{0a}) грузоподъемности	103
6.3. Формулы для расчета статической эквивалентной радиальной P_{0r} (осевой P_{0a}) нагрузки	105

Глава 7. ДИНАМИЧЕСКАЯ РАСЧЕТНАЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ, ДИНАМИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ НАГРУЗКА	107
7.1. Общие сведения, основные определения	107
7.2. Формулы для расчета базовой динамической радиальной C_r (осевой C_a) расчетной грузоподъемности	110
7.3. Формулы для расчета эквивалентной динамической радиальной P_r (осевой P_a) нагрузки	119
Глава 8. РАСЧЕТНЫЙ РЕСУРС ПОДШИПНИКА	126
Глава 9. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	128
9.1. Выбор типов подшипников и схемы их установки	128
9.2. Определение сил, нагружающих подшипники	131
9.3. Подбор подшипников.	140
9.3.1. Расчет подшипников на статическую грузоподъемность	141
9.3.2. Расчет подшипников на заданный ресурс	142
9.3.3. Особенности расчета ресурса шариковых подшипников с малыми углами контакта	149
9.3.4. Расчет допустимой осевой нагрузки для роликовых радиальных подшипников	157
9.4. Примеры расчета	159
Глава 10. ТРЕНИЕ В ПОДШИПНИКАХ	172
Глава 11. ПРЕДЕЛЬНАЯ ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ	178
Глава 12. ПОСАДКИ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ НА ВАЛ И В КОРПУС	181
12.1. Поля допусков и посадки	181
12.2. Вероятностная оценка зазора/натяга в соединениях колец подшипника с валом и корпусом	186
12.3. Основные рекомендации по выбору посадок для колец подшипников	197
12.4. Выбор посадок колец подшипников на полый вал	210
Глава 13. ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ, МОНТАЖУ, ДЕМОНТАЖУ И ОБСЛУЖИВАНИЮ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ	211
Глава 14. СМАЗЫВАНИЕ ПОДШИПНИКОВ	226
Глава 15. НОВЫЕ ТИПЫ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ФИРМЫ SKF	250
15.1. Подшипники класса исполнения SKF Explorer.	250
15.2. Подшипники со встроенными уплотнениями	251
15.3. Подшипники с тороидальными роликами (подшипники CARB)	254
15.4. Подшипники с керамическими телами качения	268
15.5. Сенсорные подшипники и мехатронные устройства	275
15.6. Подшипники INSOCOAT с электроизолирующим покрытием.	280
15.7. Подшипники NoWear с керамическим покрытием	281
15.8. Подшипники с антифрикционным наполнителем Solid oil	282
15.9. Самоустанавливающиеся игольчатые подшипники	284
15.10. Комбинированные игольчатые роликоподшипники	285

15.10.1. Игольчатые подшипники в комбинации с шариковыми радиально-упорными подшипниками	285
15.10.2. Игольчатые подшипники в комбинации с упорным шариковыми ил роликовыми подшипниками	290
15.11. Шариковые радиальные подшипники для экстремальных температур	295
Глава 16. НОВАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	299
16.1. Общие сведения	299
16.2. Влияние загрязнений на работоспособность подшипников качения	302
16.3. Методика определения значения коэффициента загрязнения η_c	309
16.4. Анализ загрязнения смазочных материалов	311
16.5. Рекомендации по снижению загрязнений	317
16.6. Рекомендуемые для расчетов подшипников значения коэффициента η_c	318
16.7. Пример расчета	324
РАЗДЕЛ 2. РАЗМЕРЫ И ОСНОВНЫЕ РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	331
РАЗДЕЛ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОСАДОЧНЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ ВАЛОВ И КОРПУСОВ	410
Глава 1. ШЕРОХОВАТОСТЬ И ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ ПОСАДОЧНЫХ И ОПОРНЫХ ТОРЦОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.	411
Глава 2. ДОПУСТИМЫЕ УГЛЫ ВЗАИМНОГО ПЕРЕКОСА КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	418
Глава 3. ОТКЛОНЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОСАДОЧНЫХ И ОПОРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛА И КОРПУСА	420
Глава 4. ПРЕДЕЛЬНЫЕ РАДИУСЫ ГАЛТЕЛЕЙ ВАЛА И КОРПУСА	425
Глава 5. ЗАПЛЕЧИКИ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	430
РАЗДЕЛ 4. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ОПОР С ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ	451
Глава 1. КОНСТРУКЦИИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ	451
Глава 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОПОР ВАЛОВ КОНИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН	470
Глава 3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОПОР ВАЛОВ-ЧЕРВЯКОВ	478
Глава 4. ОПОРЫ ПЛАВАЮЩИХ ВАЛОВ	483
Глава 5. ОПОРЫ СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ВАЛОВ.	487
Глава 6. ОПОРЫ ВАЛОВ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ В РАЗНЫХ КОРПУСАХ	489
Глава 7. КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ И ВЫЧЕРЧИВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПОДШИПНИКОВ	491

РАЗДЕЛ 5. СОВРЕМЕННЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ	496
Глава 1. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ УПЛОТНЕНИЙ	496
Глава 2. МАТЕРИАЛЫ УПЛОТНЕНИЙ	510
Глава 3. МАНЖЕТЫ РЕЗИНОВЫЕ АРМИРОВАННЫЕ ДЛЯ ВАЛОВ ПО ГОСТ 8752–79	513
Глава 4. МАНЖЕТНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ СР ДЛЯ ВАЛОВ	531
Глава 5. ТОРЦОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ	542
Глава 6. V-ОБРАЗНЫЕ КОЛЬЦЕВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ	546
Глава 7. ОСЕВЫЕ ЗАЖИМАЕМЫЕ ХОМУТОМ УПЛОТНЕНИЯ	553
Глава 8. СМЕННЫЕ ВТУЛКИ ДЛЯ ВАЛОВ	557
РАЗДЕЛ 6. ТОРЦОВЫЕ КРЫШКИ УЗЛОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	562
РАЗДЕЛ 7. КОРПУСА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	628
РАЗДЕЛ 8. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ	644
Приложение А – Соответствие классов точности подшипников	658
Приложение Б – Упрочненные изображения подшипников качения на сборочных чертежах	660
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	665