OID®

Технический справочник

ИНЖЕНЕРНЫЙ СПРАВОЧНИК ПОДШИПНИКОВ OID

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ | ПОДБОР | РАСЧЁТЫ
КОНСТРУКЦИИ | МОНТАЖ | ЭКСПЛУАТАЦИЯ



ПРАКТИЧЕСКОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ ИЗДАНИЕ

Предисловие

Инженерный справочник OID — практический рабочий материал для специалистов, которые подбирают, монтируют, обслуживают, диагностируют и анализируют подшипники в реальных условиях эксплуатации.
Справочник построен как модульная система глав. Такой подход позволяет быстро находить нужную информацию и постепенно расширять издание без потери единой структуры.
Материал ориентирован на инженеров, механиков, специалистов МТО, ремонтных служб и технических специалистов отделов продаж.









www.onlyindustry.ru | order@onlyindustry.ru

00

Содержание справочника

Глава	Наименование
00	Служебные страницы, предисловие и содержание
01	Стандарты ISO и ГОСТ
02	Суффиксы и префиксы производителей
03	Внутренние зазоры
04	Классы точности
05	Посадки валов и корпусов
06	Геометрические требования к посадочным местам
07	Сепараторы
08	Уплотнения и защитные шайбы
09	Смазывание
10	Рабочая температура и скорость
11	Монтаж и демонтаж
12	Дефектация подшипников

1.1 Как пользоваться перечнем

Перечень помогает найти стандарты по теме и семейству подшипников. В таблице приведены обозначения ISO и ГОСТ / ГОСТ Р, включая отдельные редакции и части документов.

СРАВНЕНИЕ СТАНДАРТОВ
Документы в одной строке объединены по теме. Это не подтверждает их эквивалентность или взаимозаменяемость.

ВАЖНО
Перед применением проверьте актуальный статус, редакцию и область применения стандарта. Новая редакция не означает автоматической эквивалентности предыдущей.

Примечание. Знак «—» означает, что документ в данной колонке перечня не указан; это не доказывает отсутствие стандарта.

Таблица 1-А — Стандарты ISO и ГОСТ

Тема	ISO	ГОСТ / ГОСТ Р
Подшипники качения		
Внутренние зазоры	ISO 5753-1:2009; ISO 5753-2:2010	ГОСТ 24810-2013
Грузоподъёмность гибридных подшипников	ISO 20056-1:2017; ISO 20056-2:2017	—
Динамическая грузоподъёмность и ресурс	ISO 281:2007; ISO/TR 1281-1:2021; ISO/TR 1281-2:2008; ISO/TR 1281-2:2008/Cor 1:2009	ГОСТ 18855-2013
Допуски и общие технические требования	ISO 199:2023; ISO 492:2002; ISO 492:2023	ГОСТ 520-2011
Игольчатые опорные и комбинированные подшипники	ISO 7063:2018	ГОСТ 20531-75; ГОСТ 26676-85; ГОСТ 34931-2023
Измерение вибрации	ISO 15242-1…-4:2015–2017	ГОСТ 34905.1–34905.4-2022
Комбинированные и втулочные исполнения	—	ГОСТ 8545-75; ГОСТ 26290-90
Конические роликовые подшипники	ISO 355:2019	ГОСТ 6364-78; ГОСТ 6364-2026; ГОСТ 8419-75; ГОСТ 8419-2025; ГОСТ 27057-86; ГОСТ 27365-87; ГОСТ 27365-2023

Стандарты ISO и ГОСТ

01

Тема	ISO	ГОСТ / ГОСТ Р
Обозначения физических величин	ISO 15241:2012; ISO 15241:2012/Amd 1:2020	ГОСТ ISO 15241-2014
Общие и присоединительные размеры	ISO 15:2017	ГОСТ 3478-2012
Оценка чистоты	ISO 7544:2024	—
Повреждения и отказы	ISO 15243:2017	—
Подшипники и узлы железнодорожных букс	—	ГОСТ 18572-81; ГОСТ 18572-2014; ГОСТ 32769-2014
Предельная и тепловая частота вращения	ISO 15312:2018	ГОСТ 20918-75; ГОСТ 32305-2013
Приборные подшипники: методы контроля	—	ГОСТ Р 58866-2020; ГОСТ Р 58867-2020; ГОСТ Р 58868-2020; ГОСТ Р 70653-2023; ГОСТ Р 71626-2024
Приборные подшипники: технические условия	—	ГОСТ 10058-90; ГОСТ Р 71547-2024
Производственные линии колец	—	ГОСТ 26229-84
Радиально-упорные шариковые подшипники	—	ГОСТ 831-75; ГОСТ 831-2022; ГОСТ 832-78; ГОСТ 832-2022; ГОСТ 4252-2022; ГОСТ 8995-75; ГОСТ 8995-2025; ГОСТ 20821-75; ГОСТ 29241-91
Радиальные игольчатые подшипники	ISO 1206:2023; ISO 1206:2023/Amd 1:2024; ISO 3245:2023	ГОСТ 4060-2025; ГОСТ 4657-82; ГОСТ 4657-2022; ГОСТ 24310-80
Радиальные шариковые подшипники	—	ГОСТ 8338-75; ГОСТ 8338-2022; ГОСТ 9592-75; ГОСТ 9592-2024; ГОСТ 23179-78; ГОСТ 24850-81
Самоустанавливающиеся шариковые подшипники	—	ГОСТ 28428-90

Стандарты ISO и ГОСТ

Тема	ISO	ГОСТ / ГОСТ Р
Системы обозначений	ISO 10317:2008; ISO 10317:2008/Amd 1:2013	ГОСТ 3189-2024
Согласование применения подшипников	—	ГОСТ Р 71661-2024
Специальные среды и транспортные исполнения	—	ГОСТ 7199-77; ГОСТ 24368-80; ГОСТ Р 71668-2024
Статическая грузоподъёмность	ISO 76:2006; ISO 76:2006/Amd 1:2017; ISO/TR 10657:2021	ГОСТ 18854-2024
Сферические роликовые подшипники	—	ГОСТ 5721-75; ГОСТ 5721-2022; ГОСТ 9942-90; ГОСТ 24696-81; ГОСТ 24696-2023
Термины и методы контроля допусков	ISO 1132-1:2000; ISO 1132-2:2001	ГОСТ 25256-2013
Термины и цифровое описание	ISO 5593:1997; ISO 5593:2023; ISO 21107:2015; ISO 22872:2024; ISO/TS 23768:2022	ГОСТ 24955-81
Типы и конструктивные исполнения	—	ГОСТ 3395-89
Упорные цилиндрические роликовые подшипники	—	ГОСТ 23526-79; ГОСТ 29242-91
Упорные шариковые подшипники	ISO 104:2015	ГОСТ 7872-89; ГОСТ 7872-2025
Условные изображения на чертежах	ISO 8826-1:1989; ISO 8826-2:1994	ГОСТ 2.420-69
Уточнённые расчёты ресурса и надёжности	ISO 16281:2025; ISO 17956:2025; ISO/TR 25269:2026	—
Фаски, фланцы и заплечики	ISO 582:2026; ISO 8443:2022; ISO 12043:2007; ISO 12044:2014	ГОСТ 20226-82
Цилиндрические роликовые подшипники	—	ГОСТ 5377-79; ГОСТ 5377-2024; ГОСТ 7634-75; ГОСТ 7634-2023; ГОСТ 8328-75; ГОСТ 8328-2022

Стандарты ISO и ГОСТ

01

Тема	ISO	ГОСТ / ГОСТ Р
Шариковые подшипники с защитой и уплотнениями	—	ГОСТ 7242-81; ГОСТ 7242-2021; ГОСТ 8882-75; ГОСТ 8882-2021
Эксплуатационный контроль вибрации	—	ГОСТ 27164-86; ГОСТ Р 71670-2024
Тела качения		
Игольчатые ролики	ISO 3096:2018	ГОСТ 6870-81; ГОСТ 6870-2026 (принят, не введён)
Керамические тела качения: прочность и дефекты	ISO 3643:2024; ISO 19843:2018	—
Ролики с сепаратором в сборе	ISO 3030:2022; ISO 3031:2021	—
Цилиндрические ролики	ISO 12297-1:2021; ISO 12297-2:2018	ГОСТ 22696-2013; ГОСТ 25255-82
Шарики: размеры и технические условия	ISO 3290-1:2014; ISO 3290-2:2014	ГОСТ 3722-2014; ГОСТ 32932-2014
Корпуса и принадлежности		
Гайки, шайбы и стопорные устройства	ISO 2982-2:2013	ГОСТ 8530-90
Закрепительные и стяжные втулки	ISO 2982-1:2013	ГОСТ 25455-82; ГОСТ 25455-2026; ГОСТ 35069-2024
Кольца, канавки и фиксирующие элементы	ISO 464:2015; ISO 9628:2019; ISO 20515:2021	ГОСТ 2893-2022; ГОСТ 26576-85; ГОСТ 28707-90; ГОСТ 35276-2025
Корпуса подшипников качения	ISO 113:2010; ISO 3228:2013	ГОСТ 13218.1–13218.11-80
Посадочные поверхности, кольца и шайбы	ISO 246:2007; ISO 20516:2007	ГОСТ 3325-85
Торцовые крышки корпусов	—	ГОСТ 13219.1–13219.17-81; ГОСТ 18514-73

Стандарты ISO и ГОСТ

Тема	ISO	ГОСТ / ГОСТ Р
Шарнирные подшипники		
Статическая и динамическая грузоподъёмность	ISO 20015:2017; ISO/TR 20051:2020	ГОСТ 34869-2022
Термины	ISO 6811:1998; ISO 6811:1998/Cor 1:1999	—
Типы, размеры и технические условия	ISO 12240-1:1998; ISO 12240-2:1998; ISO 12240-3:1998; ISO 12240-4:1998; ISO 12240-4:1998/Cor 1:1999; ISO 24652:2023	ГОСТ 3635-78
Подшипники скольжения		
Гидродинамический расчёт сегментных и многоклиновых подшипников	ISO 12130-1:2021; ISO 12130-2:2020; ISO 12130-3:2020; ISO 12131-1:2020; ISO 12131-2:2023; ISO 12131-3:2020; ISO 31657-1:2025; ISO 31657-2:2025; ISO 31657-3:2025; ISO 31657-4:2025	—
Гидродинамический расчёт цилиндрических подшипников	ISO 6834:2022; ISO 7902-1:2026; ISO 7902-2:2020; ISO 7902-3:2026	ГОСТ ИСО 7902-1-2001; ГОСТ ИСО 7902-2-2001; ГОСТ ИСО 7902-3-2001
Гидростатический расчёт	ISO 12167-1:2023; ISO 12167-2:2021; ISO 12168-1:2019; ISO 12168-2:2019	—
Допуски и посадки	ISO 12129-1:2024; ISO 12129-2:2019	—
Контроль качества и статистическое управление	ISO 12301:2007; ISO 12302:2017; ISO 12308:2017	ГОСТ ИСО 12301-95
Корпуса, втулки и вкладыши	ISO 11687-1:2020; ISO 11687-2:2020; ISO 11687-3:2020	ГОСТ 11521–11525-82; ГОСТ 11607–11611-82; ГОСТ 25105-82; ГОСТ 25106-82
Лепестковые газодинамические подшипники	ISO 13939:2019; ISO 22423:2019	ГОСТ ISO 13939-2023; ГОСТ ISO 22423-2023
Металлокерамические и полимерные втулки	ISO 2795:2020; ISO 16287:2021	ГОСТ 28773-90; ГОСТ 28774-90; ГОСТ ИСО 2795-2001; ГОСТ Р 55944-2014

Стандарты ISO и ГОСТ

01

Тема	ISO	ГОСТ / ГОСТ Р
Обращение с подшипниками	ISO 21433:2025	ГОСТ ISO 21433-2023
Повреждения гидродинамических подшипников	ISO 7146-1:2019; ISO 7146-2:2019	—
Подача и контроль смазки	ISO 19349:2019; ISO/TR 17606:2014; ISO/TR 21784:2018	—
Подшипники автомобильных двигателей	ISO 21866-1:2020	ГОСТ Р 53836-2010
Свёртные втулки и их контроль	ISO 3547-1:2018; ISO 3547-2:2023; ISO 3547-3:2017; ISO 3547-4:2017; ISO 3547-5:2020; ISO 3547-6:2020; ISO 3547-7:2020	ГОСТ ИСО 3547-1-2006; ГОСТ ИСО 3547-2-2006; ГОСТ ИСО 3547-3-2006; ГОСТ ИСО 3547-4-2006; ГОСТ ИСО 12306-96; ГОСТ ИСО 12307-1-96; ГОСТ ИСО 12307-2-99
Смазочные элементы и твёрдые смазки	ISO 12128:2020; ISO 19259:2021; ISO 20054:2022; ISO/TS 24137:2023	—
Термины, классификация и символы	ISO 4378-2:2024; ISO 4378-3:2024; ISO 4378-4:2009; ISO 4378-5:2009; ISO/TR 4378-6:2012	ГОСТ ИСО 4378-4-2001
Тонкостенные вкладыши	ISO 3548-1:2022; ISO 3548-1:2022/Amd 1:2024; ISO 3548-2:2020; ISO 3548-3:2023; ISO 6282:2018	ГОСТ 28340-89; ГОСТ ИСО 3548-2002; ГОСТ ИСО 6524-95
Трибологические испытания	ISO 4821:2022; ISO 6281:2020	—
Упорные кольца и полукольца	ISO 6525:2018; ISO 6526:2017	ГОСТ 28801-90; ГОСТ 29203-91
Условные обозначения по ГОСТ ИСО 7904	—	ГОСТ ИСО 7904-1-2001; ГОСТ ИСО 7904-2-2001
Эксплуатация и специальные установки	—	ГОСТ 7999-70; ГОСТ 22915-78
FMEA и селективная сборка	ISO 12132:2017; ISO 13778:2017	ГОСТ ISO 13778-2024

Тема	ISO	ГОСТ / ГОСТ Р
Линейное перемещение		
Грузоподъёмность и ресурс	ISO 14728-1:2017; ISO 14728-2:2017	—
Линейные втулочные шариковые подшипники	ISO 10285:2007; ISO 10285:2007/Amd 1:2012	—
Принадлежности линейных втулок	ISO 13012-1:2018; ISO 13012-2:2018	—
Профильные направляющие	ISO 12090-1:2011; ISO 12090-2:2011	—
Роликовые блоки	ISO 19457:2026	—
Термины	ISO 24393:2008	—
Материалы, специфичные для подшипников		
Испытание материалов на сжатие	ISO 4385:2024	ГОСТ 29204-91
Испытания подшипниковых материалов	ISO 4384-1:2019; ISO 4384-2:2022; ISO 7148-1:2025; ISO 7148-2:2026; ISO 10129:2017	ГОСТ 29202-91; ГОСТ 29212-91
Материалы втулок	ISO 4379:2024	ГОСТ ИСО 4379-2006
Материалы для специальных условий	ISO 8838:2024; ISO 14287:2021; ISO 22507:2022	—
Металлические сплавы и основы	ISO 4381:2011; ISO 4382-1:2021; ISO 4382-2:2021; ISO 6279:2017; ISO 6280:2018	—
Многослойные материалы	ISO 4383:2012	ГОСТ ИСО 4383-2006
Повторное использование и утилизация	ISO 12843:2024	—
Полимерные материалы	ISO 6691:2021	—
Соединение слоёв и дефектоскопия	ISO 4386-1:2019; ISO 4386-2:2019; ISO 4386-3:2018	ГОСТ ИСО 4386-2-99; ГОСТ ИСО 4386-3-96
Термины и свойства материалов	ISO 4378-1:2024	ГОСТ ИСО 4378-1-2001

Стандарты ISO и ГОСТ

01

Тема	ISO	ГОСТ / ГОСТ Р
Усталость материалов подшипников скольжения	ISO 7905-1:2021; ISO 7905-2:2021; ISO 7905-3:2019; ISO 7905-4:2022	ГОСТ ИСО 7905-1-99; ГОСТ ИСО 7905-2-99; ГОСТ ИСО 7905-3-99; ГОСТ ИСО 7905-4-99
Смазочные нормативы, специфичные для подшипников		
Шумовые испытания пластичных смазок	ISO 21250-1…-4:2020	—
Авиационные / специальные		
Авиационная и ракетно-космическая техника	—	ГОСТ Р 71667-2024; ГОСТ Р 71669-2024
Вильчатые наконечники систем управления	ISO 9758:2000; ISO 9760:2000	—
Посадки в газотурбинных двигателях	—	ГОСТ Р 58996-2020
Самолётные подшипники: общие характеристики	ISO 1002:1983	—
Самолётные сферические роликовые подшипники	ISO 14192:1998	—
Самолётные шарнирные подшипники	ISO 10792-2:1995	—

Несколько брендов в одной строке объединены по общей проблеме, а не по эквивалентности изделий. CN без суффикса не является универсальным правилом: для отдельных семейств базовыми могут быть другие зазоры.

Обозначения исполнений — см. раздел 2; расчётные методики — профильные главы. HR — постоянный адрес правила для маркеров OID «Скрытые правила». Здесь приведены условия рассмотренных каталогов сторонних производителей, а не подтверждение текущего ассортимента.

3.1. Свойства и исполнения по умолчанию

Зазор и точность

Бренд	Обозначение / серия	Описание и подробное пояснение
FAG / Schaeffler NTN HR-3.1-001	Базовый зазор без отдельного указания	Если в обозначении подшипника нет суффикса C3 или C4, это не означает, что внутренний зазор не задан. У FAG/Schaeffler для перечисленных в каталоге семейств базовым может быть зазор CN без отдельного суффикса: это относится к радиальным шариковым, включая поколения C, самоустанавливающимся шариковым с цилиндрическим отверстием, двухрядным бессепараторным цилиндрическим и сферическим роликовым E1. Для других исполнений могут применяться C2, C3, C4, C5 или CM, поэтому сначала нужно определить точное семейство. У NTN для сдвоенных радиально-упорных подшипников без отдельного кода поставляется стандартный зазор, если он предусмотрен для данного типа, но из этого нельзя автоматически делать вывод, что это CN. При подборе замены нужно искать базовую группу зазора именно для конкретного семейства и исполнения.
Koyo / JTEKT HR-3.1-012	Вставные подшипники; исполнение и отверстие	У этих вставных подшипников группа внутреннего зазора может не наноситься на обозначение. В каталожных парах первое значение относится к подшипнику с цилиндрическим отверстием, второе - к подшипнику с коническим отверстием. Поэтому стандартное исполнение CN/C3 означает: CN для цилиндрического отверстия и C3 для конического. Для D1K2 соответственно C4/C5; для D2K2 и K3 - CN/C3; для S5 - C2/C3. У нержавеющего исполнения для цилиндрического отверстия указан C3, а значение для конического отверстия в рассматриваемой таблице не приведено. Сначала нужно определить конкретное исполнение и форму отверстия, и только после этого выбирать первое или второе значение из пары. Запись CN/C3 здесь не означает, что можно свободно выбрать любую из двух групп.
FAG /	Сферические роликовые	У базовых сферических роликоподшипников FAG/Schaeffler E1 отсутствие

Скрытые правила и неочевидные условия

03

Зазор и точность		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
Schaeffler HR-3.1-016	E1, базовое исполнение	отдельного суффикса класса точности не означает, что точность не установлена. Базовое исполнение E1 изготавливается с нормальными допусками радиальных подшипников, и этот уровень не требуется дополнительно указывать в обозначении. Специальные исполнения T41A и T41D имеют собственные, более ограниченные требования к размерам. Поэтому при сравнении E1 с другим подшипником нужно сопоставлять реальные допуски, а не только смотреть, есть ли в номере отдельный код точности. Совпадение основных размеров ещё не делает обычный E1 и T41A/T41D одинаковыми по точности.

Смазочные каналы, смазка и уплотнения		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
SKF FAG / Schaeffler HR-3.1-005	Сферические роликовые: SKF E, CC/CA; FAG E1	Наличие каналов для подачи смазки нельзя определять только по суффиксу W33. У сферических роликоподшипников SKF исполнения E кольцевая канавка и три смазочных отверстия входят в базовую конструкцию и отдельный W33 не требуется. У SKF CC/CA суффикс W33 означает канавку и три отверстия, а W20 - только три отверстия без канавки. У FAG/Schaeffler E1 также действует базовое правило о канавке и трёх отверстиях, но есть размерное исключение: серия 213..- E1 при диаметре отверстия d не более 35 мм в это общее правило не входит. Поэтому при подборе нужно определить точное исполнение и проверить чертёж или описание каналов; отсутствие W33 само по себе не доказывает, что подвод смазки отсутствует.
SKF HR-3.1-008	Вставные YAT 2 / YAR 2; 17262 / 17263	У вставных SKF одинаковая функция может обозначаться противоположным способом в разных сериях. В YAT 2 и YAR 2 два смазочных отверстия входят в стандартное исполнение, а суффикс W означает поставку без этих отверстий по запросу. В сериях 17262 и 17263 со стандартным внутренним кольцом ситуация обратная: в базовом исполнении отверстий нет, а суффикс B добавляет два отверстия. Поэтому нельзя переносить значение W или B с одной серии на другую по аналогии. Перед заказом нужно определить точную серию и проверить, входят ли отверстия в базовую конструкцию или добавляются отдельным кодом.
SKF HR-3.1-028	Закрытые радиальные шариковые — стандартная	У закрытых радиальных шарикоподшипников SKF стандартная заводская пластичная смазка обычно входит в базовое закрытое исполнение и не получает

Смазочные каналы, смазка и уплотнения		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
	смазка	отдельного суффикса. Отдельный код появляется, когда применяется специальная смазка. Поэтому отсутствие кода смазки не означает, что подшипник поставляется без смазки или что её тип неизвестен. При замене на изделие другого исполнения или бренда нужно сравнить характеристики самой смазки - её тип, вязкость и рабочий температурный диапазон. Два закрытых подшипника без дополнительного кода смазки не обязательно заполнены одинаковым составом.
SKF HR-3.1-029	Вставные: стандартное уплотнение, VP274	Суффикс VP274 нельзя использовать как единственный признак наличия уплотнения из NBR (нитрильного каучука). У вставного подшипника SKF со стандартным внутренним кольцом стальная шайба с уплотняющей кромкой из NBR (нитрильного каучука) может обозначаться VP274. В других базовых вставных исполнениях аналогичная конструкция уплотнения может входить в стандартную комплектацию без отдельного VP274. Поэтому отсутствие этого суффикса не доказывает, что уплотнения из NBR (нитрильного каучука) нет. Сравнивать нужно конкретные семейства и фактическую конструкцию уплотнения, а не только набор букв в обозначении.

Сепараторы, материалы и покрытия		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
FAG / Schaeffler SKF HR-3.1-017	Базовый сепаратор без суффикса	Отсутствие суффикса сепаратора не означает, что его материал и конструкция не определены. У FAG/Schaeffler E1 базовый сепаратор листовой стальной, если таблица не указывает иной вариант. У вставных SKF базовый сепаратор защёлкивающийся из стеклонаполненного полиамида PA66. У радиальных шариковых SKF INSOCOAT (электроизолированное исполнение) базовый сепаратор штампованный стальной и направляется шариками; код M означает механически обработанный латунный. У гибридных радиальных шариковых SKF базовый вариант также штампованный стальной, TN9 означает армированный полиамид PA66, TNH - термостойкий полимер PEEK (полиэфирэфиркетон), M - механически обработанную латунь. Для вариантов FAG E1 с M, MB1, TVPB и других табличных исполнений действуют отдельные условия. Поэтому при замене нужно сравнивать не только материал сепаратора, но и его конструкцию, способ направления и допустимые температурно-скоростные режимы.

Скрытые правила и неочевидные условия

03

Сепараторы, материалы и покрытия		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
SKF HR-3.1-015	VA406, цилиндрическое отверстие	Исполнение SKF VA406 - это не просто подшипник с покрытым отверстием. Покрытие из политетрафторэтилена (PTFE) нанесено на цилиндрическое отверстие внутреннего кольца, чтобы уменьшить фреттинг-коррозию, то есть повреждение от мелких относительных перемещений между валом и кольцом, и одновременно позволить валу свободно смещаться вдоль оси при тепловом удлинении в плавающей опоре. В описанной производителем схеме нагрузка вращается относительно наружного кольца; специальное покрытие или дополнительная термообработка вала не требуются. При замене VA406 нужно проверить, где в узле должно происходить осевое тепловое перемещение. Обычный подшипник тех же размеров может лишить плавающую опору этой функции.
FAG / Schaeffler HR-3.1-018	Сферические роликовые E1	У сферических роликоподшипников FAG/Schaeffler E1 бейнитная закалка по технологии Isotemp внутреннего кольца является частью базовой конструкции, а не дополнительной опцией, которая обязательно отражается отдельным суффиксом. Такая термообработка применяется для работы при повышенных нагрузках. Поэтому при подборе аналога недостаточно сравнить размеры и внешне похожую конструкцию E-типа. Нужно убедиться, что состояние материала и термообработка внутреннего кольца у заменяющего подшипника соответствуют требуемому режиму.
FAG / Schaeffler HR-3.1-019	213..-E1 и 222..-E1 малых размеров; также T41A/T41D	У малых FAG/Schaeffler 213..-E1 и 222..-E1 с кодом отверстия меньше 20 стальной листовой сепаратор имеет дополнительную защиту от износа - поверхностное упрочнение или покрытие. Это относится как к базовому исполнению, так и к указанным вариантам T41A/T41D. Поэтому два сепаратора могут выглядеть одинаково и быть изготовлены из стали, но иметь разную износостойкость. При замене подшипника этих серий и размеров нужно проверять не только материал сепаратора, но и наличие требуемой поверхностной обработки.
SNR HR-3.1-021	Корпуса SNC, базовое исполнение	Стандартный корпус SNR SNC изготовлен из серого чугуна. Для особенно высоких нагрузок доступен корпус из высокопрочного чугуна, который заказывается отдельно, хотя основные присоединительные размеры могут оставаться такими же. Поэтому два корпуса одинакового размера нельзя считать равноценными только потому, что они устанавливаются на то же место. Перед заменой нужно проверить материал корпуса и допустимую для него нагрузку.

Комплектность и заводская настройка		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
SKF HR-3.1-011	NKXR	Базовый SKF NKXR поставляется без штампованной стальной крышки. Суффикс Z означает, что такая крышка добавлена и узел становится неразъёмным. Поэтому отсутствие Z - это нормальное базовое исполнение, а не неполная маркировка. Замена NKXR на NKXR..Z или наоборот меняет разъёмность узла и способ удержания его деталей, поэтому варианты нельзя считать одинаковыми только по основному номеру.
SNR HR-3.1-022	SNC — состояние поставки	Корпус SNR SNC после распаковки ещё не подготовлен к немедленной подаче смазки. Плоский и конический смазочные штуцеры поставляются внутри корпуса, но не установлены. Смазочное резьбовое отверстие закрыто пластиковой транспортной пробкой, дренажное отверстие - металлической резьбовой пробкой, а выходы вала закрыты защитными крышками. Перед монтажом нужно выбрать и установить нужный штуцер и подготовить каналы по принятой схеме смазывания. Пластиковая пробка служит для транспортировки и не является рабочим смазочным штуцером.
Timken HR-3.1-025	Двухрядные TDO, TDI/TDIT; SR SET-RIGHT	Двухрядные Timken TDO, TDI/TDIT и сборки SR SET-RIGHT нельзя воспринимать как случайный набор стандартных колец. TDO обычно поставляется как согласованная сборка: двойное наружное кольцо, два одиночных внутренних кольца и распорный элемент между ними. У TDI/TDIT распорный элемент обычно расположен между наружными кольцами. Для SR производитель задаёт стандартный диапазон заводской настройки SET-RIGHT, а стопорное кольцо является опцией. При обслуживании нельзя смешивать кольца и распорные детали из разных комплектов. После замены нужно восстановить предусмотренный осевой зазор или преднатяг, то есть заранее заданное осевое положение пары.

03

3.2. Исключения по серии, размеру и конструкции

Сепараторы, материалы и пары трения

Бренд	Обозначение / серия	Описание и подробное пояснение
SKF HR-3.2-002	Сферические упорные роликовые: базовое и E	У сферических упорных роликоподшипников SKF конструкция сепаратора зависит и от исполнения, и от размера. В базовом варианте без суффикса, например 29272, применяется механически обработанный латунный гребенчатый сепаратор. В исполнении E при коде отверстия 68 и меньше применяется штампованный стальной оконный сепаратор, а при коде 72 и больше - механически обработанный металлический гребенчатый. Числа 68 и 72 здесь относятся к коду отверстия в конце основного номера, а не к диаметру в миллиметрах; например, в 29272 код отверстия равен 72. Поэтому одного суффикса E недостаточно, чтобы определить сепаратор. При переходе с базового исполнения на E нужно также проверить схему передачи осевой силы, потому что в некоторых узлах требуется проставочное кольцо, как указано в HR-3.2-003.
IKO HR-3.2-029	Шарнирные «сталь–сталь»; GE..ES ↔ GE..EC	Одинаковые габариты шарнирных подшипников IKO GE..ES и GE..EC не означают одинаковую работу поверхностей скольжения. В GE..ES сферические поверхности образуют смазываемую пару «сталь-сталь»; они фосфатированы и покрыты дисульфидом молибдена MoS2. GE..EC имеет другие рабочие поверхности: наружный скользящий слой из PTFE с медной сеткой и твёрдый хром на внутренней сферической поверхности, поэтому повторное смазывание не требуется. То есть при одинаковых установочных размерах меняются материал контактирующих поверхностей, необходимость смазки, трение и износ. Замену GE..ES на GE..EC или наоборот нельзя подтверждать только совпадением размеров.
SKF HR-3.2-011	ОПУ с перекрёстными цилиндрическими роликами, материал колец	У SKF опорно-поворотных подшипников (ОПУ) с перекрёстными цилиндрическими роликами материал колец зависит от размера. Для среднего диаметра дорожки качения до 1 094 мм в рассматриваемом каталоге стандартно указан материал C45E. При большем среднем диаметре указан 42CrMo4 с индукционной закалкой. Для заказных подшипников возможны другие варианты. Поэтому одинаковый тип или близкая размерная серия не гарантируют одинаковый материал колец и одинаковую термообработку. При замене крупного опорно-поворотного подшипника материал нужно проверять по конкретной позиции, а не переносить с меньшего

Сепараторы, материалы и пары трения		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
		размера.
FAG / Schaeffler HR-3.2-017	E1A-M / E1A-MB1	В FAG/Schaeffler E1A-M и E1A-MB1 оба сепаратора массивные латунные, но работают по-разному. В исполнении M сепаратор центрируется и направляется роликами, а в MB1 - внутренним кольцом. Кроме того, конструкция и доступность MB1 зависят от наружного диаметра подшипника: при диаметре больше 460 мм применяется однокомпонентный MB1, а в диапазоне больше 320 до 460 мм включительно MB1 доступен по согласованию. Поэтому одинаковый материал сепаратора ещё не означает одинаковое исполнение. При подборе нужно проверить способ его направления, конструкцию и наличие именно для нужного размера.
IKO HR-3.2-028	Шарнирные SB ↔ SB..A	Шарнирные подшипники IKO SB и SB..A могут иметь одинаковые габариты, но отличаются внутренним устройством и радиальным зазором. У SB..A радиальный зазор меньше. Наружное кольцо SB состоит из двух половин, а у SB..A кольцо имеет один разрез и не распадается на две части. Поэтому замена одного исполнения другим того же размера изменяет свободный люфт и поведение узла. Совпадение размеров здесь не означает одинаковую посадку и одинаковую работу шарнира.

Специальные исполнения и рабочий режим		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
SKF HR-3.2-013	Серия 223 для вибрации: E/VA405, EJA/VA405, CCJA/W33VA405	SKF VA405 для вибрационных применений - это не обычный подшипник серии 223, к которому просто добавили зазор C4. В указанных исполнениях C4, смазочная канавка и три отверстия входят в стандартную конструкцию; применяются два поверхностно-упрочнённых штампованных стальных оконных сепаратора и внутреннее кольцо без бортов. Кроме того, различается направление внутренней системы: у E/VA405 направляющее кольцо центрируется по внутреннему кольцу или сепараторам, а у EJA/VA405 и CCJA/W33VA405 - по дорожке наружного кольца. Поэтому обычный 223 с C4 не является полной заменой VA405, а разные варианты VA405 также нельзя считать одинаковыми внутри.
FAG /	Сферические роликовые:	Указание 200 °C в описании сферического роликоподшипника нельзя

Скрытые правила и неочевидные условия

Специальные исполнения и рабочий режим		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
Schaeffler NACHI HR-3.2-019	температурная стабильность компонентов	автоматически считать допустимой непрерывной температурой всей сборки. У FAG E1 термообработка колец допускает работу колец до +200 °C, но предел полиамидного сепаратора нужно проверять отдельно. В закрытом FAG рабочий диапазон смазки указан примерно от -35 до +180 °C, FKM-уплотнения - примерно от -30 до +180 °C с кратковременным повышением до +200 °C, тогда как кольца остаются стабильными до 200 °C. У сферических роликовых NACHI базовая термостабилизация также указана до 200 °C. Эти числа относятся к разным деталям и свойствам. Рабочую температуру всего подшипника нужно ограничивать по наиболее чувствительному компоненту и учитывать длительность нагрева.
FAG / Schaeffler HR-3.2-001	Сферические E1-T41A / E1-T41D	FAG/Schaeffler E1-T41A и E1-T41D - это специальные исполнения для колебательных и вибрационных нагрузок, а не обычный E1, в котором только установлен зазор C4. В них действительно входит C4, но одновременно действуют более узкие размерные допуски. Для подшипника с цилиндрическим отверстием ограничены допуски и отверстия, и наружного диаметра; для варианта с коническим отверстием - только наружного диаметра. Поэтому при замене нужно знать, цилиндрическое или коническое отверстие имеет конкретный подшипник. Обычный E1 с C4 не сохраняет все свойства T41A/T41D.
Koyo / JTEKT HR-3.2-009	Вставные узлы с установочными винтами — допустимая скорость	Для вставных узлов Koyo/JTEKT с установочными винтами каталожная допустимая скорость не является одним готовым числом для любого вала. Её нужно корректировать коэффициентом, который зависит от класса допуска вала, то есть от точности его диаметра и посадки. Дополнительная поправка зависит и от специального исполнения узла, например L3, D1K2, D2K2, K3 или S5. Поэтому два одинаковых по размеру узла на валах с разной точностью посадки могут иметь разную допустимую скорость. Перед применением каталожного значения нужно определить исполнение узла и фактический класс допуска вала.
FAG / Schaeffler NACHI SKF HR-3.2-014	Сферические радиальные и упорные: допустимый перекос	Каталожный угол допустимого перекоса нельзя воспринимать как одно постоянное число для всех режимов работы сферического подшипника. Для FAG/Schaeffler E1 приведённое значение относится к условию, когда нагрузка меньше 0,1·Cr, то есть меньше 10% базовой динамической грузоподъёмности, вращается внутреннее кольцо, а величина и направление перекоса практически не меняются. Если вращается наружное кольцо или перекос меняется во время работы, допустимый угол должен быть меньше. У NACHI значение около 2° является ориентиром и

Специальные исполнения и рабочий режим		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
		зависит от конкретной серии, скорости и условий работы. У сферических упорных SKF допустимый угол уменьшается с ростом нагрузки; при вращении свободного кольца или изменяющемся направлении перекоса требуется угол менее 0,1°. Поэтому углы нельзя переносить между брендами и семействами без проверки нагрузки и того, какое кольцо вращается.
NACHI HR-3.2-023	Сферические роликовые — высокая осевая нагрузка	Для описанных сферических роликоподшипников NACHI одной проверки общей грузоподъёмности недостаточно, если осевая нагрузка велика. Производитель ограничивает осевую нагрузку Fa значением 0,6 от радиальной нагрузки Fr. Fa - нагрузка вдоль оси вала, Fr - нагрузка поперёк оси. Если Fa превышает 0,6·Fr, требуется отдельная инженерная проверка конкретной конструкции. Поэтому даже расчёт ресурса, который выглядит достаточным, ещё не подтверждает допустимость сочетания осевой и радиальной нагрузок.
NACHI HR-3.2-024	Сферические роликовые — вибрация / вибросита / высокая скорость	Для сферических роликоподшипников NACHI работа на вибросите, при колебательных нагрузках или на высокой скорости требует отдельного выбора исполнения. Увеличенный внутренний зазор C3 или C4 сам по себе не превращает обычный подшипник той же серии в вариант для вибрационного режима. В таких условиях нужно проверить внутреннюю конструкцию и ограничения производителя для конкретного исполнения. Поэтому при замене нельзя ориентироваться только на размеры и группу зазора.

Монтаж, настройка и точность опоры		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
SKF HR-3.2-003	Сферические упорные роликовые: базовое → E	При переходе с базового сферического упорного роликоподшипника SKF на исполнение E одинаковые присоединительные размеры не гарантируют, что монтаж останется прежним. Если в исходной схеме осевая сила передаётся через направляющую втулку сепаратора, то при замене механически обработанного металлического сепаратора на штампованный стальной сепаратор исполнения E требуется дополнительное проставочное кольцо. Это требование относится именно к такой схеме передачи осевой силы. Поэтому перед заменой нужно проверить не только габариты подшипника, но и то, через какие детали в узле передаётся осевая нагрузка.

Скрытые правила и неочевидные условия

Монтаж, настройка и точность опоры		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
NSK IKO HR-3.2-006	Игольчатые со штампованным наружным кольцом	У игольчатых подшипников со штампованным наружным кольцом окончательная форма и рабочий зазор зависят не только от самого подшипника и вала, но и от корпуса, в который подшипник запрессован. NSK указывает, что окончательная форма и размерная точность такого кольца формируются после запрессовки. Для IKO без внутреннего кольца расчётные условия предполагают жёсткий стальной или чугунный корпус. Если корпус лёгкосплавный или тонкостенный, его деформация может изменить рабочий зазор, поэтому результат нужно проверять в собранном узле фактическим измерением. Значение зазора от подшипника с массивными кольцами или от корпуса другой жёсткости переносить нельзя.
NACHI HR-3.2-025	Сферические роликовые с коническим отверстием	Сферический роликоподшипник NACHI с коническим отверстием устанавливают с натягом. Степень посадки можно контролировать по осевому перемещению подшипника по конусу или по уменьшению радиального внутреннего зазора; в общем случае контроль уменьшения зазора считается надёжнее. Табличное осевое перемещение в рассматриваемом каталоге дано для сплошного вала. Полый вал более податлив, поэтому для получения сопоставимого натяга требуется большее перемещение. Нельзя брать значение для сплошного вала и без проверки применять его к полому: можно получить недостаточный натяг и неправильный остаточный зазор.
Timken HR-3.2-030	TS — однорядный конический роликоподшипник	Однорядный конический роликоподшипник Timken TS обычно работает не один, а в паре с противопоставленным подшипником. Рабочий осевой зазор или преднатяг, то есть заранее заданное осевое сжатие пары, устанавливается при сборке всего узла. Поэтому замена только одного подшипника без повторной настройки пары может изменить жёсткость опоры, рабочую температуру и ресурс. После замены нужно восстановить требуемую настройку всей пары, а не ориентироваться только на номер и размеры одной позиции.
SKF HR-3.2-035	Однорядные радиально-упорные: базовые и универсально комплектуемые	Два одинаковых однорядных радиально-упорных шарикоподшипника SKF не обязательно образуют готовую согласованную пару. Базовые одиночные подшипники не предназначены для непосредственной установки вплотную друг к другу. Универсально комплектуемые исполнения изготавливаются с согласованной шириной и выступанием колец, поэтому после установки парой получают предусмотренный зазор, преднатяг или распределение нагрузки. Перед сборкой нужно убедиться, что оба подшипника относятся именно к универсально

Монтаж, настройка и точность опоры		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
		комплектуемому исполнению и что их настройка соответствует схеме узла. При заказе SKF указывают количество отдельных подшипников, а не количество готовых пар.
Timken HR-3.2-031	TDIT — двойное внутреннее кольцо с коническим отверстием	Коническое отверстие в двухрядной сборке Timken TDIT предназначено не только для получения посадки с натягом. Такая конструкция облегчает регулярный демонтаж в узлах, где плотная посадка обязательна, но подшипник нужно периодически снимать для обслуживания. Поэтому при подборе замены важно оценить не только размеры и возможность установки, но и способ последующего снятия. Размерно подходящий вариант без такой возможности может сделать регламентный демонтаж значительно сложнее или привести к повреждению сопряжённых деталей.
NACHI HR-3.2-032	Высокоточные подшипники шпинделей	Высокий класс точности подшипника шпинделя NACHI сам по себе не обеспечивает такую же точность вращения всего шпиндельного узла. Посадочные поверхности вала и корпуса, их геометрия и взаимное положение должны соответствовать требованиям выбранной высокоточной опоры. Если точный подшипник установить на менее точные или геометрически неправильные посадочные места, ожидаемая точность узла не будет достигнута. Поэтому при проектировании и замене нужно проверять не только класс подшипника, но и требования к валу и корпусу; класс подшипника нельзя напрямую считать полем допуска вала.

Размеры, ассортимент и комплектация		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
SKF HR-3.2-010	Однорядные ОПУ с перекрёстными цилиндрическими роликами	У однорядных SKF опорно-поворотных подшипников (ОПУ) с перекрёстными цилиндрическими роликами габариты не основаны на общем международном или национальном размерном стандарте. В рассматриваемом каталоге размерная взаимозаменяемость с конкурентными изделиями заявлена только для диапазона, где средний диаметр дорожки качения не превышает 1 094 мм. Для более крупных размеров такое утверждение автоматически не действует. Поэтому совпадение нескольких габаритов выше этой границы нельзя считать подтверждением полной взаимозаменяемости; нужно отдельно проверять конкретный подшипник и его

Скрытые правила и неочевидные условия

Размеры, ассортимент и комплектация		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
		рабочие характеристики.
SKF HR-3.2-012	Радиально-упорные шариковые 72 B(E), 73 B(E), 72 AC, 73 AC	Наличие серии в каталоге SKF не означает, что каждое её исполнение выпускается во всех диаметрах отверстия. В рассмотренном ассортименте закрытые 72 B(E) приведены для d от 15 до 55 мм, 73 B(E) - от 12 до 50 мм, 72 AC - от 15 до 70 мм, 73 AC - от 17 до 70 мм; указанные границы включены. Здесь d означает диаметр отверстия подшипника. Это границы именно рассматриваемого стандартного ассортимента, а не утверждение, что заказные варианты за их пределами невозможны. Перед заказом нужно проверять наличие конкретного размера и исполнения, а не выводить его существование из шаблона номера серии.
FAG / Schaeffler HR-3.2-020	Открытые ↔ закрытые сферические роликовые	Открытый и закрытый сферический роликоподшипники FAG/Schaeffler могут иметь одинаковые основные размеры, но это ещё не гарантирует полную взаимозаменяемость. Производитель указывает сопоставимую грузоподъёмность для большинства закрытых размеров по отношению к открытым подшипникам с металлическим сепаратором, но не для каждой позиции. Поэтому для конкретного номера нужно отдельно сравнить динамическую и статическую грузоподъёмность Cr/C0, допустимую скорость, смазку, уплотнения, группу зазора C4 и внутреннюю конструкцию. Переносить рабочий режим одного исполнения на другое только по одинаковым габаритам нельзя.
SNR HR-3.2-033	Корпуса SNC: уплотнения и торцевая крышка	Комплект уплотнения корпуса SNR SNC рассчитан только на одну сторону корпуса. Если вал проходит через корпус насквозь, уплотнение нужно предусмотреть с обеих сторон. Если вал заканчивается внутри корпуса, на его конце торцевая крышка устанавливается в ту же канавку, где при сквозном вале находилось бы второе уплотнение. Поэтому один комплект нельзя считать комплектом на обе стороны, а торцевую крышку нельзя ставить вместе со вторым уплотнением в одну и ту же канавку. Комплектацию выбирают по тому, проходит вал насквозь или заканчивается в корпусе.

3.3. Скрытые условия таблиц и сносок

Зазор: таблица, монтаж и температура

Бренд	Обозначение / серия	Описание и подробное пояснение
NTN HR-3.3-021	Зазоры цилиндрических, игольчатых и сферических подшипников	В таблицах NTN для зазоров крупных подшипников не все числа имеют одинаковое происхождение. Сноска отдельно указывает собственные значения NTN: для взаимозаменяемых цилиндрических и игольчатых подшипников с цилиндрическим отверстием при d больше 500 мм и для сферических подшипников с цилиндрическим отверстием при d больше 1000 мм. Здесь d - диаметр отверстия подшипника. При этом сама таблица содержит и меньшие диаметры, поэтому указанные границы не означают, что таблица начинается только с 500 или 1000 мм. Они показывают, с какого диапазона определённые значения являются собственными значениями NTN. При использовании таблицы нужно понимать происхождение нужной строки и не выдавать фирменные значения NTN за универсальные значения ISO.
NTN HR-3.3-023	Двухрядные / сдвоенные: радиально-упорные шариковые и конические	При выборе внутреннего зазора для двухрядных или сдвоенных подшипников одного диаметра недостаточно. У радиально-упорных шарикоподшипников NTN применимость таблицы зависит от контактного угла: код A соответствует 30° и обычно может не наноситься, C - 15°, B - 40°. Для конических роликоподшипников используется другая логика: сначала учитывают угол и каталожный коэффициент e, а серии 329X, 330, 322C и 323C из рассматриваемой таблицы осевого зазора исключены. Поэтому сначала нужно определить тип подшипника и его угол, а уже затем выбирать строку по диаметру. Таблицы радиально-упорных шариковых и конических роликовых между собой не взаимозаменяемы.
ISO HR-3.3-011	ISO 5753-2:2010	ISO 5753-2:2010 нельзя использовать как общий стандарт осевого внутреннего зазора для всех радиально-упорных подшипников. В рассматриваемой области применения этот документ относится к шарикоподшипникам с четырёхточечным контактом и контактным углом 35°. Поэтому таблицы из ISO 5753-2 нельзя без дополнительной проверки переносить на другие радиально-упорные или четырёхточечные конструкции только потому, что в названии стандарта написано «Внутренний зазор - Часть 2».
NACHI NTN	Коническое отверстие; остаточный и рабочий	Для сферических роликоподшипников с коническим отверстием недостаточно выбрать C3 или C4 и выполнить табличное осевое перемещение при монтаже.

Скрытые правила и неочевидные условия

Зазор: таблица, монтаж и температура

Бренд	Обозначение / серия	Описание и подробное пояснение
HR-3.3-014	зазор	После посадки часть исходного внутреннего зазора уменьшается, и остаётся остаточный зазор; затем при работе его дополнительно меняет разница температур между внутренним и наружным кольцами. NACHI рекомендует особенно внимательно проверять остаточный зазор, если исходный зазор был в нижней половине допуска или разница температур велика. NTN указывает, что наружное кольцо обычно на 5-10 °C холоднее; охлаждение корпуса и нагрев вала могут ещё сильнее уменьшать рабочий зазор. При тяжёлом или скоростном режиме может потребоваться исходный зазор больше C3 и остаточный зазор выше табличного минимума. Нельзя увеличивать затяжку для «компенсации» нагрева: сначала согласуют исходный зазор, его уменьшение при монтаже и остаточный минимум, затем проверяют рабочий зазор при температуре.
Koyo / JTEKT SKF HR-3.3-009	Koyo вставные узлы; SKF ОПУ	Рабочий температурный диапазон узла определяется не только смазкой. У вставных узлов Koyo/JTEKT он зависит одновременно от смазки, материала и конструкции уплотнения и внутреннего зазора. У SKF опорно-поворотных подшипников (ОПУ) указанный диапазон примерно -25…+70 °C связан прежде всего с проставками, уплотнениями и смазкой. Кроме того, если внутреннее кольцо становится горячее наружного, внутренний зазор может уменьшаться, а в опорно-поворотном подшипнике может возрастать преднатяг. Поэтому замена смазки на более теплостойкую сама по себе не повышает допустимую температуру всего узла. Нужно проверять все ограничивающие элементы и разницу температур между кольцами.

Посадки, допуски и условия измерений

Бренд	Обозначение / серия	Описание и подробное пояснение
SKF HR-3.3-001	Игольчатые подшипники — таблицы допусков	В таблицах допусков SKF для игольчатых подшипников нельзя читать только числовые значения в строках и игнорировать сноску. В рассматриваемой таблице дополнительное требование ISO 14405-1 к «оболочке» - то есть к допустимому сочетанию фактического размера и геометрической формы поверхности - отдельно в каждой строке не повторяется, но действует для всех указанных классов допусков. Если таблицу переписать или использовать без этой сноски, часть обязательного геометрического условия будет потеряна. Поэтому при проверке

Посадки, допуски и условия измерений		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
		допуска нужно учитывать и числовое поле, и примечание к таблице.
SKF HR-3.3-002	Игольчатые: условия таблиц посадок корпуса	Для игольчатых подшипников SKF поле допуска корпуса или вала зависит от конкретной конструкции, материала корпуса и его жёсткости. Для комбинированных подшипников с упорной шариковой или цилиндрической частью в жёсткой опоре указан корпус M6 вместо K6. Для штампованных и самоустанавливающихся игольчатых подшипников корпус из стали или чугуна требует N6, а корпус из лёгкого сплава - R6. Если корпус недостаточно жёсткий, подходящий допуск вала определяют испытанием, потому что деформация корпуса влияет на установленный зазор. Для отверстия корпуса под штампованное наружное кольцо также указано геометрическое требование IT5/2. Поэтому нельзя взять одну зону допуска из таблицы и применять её ко всем вариантам; сначала нужно определить тип подшипника, материал и жёсткость корпуса.
SKF HR-3.3-006	Сферические упорные роликоподшипники — допуски	У сферических упорных роликоподшипников SKF слово «нормальный» не означает, что допуск общей высоты H просто равен обычному допуску ISO. Для базового исполнения SKF фактический допуск H как минимум на 50% уже допуска ISO, а для исполнения SKF Explorer (усовершенствованная серия) - на 75% уже. Поэтому подшипник другого производителя, который также называется «нормальным» по точности, может иметь заметно более широкий разброс общей высоты. При замене нужно сравнивать численные допуски конкретных изделий, а не только одинаковое словесное название класса.
NTN HR-3.3-019	Сноски к таблицам посадок	В таблицах посадок NTN основная зона допуска в строке не всегда является единственно возможной рекомендацией. В примечаниях к отдельным строкам указаны дополнительные варианты: для крупных подшипников и большой разницы температур между наружным кольцом и корпусом могут допускаться поля допусков G7 или F7; если нужна более высокая точность, отдельная сноска предлагает вместо поля допуска Js7 применять более точное Js6, а вместо K7 - K6. Эти варианты действуют только там, где это прямо указано в соответствующей строке и примечании. Поэтому нельзя использовать G7/F7, Js6 или K6 как универсальную замену для любой посадки NTN; нужно читать сноску именно к выбранной строке.
IKO HR-3.3-032	Шарнирные подшипники скольжения — таблицы	В таблицах IKO для шарнирных подшипников скольжения размер и внутренний зазор могут быть заданы не для полностью готового изделия, которое держат в

Скрытые правила и неочевидные условия

Посадки, допуски и условия измерений

Бренд	Обозначение / серия	Описание и подробное пояснение
	зазоров и допусков	руках после производства. Для некоторых семейств значения относятся к технологическому состоянию до разрезания наружного кольца, а в зависимости от типа - к состоянию до или после поверхностной обработки. Это различается между GE, SB/SB..A и SBB. Поэтому перед измерением нужно выяснить, на каком этапе изготовления определено табличное значение. Размер готового разрезного кольца нельзя напрямую сравнивать с допуском, который был задан для кольца до разрезания, иначе можно ошибочно признать исправное изделие несоответствующим.

Скорость, нагрузка и смазывание

Бренд	Обозначение / серия	Описание и подробное пояснение
SKF IKO HR-3.3-007	SKF INSOCOAT ML; IKO упорные игольчатые / роликовые	Табличную скорость нельзя автоматически считать одинаковой для масляного и пластичного смазывания. У SKF INSOCOAT с сепаратором ML, который направляется кольцом, рекомендуется масло; при пластичной смазке скоростной параметр n·dm ограничен значением 250 000 мм/мин, где n - частота вращения, а dm - средний диаметр подшипника. У указанных упорных подшипников IKO таблица скорости дана для масла; при пластичной смазке допускается не более 25% этой табличной скорости. Эти два ограничения относятся к разным семействам и не переносятся друг на друга. При выборе пластичной смазки нужно использовать именно ограничение своего производителя и своего исполнения.
NACHI HR-3.3-040	Сферические упорные роликовые E: выбор смазки	Для описанного сферического упорного роликоподшипника NACHI исполнения E масло требуется из-за особенностей внутренней конструкции. В узле есть скольжение между сепаратором и направляющей втулкой, а также между торцами роликов и бортом кольца. Поэтому пластичную смазку нельзя считать допустимой заменой масла только потому, что её температурный диапазон подходит. Это правило относится именно к указанному E-исполнению и не распространяется автоматически на все упорные подшипники. Перед изменением способа смазывания нужно проверить требования к конкретной конструкции.
NACHI HR-3.3-015	Сферические роликовые — минимальная нагрузка	Сферический роликоподшипник NACHI может повреждаться не только от перегрузки, но и от слишком малой нагрузки. При лёгком режиме ролики могут не катиться устойчиво, а проскальзывать по дорожкам, что вызывает повреждение.

Скорость, нагрузка и смазывание		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
		Для описанного семейства требуется нагрузка более 0,02·Cr, где Cr - базовая динамическая радиальная грузоподъёмность подшипника. Это условие нужно проверять и на холостом ходу. Поэтому отсутствие перегрузки ещё не означает безопасный режим: минимальная нагрузка также должна быть обеспечена.
NACHI HR-3.3-016	Нагрев: стабильность размеров и грузоподъёмность	При повышенной температуре нужно отдельно оценивать сохранение размеров подшипника и его допустимую грузоподъёмность. Общий каталог NACHI предупреждает, что без специальной термостабилизации выше примерно 120 °C возможны постоянные изменения размеров. Исполнение S26 стабилизировано до 150 °C, S28 - до 200 °C. Но даже в пределах температуры стабилизации расчётную грузоподъёмность может потребоваться корректировать по температуре, а выше предела стабилизации снижается твёрдость стали. Для сферических роликоподшипников NACHI действует отдельное правило о базовой стабилизации до 200 °C, указанное в HR-3.2-019. Поэтому нельзя считать, что если размеры остаются стабильными или смазка выдерживает температуру, то исходная грузоподъёмность Cr автоматически сохраняется.
NTN HR-3.3-024	Каталожная Cr: специальные материалы	Каталожная базовая динамическая грузоподъёмность Cr у NTN относится к подшипнику, изготовленному из стандартных материалов и по стандартному производственному процессу NTN. Если применяется специальный материал или специальная технология изготовления, значение Cr нельзя автоматически брать из строки стандартного подшипника тех же размеров. Для специального исполнения требуется своё подтверждённое значение грузоподъёмности. Поэтому при подборе или расчёте недостаточно совпадения геометрии; нужно проверить, к какому материалу и процессу относится указанная Cr.
NACHI HR-3.3-035	Высокоточные радиально-упорные шариковые: скоростная поправка	В высокоскоростном расчёте высокоточных радиально-упорных шарикоподшипников NACHI нельзя учитывать только внешние радиальную и осевую нагрузки Fr и Fa. На большой скорости тела качения создают дополнительные центробежные силы, которые увеличивают фактическую нагрузку внутри подшипника. Поэтому упрощённая формула, использующая только внешние Fr/Fa, действительна лишь в ограничённой скоростной области. Границу её применения нужно определять по методике конкретного исполнения NACHI. Если рабочая скорость выходит за эту область, расчёт необходимо выполнять по полной методике или согласовывать с изготовителем.

03

Монтаж корпусов и сопряжённых деталей		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
SNR HR-3.3-025	SNC фиксирующая опора	Чтобы сделать корпус SNR SNC фиксирующей опорой, одного фиксирующего кольца недостаточно. Подшипник должен быть ограничен по оси с обеих сторон, поэтому требуются два фиксирующих кольца - по одному с каждой стороны подшипника. Эти кольца не входят автоматически в корпус и заказываются отдельно. Правило относится именно к фиксирующей опоре; в плавающей опоре осевое перемещение допускается. При комплектации нужно проверить наличие обоих колец, иначе подшипник может нежелательно смещаться вдоль оси.
SNR HR-3.3-026	SNC — верхняя и нижняя половины корпуса	Верхняя и нижняя половины корпуса SNR SNC образуют согласованную пару: при производстве их обрабатывают совместно. Поэтому при разборке нескольких корпусов одного размера нельзя менять верхние и нижние половины местами между разными комплектами, даже если номера корпусов одинаковы. Смешивание половин может изменить геометрию посадочного отверстия и соосность. При обслуживании каждую верхнюю половину нужно возвращать к её собственной нижней половине.
SNR HR-3.3-029	SNC — опорная поверхность корпуса	Перед установкой корпуса SNR SNC недостаточно убедиться, что основание визуально выглядит ровным. Монтажная поверхность должна быть чистой и иметь точность не хуже указанного производителем уровня IT7 при контроле по диагонали; также приводится ориентир шероховатости около Ra 12,5 мкм. Если основание неровное, затяжка крепежа может принудительно деформировать корпус и исказить посадочное отверстие под подшипник. Поэтому состояние опорной поверхности нужно проверить до окончательной затяжки корпуса.
IKO HR-3.3-031	Упорный подшипник без колец WS/GS с дорожками качения	Если упорный подшипник IKO используется без отдельных колец WS/GS, поверхности вала или корпуса сами становятся дорожками качения. Обычная обработанная поверхность для этого не подходит. Производитель требует, чтобы такая дорожка была термообработана и отшлифована, имела твёрдость 58-64 HRC, достаточную глубину упрочнения и шероховатость менее Ra 0,2 мкм. Поэтому отказ от отдельных колец - это не просто способ уменьшить осевую высоту. Если использовать обычную поверхность вала или корпуса как дорожку, она быстро повредится.
SKF	Стяжные втулки с	Крупные стяжные втулки SKF с диаметром отверстия d 200 мм и более имеют не

Монтаж корпусов и сопряжённых деталей		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
HR-3.3-036	отверстием ≥ 200 мм	один, а два штатных канала подачи масла. Распределительные канавки выполнены и по отверстию втулки, и по её наружной поверхности. Поэтому при гидравлическом монтаже или демонтаже для создания масляного слоя в обоих сопряжениях требуются два гидравлических источника - помпы или инжектора - и соответствующие трубки. Подготовка только одного контура не соответствует конструкции такой втулки и может затруднить безопасное снятие.

Чистота, обслуживание и безопасность		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
NSK SKF SNR Timken HR-3.3-033	Новый подшипник: промывка, консервация, заводская смазка	Новые подшипники нельзя обрабатывать по единому правилу «всегда промывать» или «никогда не промывать». NSK обычно не рекомендует промывать новый подшипник, а подшипник, заранее заполненный смазкой, промывать нельзя; для инструментальных или высокоскоростных применений очищенное масло может использоваться для удаления консерванта с последующим восстановлением защиты. Закрытые SKF со смазкой на весь срок службы не промывают и не пересмазывают. При монтаже SNR SNC подшипник также не промывают и детали держат в упаковке до установки. У Timken консервант не является рабочей смазкой: при масляной смазке он обычно остаётся, но перед некоторыми специальными пластичными смазками его удаляют. Поэтому процедуру выбирают по конкретному исполнению, заводскому заполнению и совместимости материалов.
SNR HR-3.3-028	SNC — монтажная зона	При подготовке и монтаже корпуса SNR SNC нельзя использовать сжатый воздух для обдува деталей в чистой монтажной зоне. Поток воздуха поднимает пыль и мелкие частицы и может перенести их прямо к подшипнику. В рассматриваемой инструкции исключение сделано для применения ударного гайковёрта, но не для очистки деталей. Поэтому загрязнения нужно удалять способом, который не разносит частицы по зоне сборки.
NSK HR-3.3-034	Промывка демонтированного подшипника перед дефектацией	Снятый подшипник, который планируют осмотреть и, возможно, использовать повторно, нельзя вращать, пока внутри остаются твёрдые загрязнения. При предварительной промывке такие частицы могут попасть между телами качения и дорожками и сами создать новые повреждения. Сначала выполняют грубую очистку без вращения, затем - чистовую промывку. После очистки оценивают

Чистота, обслуживание и безопасность		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
		дорожки, наружные поверхности, износ сепаратора, увеличение внутреннего зазора и выход размеров за допуск. Это важно, чтобы повреждение, возникшее во время неправильной промывки, не принять за первоначальный эксплуатационный дефект.
FAG / Schaeffler HR-3.3-039	Закрытые сферические роликоподшипники с FKM/FPM-уплотнениями	Закрытые сферические роликоподшипники FAG/Schaeffler с уплотнениями из фторэластомера FKM/FPM требуют особой осторожности при сильном нагреве. При температуре примерно выше 300 °C фторэластомер может выделять вредные газы и пары, поэтому проблема касается не только сохранности уплотнения, но и безопасности персонала. Особенно опасен демонтаж с открытым пламенем или горелкой после аварийного перегрева. Такой узел нельзя нагревать открытым пламенем как обычный способ снятия. Если сильный нагрев неизбежен, нужно соблюдать требования паспорта безопасности материала уплотнения.

3.4. Межбрендовые ловушки

Зазор и независимость характеристик		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
NTN NSK NACHI HR-3.4-001	Специальные группы зазора комплектных деталей: ...NA, CC..., ...na	Похожие обозначения специальных групп внутреннего зазора у NTN, NSK и NACHI не означают одинаковые значения и не переводятся автоматически в обычный C3. У NTN коды NA/C1NA/C2NA/C3NA и т. п. относятся к собственной системе для определённых цилиндрических и игольчатых подшипников. У NSK CC/CC1…CC5 - другая система для невзаимозаменяемых деталей. У NACHI C9na/C1na/C2na и подобные значения приведены для невзаимозаменяемых цилиндрических подшипников с коническим отверстием и не являются стандартизированной таблицей японского стандарта JIS. Поэтому C3NA, CC3 и обычный C3 нельзя считать равными только из-за цифры 3; сначала нужно определить бренд, семейство и систему, к которой относится код.
Timken ↔ другие бренды HR-3.4-003	Четырёхрядные цилиндрические роликоподшипники: W33, C4	В обозначениях четырёхрядных цилиндрических роликоподшипников Timken W33 и C4 описывают разные свойства. W33 относится к смазочной канавке и отверстиям для подачи смазки, а C4 - к группе радиального внутреннего зазора. Наличие одного кода ничего не говорит о наличии другого. Поэтому при подборе аналога нельзя рассматривать сочетание W33/C4 как единый пакет и нельзя выводить C4 из W33 или W33 из кода зазора. Каналы смазки и внутренний зазор нужно проверять отдельно.
Timken ↔ другие бренды HR-3.4-004	CF и заказной RIC	В указанных четырёхрядных цилиндрических подшипниках Timken код CF не обозначает внутренний зазор. Он указывает на полуобработанное состояние детали, когда окончательная обработка выполняется заказчиком. Радиальный внутренний зазор обозначается в этой системе как RIC и задаётся отдельно при заказе сборки или внутреннего кольца. Это особенно важно, если наружная поверхность внутреннего кольца окончательно шлифуется уже после монтажа, потому что такая обработка влияет на конечный размер и зазор. Поэтому при подборе по похожим буквам нужно отдельно проверять состояние обработки детали и требуемый RIC.

Скрытые правила и неочевидные условия

03

Одинаковые коды — разные свойства		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
IKO — различия внутри бренда HR-3.4-013	Суффикс -2RS у шарнирных подшипников скольжения	Суффикс -2RS у шарнирных подшипников скольжения IKO не гарантирует одинаковый материал уплотнений во всех семействах. У GE..ES и GE..GS с парой скольжения «сталь-сталь» -2RS означает два полиуретановых уплотнения. У GE..EC, которые не требуют повторного смазывания, тот же суффикс относится к синтетическим полимерным уплотнениям другого типа. Поэтому по одним буквам -2RS нельзя переносить с одной серии на другую материал уплотнения, его температурный предел или химическую стойкость. Сначала нужно определить конкретное семейство.
Timken NTN NACHI HR-3.4-021	Буква B в разных семействах и компонентах	Буква B не имеет одного универсального значения для всех подшипников и производителей. У радиально-упорных шарикоподшипников NTN/NACHI B может обозначать контактный угол 40°. У Timken значение зависит от конкретной детали и места буквы в обозначении: B может указывать на фланцевое наружное кольцо, на латунный сепаратор внутреннего кольца или на ISO-вариант с теми же основными габаритами, но другой геометрией или углом. Поэтому перед расшифровкой B нужно определить бренд, тип подшипника, внутреннее или наружное кольцо и точную позицию кода. Иначе можно подобрать геометрически или конструктивно несовместимую деталь.
Timken HR-3.4-015	CP, X; D / H / R / S и родственные модификаторы	У Timken модификаторы CP, X, D, H, R, S и похожие буквы нельзя считать небольшими опциями, которые не влияют на взаимозаменяемость. В зависимости от конкретной строки каталога CP может означать тонкое хромирование с сохранением взаимозаменяемости или те же основные габариты при другой геометрии. X может обозначать ISO-деталь, паз или шпонку, специальное исполнение либо ISO-габариты с изменённой геометрией и повышенной грузоподъёмностью. D/H/R/S также могут менять размеры, геометрию, конкретное кольцо или сепаратор. Поэтому значение кода нужно определять по точной строке обозначения нужного внутреннего или наружного кольца, а затем отдельно проверять совместимость деталей. Совпадение числовой основы номера этого не подтверждает.
Timken NTN HR-3.4-022	NA: комплектное внутреннее кольцо или система зазоров	Одинаковые буквы NA у Timken и NTN относятся к разным свойствам. У Timken NA в рассматриваемой двухрядной нерегулируемой сборке означает, что внутренние кольца подобраны к конкретному двойному наружному кольцу; такие внутренние кольца не являются взаимозаменяемыми с другими кольцами того же базового

Одинаковые коды — разные свойства		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
		номера, а их отверстие или ширина могут отличаться. У NTN ...NA относится к специальным группам зазора для невзаимозаменяемых цилиндрических или игольчатых деталей. Поэтому нельзя сопоставлять изделия только по буквам NA и основному номеру. Нужно сравнивать конкретное семейство, назначение кода и совместимость отдельных компонентов.

Сопоставление стандартов		
Бренд	**Обозначение / серия**	**Описание и подробное пояснение**
ISO / ГОСТ HR-3.4-008	ISO 5753-1:2009 ↔ ГОСТ 24810-81	ISO 5753-1:2009 и ГОСТ 24810-81 относятся к теме внутреннего зазора, но это не означает, что группы и числовые значения можно переводить один в один. ISO 5753-1 распространяется только на указанные в нём типы радиальных подшипников; вставные подшипники и игольчатые со штампованным наружным кольцом из его области исключены. ГОСТ 24810 содержит собственный набор семейств и групп. Поэтому одинаковый номер группы в двух документах ещё не подтверждает одинаковый диапазон зазора. При сравнении нужно учитывать тип подшипника, форму отверстия и размер, а подробное сопоставление выполнять по разделу 1. Здесь сравниваются именно названные редакции стандартов, без вывода об их текущем статусе.
ISO ↔ ГОСТ HR-3.4-009	ISO 1132-1:2000 ↔ ГОСТ 25256-2013	ГОСТ 25256-2013 и ISO 1132-1:2000 используют похожую терминологию по геометрическим характеристикам подшипников, но ГОСТ 25256 прямо обозначен как неэквивалентный документ (NEQ) по отношению к ISO 1132-1:2000. Поэтому совпадение терминов или структуры определений нельзя использовать как доказательство того, что ГОСТ является идентичным принятием ISO. При сопоставлении терминов и требований нужно рассматривать оба документа отдельно.

Типы подшипников и быстрый выбор

Матрицы предназначены для предварительного выбора семейства подшипника или направляющей. Окончательный выбор определяется нагрузкой, размером, скоростью, ресурсом, посадкой, внутренним зазором, смазыванием, точностью монтажа и конкретным исполнением. Качественные оценки показывают относительные свойства конструкций и не являются числовыми пределами.

Условные обозначения OID

Категория	Обозначения и значение
Нагрузка и применимость	нет — нагрузка не воспринимается; основная — главное направление нагрузки; зависит — определяется конкретным исполнением.
Качественная шкала	малая / умеренная / высокая / очень высокая — относительная оценка свойства, а не числовой предел.
Направление	1 направление — нагрузка воспринимается в одну сторону; 2 направления — в обе стороны.
Жёсткость	способность подшипника или опоры сопротивляться деформации под нагрузкой
Несоосность	чувствителен; малый перекос; только начальный перекос; самоустановка; рабочий угловой перекос.
Универсальность оценки	нет единой оценки — значение зависит от конструкции или конкретного исполнения.

Словесные оценки предназначены только для предварительного сравнения. Они не заменяют расчёт грузоподъёмности, скорости, ресурса и других предельных параметров.

4.1. Основные вращательные подшипники

Семейство	Fr	Fa	скорость	несоосность	жёсткость	особенности	ограничения
Радиальный 1-рядный шариковый	основная	зависит 2 направления	очень высокая	малый перекос	средняя	низкое трение; электродвигатели, вентиляторы, приборы, редукторы	не для тяжёлой Fa и значительного перекоса
Радиально-упорный шариковый	основная	зависит 1 направление; 2 — пара / двухрядный	высокая	чувствителен	зависит	точное осевое положение; шпиндели, редукторы, насосы	требует правильной ориентации, схемы установки и настройки

Типы подшипников и быстрый выбор

04

Семейство	Fr	Fa	скорость	несоосность	жёсткость	особенности	ограничения
4-точечный шариковый	малая	высокая 2 направления	зависит	чувствителен	средняя	компактная двунаправленная осевая опора	нагрузка должна быть преимущественно осевой; не является ОПУ
Шариковый с самоустановкой	основная	малая	высокая	самоустановка	низкая	низкое трение; вентиляторы, длинные и прогибающиеся валы	не для тяжёлой Fa; пределы перекоса зависят от исполнения
Упорный шариковый	нет	зависит 1 направление; 2 — двусторонний	низкая	чувствителен; со сферической шайбой — только начальный перекос	высокая	малое осевое пространство; вертикальные валы, отдельные осевые опоры	требует осевого контакта; не воспринимает Fr
Цилиндрический роликовый	основная	зависит от бортов	зависит	чувствителен	очень высокая	электродвигатели, редукторы, прокатное оборудование, шпиндели	скорость и Fa различаются у сепараторных и полнокомплектных исполнений
Сферический роликовый	очень высокая	зависит 2 направления	средняя	самоустановка	высокая	тяжёлые редукторы, дробилки, бумагоделательное и прокатное оборудование	требуется достаточная минимальная нагрузка
Конический роликовый	основная	высокая 1 направление; 2 — пара / многорядный	средняя	чувствителен	зависит	ступицы, редукторы, оси, шпиндели	требует настройки зазора или преднатяга; свойства зависят от контактного угла

Типы подшипников и быстрый выбор

Семейство	Fr	Fa	скорость	несоосность	жёсткость	особенности	ограничения
Игольчатый роликовый, радиальный	основная	нет; комбинированный — зависит	зависит	чувствителен; у отдельных исполнений — только начальный перекос	высокая	компактные редукторы, трансмиссии, шарниры, шатуны	вал или корпус могут служить дорожкой; монтаж определяет точность и зазор
Упорный цилиндрический роликовый	нет	высокая 1 направление	зависит	чувствителен	очень высокая	тяжёлые осевые опоры при недостаточной способности упорного шарикового	не воспринимает Fr и перекос; двунаправленная схема требует второго комплекта
Упорный сферический роликовый	зависит при Fa	основная 1 направление	зависит	самоустановка	высокая	вертикальные валы, экструдеры, краны, литьевые машины	требуется минимальная Fa; режим зависит от смазывания, размера и компоновки
Упорный игольчатый	нет	высокая 1 направление	зависит	чувствителен	высокая	минимальная осевая высота	требуются точные плоские дорожки; перекос не допускается
Упорный конический роликовый	нет / зависит от специсполнения	основная 1 направление; 2 — двусторонний	зависит	зависит	очень высокая	тяжёлая осевая и ударная нагрузка	направление нагрузки, направляющие борта и регулировка зависят от конструкции
Тороидальный роликовый	очень высокая	нет	зависит	самоустановка	высокая	компенсирует перекос и осевое перемещение внутри подшипника	только плавающая радиальная опора; не фиксирует вал по оси

Типы подшипников и быстрый выбор

04

Семейство	Fr	Fa	скорость	несоосность	жёсткость	особенности	ограничения
Бочкообразный роликовый, однорядный	основная	малая	зависит	самоустановка	зависит	однорядная радиальная опора; допускает ударную нагрузку	малая Fa; параметры проверяют по конкретной серии
Упорный радиально-упорный шариковый	нет / зависит от исполнения	высокая 1 направление; 2 — двусторонний	высокая	чувствителен	высокая	высокая осевая точность и жёсткость	часто требуется отдельная радиальная опора
Радиальный подшипник скольжения / втулка	основная	нет	зависит	чувствителен	нет единой оценки	малое сечение; вращательное, качательное или линейное движение	материал, смазывание, вал и корпус образуют единую расчётную систему
Упорный подшипник скольжения / шайба	нет	основная	зависит	чувствителен	нет единой оценки	малое осевое сечение; вращательное или качательное движение	требуется жёсткая равномерная опорная поверхность
Радиальный шарнирный подшипник скольжения	основная	зависит	зависит	рабочий угловой перекос	нет единой оценки	качание и поворот при радиальной или комбинированной нагрузке	нагрузка, обслуживание и трение зависят от пары скольжения
Радиально-упорный шарнирный подшипник скольжения	зависит	основная 1 направление	зависит	рабочий угловой перекос	нет единой оценки	комбинированная нагрузка и установочное движение	направление нагрузки и обслуживание зависят от исполнения
Упорный шарнирный подшипник скольжения	зависит при Fa	основная 1 направление	зависит	рабочий угловой перекос	нет единой оценки	осевая или комбинированная нагрузка при установочном движении	не является обычной упорной шайбой; требуется проверка пары скольжения

4.2. ОПУ и прецизионные поворотные опоры

Mt — опрокидывающий момент. Fr, Fa и Mt рассматриваются совместно; качественная матрица не заменяет проверку допустимой комбинации нагрузок конкретного исполнения. Обычный четырёхточечный подшипник из раздела 4.1 и четырёхточечное ОПУ относятся к разным компоновочным группам.

Семейство	Fr	Fa	Mt	скорость	жёсткость	особенности	ограничения
1-рядное 4-точечное шариковое ОПУ	зависит от Fa и Mt	зависит 2 направления	зависит	зависит	средняя	универсальная схема для совместной нагрузки	комбинацию Fa/Mt и опорные поверхности проверяют по конкретному исполнению
2-рядное 4-точечное шариковое ОПУ	высокая	высокая 2 направления	высокая	зависит	высокая	двухрядная схема для комбинированной нагрузки	требует жёсткой и точной опорной конструкции
1-рядное ОПУ с перекрёстными цилиндрическими роликами	высокая	умеренная	высокая	зависит	высокая	точное позиционирование; возможен преднатяг	чувствительно к плоскостности и деформации опор
2-рядное цилиндрическое роликовое ОПУ	очень высокая	очень высокая	очень высокая	зависит	очень высокая	для тяжёлых комбинированных режимов	требует жёсткой опорной конструкции и точного монтажа
3-рядное роликовое ОПУ	очень высокая	очень высокая	очень высокая	зависит	очень высокая	отдельные ряды воспринимают радиальную и две осевые составляющие	требует контроля деформаций присоединительных поверхностей

Типы подшипников и быстрый выбор

Семейство	Fr	Fa	Mt	скорость	жёсткость	особенности	ограничения
ОПУ: ролики + шарики	зависит	очень высокая 1 направление	зависит	зависит	высокая	функции разделены между роликовым и шариковым рядами	направления нагрузок и работа рядов несимметричны
ОПУ с проволочными дорожками	зависит	зависит	зависит	зависит	зависит	малая масса; дорожки выполнены отдельными элементами	тяжёлые режимы требуют проверки числа рядов и опор
Прецизионный поворотный с перекрёстными роликами	зависит	зависит 2 направления	зависит	зависит	высокая	компактная опора для точного вращения; малое поперечное сечение	чувствителен к монтажной геометрии; не смешивать с ОПУ только по названию

4.3. Линейные подшипники и направляющие

Семейство	схема движения	ход	скорость	нагрузка/момент	жёсткость	особенности	ограничения
Линейная шариковая втулка	шарики циркулируют между втулкой и круглым валом	неограниченный	высокая	радиальная нагрузка; моментная способность ограничена	средняя	простая цилиндрическая направляющая; малое трение	вал служит дорожкой; чувствительна к прогибу, загрязнению и компоновке
Профильная шариковая направляющая	шарики циркулируют между блоком и профильным рельсом	неограниченный	высокая	нагрузки нескольких направлений и моменты	высокая	компактность; возможен преднатяг; разные классы точности	требует точной монтажной базы и защиты дорожек

Семейство	схема движения	ход	скорость	нагрузка/момент	жёсткость	особенности	ограничения
Профильная роликовая направляющая	ролики циркулируют между блоком и профильным рельсом	неограниченный	зависит	тяжёлая многовекторная нагрузка и моменты	очень высокая	высокая допустимая нагрузка и жёсткость	требует точной монтажной базы; скорость проверяют по исполнению
Линейная роликовая опора с рециркуляцией	ролики циркулируют по замкнутой дорожке	неограниченный	средняя	тяжёлая линейная нагрузка; момент зависит от схемы опор	очень высокая	предназначена для тяжёлого прямолинейного движения	требует согласованной установки опор и регулировки преднатяга
Линейная направляющая с перекрёстными роликами	чередующиеся ролики между V-образными дорожками	конечный	зависит	нагрузка по двум осям; момент зависит от компоновки	высокая	плавное точное движение; возможен преднатяг	длина хода ограничена; необходимо учитывать перемещение сепаратора
Шариковый шлиц	шарики циркулируют между гайкой и профильным валом	неограниченный	зависит	радиальная нагрузка и передача крутящего момента	высокая	линейное перемещение с одновременной передачей момента	не заменяет обычную втулку без проверки момента и профиля вала

4.4. Специализированные группы

Семейство	когда выбирать	ключевое преимущество	главное ограничение
Вставной подшипник *пример: UC205*	нужна готовая к установке опора с простой фиксацией на валу	встроенные уплотнения и смазка; несколько способов фиксации	допускает только начальную статическую несоосность; режим зависит от фиксации
Корпусной подшипниковый узел *пример: UCP205*	требуется готовая заменяемая опора с корпусом	простой монтаж; широкий выбор форм корпуса	корпус, основание, крепёж и направление нагрузки проверяют отдельно

Типы подшипников и быстрый выбор

04

Семейство	когда выбирать	ключевое преимущество	главное ограничение
Наконечник штока *пример: SI20T/K*	требуется шарнирное соединение тяги или цилиндра	шарнирный подшипник и резьбовой хвостовик объединены в одном узле	отдельно проверяют хвостовик, корпус, направление нагрузки и пару скольжения
Опорные ролики / ролики с цапфой *пример: KR 35 PP*	наружное кольцо должно катиться непосредственно по плоской или профильной дорожке	толстостенное наружное кольцо; варианты с отверстием или собственной цапфой	дорожка, монтаж оси или цапфы и кромочная нагрузка входят в расчётную систему
Тонкостенный подшипник *пример: KA040XP0*	нужен большой диаметр при минимальном поперечном сечении	компактная радиальная компоновка	свойства зависят от внутренней шариковой схемы; деформация колец и монтаж критичны
Разъёмный роликовый подшипник *пример: Cooper 01 B 40MM*	нет доступа для монтажа с конца вала	установка вокруг существующего вала без демонтажа соседних узлов	не считать равной заменой неразъёмному типу; стыки влияют на режим работы
Прецизионный осево-радиальный комбинированный *пример: YRT 260*	нужна точная жёсткая поворотная ось или стол при Fr, Fa и Mt	готовый преднагруженный узел с радиальными и осевыми рядами	скорость обычно ограничена; крепёж и опорные поверхности являются частью системы

Быстрый выбор по задаче

Задача	Быстрый ориентир
Высокая скорость	радиальный однорядный шариковый; радиально-упорный шариковый — при необходимости осевой фиксации.
Высокая Fr	цилиндрический роликовый; сферический роликовый — при ударной нагрузке, прогибе вала или несоосности.
Высокая Fa	упорный цилиндрический или упорный конический роликовый; упорный сферический — при одновременной Fr и несоосности.
Совместная Fr + Fa	конический роликовый; радиально-упорный шариковый — при приоритете скорости и точного осевого положения.

Типы подшипников и быстрый выбор

Задача	Быстрый ориентир
Несоосность или прогиб вала	самоустанавливающийся шариковый при умеренной Fr; сферический роликовый при высокой Fr; шарнирный подшипник — для углового установочного движения.
Минимальное радиальное пространство	радиальный игольчатый или втулка скольжения; тонкостенный — при большом диаметре и малом поперечном сечении.
Высокая жёсткость	цилиндрический роликовый для вращения; профильная роликовая направляющая для линейного движения.
Совместная Fr + Fa + Mt	ОПУ; прецизионный перекрёстно-роликовый — для компактного точного поворотного узла.
Линейное перемещение	шариковая втулка для круглого вала; профильная шариковая для скорости; профильная роликовая для жёсткости; шариковый шлиц — при передаче момента.
Труднодоступный монтаж	разъёмный роликовый подшипник с обязательной проверкой влияния стыков и конкретного исполнения.

Содержание

Что необходимо подготовить до расчёта	2	5.6. Переменные нагрузки и скорости	21
Последовательность расчёта OID	3	5.7. Специализированные расчётные ветви	23
Основные обозначения	4	5.8. Карта выбора расчётной модели	27
5.1. Что означают C, C0, P и P0	6	5.9. Указатель формул и контроль единиц	27
5.2. Эквивалентная динамическая и статическая нагрузка	8	5.10. Форма расчётного листа	30
5.3. Минимальная нагрузка и статическая безопасность	11	5.11. Нормативная база и правила публикации OID	31
5.4. Базовый ресурс L10 и L10h	14	5.12. Расчётные примеры	31
5.5. Модифицированный ресурс Lnm	16		

Логика чтения: сначала исходные данные и основные обозначения, затем расчётные модели, ресурс и специализированные ветви, в конце — контрольные формы и примеры.

Нагрузка и ресурс

05

Расчёт нагрузки и ресурса отвечает сразу на три независимых вопроса: выдержит ли подшипник максимальную или ударную нагрузку без недопустимой остаточной деформации, достаточно ли нагрузки для устойчивого качения и каков ожидаемый усталостный ресурс. Если пропустить хотя бы одну из этих проверок, большое значение L10 само по себе не подтверждает работоспособность узла.

Практическое правило главы: сначала определить класс опоры и реальные нагрузки, затем отдельно проверить статику, минимальную нагрузку и усталостный ресурс. Только после этого переходить к модифицированному ресурсу и специализированным моделям.

Что необходимо подготовить до расчёта

Таблица 5.1. Исходные данные, необходимые до начала расчёта

Исходные данные	Что именно нужно
Силы и моменты	Fr и Fa по каждому режиму; Mt или M для систем, где момент входит в модель; отдельный максимум для ударов и остановок.
Изделие OID	Точный тип, число рядов, контактный угол, схема O/X/тандем, способность воспринимать осевую нагрузку.
Техническая карточка OID	C, C0, a для модифицированного ресурса Cu; при необходимости f0, α, dp/DM, предельные скорости и исполнение-зависимые коэффициенты.
Расчётные таблицы главы	X, Y, e, X0, Y0, a1, eC, минимальная нагрузка, коэффициенты специализированных ветвей — если они приведены в этой главе.
Режим	Частота вращения n или ход/частота циклов; длительность каждого режима; рабочая температура.
Смазывание	Кинематическая вязкость базового масла при рабочей температуре; состояние чистоты/фильтрации.

Правило самодостаточности расчёта

Расчёт выполняют только по данным этой главы, фактическим условиям узла и технической карточке OID конкретного изделия. Все общие формулы, коэффициенты, правила интерполяции и справочные таблицы, применённые в примерах главы, должны находиться здесь же.

Таблица 5.2. Источники исходных данных для расчёта OID

Источник данных	Что из него берём	Пример
Условия узла	Нагрузки, момент, скорость, температура, режим времени, состояние загрязнения	Fr, Fa, Mt, n, T
Техническая карточка OID	Только параметры конкретного изделия	C, C0, Cu, f0, α, dp/DM, nlim
Глава 5 OID	Все общие расчётные коэффициенты и правила	X/Y/e, X0/Y0, a1, eC, v1, Pmin, интерполяция
Спец. изделие OID	Только если модель по природе исполнение-зависима	кривые ОПУ, допустимая нагрузка внешней дорожки, пределы материала скольжения

Если для формулы требуется коэффициент, которого нет ни в этой главе, ни в технической карточке OID конкретного изделия, расчёт останавливают. Значение не разрешается угадывать или переносить из другого семейства.

Последовательность расчёта OID

1. Определить Fr, Fa и при необходимости Mt/M для всех рабочих, пиковых и остановочных режимов.
2. Выбрать правильную расчётную ветвь для конкретного типа подшипника и получить P.
3. Для максимального режима получить P0 и проверить статическую безопасность s0.
4. Проверить минимальную нагрузку Pmin или Fmin конкретного семейства.
5. Рассчитать базовый ресурс L10 и, при постоянной скорости, L10h.
6. Если требуется повышенная надёжность или учёт смазывания и загрязнения — рассчитать Lnm.
7. Если это линейная система, ОПУ, перекрёстно-роликовая поворотная опора, опорный ролик или подшипник скольжения — перейти к специализированной ветви.

Нагрузка и ресурс

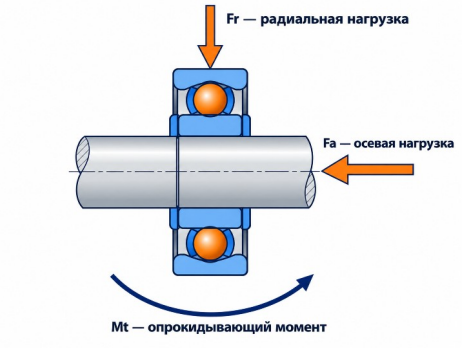


Рис. 5.1. Схема направлений Fr, Fa и момента. Перед расчётом фиксируют оси и положительные направления.



Рис. 5.2. Схема последовательности расчёта OID: статика, минимальная нагрузка, усталость и выбор специализированной модели.

Основные обозначения

Таблица 5.3. Основные обозначения главы

Обозначение	Смысл	Единица
Fr	радиальная составляющая фактической нагрузки	N или kN
Fa	осевая составляющая фактической нагрузки	N или kN
Mt / M	опрокидывающий или расчётный момент в специализированной модели	N·mm, N·m, kN·m
C	базовая динамическая грузоподъёмность конкретного изделия	N или kN
C0	базовая статическая грузоподъёмность конкретного изделия	N или kN
P	эквивалентная динамическая нагрузка	те же, что C
P0	эквивалентная статическая нагрузка максимального режима	те же, что C0

Обозначение	Смысл	Единица
s0	коэффициент статической безопасности	безразмерный
n	частота вращения	min^{-1} (об/мин)
p	показатель степени: 3 для шариков; 10/3 для роликов	безразмерный
L10	базовый ресурс при 90% надёжности	млн оборотов
L10h	тот же ресурс при постоянной скорости	h
a1	коэффициент требуемой надёжности	безразмерный
κ	отношение фактической и опорной вязкости v/v1	безразмерный
eC	коэффициент загрязнения в ISO-модели	безразмерный
Cu	предел усталостной нагрузки конкретного подшипника	N или kN
aISO	коэффициент модифицированного ресурса	безразмерный

Не путать одинаковые символы в разных моделях. Например, “p” в формулах ресурса качения — показатель степени, а «p” в расчёте подшипника скольжения — удельная нагрузка.

5.1. Что означают C, C0, P и P0

Динамическая грузоподъёмность C — расчётная характеристика для усталостного ресурса при повторном нагружении. Статическая грузоподъёмность C0 относится к контактному нагружению, при котором нормируется остаточная деформация наиболее нагруженного контакта. Эти величины нельзя взаимозаменять.

Таблица 5.4. Физический смысл C, C0 и расчётных моделей

Система	Что означает C / C0	Главная проверка
Вращающийся подшипник качения	C связано с базовым ресурсом; C0 — со статическим контактным состоянием. Для радиальных и упорных исполнений направления нормирования грузоподъёмности различаются.	P → L10; P0 → s0; отдельно Pmin

Нагрузка и ресурс

05

Система	Что означает C / C0	Главная проверка
Линейная система качения	C относится к нормированной дистанции, которая может быть 50 km, 100 km или 10^5 m. C0 относится к статическому контакту.	Путь, нагрузка наиболее нагруженного блока, S0
ОПУ	Одного C/C0 недостаточно: Fr, Fa и Mt рассматриваются совместно; дорожки и крепёж проверяют отдельно.	Точка нагрузки на диаграммах и специализированная модель
Опорный ролик	Внутренний контакт имеет свой C/C0; дополнительно проверяются наружное кольцо, цапфа и внешняя дорожка.	Внутренний ресурс + внешняя контактная способность
Подшипник скольжения	Символы нагрузки относятся к допустимому режиму материала, а не к ISO-ресурсу L10.	p, v, p·v, температура и зависящий от материала ресурс

Нормативная основа общей расчётной части: ISO 281, ISO 76 и ISO 14728-1/-2. Для специализированных систем в публичной главе приводятся только те формулы, коэффициенты и ограничения, которые полностью определены в этой главе или в технической карточке OID конкретного исполнения. Внутренняя трассировка источников хранится отдельно от справочника.

Какие данные брать из технической карточки OID

- Для радиального подшипника — соответствующие Cr/C0r; для упорного — Ca/C0a. Нельзя подставлять радиальную грузоподъёмность в осевую ветвь.
- Для парных и многорядных исполнений грузоподъёмность должна относиться именно к этой сборке либо рассчитываться по разрешённой групповой модели.
- Для линейных систем обязательно зафиксировать базовую дистанцию нормирования грузоподъёмности: 50 km, 100 km или 10^5 m.
- Для миниатюрных и крупногабаритных стандартных подшипников базовая C/P-модель сохраняется, но фактический срок службы может ограничиваться смазкой, деформацией колец, монтажом и другими механизмами.

C и C0 — не допустимые рабочие нагрузки «в общем смысле». Это нормированные расчётные характеристики, используемые внутри конкретных расчётных моделей. Допустимость режима определяется не одним сравнением F<C.

Ориентир требуемого ресурса для постановки задачи

Перед расчётом полезно задать требуемый ресурс оборудования. Диапазоны ниже — ориентиры для постановки технического задания, а не обязательные нормы для любого механизма.

Таблица 5.5. Ориентиры требуемого ресурса при постановке задачи

Характер работы оборудования	Ориентир, h
Бытовое, сельскохозяйственное, приборное и периодически используемое оборудование	300–3 000
Кратковременная / периодическая промышленная работа	3 000–8 000
Периодическая работа с повышенными требованиями к надёжности	8 000–12 000
Около 8 h/сут, неполная загрузка	10 000–25 000
Около 8 h/сут, высокая загрузка	20 000–30 000
Непрерывная 24-h эксплуатация	40 000–50 000
Ветроэнергетические приводы и генераторные опоры	30 000–100 000
Водохозяйственные / судовые непрерывные механизмы	60 000–100 000
Крупные электрические машины, энергетика, тяжёлые шахтные механизмы	100 000–200 000

Диапазоны ниже приняты в справочнике OID только как ориентиры для постановки требуемого ресурса. Они не заменяют техническое задание, отраслевые нормы или требования заказчика.

5.2. Эквивалентная динамическая и статическая нагрузка

Внешние Fr и Fa сначала преобразуют в эквивалентную нагрузку. Она представляет собой постоянную нагрузку, которая в выбранной модели создаёт такое же усталостное воздействие, как фактическая комбинация сил. Общая запись приведена в формуле (5.1), а коэффициенты выбирают по таблицам 5.6–5.8 и технической карточке OID конкретного исполнения.

$$P = X \cdot Fr + Y \cdot Fa \quad (5.1)$$

X, Y и порог e выбирают по расчётной ветви OID для конкретного типа, контактного угла, рядности и схемы установки. Для однорядного радиального шарикового подшипника с нормальным рабочим зазором таблица e/X/Y приведена непосредственно ниже в этой главе.

Общая запись удобна как оболочка, но не универсальна. Сначала определяют конструкцию подшипника, затем ветвь коэффициентов. Для многих конструкций проверяют отношение Fa/Fr или Fr/Fa относительно e; для радиального роликового при α=0° и чисто радиальной нагрузке P=Fr; для упорного при α=90° — P=Fa.

Динамические расчётные ветви по типу подшипника

Таблица 5.6. Динамические расчётные ветви без частных данных серии

Тип и условие	e	X	Y	Ветвь
Радиальный роликовый, α=0°, чистая Fr	—	1	0	P = Fr
Однорядный угловой роликовый, α≠0°, Fa/Fr ≤ e	1,5·tan α	1	0	P = Fr
Однорядный угловой роликовый, α≠0°, Fa/Fr > e	1,5·tan α	0,4	0,4·cot α	P = XFr + YFa
Двухрядный угловой роликовый, α≠0°, Fa/Fr ≤ e	1,5·tan α	1	0,45·cot α	P = XFr + YFa
Двухрядный угловой роликовый, α≠0°, Fa/Fr > e	1,5·tan α	0,67	0,67·cot α	P = XFr + YFa
Упорный, α=90°, центрированная Fa	—	—	—	P = Fa

Для радиальных шариковых, самоустанавливающихся шариковых и упорных подшипников при 45°≤α<90° числовые X, Y и e зависят от конкретного исполнения и относительной осевой нагрузки. Эти коэффициенты нельзя угадывать или переносить из соседнего семейства.

Однорядный радиальный шариковый: коэффициенты e, X и Y

$$q = f0 \cdot Fa / C0r \quad (5.2)$$

Таблица 5.7. Коэффициенты e, X и Y для однорядного радиального шарикового подшипника с нормальным рабочим зазором

q = f0·Fa/C0	e	X при Fa/Fr > e	Y при Fa/Fr > e
0,3	0,22	0,56	2,00
0,5	0,24	0,56	1,80
0,9	0,28	0,56	1,58
1,6	0,32	0,56	1,40
3,0	0,36	0,56	1,20

q = f0·Fa/C0	e	X при Fa/Fr > e	Y при Fa/Fr > e
6,0	0,43	0,56	1,00

Если q попадает между двумя строками таблицы коэффициентов, e и Y определяют линейной интерполяцией. Коэффициент X для показанной ветви берут непосредственно из таблицы.

$$t = (q - q1) / (q2 - q1) \quad (5.3a)$$
$$e = e1 + t \cdot (e2 - e1) \quad (5.3b)$$
$$Y = Y1 + t \cdot (Y2 - Y1) \quad (5.3c)$$

Статическая эквивалентная нагрузка

$$P0 = \max(X0 \cdot Fr + Y0 \cdot Fa ; Fr) \quad (5.4)$$

Для статической проверки используют формулу (5.4) и максимальный рабочий, остановочный или ударный режим; короткий пик может почти не влиять на L10, но определять P0.

Таблица 5.8. Статические коэффициенты X0 и Y0

Тип / условие	X0	Y0	Статическая ветвь
Радиальный шариковый с радиальным контактом	0,6	0,5	P0 = max(0,6Fr + 0,5Fa ; Fr)
Однорядный радиально-упорный шариковый, α=45°	0,5	0,22	P0 = max(0,5Fr + 0,22Fa ; Fr)
Двухрядный радиально-упорный шариковый, α=45°	1	0,44	P0 = max(Fr + 0,44Fa ; Fr)
Радиальный роликовый, α=0°	—	—	P0 = Fr
Упорный шариковый, α≠90°	—	—	P0a = 2,3Fr·tanα + Fa; результат >0

Правило OID: если нужных X/Y/e или X0/Y0 нет в таблицах этой главы и они не указаны в технической карточке OID конкретного исполнения, расчёт не считается закрытым. Коэффициенты нельзя угадывать или переносить между семействами.

05

Парные установки O, X и тандем

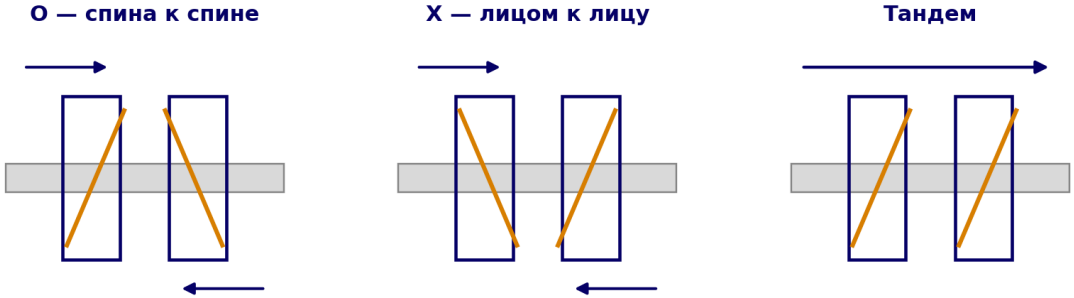


Схема установки определяет распределение осевой нагрузки; буква X на схеме не связана с коэффициентом X в формуле P = X·Fr + Y·Fa.

Рис. 5.3. Схема контактных линий в парной установке. Ориентация влияет на осевую нагрузку и расчёт узла.

Таблица 5.9. Расчётные правила для парных установок O, X и тандем

Схема	Как считать	Что обязательно проверить
O / X пара одинаковых однорядных подшипников	как согласованную двухрядную опору, если это допускает модель	ориентацию, одинаковость подшипников, распределение нагрузки и внутреннюю осевую реакцию
Тандем	коэффициенты однорядного исполнения; групповая грузоподъёмность только при равномерном распределении	нельзя объединять независимо заменяемые подшипники в одну расчётную группу
Конические / угловые роликовые	учитывать наведённую внутреннюю осевую силу и вторую опору	одной внешней Fa недостаточно для определения нагрузки на каждый подшипник

Групповая грузоподъёмность тандемной группы

$$C_{гр} = n^{0,7} \cdot C_{ед} \quad \text{— шариковые} \quad (5.5a)$$
$$C_{гр} = n^{(7/9)} \cdot C_{ед} \quad \text{— роликовые} \quad (5.5b)$$

Только для одинаковых подшипников при достаточно равномерном распределении; не для независимо заменяемых подшипников.

5.3. Минимальная нагрузка и статическая безопасность

Три проверки — усталость, статика и минимальная нагрузка — выполняются независимо. Большой ресурс при очень малой нагрузке может сопровождаться проскальзыванием, размазыванием металла и повреждением сепаратора.

Таблица 5.10. Три независимые проверки подшипникового узла

Проверка	Параметр	Что предотвращает
Усталость	C/P → L10 или Lnm	усталостное выкрашивание контакта
Статика	C0/P0 → s0	остаточную деформацию, рост шума и трения после пиков
Минимальная нагрузка	P ≥ Pmin или Fa ≥ Fa,min	проскальзывание, нестабильное качение и смазывание

Предварительные ориентиры минимальной нагрузки

Таблица 5.11. Предварительные ориентиры минимальной нагрузки

Группа	Предварительно	Уточнение
Шариковые подшипники качения	Pmin ≈ 0,01 C	первичная оценка OID; если карточка OID задаёт отдельное требование, применяют его
Роликовые подшипники качения	Pmin ≈ 0,02 C	первичная оценка OID; особенно важна при больших ускорениях и высокой скорости
Радиальные шариковые / радиально-упорные / самоустанавливающиеся	P ≥ C0/100	семейный ориентир OID для предварительной проверки
Цилиндрические / конические / бочкообразные / игольчатые	P ≥ C0/60	семейный ориентир OID; точное требование исполнения имеет приоритет

Нагрузка и ресурс

Группа	Предварительно	Уточнение
Сферические роликовые	P ≥ C0/100	семейный ориентир OID

В справочнике OID разделены два уровня: общий предварительный контроль 0,01C/0,02C и более строгие семейные ориентиры C0/100 или C0/60. Если в технической карточке OID конкретного исполнения приведено своё требование минимальной нагрузки, оно имеет приоритет.

Упорные подшипники: скорость может входить в Pmin

Для упорных семейств минимальная осевая нагрузка часто зависит от C0a, скорости и коэффициента серии. Используют формулу (5.6) и коэффициенты ka из таблицы 5.12; для упорных игольчатых применяется формула (5.7).

Fa,min = 0,0005 · C0a + ka · (C0a · n / 10^8)^2 (5.6)

Для перечисленных упорных роликовых серий: C0a подставляют в N, n — в min^{-1}, ka берут из таблицы непосредственно под формулой.

Таблица 5.12. Коэффициент ka для минимальной осевой нагрузки

Серия / группа	ka
K811	1,4
K812	0,9
K893	0,7
K894	0,5
292	0,6
293	0,9
294	0,7

Fa,min = 0,0005 · C0a + 3 · (C0a · n / 10^8)^2 (5.7)

Расчётная ветвь OID для упорных игольчатых подшипников в указанной области применимости.

Если техническая карточка OID конкретного исполнения задаёт более точную формулу Pmin/Fa,min, она имеет приоритет над общей оценкой 0,01C/0,02C.

Статическая безопасность

Таблица 5.13. Ориентиры статической безопасности s0

s0 = C0 / P0 (5.8)		
Область	**Ориентир s0**	**Комментарий**
Шариковые — плавность / низкий шум	2	высокие требования к остаточной деформации
Шариковые — обычная работа	1	при известной нагрузке; пики проверяются отдельно
Шариковые — ударная нагрузка	1,5	максимальный пик должен входить в P0
Роликовые — плавность / низкий шум	3	более высокий ориентир, чем у шариковых
Роликовые — обычная работа	1,5	при неизвестных пиках запас увеличивают
Роликовые — ударная нагрузка	3	проверять тяжёлый режим
Упорные сферические роликовые	4	отдельное семейное правило
Штампованные игольчатые из цементируемой стали	3	отдельное конструктивное исключение
Линейные системы качения	>2 при обычных условиях	дополнительно проверять момент и наиболее нагруженный блок
ОПУ	по совместным диаграммам	s0 сам по себе не заменяет проверку дорожек и болтов

Ориентиры s0 и общая статическая модель сведены в таблицу этой главы. Для ОПУ и других специализированных систем коэффициент s0 не заменяет проверку собственной расчётной модели OID.

5.4. Базовый ресурс L10 и L10h

L10 — статистический усталостный ресурс: 90% достаточно большой группы одинаковых подшипников при одинаковых условиях достигают или превышают это значение до первого признака усталостного повреждения контакта. Формулы (5.9a), (5.9b) и (5.10) применяют только после корректного определения P.

Нагрузка и ресурс

Таблица 5.14. Формулы базового ресурса и контроль исходных данных

L10 = (C / P)^3 — шариковый контакт (5.9a)	
L10 = (C / P)^(10/3) — роликовый контакт (5.9b)	
L10h = 10^6 · L10 / (60 · n) — при постоянной скорости (5.10)	
Параметр	**Проверка перед подстановкой**
C и P	одинаковые единицы; правильное направление грузоподъёмности; P соответствует выбранной ветви
Показатель степени	3 только для шарикового, 10/3 только для роликового контакта в соответствующей модели
n	постоянная скорость на интервале расчёта L10h; при спектре скоростей сначала эквивалентировать режим
L10	миллионы оборотов, а не обороты

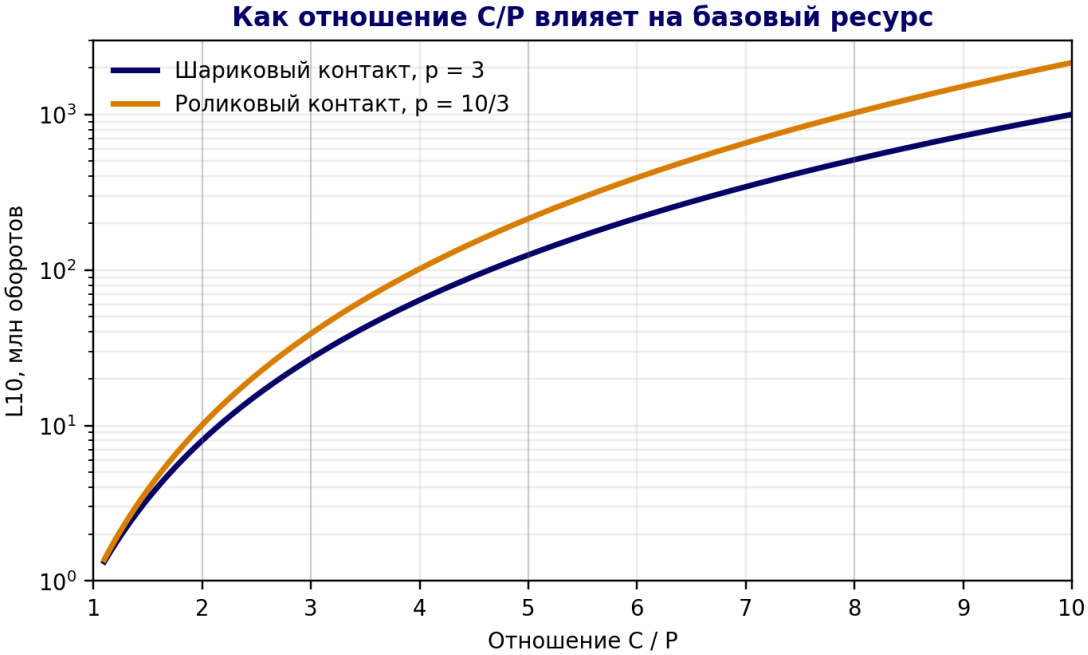


Рис. 5.4. График влияния отношения C/P на базовый ресурс L10. Логарифмическая шкала показывает высокую чувствительность ресурса к ошибке в нагрузке.

Быстрый пересчёт 1 млн оборотов в часы

Таблица 5.15. Пересчёт 1 млн оборотов в часы

n, min^{-1}	Часы на 1 млн оборотов
100	166,7
300	55,6
600	27,8
1 000	16,7
1 500	11,1
3 000	5,56

L10 не учитывает автоматически износ, коррозию, электрическую эрозию, старение смазки, загрязнение вне модели, проскальзывание при слишком малой нагрузке, монтажные напряжения, чрезмерный преднатяг и фреттинг при малых углах качания.

5.5. Модифицированный ресурс Lnm

Базовый L10 учитывает C и P. Модифицированная модель дополнительно вводит требуемую надёжность, условия разделения поверхностей смазочной плёнкой, загрязнение и предел усталостной нагрузки. Общая связь приведена в формуле (5.11).

$$Lnm = a1 \cdot aISO \cdot L10 \quad (5.11)$$

Коэффициент надёжности a1

Таблица 5.16. Коэффициент надёжности a1

Надёжность	a1	Надёжность	a1
90%	1,000	99,2%	0,220
95%	0,640	99,4%	0,190

Надёжность	a1	Надёжность	a1
96%	0,550	99,6%	0,160
97%	0,470	99,8%	0,120
98%	0,370	99,9%	0,093
99%	0,250	99,92%	0,087
—	—	99,94%	0,080
—	—	99,95%	0,077

Не смешивать a1 из разных редакций моделей подшипников. Старые скорректированные с учетом качества жизни таблицы дают другие числа для тех же уровней надёжности.

Отношение вязкостей к

$$\kappa = \nu / \nu_1 \quad (5.12)$$

$$\nu_1 = 45\,000 \cdot n^{-0,83} \cdot D_{pw}^{-0,5}, \quad \text{если } n < 1\,000 \text{ min}^{-1} \quad (5.13a)$$

$$\nu_1 = 4\,500 \cdot n^{-0,5} \cdot D_{pw}^{-0,5}, \quad \text{если } n \geq 1\,000 \text{ min}^{-1} \quad (5.13b)$$

ν — фактическая кинематическая вязкость при рабочей температуре. Для пластичной смазки используют вязкость базового масла. В этой оценке для определения ν1 допускается использовать dm=(d+D)/2 вместо Dpw; это допущение не делает dm и Dpw взаимозаменяемыми в других формулах.

$$d_m = (d + D) / 2 \quad (5.14)$$

Таблица 5.17. Интерпретация отношения вязкостей к

к	Как трактовать
< 0,1	aISO не рассчитывать: режим вне области модели
0,1…4	рабочая расчётная область

к	Как трактовать
> 4	для aISO использовать к=4

Численная аналитическая ветвь aISO, приведённая здесь, используется только для радиального шарикового контакта в показанной области к. Для других контактных групп эта глава не подменяет отсутствующую OID-модель: до утверждения соответствующей таблицы OID рассчитывают L10, а Lnm не объявляют закрытым.

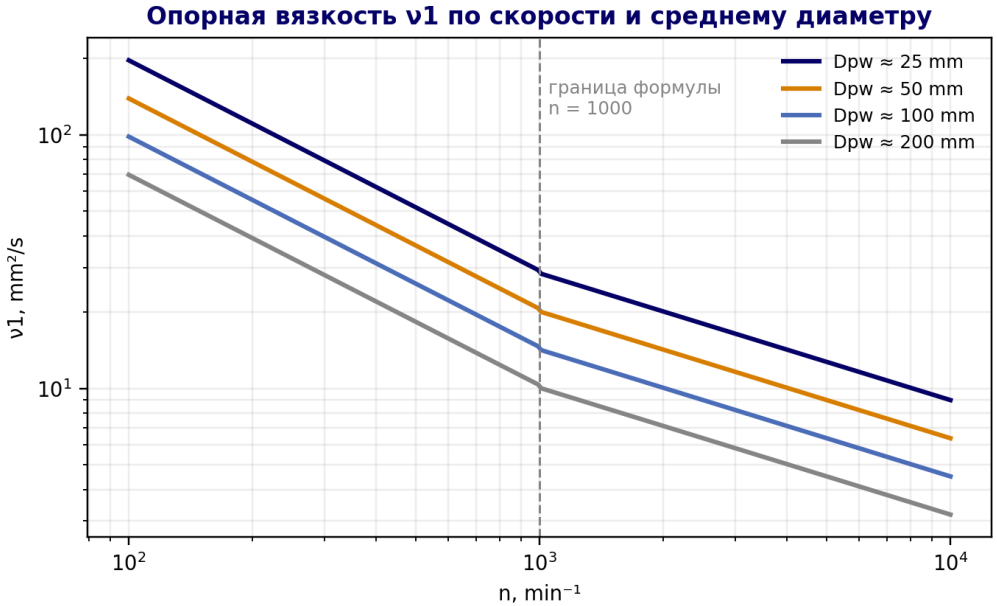


Рис. 5.5. График опорной вязкости ν1 по формулам (5.13a)–(5.13b) для нескольких средних диаметров.

Коэффициент загрязнения eC

Таблица 5.18. Коэффициент загрязнения eC

Состояние чистоты	Dpw < 100 mm	Dpw ≥ 100 mm
Сверхвысокая чистота	1,0	1,0
Высокая чистота	0,6–0,8	0,8–0,9
Нормальная чистота	0,5–0,6	0,6–0,8
Лёгкое загрязнение	0,3–0,5	0,4–0,6
Типичное загрязнение	0,1–0,3	0,2–0,4
Сильное загрязнение	0–0,1	0–0,1
Очень сильное загрязнение	0	0

Эта таблица относится к загрязнению твёрдыми частицами в рамках указанной модели. Вода и другие жидкости требуют отдельной оценки. Размерная граница 100 mm обязательна.

Формирование aISO

$$a_{ISO} = f(\kappa,\ e_C \cdot C_u / P); \qquad a_{ISO} \le 50 \qquad (5.15)$$

Последовательность: определить ν при рабочей температуре → вычислить ν1 по формулам (5.13a)–(5.13b) → κ по формуле (5.12) → выбрать eC по таблице 5.18 → взять Cu конкретного подшипника → вычислить отношение eC·Cu/P → применить ветвь aISO для своей контактной группы.

Условие P<Cu не делает узел автоматически безопасным. Минимальная нагрузка, смазывание, статическая безопасность, износ и срок службы смазки проверяются отдельно.

Расчётная ветвь для радиального шарикового контакта при 1≤κ≤4

$$a_{ISO} = 0{,}1 \cdot \left[1 - \left(2{,}5671 - 1{,}9987/\kappa^{0{,}071739}\right)^{0{,}83} \cdot \left(e_C \cdot C_u/P\right)^{(1/3)}\right]^{-9{,}3} \qquad (5.16)$$

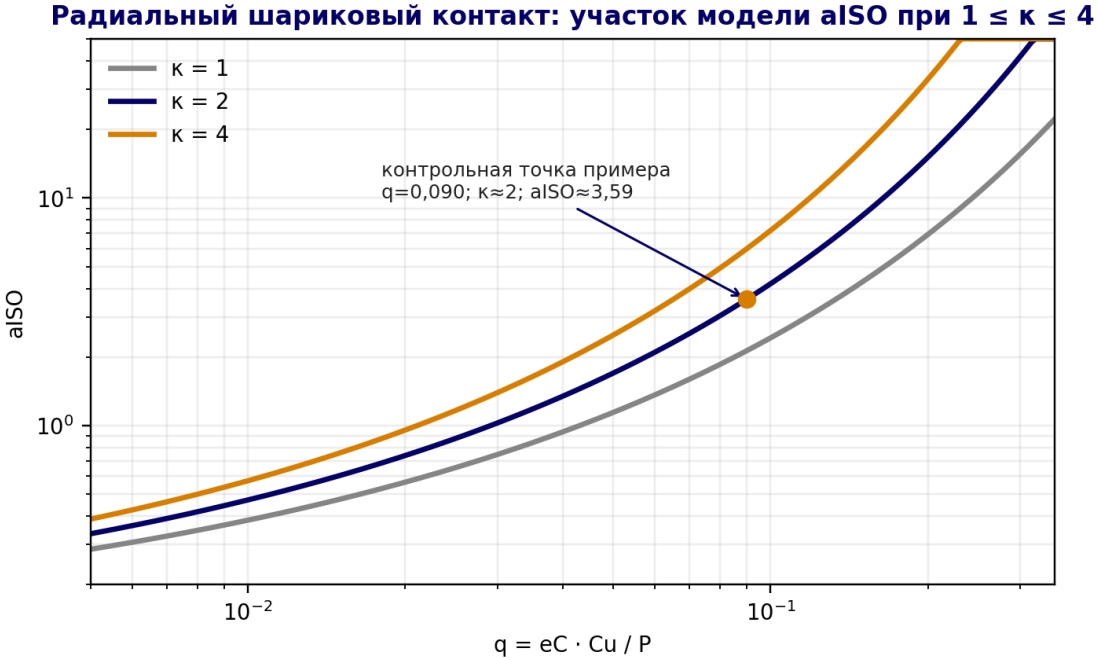


Рис. 5.6. График зависимости aISO для аналитической ветви радиального шарикового контакта по формуле (5.16).

Для радиального роликового, упорного шарикового и упорного роликового контакта применяются собственные ветви/диаграммы aISO. Коэффициенты одной контактной группы нельзя переносить в другую.

Особое правило для противозадирных (EP) присадок

Только при доказанной эффективности противозадирной присадки (EP), фактическом κ<1 и eC≥0,2 в расчёте допускается принять κ=1. Значение aISO, полученное именно за счёт этой корректировки, ограничивают 3. Если обычный расчёт при фактическом κ уже даёт aISO>3, используют фактическое большее значение. Наличие обозначения EP в описании масла само по себе не является основанием для повышения ресурса.

5.6. Переменные нагрузки и скорости

Для ступенчатых режимов простое среднее арифметическое нагрузки неверно. Эквивалентную нагрузку определяют по формуле (5.17), а доли оборотов и эквивалентную скорость — по формулам (5.18a)–(5.18c). Показатель усреднения совпадает с показателем долговечности: p=3 для шарикового и p=10/3 для роликового контакта.

$$P_m = \left[\Sigma (P_i^p \cdot U_i) \right]^{(1/p)}, \quad \Sigma U_i = 1 \qquad (5.17)$$

$$N_i = n_i \cdot t_i \qquad (5.18a)$$

$$U_i = N_i / \Sigma N_i \qquad (5.18b)$$

$$n_{экв} = \Sigma N_i / \Sigma t_i \qquad (5.18c)$$

Для вращения Ui — доля числа оборотов. Если скорость меняется, одинаковые по времени участки получают разный вес. Для линейного движения Ui обычно задают долей пути. Ударные пики независимо проверяют статически.

Нагрузка и ресурс



Рис. 5.7. Схема ступенчатого режима: при разных скоростях доля оборотов отличается от доли времени.

Если меняются условия смазывания

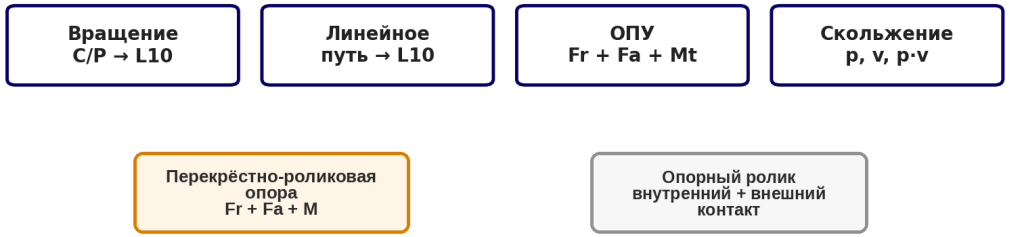
Когда между режимами меняются κ, температура, загрязнение или aISO, один общий Pm и один aISO могут дать неверный результат. Каждый режим рассчитывают отдельно, затем суммируют доли повреждения по формуле (5.19) в одной и той же единице ресурса.

$$1 / L10m,\Sigma = \Sigma(Ui / L10m,i) \quad (5.19)$$

Если aISO уже включён внутрь формулы эквивалентной нагрузки специализированной модели, повторно умножать итоговый ресурс на aISO нельзя.

5.7. Специализированные расчётные ветви

Одинаковые символы не означают одну и ту же расчётную модель



Сначала определить класс системы — только затем выбирать формулу и коэффициенты.

Рис. 5.8. Схема выбора расчётной модели по классу подшипниковой системы.

Линейные системы качения

$$L10 = Lb \cdot (C/P)^p \quad (5.20)$$

Lb — базовая дистанция нормирования грузоподъёмности. Для шариков p=3, для роликов p=10/3. Ресурс определяют по формуле (5.20), переход между базами 50/100 km — по формулам (5.21a)–(5.21b), а нагрузку блока — по формулам (5.22a)–(5.22b).

$C100B = C50B / 1,26$ — шариковая система	(5.21a)
$C100R = C50R / 1,23$ — роликовая система	(5.21b)

Нагрузка и ресурс

C100B = C50B / 1,26 — шариковая система (5.21a)
P = kF · F (5.22a) P0 = k0F · F (5.22b)
Lh = L10 · 10^6 / (2 · s · nc · 60) (5.23)

Здесь L10 задают в km, s — длина хода в mm, nc — число полных циклов в минуту. Формула применима при симметричном ходе туда-обратно.

kF=k0F=1 только при нормальном направлении нагрузки и нормальном зазоре; иначе используются коэффициенты исполнения.

Для рециркуляционной линейной системы применимость базовой формулы ограничена: P≤0,5C, P≤C0 и условиями длины хода относительно нагруженной зоны. Для короткого хода может потребоваться коэффициент fs, указанный в технической карточке OID конкретного исполнения.

Прецизионная перекрёстно-роликовая поворотная опора

r = Fa / (Fr + 2M / dp) (5.25)

Таблица 5.19. Коэффициенты X и Y для специализированной перекрёстно-роликовой ветви

Pc = X · (Fr + 2M/dp) + Y · Fa (5.24)		
Условие по r	X	Y
r ≤ 1,5	1,00	0,45
r > 1,5	0,67	0,67

P0 = 1·(Fr + 2M/dp) + 0,44·Fa (5.26)

Коэффициенты этой ветви относятся только к показанной перекрёстно-роликовой модели. Они уже приведены в таблице и не должны переноситься на другое семейство.

ОПУ

Для ОПУ Fr, Fa и Mt рассматривают совместно. Предварительную расчётную точку получают по формулам (5.27a)–(5.27b), после чего она должна быть допустима одновременно для дорожек качения и болтового соединения. Опорные фланцы, плоскостность и жёсткость основания — часть расчётной системы.

Коэффициент fL выбирают по назначению механизма из таблицы 5.20. Формулы (5.28)–(5.29) применяют только в своей специализированной ветви и не заменяют предельные кривые конкретного ОПУ OID.

$$Far = fL \cdot Fa \quad (5.27a)$$
$$Mtr = fL \cdot Mt \quad (5.27b)$$

Таблица 5.20. Коэффициент применения fL для предварительной проверки ОПУ

Применение	fL	Применение	fL
Подъёмная платформа	1,33	Карусель / вращающаяся платформа	2,00
Бетоносмеситель	1,33	Уплотнитель	2,00
Бетононасос	1,50	Цеховой манипулятор	1,15
Мобильный кран	1,50	Мини-экскаватор	1,33
Отстойник / очистное сооружение	1,25	Сервисный кран	1,33
Поворотный стол	1,15	Сварочный позиционер	1,15

Для ОПУ конечная проверка закрывается только по двум кривым OID конкретного исполнения: допустимость дорожек качения и допустимость болтового соединения. Обе кривые должны входить в техническую карточку OID этого ОПУ.

$$\varepsilon = 2000 \cdot Mk / (Fa \cdot DM) \quad (5.28)$$
$$Paxial = kF \cdot Fa \quad (5.29)$$

Для конкретного ОПУ коэффициенты и предельные кривые должны входить в техническую карточку OID этого ОПУ. Расчёт закрывают только по данным OID конкретного исполнения.

Не выбирайте ОПУ только по C/P. Допустимая дорожка при недопустимом болтовом соединении — это недопустимый узел, и наоборот.

Опорные ролики (с отверстием или цапфой)

- Внутренний роликовый контакт можно оценивать по C/Pr и показателю 10/3, если это разрешено для конкретной группы.
- Отдельно проверяются прочность цапфы/оси, наружного кольца и несущая способность внешней дорожки.
- Наружное кольцо, катящееся по плоской дорожке, деформируется иначе, чем кольцо, установленное в корпусе.
- Ослабленную зону или масляное отверстие не располагают в зоне максимальной нагрузки.

Подшипники скольжения и наконечники штоков

Для подшипников скольжения формулы L10 подшипника качения не применяются. Базовые величины — удельная нагрузка p, скорость скольжения v, произведение p·v и температура. Для справочного композита на основе ПТФЭ (политетрафторэтилена) предельные значения приведены в таблице этой главы; для другого материала применяют значения из технической карточки OID конкретного изделия.

Таблица 5.21. Справочные предельные параметры ПТФЭ-композита для сухого скольжения

Параметр справочного ПТФЭ-композита для примера	Предельное значение
Удельная нагрузка при вращении / качании pmax	140 N/mm²
Статическая удельная нагрузка pmax,stat	250 N/mm²
Скорость сухого скольжения vmax	2,5 m/s
p·v при непрерывной сухой работе	1,8 N/mm²·m/s
p·v кратковременно	3,6 N/mm²·m/s
Справочный диапазон рабочей температуры	−200…+280 °C

Предел p·v проверяют одновременно с p и v. То, что p и v по отдельности ниже своих пределов, не означает допустимость режима.

p = Fr / (Di · B) — радиальная втулка (5.30a)
p = 4Fa / [π(Do² − Di²)] — упорная шайба (5.30b)
v = dx · π · n / (60 · 10^3) — вращательное скольжение (5.31)
PV = p · v (5.32)

5.8. Карта выбора расчётной модели

Таблица 5.22. Карта выбора расчётной модели

Система	Основная модель	Ресурс	Дополнительно проверить
Вращательные подшипники качения	P/P0 → L10; при необходимости a1·aISO	млн оборотов / h	Pmin, s0, смазывание, скорость, монтаж
Линейные системы	нагрузка блока → путь	km / m / h	база нормирования грузоподъёмности, моменты, длина хода, число блоков
ОПУ	совместные Fr + Fa + Mt и предельные кривые OID конкретной серии	по специализированной модели	дорожки, крепёж, опорная конструкция, плоскостность
Перекрёстно-роликовая поворотная опора	Fr + Fa + M → Pc/P0	обороты / h / циклы качания	преднатяг, dp, ветвь коэффициентов X/Y, малый угол качания
Опорный ролик	внутренний ресурс + внешний контакт	обороты / h	цапфа, наружное кольцо, дорожка, твёрдость
Скольжение / наконечники штоков	p, v, p·v + пределы материала OID	h / циклы	температура, смазка, материал, корпус и хвостовик

5.9. Указатель формул и контроль единиц

Таблица 5.23. Указатель формул главы

№	Назначение	Формула / правило
5.1	Эквивалентная динамическая нагрузка	P = XFr + YFa
5.2	Относительная осевая нагрузка для показанной шариковой ветви	q = f0Fa/C0r
5.3a–c	Линейная интерполяция коэффициентов	t; e; Y между соседними строками таблицы 5.7
5.4	Эквивалентная статическая нагрузка	P0 = max(X0Fr + Y0Fa; Fr)

Нагрузка и ресурс

№	Назначение	Формула / правило
5.5a–b	Групповая грузоподъёмность тандемной группы	n^0,7 для шариков; n^(7/9) для роликов
5.6	Минимальная осевая нагрузка упорных роликовых	Fa,min через C0a, n и ka
5.7	Минимальная осевая нагрузка упорных игольчатых	Fa,min через C0a и n
5.8	Статическая безопасность	s0 = C0/P0
5.9a–b	Базовый ресурс	(C/P)^3 для шариков; (C/P)^(10/3) для роликов
5.10	Базовый ресурс в часах	L10h = 10^6·L10/(60n)
5.11	Модифицированный ресурс	Lnm = a1·aISO·L10
5.12	Отношение вязкостей	κ = v/v1
5.13a–b	Опорная вязкость	v1 в зависимости от n и Dpw
5.14	Средний диаметр для допускаемой оценки	dm = (d + D)/2
5.15	Общая зависимость aISO	aISO = f(κ, eC·Cu/P), aISO≤50
5.16	Аналитическая ветвь aISO	радиальный шариковый контакт в указанной области
5.17	Эквивалентная нагрузка спектра	Pm = [Σ(Pi^pUi)]^(1/p)
5.18a–c	Веса режима и эквивалентная скорость	Ni; Ui; nэкв
5.19	Суммирование повреждения	1/LΣ = Σ(Ui/Li)
5.20	Ресурс линейной системы	L10 = Lb·(C/P)^p
5.21a–b	Пересчёт грузоподъёмности для базы 50/100 km	C100 для шариковой и роликовой систем
5.22a–b	Эквивалентные нагрузки линейной системы	P=kF·F; P0=k0F·F
5.23	Ресурс линейной системы в часах	Lh по пути одного цикла и числу циклов
5.24	Эквивалентная нагрузка перекрёстно-роликовой опоры	Pc = X(Fr + 2M/dp) + YFa

№	Назначение	Формула / правило
5.25	Отношение для выбора X/Y перекрёстно-роликовой опоры	r = Fa/(Fr + 2M/dp)
5.26	Статическая нагрузка перекрёстно-роликовой опоры	P0 = (Fr + 2M/dp) + 0,44Fa
5.27a–b	Предварительная статическая точка ОПУ	Far=fLFa; Mtr=fLMt
5.28	Параметр эксцентриситета ОПУ	ε = 2000Mk/(FaDM)
5.29	Эквивалентная осевая нагрузка специализированной ветви	Paxial = kF·Fa
5.30a–b	Удельная нагрузка скольжения	радиальная втулка; упорная шайба
5.31	Скорость скольжения	v = dxπn/(60·10^3)
5.32	Комбинированный критерий скольжения	PV = p·v

Контроль единиц

Таблица 5.24. Контроль единиц перед расчётом

Величина	Рекомендуемая рабочая запись	Частая ошибка
Сила	N или kN — одинаково во всех членах формулы	смешение N и kN
Момент	N·mm или kN·m с явным переводом перед 2M/dp	подстановка kN·m при dp в mm без перевода
Скорость	min^{-1} (об/мин)	подстановка s^{-1} в формулу 60n
Вязкость	mm^2/s = cSt	подстановка динамической вязкости mPa·s
L10	миллионы оборотов	считать L10 уже абсолютным числом оборотов
Линейный ресурс	km или m согласно базе	смешение 50 km, 100 km и 10^5 m

5.10. Форма расчётного листа

Таблица 5.25. Форма расчётного листа

Пункт	Заполняемое значение	Проверка
1. Тип / серия / исполнение		точная конструкция OID, число рядов, α, схема
2. Fr / Fa / Mt		все режимы, знак и направление
3. C / C0 / Cu		только техническая карточка OID конкретного изделия
4. X/Y/e; X0/Y0		из таблиц главы или карточки OID конкретного исполнения
5. P / P0		единицы согласованы
6. s0 / Pmin		обе проверки выполнены
7. L10 / L10h		p выбран по типу контакта
8. v / v1 / κ		рабочая температура и базовое масло
9. eC / Cu/P / aISO		рабочая температура и вязкость базового масла
10. Lnm		a1 и aISO применены один раз
11. Спец. ветвь		линейная / ОПУ / перекрёстно-роликовая / опорный ролик / скольжение
12. Итог		ресурс + статика + Pmin + прочие ограничения

Финальный расчёт считается завершённым только после проверки исходных предпосылок: единиц, направления нагрузки, базы нормирования грузоподъёмности, выбранной ветви коэффициентов, максимального режима, минимальной нагрузки, смазывания, скорости и применимости конкретной расчётной модели.

5.11. Нормативная база и правила публикации OID

Таблица 5.26. Нормативная и OID-база расчётных разделов

Тема	Публичная нормативная / OID-база
C, P, L10, a1, aISO, κ, eC	ISO 281 / ГОСТ 18855; расчётные таблицы и пояснения приведены в этой главе
C0, P0, s0	ISO 76 / ГОСТ 18854; ориентиры и статические ветви приведены в этой главе
Линейные системы	ISO 14728-1 и ISO 14728-2; база нормирования грузоподъёмности и пересчёт 50/100 km приведены в этой главе

Публичная глава OID является самодостаточной. Исполнение-зависимые параметры берут только из технической карточки OID; внутреннюю трассировку источников хранят в рабочей карте источников проекта.

5.12. Расчётные примеры

Примеры собраны отдельно от расчётной базы. В каждом шаге используется ссылка на формулу, таблицу или рисунок этой главы. Это позволяет добавлять новые типы подшипников без повторения всей теории.

Пример 5.1 — полный расчёт OID 6208

Исходные характеристики и режим приведены в таблице 5.27. В рабочем проекте C, C0, Cu, f0 и размеры берут из технической карточки OID конкретного исполнения; нагрузки, скорость и условия смазывания — из расчётной модели узла.

Таблица 5.27. Исходные данные примера 5.1 — OID 6208

Параметр	Значение	Откуда берётся
Подшипник	6208	контрольный типоразмер примера
Размер d × D × B	40 × 80 × 18 mm	расчётная карточка примера
Cr	31,5 kN	расчётная карточка примера
C0r	17,8 kN	расчётная карточка примера
Cur	1,23 kN	расчётная карточка примера
f0	14	расчётная карточка примера

Нагрузка и ресурс

Параметр	Значение	Откуда берётся
nG / nr	13 600 / 10 500 min^{-1}	расчётная карточка примера
Fr / Fa	2,5 / 1,0 kN	заданные рабочие нагрузки примера
F0r / F0a	4,0 / 2,0 kN	заданный кратковременный максимум для статической проверки
n	900 min^{-1}	заданная рабочая скорость

1. Эквивалентная динамическая нагрузка. Вычисляем q по формуле (5.2), затем по таблице 5.7 и формулам (5.3a)–(5.3c) определяем e и Y. Так как Fa/Fr > e, применяем формулу (5.1).

Для примера 6208: q=0,787; t=(0,787−0,5)/(0,9−0,5)=0,718; e≈0,269; Y≈1,64; X=0,56. Теперь происхождение каждого коэффициента видно непосредственно в главе.

P = 0,56·2,5 + 1,64·1,0 = 3,04 kN

2. Статическая нагрузка. Коэффициенты X0 и Y0 выбираем по таблице 5.8, P0 определяем по формуле (5.4) для пикового режима.

P0 = 4,00 kN

3. Минимальная нагрузка и статическая безопасность. Требование Pmin выбираем по таблице 5.11; статическую безопасность рассчитываем по формуле (5.8) и сравниваем с таблицей 5.13.

Pmin ≈ C0r/100 = 17,8/100 = 0,178 kN; P/Pmin = 3,04/0,178 = 17,1

s0 = C0r/P0 = 17,8/4,00 = 4,45

4. Базовый ресурс. Для шарикового контакта используем формулу (5.9a), затем переводим результат в часы по формуле (5.10).

L10 = (31,5/3,04)^3 = 1 112,5 млн оборотов

L10h = 10^6·1 112,5 / (60·900) ≈ 20 600 h

5. Модифицированный ресурс. a1 берём из таблицы 5.16; v1 и κ определяем по формулам (5.13a)–(5.14) и (5.12); eC — по таблице 5.18; aISO — по формуле (5.16); итоговый Lnm — по формуле (5.11).

v1 = 45 000·900^(−0,83)·60^(−0,5) = 20,52 mm²/s; κ = 22/20,52 = 1,07

q = eC·Cur/P = 0,30·1,23/3,04 = 0,121
Lnm = a1·aISO·L10 = 0,64·3,34·1 112,5 ≈ 2 380 млн оборотов
Lnm,h = 10^6·2 380/(60·900) ≈ 44 100 h

6. Проверка чувствительности. Сравнение сценариев приведено в таблице 5.28 и на рис. 5.9. Оно показывает, насколько результат зависит от ошибки в нагрузке, вязкости и оценке загрязнения.

Таблица 5.28. Чувствительность результата примера 5.1

Изменение относительно базы	Lnm,h, h	Что изменилось
Базовый расчёт	≈ 44 100	6208: P=3,04 kN; κ=1,07; eC=0,30
P +10%	≈ 29 000	нагрузка повышена до 3,344 kN; уменьшаются C/P и Cu/P
κ снижен до 1	≈ 41 500	небольшое ухудшение условий смазывания относительно базы κ=1,07
eC снижен до 0,15	≈ 19 000	более загрязнённый контакт; q=eC·Cu/P уменьшается вдвое

Нагрузка и ресурс

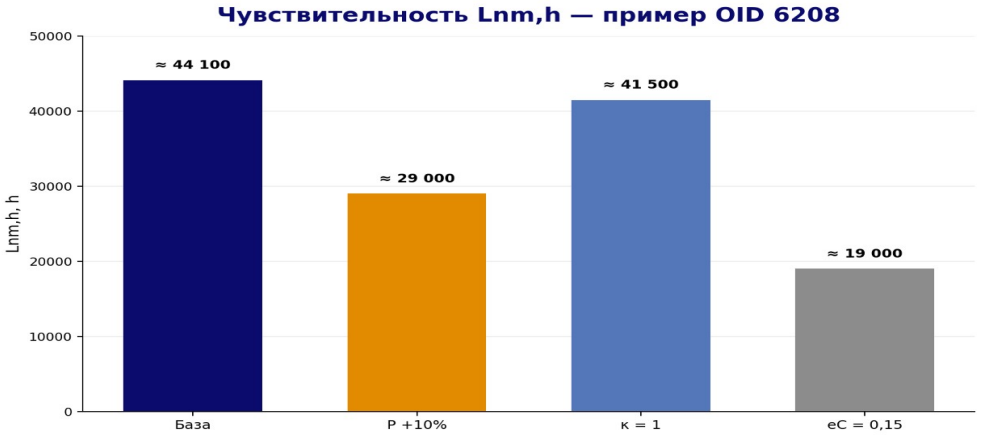


Рис. 5.9. График чувствительности модифицированного ресурса в примере 5.1 к нагрузке, вязкости и загрязнению.

Высокий aISO делает расчёт чувствительным к ошибке исходных данных. Если нагрузка, рабочая температура или чистота известны неточно, рассчитывайте несколько обоснованных сценариев, а не одно «точное» число.

Пример 5.2 — OID 6208 при переменной нагрузке и скорости

Режимы приведены в таблице 5.29. Сначала по формулам (5.18a)–(5.18c) определяем доли оборотов Ui и nэкв, затем по формуле (5.17) рассчитываем Pm. Базовый ресурс получаем по формулам (5.9a) и (5.10).

Таблица 5.29. Режимы нагрузки примера 5.2

Режим	Длительность	n, min⁻¹	Pi, kN	Обороты	Ui
1	4 h	900	4	216 000	0,414
2	3 h	1 500	7	270 000	0,517

Режим	Длительность	n, min⁻¹	Pi, kN	Обороты	Ui
3	1 h	600	10	36 000	0,069
Pm = [0,414·4^3 + 0,517·7^3 + 0,069·10^3]^(1/3) = 6,49 kN					
nэкв = 522 000 оборотов / (8·60 min) = 1 087,5 min⁻¹					

Для C=31,5 kN получаем L10≈114,6 млн оборотов и L10h≈1 756 h. Если между режимами меняются условия смазывания или загрязнение, каждый режим рассчитывают отдельно и суммируют повреждение по формуле (5.19). Схема ступенчатого режима показана на рис. 5.7.

Пример 5.3 — линейная шариковая система

Исходные данные приведены в таблице 5.30. Ресурс по пути рассчитываем по формуле (5.20), пересчёт грузоподъёмности для базы 50/100 km — по формуле (5.21a), ресурс в часах — по формуле (5.23), статическую безопасность — по формуле (5.8).

Таблица 5.30. Исходные данные примера 5.3 — линейная система

Дано	Значение
C50	20 kN
P	5 kN
C0	30 kN
P0	7 kN
Ход lS	500 mm
Циклы n1	20 min⁻¹
L10 = 50·(20/5)^3 = 3 200 km	
C100 = 20/1,26 = 15,87 kN; 100·(15,87/5)^3 ≈ 3 199 km	
Lh = 3 200·10^6 / (2·500·20·60) = 2 667 h	
S0 = 30/7 = 4,29	

Получаем одинаковый физический ресурс при корректном приведении грузоподъёмности к общей базе: около 3 200 km; при ходе 500 mm и 20 циклах в минуту — около 2 667 h; для пикового P0=7 kN статическая безопасность s0≈4,29.

Пример 5.4 — перекрёстно-роликовая опора OID RU66 P4

Исходные данные и расчётные результаты приведены в таблице 5.31. Сначала определяем r по формуле (5.25), затем X и Y по таблице 5.19, Pc по формуле (5.24), P0 по формуле (5.26). Для ресурса роликового контакта используем формулу (5.9b), для часов — (5.10).

Таблица 5.31. Исходные данные и результаты примера 5.4 — OID RU66 P4

Данные OID RU66 P4 для примера: dp=66 mm; C=17,5 kN; C0=22,3 kN. Условия примера: Fr=2,0 kN; Fa=4,0 kN; M=0,05 kN·m; n=30 min⁻¹.
2M/dp = 2·50 kN·mm / 66 mm = 1,52 kN; Fr + 2M/dp = 3,52 kN
r = 4,0/3,52 = 1,14 ≤ 1,5 → X=1; Y=0,45
Pc = 1·3,52 + 0,45·4,0 = 5,32 kN
P0 = 3,52 + 0,44·4,0 = 5,28 kN; s0 = 22,3/5,28 = 4,23
L10 = (17,5/5,32)^(10/3) ≈ 53,1 млн оборотов; L10h ≈ 29 500 h при 30 min⁻¹

Получается Pc≈5,32 kN, P0≈5,28 kN, L10≈52,8 млн оборотов и L10h≈29 300 h при 30 min⁻¹. Эти формулы относятся только к указанной специализированной перекрёстно-роликовой ветви.

Пример 5.5 — радиальная втулка скольжения

Исходные данные приведены в таблице 5.32. Удельную нагрузку рассчитываем по формуле (5.30a), скорость — по формуле (5.31), произведение PV — по формуле (5.32). Полученные значения сравниваем одновременно с тремя пределами из таблицы 5.21.

Таблица 5.32. Исходные данные примера 5.5 — радиальная втулка

Дано	Значение
Fr	6 000 N
Di	40 mm
B	30 mm
dx	40 mm
n	300 min^{-1}
Материал	ПТФЭ-композит; пределы — табл. 5.21
p = 6 000/(40·30) = 5,0 N/mm²	
v = 40·π·300/(60·10^3) = 0,628 m/s	
p·v = 5,0·0,628 = 3,14 N/mm²·m/s	

Результат: p=5,0 N/mm², v=0,628 m/s, PV=3,14 N/mm²·m/s. p и v по отдельности ниже своих пределов, но PV превышает предел непрерывной сухой работы 1,8 и остаётся ниже кратковременного предела 3,6. Следовательно, показанный режим нельзя принимать как непрерывный для выбранного справочного материала.

Содержание

6.1 Общая справочная часть	2	6.6.8 Конические роликовые	23
6.2 Посадочные места на валу и в корпусе	4	6.6.9 Упорные — общий блок ISO 199	31
6.3 Геометрия посадочных мест	12	6.6.10 Упорные шариковые	37
6.4 Шероховатость посадочных поверхностей	13	6.6.11 Упорные цилиндрические роликовые	37
6.5 Особые посадочные случаи и контроль	14	6.6.12 Упорные сферические роликовые	37
6.6 Допуски и требования по типам подшипников	16	6.6.13 Игольчатые радиальные и игольчатые сборки	37
6.6.1 Радиальные, кроме конических — ISO 492	16	6.6.14 Упорные игольчатые	46
6.6.2 Шариковые радиальные с глубокими дорожками	22	6.6.15 Приборные подшипники	46
6.6.3 Радиально-упорные шариковые	22	6.6.16 Линейные шариковые втулки	49
6.6.4 Самоустанавливающиеся шариковые	22	6.6.17 Вставные подшипники	55
6.6.5 Цилиндрические роликовые	23	6.6.18 Опорные ролики и ролики с цапфой	58
6.6.6 Сферические роликовые	23	6.6.19 Опорно-поворотные устройства (ОПУ)	61
6.6.7 Тороидальные роликовые (CARB)	23	6.7 Расчётные примеры	—

Логика чтения: сначала общие разделы 6.1–6.5, затем требования по типам подшипников 6.6 и практический пример 6.7.

06

6.1. Общая справочная часть

Глава построена по принципу «сначала общее, затем тип подшипника». В общих разделах собраны нормативная логика, обозначения, посадочные места, геометрия, шероховатость и особые случаи. В разделе 6.6 требования сгруппированы по семействам и типам подшипников; практический пример приведён в разделе 6.7.

Практическое правило главы: сначала выбрать правильную систему точности и посадочную ветвь, затем раскрыть буквенное поле в численные пределы. После этого отдельно проверить геометрию, шероховатость и рабочий внутренний зазор или преднатяг.

6.1.1. Системы классов и сопоставление ISO ↔ ГОСТ

Класс точности задают только вместе со стандартом, семейством и конструкцией подшипника. Одинаковая цифра в разных системах не всегда означает одинаковые параметры и пределы. В справочнике официальное обозначение ISO нормальный передаётся как «нормальный класс».

Таблица 6-А. Системы классов и сопоставление ISO ↔ ГОСТ

Семейство	Стандарт ISO	Классы ISO	Сопоставление с ГОСТ	Практическое пояснение
Радиальные, кроме конических	ISO 492	нормальный / 6 / 5 / 4 / 2	нормальный / 6 / 5 / 4 / 2; дополнительно Т	Общие классы сопоставимы только внутри этого семейства. Класс Т не имеет указанного прямого ISO-соответствия; нормальный класс не следует заменять обозначением 0.
Конические роликовые	ISO 492	нормальный / 6X / 5 / 4 / 2	нормальный / 6X / 5 / 4 / 2; дополнительно 0 и 6	Класс 6X не равен классу 6. Для ГОСТ-классов 0 и 6 прямое соответствие ISO в этой ветви не установлено.
Упорные	ISO 199	нормальный / 6 / 5 / 4	нормальный / 6 / 5 / 4; дополнительно 2	ISO 199:2014 не содержит класса 2; переносить его из ГОСТ в ISO нельзя.
Приборные, метрические	ISO 1224-1	5A / 4A	Общий прямой ряд не установлен	5A и 4A — самостоятельные классы приборной системы; 5A ≠ 5 и 4A ≠ 4.
Приборные, дюймовые	ISO 1224-2	5A / 4A	Общий прямой ряд не установлен	Дюймовая система рассматривается отдельно, даже если отдельные численные значения совпадают.
Линейные шариковые втулки	ISO 10285	L9 / L7 / L7A / L6 / L6A / L6J / L6JA	Общий прямой ряд не установлен	Классы L относятся к линейным втулкам. Например, L6 не является классом 6 по ISO 492.

Семейство	Стандарт ISO	Классы ISO	Сопоставление с ГОСТ	Практическое пояснение
Игольчатые, вставные, опорные и другие специальные семейства	Специальные стандарты ISO	По стандарту конкретного семейства	Универсальное соответствие не установлено	Использовать только стандарт и область применения конкретной конструкции; общий ряд классов переносить нельзя.
OID — скрытое правило. Суффиксы P6/P5/P4/P2 и специальные классы исполнения не являются универсальным межбрендовым кодом ISO. Класс точности отдельного тела качения не является классом собранного подшипника.				

OID — скрытое правило — иерархия данных. Совпадение чисел ISO и каталога не означает, что каталог образует отдельную нормативную систему: производитель может воспроизводить ISO. Отсутствие ISO-таблицы не делает каталожные инженерные данные непригодными; решающими остаются подтверждённые семейство, конструкция и область применения.

6.1.2. Выбор системы точности по типу подшипника

Таблица 6-I. Как выбирать систему точности по типу подшипника

Тип подшипника	Основная система	Класс / ветвь	Как применять
Радиальный шариковый	ISO 492	нормальный / 6 / 5 / 4 / 2	Основные допуски — таблицы 6-B. Параметры, указанные только для шариковых подшипников с глубокими дорожками, применять лишь к этому исполнению.
Радиально-упорный шариковый	ISO 492	нормальный / 6 / 5 / 4 / 2	Использовать применимую часть 6-B; парные и сверхточные исполнения проверять по системе конкретной серии.
Самоустанавливающийся шариковый	ISO 492	Применимый класс	Использовать только параметры, относящиеся к конструкции. Для конического отверстия дополнительно учитывать ветвь 6-C15/6-C16.
Четырёхточечный шариковый	ISO 492 в применимой части	По исполнению	Не переносить требования четырёхточечной опоры ОПУ на обычный подшипник и наоборот.
Цилиндрический роликовый	ISO 492	нормальный / 6 / 5 / 4 / 2	Использовать применимые таблицы 6-B; состав параметров зависит от конструкции.
Сферический роликовый	ISO 492	Применимый класс	Для конического отверстия учитывать конус и способ монтажа; применимы 6-B и 6-C15/6-C16.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Тип подшипника	Основная система	Класс / ветвь	Как применять
Тороидальный роликовый	ISO 492 в подтверждённой области	По исполнению	Проверять область применения конкретного исполнения; при коническом отверстии учитывать 6-C15/6-C16.
Конический роликовый	ISO 492	нормальный / 6X / 5 / 4 / 2	Использовать ветвь 6-C. Класс 6X нельзя заменять классом 6.
Игольчатый с обработанными кольцами	ISO 1206	нормальный	Использовать специальную ветвь 6-H; требования штампованного наружного кольца сюда не переносить.
Игольчатый без внутреннего кольца	ISO 1206 / ISO 3030	По семейству	Вал работает как дорожка качения: совместно проверять диаметр, форму, твёрдость, шероховатость и рабочий зазор.
Игольчатый со штампованным наружным кольцом	ISO 3245	По семейству	Функциональный наружный диаметр контролируется в калибре; общего числового отклонения наружного диаметра может не быть.
Упорный шариковый	ISO 199	нормальный / 6 / 5 / 4	Использовать ветвь 6-D. Класс 2 в ISO 199:2014 отсутствует.
Упорный цилиндрический роликовый	ISO 199	нормальный / 6 / 5 / 4	Использовать ветвь 6-D; параметры с углом 90° применять только по соответствующему примечанию.
Упорный сферический роликовый	ISO 199 в применимой части	нормальный / 6 / 5 / 4	Использовать только параметры, прямо применимые к конструкции; не все параметры шайб универсальны.
Приборный метрический	ISO 1224-1	5A / 4A	Самостоятельная система. Не приравнивать 5A к 5 и 4A к 4.
Приборный дюймовый	ISO 1224-2	5A / 4A	Самостоятельная дюймовая система; не объединять с метрической только по совпадению отдельных значений.
Миниатюрный	ISO 1224 либо документация исполнения	Зависит от конструкции	Размер сам по себе не определяет систему; проверять документацию конкретного исполнения.
Сверхточный / шпиндельный	ISO 492 + система исполнения	ISO и специальные классы	P4A, P4C, SP, UP и другие обозначения считать специальными, если нет прямой связи со стандартным классом ISO.
Вставной	ISO 9628	По семейству	Учитывать способ закрепления; допуск отверстия имеет собственную специальную ветвь.

Тип подшипника	Основная система	Класс / ветвь	Как применять
Опорный ролик / ролик с цапфой	ISO 7063	По семейству	Различать исполнение с отверстием и исполнение с цапфой; рабочая наружная поверхность может быть цилиндрической или бочкообразной.
Линейная шариковая втулка	ISO 10285	L9…L6JA	Классы L не переводить в P-классы радиальных подшипников; вал проверять как направляющую дорожку.
Профильная направляющая	По документации серии	—	Использовать требования конкретной серии по базам, параллельности и высоте.
Перекрёстно-роликовая опора	По документации серии	—	Не переносить автоматически требования ОПУ; класс и монтажные базы зависят от серии.
Опорно-поворотное устройство (ОПУ)	По документации семейства и модели	—	Совместно проверять Fr, Fa, Mt, биения, монтажную базу, жёсткость и крепление.
Подшипник скольжения	Специальная система	—	Система ISO 492 к подшипникам скольжения не применяется.
Шарнирный подшипник скольжения	Специальная система	—	Граничные допуски не образуют систему классов ISO 492; применять документацию конкретной конструкции.

6.2. Посадочные места на валу и в корпусе

6.2.1. Характер нагрузки и принцип выбора посадки

Посадку выбирают отдельно для каждого кольца. Сначала определяют, как направление результирующей нагрузки перемещается относительно именно этого кольца. Вращение вала или кольца само по себе тип нагрузки не определяет.

Таблица 6-К. Характер нагрузки кольца и принцип посадки

Характер нагрузки	Как определить	Что это означает для посадки
Местная	Направление результирующей нагрузки относительно кольца почти не меняется: нагружена ограниченная зона дорожки. Типичный случай — кольцо неподвижно относительно направления внешней радиальной силы.	Кольцу не обязательно иметь натяг только из-за нагрузки. Возможна посадка с зазором или переходная посадка, если исключены ползучесть и проворачивание. Отдельно проверяют требуемое осевое перемещение, температуру и фиксацию.

Характер нагрузки	Как определить	Что это означает для посадки
Циркуляционная	Направление результирующей нагрузки относительно кольца последовательно проходит по всей окружности дорожки. Это бывает, когда кольцо вращается относительно практически неподвижного направления силы либо когда сама сила вращается относительно кольца.	Обычно требуется посадка с натягом, чтобы кольцо не ползло по посадочному месту. Чем выше нагрузка, ударность и температура, тем важнее проверить фактический натяг, монтажные напряжения и остаточный внутренний зазор.
Неопределённая / колебательная	Направление, величина или зона приложения результирующей нагрузки меняются непредсказуемо либо колеблются в секторе; возможны реверс, вибрация, удар или несколько одновременно действующих сил.	При отсутствии подтверждённого устойчивого режима выбирают посадку как для более тяжёлого случая. Свободную посадку назначают только при расчётном обосновании и обязательной проверке пиков нагрузки, температурных переходов и возможности ползучести.

Не определять тип нагрузки только по признаку «кольцо вращается / не вращается». Для выбора посадки важна относительная картина нагрузки, а затем — размер, материал, жёсткость, температура и требования к осевому перемещению.

6.2.2. Поля посадок для внутреннего и наружного кольца

Таблицы 6-L и 6-M — предварительная карта для обычных метрических подшипников при стандартных условиях: сплошной стальной вал и стальной либо чугунный корпус. Поле допуска расшифровывают численно по ISO 286; момент его применения определяют по каталожной таблице, область которой полностью совпадает с типом, размером, характером нагрузки и конструкцией узла. Для полого вала, тонкостенного или легкосплавного корпуса, подшипника без одного из колец, конического отверстия и высокоточной системы применяют специальные условия разделов 6.5 и 6.6.

Численные границы категорий нагрузки у разных инженерных таблиц неодинаковы: используются **P/C**, **C0/P0**, абсолютная нагрузка, удар, вибрация и другие признаки. Поэтому таблицы ниже не вводят универсальные пороги **0,07/0,15** и не смешивают **P/C** с **C0/P0**. Если строка содержит несколько зон, точную выбирают только по одной применимой исходной таблице, без составления гибридной границы.

Таблица 6-L. Внутреннее кольцо и вал

Подшипник и условие	Характер нагрузки / размер	Поле вала	Пояснение и обязательная проверка
Радиальный шариковый или роликовый	Местная нагрузка; требуется лёгкое осевое перемещение	g6	Подходит для плавающего кольца при обычных условиях. Для повышенной точности проверить более узкую IT-ветвь и фактический рабочий зазор.
Радиальный шариковый или роликовый	Местная нагрузка; осевое перемещение не требуется	h6	Не переносить автоматически на игольчатые исполнения и регулируемые пары.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Подшипник и условие	Характер нагрузки / размер	Поле вала	Пояснение и обязательная проверка
Радиальный шариковый	Циркуляционная или неопределённая; лёгкая нагрузка	js5/js6, j5/j6 или k6	Конкретное поле зависит от диаметра и критерия нагрузки исходной таблицы. Универсального перехода между зонами нет.
Радиальный шариковый	Циркуляционная или неопределённая; нормальная/тяжёлая нагрузка	k5/k6, m5/m6 или n6	Выбор зависит от точного диаметра. Не объединять в одну границу разные критерии P/C и C0/P0.
Радиальный роликовый	Циркуляционная или неопределённая; лёгкая нагрузка	j6, k6 или m6	Переход между полями выбирать только по применимой таблице для конкретного типа и размера.
Радиальный роликовый	Циркуляционная или неопределённая; нормальная/тяжёлая нагрузка	k6, m5/m6, n5/n6, p6 или r6/r7	При усилении натяга обязательно проверить монтажные напряжения и остаточный внутренний зазор.
Радиальный роликовый	Удар, вибрация или высокая пиковая нагрузка	n6, p6, r6 или r7	Требуется отдельная проверка материала вала, монтажного способа и достаточного исходного внутреннего зазора.
Упорный шариковый; только осевая нагрузка	По специальной таблице конкретного типа	h6, j6 или js6	Единой межкаталоговой зоны не установлено. Поле выбирать только по применимой таблице конкретного исполнения.
Упорный сферический роликовый	Комбинированная нагрузка; местная на шайбе вала	j6; js6 только если разрешено	Не переносить это решение на другие упорные типы.
Упорный сферический роликовый	Циркуляционная/неопределённая; d ≤ 200 мм	k6	Проверить область применения исходной таблицы и остаточный внутренний зазор.
Упорный сферический роликовый	Циркуляционная/неопределённая; 200 < d ≤ 400 мм	m6	Проверить фактические предельные размеры выбранного поля и остаточный внутренний зазор.
Упорный сферический роликовый	Циркуляционная/неопределённая; d > 400 мм	n5 или n6	Решение зависит от применимого инженерного источника; единого универсального поля не установлено.

Поля, приведённые в таблице 6-L, существуют в системе ISO 286, но это не доказывает их применимость к любому подшипнику. Окончательный выбор заканчивают раскрытием поля в численные пределы по 6.2.3 и проверкой рабочего зазора или преднатяга по главе 7.

Таблица 6-M. Наружное кольцо и корпус

Нагрузка и корпус	Требуемая функция	Поле отверстия	Пояснение и обязательная проверка
Местная; неразъёмный корпус	Наружное кольцо должно свободно перемещаться в осевом направлении	H7	Базовый вариант для стандартного массивного стального или чугунного корпуса. Для крупного размера или значительной разности температур проверить специальную более свободную ветвь.
Местная; разъёмный корпус	Осевое перемещение требуется; обычная точность	H8	Стык корпуса не должен зажимать или овализировать наружное кольцо.
Местная; температурное расширение вала может блокировать перемещение	Гарантировать осевое перемещение наружного кольца	G7	При крупном размере или большой температурной разности использовать специальную строку применимой таблицы.
Неопределённая; лёгкая/нормальная нагрузка	Осевое перемещение желательно	J7	Обычно перемещение возможно. Проверить геометрию разъёма и отсутствие ползучести.
Неопределённая; нормальная/тяжёлая нагрузка	Осевое перемещение не требуется	K7	Конкретная нагрузочная граница определяется применимой таблицей для данного типа и размера.
Циркуляционная; лёгкая или переменная нагрузка	Кольцо должно быть надёжно удержано от ползучести	M7	Применять к стандартным массивным стальным или чугунным корпусам.
Циркуляционная; нормальная/тяжёлая нагрузка	Удержание с большим натягом	N7	Проверить деформацию корпуса и предельный натяг.
Циркуляционная; тонкостенный корпус либо тяжёлая пиковая/ударная нагрузка	Специальная плотная посадка	P7	Не применять к легкосплавному или недостаточно жёсткому корпусу без отдельного расчёта деформации.

Строки 6-M основаны на нескольких каталоговых прикладных таблицах. Численные пределы выбранного поля берут из ISO 286 по 6.2.3. Высокоточную ветвь J6/K6/M6/N6 и специальные корпуса с этой общей картой не смешивают.

6.2.3. Числовое раскрытие полей ISO 286-2

После выбора буквенно-цифрового поля его необходимо раскрыть в численные верхнее и нижнее отклонения. Таблицы 6-Q1…6-Q5 содержат только поля, реально используемые в этой главе. Значения — в микрометрах; формат ячейки: **верхнее/нижнее отклонение**. Пустая ячейка означает, что поле для данного размерного интервала в рабочем наборе не табулировано; экстраполяция запрещена. Поправка ISO 286-2:2010/исправление 1:2013 к **J6** для диапазона **>250…315 мм** учтена.

Таблица 6-Q1. ISO 286-2 — поля отверстий E…H, верхнее/нижнее отклонение, мкм

Номинальный размер, мм	E8	F7	G6	G7	H6	H7	H8	H9	H10
≤3	+28/+14	+16/+6	+8/+2	+12/+2	+6/0	+10/0	+14/0	+25/0	+40/0
>3–6	+38/+20	+22/+10	+12/+4	+16/+4	+8/0	+12/0	+18/0	+30/0	+48/0

Номинальный размер, мм	E8	F7	G6	G7	H6	H7	H8	H9	H10
>6–10	+47/+25	+28/+13	+14/+5	+20/+5	+9/0	+15/0	+22/0	+36/0	+58/0
>10–18	+59/+32	+34/+16	+17/+6	+24/+6	+11/0	+18/0	+27/0	+43/0	+70/0
>18–30	+73/+40	+41/+20	+20/+7	+28/+7	+13/0	+21/0	+33/0	+52/0	+84/0
>30–50	+89/+50	+50/+25	+25/+9	+34/+9	+16/0	+25/0	+39/0	+62/0	+100/0
>50–80	+106/+60	+60/+30	+29/+10	+40/+10	+19/0	+30/0	+46/0	+74/0	+120/0
>80–120	+126/+72	+71/+36	+34/+12	+47/+12	+22/0	+35/0	+54/0	+87/0	+140/0
>120–180	+148/+85	+83/+43	+39/+14	+54/+14	+25/0	+40/0	+63/0	+100/0	+160/0
>180–250	+172/+100	+96/+50	+44/+15	+61/+15	+29/0	+46/0	+72/0	+115/0	+185/0
>250–315	+191/+110	+108/+56	+49/+17	+69/+17	+32/0	+52/0	+81/0	+130/0	+210/0
>315–400	+214/+125	+119/+62	+54/+18	+75/+18	+36/0	+57/0	+89/0	+140/0	+230/0
>400–500	+232/+135	+131/+68	+60/+20	+83/+20	+40/0	+63/0	+97/0	+155/0	+250/0
>500–630	+255/+145	+146/+76	+66/+22	+92/+22	+44/0	+70/0	+110/0	+175/0	+280/0
>630–800	+285/+160	+160/+80	+74/+24	+104/+24	+50/0	+80/0	+125/0	+200/0	+320/0
>800–1 000	+310/+170	+176/+86	+82/+26	+116/+26	+56/0	+90/0	+140/0	+230/0	+360/0
>1 000–1 250	+360/+195	+203/+98	+94/+28	+133/+28	+66/0	+105/0	+165/0	+260/0	+420/0
>1 250–1 600	+415/+220	+235/+110	+108/+30	+155/+30	+78/0	+125/0	+195/0	+310/0	+500/0
>1 600–2 000	+470/+240	+270/+120	+124/+32	+182/+32	+92/0	+150/0	+230/0	+370/0	+600/0
>2 000–2 500	+540/+260	+305/+130	+144/+34	+209/+34	+110/0	+175/0	+280/0	+440/0	+700/0

Таблица 6-Q2. ISO 286-2 — поля отверстий J…P, верхнее/нижнее отклонение, мкм

Номинальный размер, мм	J6	J7	K6	K7	M6	M7	N6	N7	P6	P7
≤3	+2/−4	+4/−6	0/−6	0/−10	−2/−8	−2/−12	−4/−10	−4/−14	−6/−12	−6/−16
>3–6	+5/−3	±6	+2/−6	+3/−9	−1/−9	0/−12	−5/−13	−4/−16	−9/−17	−8/−20
>6–10	+5/−4	+8/−7	+2/−7	+5/−10	−3/−12	0/−15	−7/−16	−4/−19	−12/−21	−9/−24
>10–18	+6/−5	+10/−8	+2/−9	+6/−12	−4/−15	0/−18	−9/−20	−5/−23	−15/−26	−11/−29
>18–30	+8/−5	+12/−9	+2/−11	+6/−15	−4/−17	0/−21	−11/−24	−7/−28	−18/−31	−14/−35
>30–50	+10/−6	+14/−11	+3/−13	+7/−18	−4/−20	0/−25	−12/−28	−8/−33	−21/−37	−17/−42
>50–80	+13/−6	+18/−12	+4/−15	+9/−21	−5/−24	0/−30	−14/−33	−9/−39	−26/−45	−21/−51
>80–120	+16/−6	+22/−13	+4/−18	+10/−25	−6/−28	0/−35	−16/−38	−10/−45	−30/−52	−24/−59
>120–180	+18/−7	+26/−14	+4/−21	+12/−28	−8/−33	0/−40	−20/−45	−12/−52	−36/−61	−28/−68
>180–250	+22/−7	+30/−16	+5/−24	+13/−33	−8/−37	0/−46	−22/−51	−14/−60	−41/−70	−33/−79
>250–315	+25/−7	+36/−16	+5/−27	+16/−36	−9/−41	0/−52	−25/−57	−14/−66	−47/−79	−36/−88
>315–400	+29/−7	+39/−18	+7/−29	+17/−40	−10/−46	0/−57	−26/−62	−16/−73	−51/−87	−41/−98

Допуски, посадочные места и шероховатость

Номинальный размер, мм	J6	J7	K6	K7	M6	M7	N6	N7	P6	P7
>400–500	+33/−7	+43/−20	+8/−32	+18/−45	−10/−50	0/−63	−27/−67	−17/−80	−55/−95	−45/−108
>500–630	—	—	0/−44	0/−70	−26/−70	−26/−96	−44/−88	−44/−114	−78/−122	−78/−148
>630–800	—	—	0/−50	0/−80	−30/−80	−30/−110	−50/−100	−50/−130	−88/−138	−88/−168
>800–1 000	—	—	0/−56	0/−90	−34/−90	−34/−124	−56/−112	−56/−146	−100/−156	−100/−190
>1 000–1 250	—	—	0/−66	0/−105	−40/−106	−40/−145	−66/−132	−66/−171	−120/−186	−120/−225
>1 250–1 600	—	—	0/−78	0/−125	−48/−126	−48/−173	−78/−156	−78/−203	−140/−218	−140/−265
>1 600–2 000	—	—	0/−92	0/−150	−58/−150	−58/−208	−92/−184	−92/−242	−170/−262	−170/−320
>2 000–2 500	—	—	0/−110	0/−175	−68/−178	−68/−243	−110/−220	−110/−285	−195/−305	−195/−370

Таблица 6-Q3. ISO 286-2 — поля валов f…h, верхнее/нижнее отклонение, мкм

Номинальный размер, мм	f6	g5	g6	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11
≤3	−6/−12	−2/−6	−2/−8	0/−4	0/−6	0/−10	0/−14	0/−25	0/−40	0/−60
>3–6	−10/−18	−4/−9	−4/−12	0/−5	0/−8	0/−12	0/−18	0/−30	0/−48	0/−75
>6–10	−13/−22	−5/−11	−5/−14	0/−6	0/−9	0/−15	0/−22	0/−36	0/−58	0/−90
>10–18	−16/−27	−6/−14	−6/−17	0/−8	0/−11	0/−18	0/−27	0/−43	0/−70	0/−110
>18–30	−20/−33	−7/−16	−7/−20	0/−9	0/−13	0/−21	0/−33	0/−52	0/−84	0/−130
>30–50	−25/−41	−9/−20	−9/−25	0/−11	0/−16	0/−25	0/−39	0/−62	0/−100	0/−160
>50–80	−30/−49	−10/−23	−10/−29	0/−13	0/−19	0/−30	0/−46	0/−74	0/−120	0/−190
>80–120	−36/−58	−12/−27	−12/−34	0/−15	0/−22	0/−35	0/−54	0/−87	0/−140	0/−220
>120–180	−43/−68	−14/−32	−14/−39	0/−18	0/−25	0/−40	0/−63	0/−100	0/−160	0/−250
>180–250	−50/−79	−15/−35	−15/−44	0/−20	0/−29	0/−46	0/−72	0/−115	0/−185	0/−290
>250–315	−56/−88	−17/−40	−17/−49	0/−23	0/−32	0/−52	0/−81	0/−130	0/−210	0/−320
>315–400	−62/−98	−18/−43	−18/−54	0/−25	0/−36	0/−57	0/−89	0/−140	0/−230	0/−360
>400–500	−68/−108	−20/−47	−20/−60	0/−27	0/−40	0/−63	0/−97	0/−155	0/−250	0/−400
>500–630	−76/−120	—	−22/−66	0/−32	0/−44	0/−70	0/−110	0/−175	0/−280	0/−440
>630–800	−80/−130	—	−24/−74	0/−36	0/−50	0/−80	0/−125	0/−200	0/−320	0/−500
>800–1 000	−86/−142	—	−26/−82	0/−40	0/−56	0/−90	0/−140	0/−230	0/−360	0/−560
>1 000–1 250	−98/−164	—	−28/−94	0/−47	0/−66	0/−105	0/−165	0/−260	0/−420	0/−660
>1 250–1 600	−110/−188	—	−30/−108	0/−55	0/−78	0/−125	0/−195	0/−310	0/−500	0/−780
>1 600–2 000	−120/−212	—	−32/−124	0/−65	0/−92	0/−150	0/−230	0/−370	0/−600	0/−920
>2 000–2 500	−130/−240	—	−34/−144	0/−78	0/−110	0/−175	0/−280	0/−440	0/−700	0/−1 100

Таблица 6-Q4. ISO 286-2 — поля валов js/j/k, верхнее/нижнее отклонение, мкм

Номинальный размер, мм	js6	j5	j6	k5	k6
≤3	±3	±2	+4/−2	+4/0	+6/0
>3–6	±4	+3/−2	+6/−2	+6/+1	+9/+1

Номинальный размер, мм	js6	j5	j6	k5	k6
>6–10	±4,5	+4/−2	+7/−2	+7/+1	+10/+1
>10–18	±5,5	+5/−3	+8/−3	+9/+1	+12/+1
>18–30	±6,5	+5/−4	+9/−4	+11/+2	+15/+2
>30–50	±8	+6/−5	+11/−5	+13/+2	+18/+2
>50–80	±9,5	+6/−7	+12/−7	+15/+2	+21/+2
>80–120	±11	+6/−9	+13/−9	+18/+3	+25/+3
>120–180	±12,5	+7/−11	+14/−11	+21/+3	+28/+3
>180–250	±14,5	+7/−13	+16/−13	+24/+4	+33/+4
>250–315	±16	+7/−16	±16	+27/+4	+36/+4
>315–400	±18	+7/−18	±18	+29/+4	+40/+4
>400–500	±20	+7/−20	±20	+32/+5	+45/+5
>500–630	±22	—	—	—	+44/0
>630–800	±25	—	—	—	+50/0
>800–1 000	±28	—	—	—	+56/0
>1 000–1 250	±33	—	—	—	+66/0
>1 250–1 600	±39	—	—	—	+78/0
>1 600–2 000	±46	—	—	—	+92/0
>2 000–2 500	±55	—	—	—	+110/0

Таблица 6-Q5. ISO 286-2 — поля валов m/n/p/r/s, верхнее/нижнее отклонение, мкм

Номинальный размер, мм	m5	m6	n5	n6	p6	r6	s6
≤3	+6/+2	+8/+2	+8/+4	+10/+4	+12/+6	+16/+10	+20/+14
>3–6	+9/+4	+12/+4	+13/+8	+16/+8	+20/+12	+23/+15	+27/+19
>6–10	+12/+6	+15/+6	+16/+10	+19/+10	+24/+15	+28/+19	+32/+23
>10–18	+15/+7	+18/+7	+20/+12	+23/+12	+29/+18	+34/+23	+39/+28
>18–30	+17/+8	+21/+8	+24/+15	+28/+15	+35/+22	+41/+28	+48/+35
>30–50	+20/+9	+25/+9	+28/+17	+33/+17	+42/+26	+50/+34	+59/+43
>50–80	+24/+11	+30/+11	+33/+20	+39/+20	+51/+32	—	—
>50–65	—	—	—	—	—	+60/+41	+72/+53
>65–80	—	—	—	—	—	+62/+43	+78/+59
>80–120	+28/+13	+35/+13	+38/+23	+45/+23	+59/+37	—	—
>80–100	—	—	—	—	—	+73/+51	+93/+71

Допуски, посадочные места и шероховатость

Номинальный размер, мм	m5	m6	n5	n6	p6	r6	s6
>100–120	—	—	—	—	—	+76/+54	+101/+79
>120–180	+33/+15	+40/+15	+45/+27	+52/+27	+68/+43	—	—
>120–140	—	—	—	—	—	+88/+63	+117/+92
>140–160	—	—	—	—	—	+90/+65	+125/+100
>160–180	—	—	—	—	—	+93/+68	+133/+108
>180–250	+37/+17	+46/+17	+51/+31	+60/+31	+79/+50	—	—
>180–200	—	—	—	—	—	+106/+77	+151/+122
>200–225	—	—	—	—	—	+109/+80	+159/+130
>225–250	—	—	—	—	—	+113/+84	+169/+140
>250–315	+43/+20	+52/+20	+57/+34	+66/+34	+88/+56	—	—
>250–280	—	—	—	—	—	+126/+94	+190/+158
>280–315	—	—	—	—	—	+130/+98	+202/+170
>315–400	+46/+21	+57/+21	+62/+37	+73/+37	+98/+62	—	—
>315–355	—	—	—	—	—	+144/+108	+226/+190
>355–400	—	—	—	—	—	+150/+114	+244/+208
>400–500	+50/+23	+63/+23	+67/+40	+80/+40	+108/+68	—	—
>400–450	—	—	—	—	—	+166/+126	+272/+232
>450–500	—	—	—	—	—	+172/+132	+292/+252
>500–630	—	+70/+26	—	+88/+44	+122/+78	—	—
>500–560	—	—	—	—	—	+194/+150	+324/+280
>560–630	—	—	—	—	—	+199/+155	+354/+310
>630–800	—	+80/+30	—	+100/+50	+138/+88	—	—
>630–710	—	—	—	—	—	+225/+175	+390/+340
>710–800	—	—	—	—	—	+235/+185	+430/+380
>800–1 000	—	+90/+34	—	+112/+56	+156/+100	—	—
>800–900	—	—	—	—	—	+266/+210	+486/+430
>900–1 000	—	—	—	—	—	+276/+220	+526/+470
>1 000–1 250	—	+106/+40	—	+132/+66	+186/+120	—	—
>1 000–1 120	—	—	—	—	—	+316/+250	+586/+520
>1 120–1 250	—	—	—	—	—	+326/+260	+646/+580

Номинальный размер, мм	m5	m6	n5	n6	p6	r6	s6
>1 250–1 600	—	+126/+48	—	+156/+78	+218/+140	—	—
>1 250–1 400	—	—	—	—	—	+378/+300	+718/+640
>1 400–1 600	—	—	—	—	—	+408/+330	+798/+720
>1 600–2 000	—	+150/+58	—	+184/+92	+262/+170	—	—
>1 600–1 800	—	—	—	—	—	+462/+370	+912/+820
>1 800–2 000	—	—	—	—	—	+492/+400	+1 012/+920
>2 000–2 500	—	+178/+68	—	+220/+110	+305/+195	—	—
>2 000–2 240	—	—	—	—	—	+550/+440	+1 110/+1 000
>2 240–2 500	—	—	—	—	—	+570/+460	+1 210/+1 100

Для H/h/M/N исходные таблицы обозначают первый интервал как ≤3а: буква а является индексом нормативной сноски, а размерный интервал остаётся ≤3 мм; поэтому в компактных матрицах значения объединены в одну строку ≤3. Для J7 в диапазоне >3…6 мм числовое значение показано как ±6 мкм без буквенного индекса сноски. Для j5/j6, g5, m5, n5, J6/J7 рабочий набор заканчивается при 500 мм; отсутствие строки выше 500 мм означает «не табулировано», а не нулевое отклонение. Для r6/s6 сохранены более мелкие нормативные интервалы.

ВАЖНО. Буквенно-цифровое поле (k6, H7, M7 и т. п.) — это не величина натяга. Фактический диапазон натяга или зазора определяют отдельным расчётом по предельным размерам выбранного поля и допускам конкретного кольца.

6.3. Геометрия посадочных мест

Геометрические требования назначают не «по привычному полю», а по функции поверхности, классу подшипника, характеру нагрузки и жёсткости детали. Допуск диаметра не заменяет контроль формы и положения.

Таблица 6-N. Требования к геометрии посадочных мест

Класс / функция	Вал: диаметр	Вал: форма / биение плеча	Корпус: диаметр	Корпус: форма / биение плеча	Ограничение
нормальный / 6X	**IT6** (**IT5**)	циркуляционная **IT4/2**; местная **IT5/2**; плечо **IT4**	**IT7** (**IT6**)	циркуляционная **IT5/2**; местная **IT6/2**; плечо **IT5**	Значения в скобках — повышенная размерная точность
6	**IT5**	циркуляционная **IT3/2**; местная **IT4/2**; плечо **IT3**	**IT6**	циркуляционная **IT4/2**; местная **IT5/2**; плечо **IT4**	Требования к форме проверять отдельно от поля диаметра
5	**IT5**	циркуляционная **IT2/2**; местная **IT3/2**; плечо **IT2**	**IT6**	циркуляционная **IT3/2**; местная **IT4/2**; плечо **IT3**	Геометрия обеих опор должна соответствовать точности узла

Допуски, посадочные места и шероховатость

Класс / функция	Вал: диаметр	Вал: форма / биение плеча	Корпус: диаметр	Корпус: форма / биение плеча	Ограничение
4	**IT4**	циркуляционная **IT1/2**; местная **IT2/2**; плечо **IT1**	**IT5**	циркуляционная **IT2/2**; местная **IT3/2**; плечо **IT2**	Для специальных сверхточных систем применять их полную таблицу
Крупногабаритная опора	По специальной размерной ветви	Круглость, параллельность и биение по размеру и классу	По специальной размерной ветви	Форма, биение и деформация опорной конструкции	Требования обычного размера не масштабировать
Вал как дорожка качения	Специальное поле диаметра	Круглость и изменение среднего диаметра — **IT3** в подтверждённых игольчатых ветвях	—	—	Одновременно обязательны твёрдость, глубина слоя и шероховатость
Специальная монтажная база	По системе исполнения	Плоскостность, параллельность или высотное положение — по функции	По системе исполнения	Перпендикулярность, жёсткость и общая деформация	ОПУ и линейные опоры не сводить к обычному месту кольца

IT — квалитет точности по ISO 286-1. Число после IT не является значением в микрометрах: ширина допуска зависит от номинального размера. Например, IT4 равен 7 мкм для размера свыше 30 до 50 мм и 20 мкм для размера свыше 400 до 500 мм. Запись IT4/2 означает половину ширины допуска IT4 для того же размерного интервала. Аналогично читаются IT3/2, IT2/2 и другие записи. В таблице 6-N это рекомендуемый уровень точности формы, а не поле допуска диаметра.

Таблица 6-N1. Значения квалитетов IT1–IT7 по ISO 286-1, мкм

Номинальный размер, мм	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7
≤3	0,8	1,2	2	3	4	6	10
>3…6	1	1,5	2,5	4	5	8	12
>6…10	1	1,5	2,5	4	6	9	15
>10…18	1,2	2	3	5	8	11	18
>18…30	1,5	2,5	4	6	9	13	21
>30…50	1,5	2,5	4	7	11	16	25
>50…80	2	3	5	8	13	19	30
>80…120	2,5	4	6	10	15	22	35

Номинальный размер, мм	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7
>120…180	3,5	5	8	12	18	25	40
>180…250	4,5	7	10	14	20	29	46
>250…315	6	8	12	16	23	32	52
>315…400	7	9	13	18	25	36	57
>400…500	8	10	15	20	27	40	63

6.4. Шероховатость общих посадочных поверхностей

Шероховатость выбирают по функции поверхности. Посадочная поверхность — это место контакта кольца с валом или корпусом. Вал-дорожка — поверхность, по которой непосредственно катятся тела качения в подшипнике без внутреннего кольца или в линейной втулке. Монтажная база задаёт положение узла при установке. Контактная дорожка сопряжённой детали воспринимает качение ролика. Одинаковое значение Ra не означает, что эти поверхности выполняют одинаковую функцию.

6.4.1. Посадочные поверхности

Таблица 6-O1. Обычные посадочные поверхности: общая инженерная рекомендация

Группа по наружному диаметру подшипника	Вал, Ra, мкм	Отверстие корпуса, Ra, мкм	Статус и ограничение
D ≤ 180 мм	≈0,8	≈1,6	Каталожная рекомендация для нормальных условий; исходные значения 32/63 мкдюйм
D > 180 мм	≈1,6	≈3,2	Каталожная для крупных размеров ветвь; исходные значения 63/125 мкдюйм

Эта таблица не является ISO-нормой и не применяется автоматически к сверхточным, тонкостенным, линейным или специальным опорам.

Таблица 6-O2. Шлифованные цилиндрические посадочные поверхности: Ra макс. по размеру и IT

Номинальный диаметр места d(D), мм	IT7, мкм	IT6, мкм	IT5, мкм	IT4, мкм
≤80	1,6	0,8	0,4	0,2
>80…≤500	1,6	1,6	0,8	0,4
>500…≤1250	3,2	1,6	1,6	0,8

Таблица является каталожной инженерной рекомендацией для шлифованных цилиндрических мест. При монтаже гидравлическим методом в этой системе **Ra** не должно превышать **1,6 мкм**.

6.5. Общие особые посадочные случаи и контроль

6.5.1. Когда обычная таблица посадок неприменима

Обычную таблицу посадок применяют только к стандартному цилиндрическому месту с обычным кольцом и достаточно жёсткими сопряжёнными деталями. Если натяг создаётся конусом, вал одновременно служит дорожкой качения, кольцо тонкостенное или конструкция имеет собственный способ закрепления, выбор выполняют по специальной ветви ниже.

Таблица 6-P. Когда обычная таблица посадок неприменима

Исполнение	Почему обычной таблицы недостаточно	Что проверять
Коническое отверстие 1:12 или 1:30	Натяг формируется осевым продвижением по конусу	Конусность, угол и форма места; осевое продвижение; уменьшение зазора или расширение кольца по разрешённой методике
Закрепительная или стяжная втулка	Между валом и кольцом появляется отдельный элемент сопряжения	Поле цилиндрического вала, геометрию втулки, способ затяжки, продвижение и остаточный зазор
Игольчатый без внутреннего кольца	Вал становится дорожкой качения	Поле диаметра, **IT3**, шероховатость, твёрдость, глубину слоя и рабочий зазор
Штампованное наружное кольцо	После запрессовки корпус формирует геометрию тонкой дорожки	Поле и форму отверстия, материал и толщину корпуса, деформацию и осевую фиксацию
Упорный игольчатый	Общую таблицу упорных подшипников автоматически применять нельзя	Конструкцию шайб или дорожек, сопряжённые поверхности, осевую опору и посадочный интерфейс конкретного исполнения
Миниатюрный подшипник	Монтажная деформация и преднатяг могут сделать обычный натяг опасным	Нагрузку, возможность скольжения кольца, осевое прижатие, материал корпуса и температуру
Крупногабаритный подшипник	Действуют отдельные размерные и геометрические ветви	Посадку, форму, шероховатость, монтаж, жёсткость и тепловой режим по конкретному размеру
Тонкостенный подшипник	Кольцо особенно сильно повторяет форму места; ветвь массивного кольца не переносится автоматически	Серийные требования к геометрии и посадке, жёсткость корпуса и деформацию кольца
Сверхточная опора	Посадка связана со скоростью, схемой, преднатягом, плечами и дистанционными кольцами	Полный комплект требований выбранной системы и согласование всех монтажных баз
Вставной подшипник или корпусный узел	Поле вала зависит от способа закрепления кольца	Винты, эксцентрик, концентрическое закрепление или втулку; нагрузку, скорость и биение
Опорный ролик или ролик с цапфой	Нагрузка передаётся через цапфу и сопряжённую дорожку детали	Отверстие, перпендикулярность плеча, дорожку, твёрдость и шероховатость
Подшипник скольжения	Запрессовка втулки изменяет внутренний диаметр и рабочий зазор	Материал и толщину втулки, посадку в корпусе, вал, рабочий зазор, смазывание и условия обслуживания

Исполнение	Почему обычной таблицы недостаточно	Что проверять
Шарнирный подшипник скольжения	Натяг колец и положение плавающего интерфейса зависят от материала пары и направления нагрузки	Отдельные таблицы вала и корпуса, внутренний зазор, твёрдость и качество скользящей сопряжённой поверхности
Линейная шариковая втулка	Вал является направляющей дорожкой, а не обычным местом внутреннего кольца	Поле диаметра, прямолинейность, **Ra**, твёрдость и глубину слоя
Профильная направляющая	Работают монтажные базы рельса и блока	Параллельность, перепад высот, уступы, фаски, преднатяг и длину установки
Перекрёстно-роликовая опора	Допуски и монтажные базы зависят от серии и схемы кольца	Класс, биения, жёсткость, крепление и преднатяг; не подменять требованиями ОПУ
ОПУ	Нагрузки, крепёж и деформация опорной конструкции взаимодействуют	**Fr**, **Fa** и **Mt**, плоскостность, перпендикулярность, непрерывность и толщину опоры, крепёж и центрирование

ВАЖНО. В подшипнике без внутреннего кольца вал является дорожкой качения. Обычного выбора поля посадки недостаточно.

НЕ ПУТАТЬ. Коническую посадку нельзя рассчитывать цилиндрическими формулами **Umin/Umax**: натяг задаётся геометрией конуса и осевым продвижением.

6.5.2. Контроль перед передачей расчёта в главу 7

1. Класс точности выбран для нужного типа и системы обозначений.
2. Характер нагрузки определён отдельно для каждого кольца.
3. Поля вала и корпуса выбраны в подтверждённой области применения.
4. Поля раскрыты в предельные размеры для фактического диаметра.
5. Рассчитан диапазон натяга или зазора, а не принято буквенное обозначение поля.
6. Учтены температура, нагрузка, полый вал, материал и жёсткость корпуса.
7. Проверены форма, положение, шероховатость, плечи, галтели и осевая фиксация.
8. Для специальных исполнений отдельно проверены посадочная ветвь и рабочий зазор/преднатяг (см. главу 7).

6.6. Допуски и требования по типам подшипников

6.6.1. Радиальные подшипники — общие допуски ISO 492

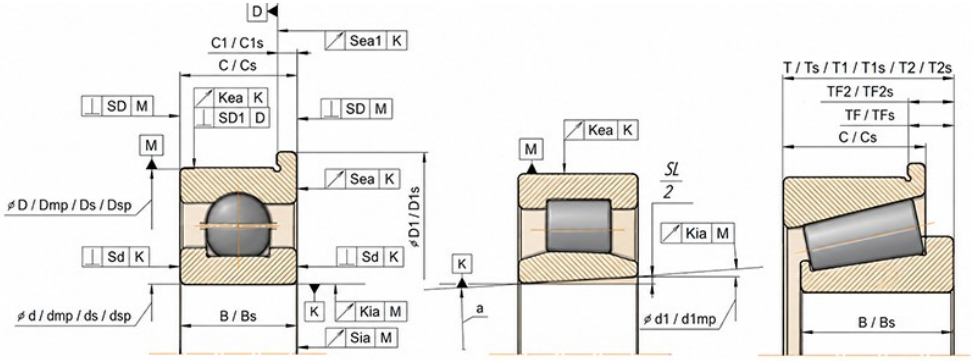


Рис. 6.1. Размерные параметры радиального подшипника: d, D, B/C и параметры диаметра.

Числовые значения таблиц 6-B1…6-C16 приведены в мкм. Размерные серии (DS) сохраняются в заголовках и не заменяются усреднением.

Таблица 6-B0. Расшифровка колонок радиальных шариковых и роликовых подшипников — рис. 6.1.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
d / D	Номинальный диаметр отверстия / наружный диаметр	Размерный интервал выбирают по соответствующему кольцу.
Δdmp / ΔDmp	Отклонение среднего диаметра отверстия / наружной поверхности	Средний размер относительно номинала; U и L — верхний и нижний предел.
Δds / ΔDs	Отклонение единичного диаметра	Используется там, где стандарт нормирует единичный, а не средний диаметр.
Vdsp / VDsp	Изменение единичного диаметра в одной радиальной плоскости	Характеризует разброс диаметра в выбранном поперечном сечении.
Vdmp / VDmp	Изменение среднего диаметра по ширине кольца	Показывает изменение среднего диаметра между радиальными плоскостями.
Kia / Kea	Радиальное биение внутреннего / наружного кольца собранного подшипника	Не путать с допуском формы посадочного места.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
Sd / SD / SD1	Перпендикулярность торца внутреннего кольца / оси наружной поверхности к базовому торцу	SD1 относится к предусмотренному стандартом исполнению/базе.
Sia / Sea / Sea1	Осевое биение внутреннего / наружного кольца; Sea1 — фланцевого исполнения	Применять только к тем конструкциям, где параметр указан в таблице.
ΔBs / ΔCs / ΔC1s	Отклонение ширины внутреннего / наружного кольца / специальной ширины C1	U/L — верхнее/нижнее отклонение.
VBs / VCs / VC1s	Изменение ширины соответствующего кольца	Максимально допустимый разброс измерений ширины.
DS	Серия диаметра	Определяет, какая колонка допуска применима к конкретной размерной серии.
U / L	Upper / Lower — верхнее / нижнее предельное отклонение	Это пределы характеристики, а не отдельные размеры подшипника.

Таблица 6-B1. Радиальные, кроме конических — внутреннее кольцо — нормальный — рис. 6.1.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp U	Δdmp L	Vdsp DS 9	Vdsp DS 0,1	Vdsp DS 2,3,4	Vdmp	Kia	ΔBs U	ΔBs L, стандартное	ΔBs L, модифицированное	VBs
—	0,6	0	−8	10	8	6	6	10	0	−40	—	12
0,6	2,5	0	−8	10	8	6	6	10	0	−40	—	12
2,5	10	0	−8	10	8	6	6	10	0	−120	−250	15
10	18	0	−8	10	8	6	6	10	0	−120	−250	20
18	30	0	−10	13	10	8	8	13	0	−120	−250	20
30	50	0	−12	15	12	9	9	15	0	−120	−250	20
50	80	0	−15	19	19	11	11	20	0	−150	−380	25
80	120	0	−20	25	25	15	15	25	0	−200	−380	25
120	180	0	−25	31	31	19	19	30	0	−250	−500	30
180	250	0	−30	38	38	23	23	40	0	−300	−500	30
250	315	0	−35	44	44	26	26	50	0	−350	−500	35
315	400	0	−40	50	50	30	30	60	0	−400	−630	40
400	500	0	−45	56	56	34	34	65	0	−450	—	50
500	630	0	−50	63	63	38	38	70	0	−500	—	60
630	800	0	−75	—	—	—	—	80	0	−750	—	70
800	1 000	0	−100	—	—	—	—	90	0	−1 000	—	80
1 000	1 250	0	−125	—	—	—	—	100	0	−1 250	—	100
1 250	1 600	0	−160	—	—	—	—	120	0	−1 600	—	120
1600	2000	0	−200	—	—	—	—	140	0	−2000	—	140

Допуски, посадочные места и шероховатость

Таблица 6-B2. Радиальные, кроме конических — наружное кольцо — нормальный — рис. 6.1.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp открытое исполнение DS 9	VDsp открытое исполнение DS 0,1	VDsp открытое исполнение DS 2,3,4	VDsp закрытое исполнение DS 2,3,4	VDmp	Kea
—	2,5	0	−8	10	8	6	10	6	15
2,5	6	0	−8	10	8	6	10	6	15
6	18	0	−8	10	8	6	10	6	15
18	30	0	−9	12	9	7	12	7	15
30	50	0	−11	14	11	8	16	8	20
50	80	0	−13	16	13	10	20	10	25
80	120	0	−15	19	19	11	26	11	35
120	150	0	−18	23	23	14	30	14	40
150	180	0	−25	31	31	19	38	19	45
180	250	0	−30	38	38	23	—	23	50
250	315	0	−35	44	44	26	—	26	60
315	400	0	−40	50	50	30	—	30	70
400	500	0	−45	56	56	34	—	34	80
500	630	0	−50	63	63	38	—	38	100
630	800	0	−75	94	94	55	—	55	120
800	1 000	0	−100	125	125	75	—	75	140
1 000	1 250	0	−125	—	—	—	—	—	160
1 250	1 600	0	−160	—	—	—	—	—	190
1 600	2 000	0	−200	—	—	—	—	—	220
2000	2500	0	−250	—	—	—	—	—	250

ΔCs/ΔC1s и **VCs/VC1s** принимают по **ΔBs** и **VBs** внутреннего кольца того же подшипника; предельные отклонения **D1** фланца — по таблице 6-C14.

Таблица 6-B3. Радиальные, кроме конических — внутреннее кольцо — класс 6 — рис. 6.1.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp U	Δdmp L	Vdsp DS 9	Vdsp DS 0,1	Vdsp DS 2,3,4	Vdmp	Kia	ΔBs U	ΔBs L, стандартное	ΔBs L, модифицированное	VBs
—	0,6	0	−7	9	7	5	5	5	0	−40	—	12
0,6	2,5	0	−7	9	7	5	5	5	0	−40	—	12
2,5	10	0	−7	9	7	5	5	6	0	−120	−250	15
10	18	0	−7	9	7	5	5	7	0	−120	−250	20
18	30	0	−8	10	8	6	6	8	0	−120	−250	20
30	50	0	−10	13	10	8	8	10	0	−120	−250	20

d >, мм	d ≤, мм	ΔdmpU	ΔdmpL	Vdsp DS 9	Vdsp DS 0,1	Vdsp DS 2,3,4	Vdmp	Kia	ΔBs U	ΔBs L, стандартное	ΔBs L, модифицированное	VBs
50	80	0	−12	15	15	9	9	10	0	−150	−380	25
80	120	0	−15	19	19	11	11	13	0	−200	−380	25
120	180	0	−18	23	23	14	14	18	0	−250	−500	30
180	250	0	−22	28	28	17	17	20	0	−300	−500	30
250	315	0	−25	31	31	19	19	25	0	−350	−500	35
315	400	0	−30	38	38	23	23	30	0	−400	−630	40
400	500	0	−35	44	44	26	26	35	0	−450	—	45
500	630	0	−40	50	50	30	30	40	0	−500	—	50

Таблица 6-B4. Радиальные, кроме конических — наружное кольцо — класс 6 — рис. 6.1.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp открытое исполнение DS 9	VDsp открытое исполнение DS 0,1	VDsp открытое исполнение DS 2,3,4	VDsp закрытое исполнение DS 0…4	VDmp	Kea
—	2,5	0	−7	9	7	5	9	5	8
2,5	6	0	−7	9	7	5	9	5	8
6	18	0	−7	9	7	5	9	5	8
18	30	0	−8	10	8	6	10	6	9
30	50	0	−9	11	9	7	13	7	10
50	80	0	−11	14	11	8	16	8	13
80	120	0	−13	16	16	10	20	10	18
120	150	0	−15	19	19	11	25	11	20
150	180	0	−18	23	23	14	30	14	23
180	250	0	−20	25	25	15	—	15	25
250	315	0	−25	31	31	19	—	19	30
315	400	0	−28	35	35	21	—	21	35
400	500	0	−33	41	41	25	—	25	40
500	630	0	−38	48	48	29	—	29	50
630	800	0	−45	56	56	34	—	34	60
800	1000	0	−60	75	75	45	—	45	75

ΔCs/ΔC1s и **VCs/VC1s** принимают по **ΔBs** и **VBs** внутреннего кольца того же подшипника; предельные отклонения **D1** фланца — по таблице 6-C14.

Таблица 6-B5. Радиальные, кроме конических — внутреннее кольцо — класс 5 — рис. 6.1.

d >, мм	d ≤, мм	ΔdmpU	ΔdmpL	Vdsp DS 9	Vdsp DS 0…4	Vdmp	Kia	Sd	Sia	ΔBs U	ΔBs L, стандартное	ΔBs L, модифицированное	VBs
—	0,6	0	−5	5	4	3	4	7	7	0	−40	−250	5
0,6	2,5	0	−5	5	4	3	4	7	7	0	−40	−250	5

Допуски, посадочные места и шероховатость

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp U	Δdmp L	Vdsp DS 9	Vdsp DS 0…4	Vdmp	Kia	Sd	Sia	ΔBs U	ΔBs L, стандартное	ΔBs L, модифицированное	VBs
2,5	10	0	−5	5	4	3	4	7	7	0	−40	−250	5
10	18	0	−5	5	4	3	4	7	7	0	−80	−250	5
18	30	0	−6	6	5	3	4	8	8	0	−120	−250	5
30	50	0	−8	8	6	4	5	8	8	0	−120	−250	5
50	80	0	−9	9	7	5	5	8	8	0	−150	−250	6
80	120	0	−10	10	8	5	6	9	9	0	−200	−380	7
120	180	0	−13	13	10	7	8	10	10	0	−250	−380	8
180	250	0	−15	15	12	8	10	11	13	0	−300	−500	10
250	315	0	−18	18	14	9	13	13	15	0	−350	−500	13
315	400	0	−23	23	18	12	15	15	20	0	−400	−630	15

Параметр **Sia** применяется только к радиальным шариковым подшипникам с глубокими дорожками; условия модифицированная ширина и серия диаметра сохраняют по строке исполнения.

Таблица 6-B6. Радиальные, кроме конических — наружное кольцо — класс 5 — рис. 6.1.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp DS 9	VDsp DS 0…4	VDmp	Kea	SD / SD1	Sea	Sea1	VCs / VC1s
—	2,5	0	−5	5	4	3	5	4	8	11	5
2,5	6	0	−5	5	4	3	5	4	8	11	5
6	18	0	−5	5	4	3	5	4	8	11	5
18	30	0	−6	6	5	3	6	4	8	11	5
30	50	0	−7	7	5	4	7	4	8	11	5
50	80	0	−9	9	7	5	8	4	10	14	6
80	120	0	−10	10	8	5	10	4,5	11	16	8
120	150	0	−11	11	8	6	11	5	13	18	8
150	180	0	−13	13	10	7	13	5	14	20	8
180	250	0	−15	15	11	8	15	5,5	15	21	10
250	315	0	−18	18	14	9	18	6,5	18	25	11
315	400	0	−20	20	15	10	20	6,5	20	28	13
400	500	0	−23	23	17	12	23	7,5	23	33	15
500	630	0	−28	28	21	14	25	9	25	35	18
630	800	0	−35	35	26	18	30	10	30	42	20

ΔCs/ΔC1s и **VCs/VC1s** принимают по **ΔBs** и **VBs** внутреннего кольца того же подшипника; предельные отклонения **D1** фланца — по таблице 6-C14.

Параметры **Sea/Sea1** и ограничения для закрытых/фланцевых исполнений применяют только в прямо указанной конструкции.

Примечание к таблицам 6-B7…6-B10. В ISO 492:2014 для классов 4 и 2 значения U/L относятся к Δdmp (ΔDmp) для серии диаметра 9 и к Δds (ΔDs) для серий 0, 1, 2, 3 и 4. Это разные размерные характеристики; в заголовках ниже они показаны совместно только потому, что ISO использует для них общий столбец U/L по разным сериям диаметра.

Таблица 6-B7. Радиальные, кроме конических — внутреннее кольцо — класс 4 — рис. 6.1.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp / Δds U*	Δdmp / Δds L*	Vdsp DS 9	Vdsp DS 0…4	Vdmp	Kia	Sd	Sia	ΔBs U	ΔBs L, стандартное	ΔBs L, модифицированное	VBs
—	0,6	0	−4	4	3	2	2,5	3	3	0	−40	−250	2,5
0,6	2,5	0	−4	4	3	2	2,5	3	3	0	−40	−250	2,5
2,5	10	0	−4	4	3	2	2,5	3	3	0	−40	−250	2,5
10	18	0	−4	4	3	2	2,5	3	3	0	−80	−250	2,5
18	30	0	−5	5	4	2,5	3	4	4	0	−120	−250	2,5
30	50	0	−6	6	5	3	4	4	4	0	−120	−250	3
50	80	0	−7	7	5	3,5	4	5	5	0	−150	−250	4
80	120	0	−8	8	6	4	5	5	5	0	−200	−380	4
120	180	0	−10	10	8	5	6	6	7	0	−250	−380	5
180	250	0	−12	12	9	6	8	7	8	0	−300	−500	6

Параметр **Sia** применяется только к радиальным шариковым подшипникам с глубокими дорожками; условия модифицированная ширина и серия диаметра сохраняют по строке исполнения.

Таблица 6-B8. Радиальные, кроме конических — наружное кольцо — класс 4 — рис. 6.1.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp / ΔDs U*	ΔDmp / ΔDs L*	VDsp DS 9	VDsp DS 0…4	VDmp	Kea	SD / SD1	Sea	Sea1	VCs / VC1s
—	2,5	0	−4	4	3	2	3	2	5	7	2,5
2,5	6	0	−4	4	3	2	3	2	5	7	2,5
6	18	0	−4	4	3	2	3	2	5	7	2,5
18	30	0	−5	5	4	2,5	4	2	5	7	2,5
30	50	0	−6	6	5	3	5	2	5	7	2,5
50	80	0	−7	7	5	3,5	5	2	5	7	3
80	120	0	−8	8	6	4	6	2,5	6	8	4
120	150	0	−9	9	7	5	7	2,5	7	10	5
150	180	0	−10	10	8	5	8	2,5	8	11	5
180	250	0	−11	11	8	6	10	3,5	10	14	7
250	315	0	−13	13	10	7	11	4	10	14	7
315	400	0	−15	15	11	8	13	5	13	18	8

ΔCs/ΔC1s и **VCs/VC1s** принимают по **ΔBs** и **VBs** внутреннего кольца того же подшипника; предельные отклонения **D1** фланца — по таблице 6-C14.

Параметры **Sea/Sea1** и ограничения для закрытых/фланцевых исполнений применяют только в прямо указанной конструкции.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Таблица 6-B9. Радиальные, кроме конических — внутреннее кольцо — класс 2 — рис. 6.1.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp / Δds U*	Δdmp / Δds L*	Vdsp	Vdmp	Kia	Sd	Sia	ΔBs U	ΔBs L, стандартное	ΔBs L, модифицированное	VBs
—	0,6	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	−40	−250	1,5
0,6	2,5	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	−40	−250	1,5
2,5	10	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	−40	−250	1,5
10	18	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	−80	−250	1,5
18	30	0	−2,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0	−120	−250	1,5
30	50	0	−2,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0	−120	−250	1,5
50	80	0	−4	4	2	2,5	1,5	2,5	0	−150	−250	1,5
80	120	0	−5	5	2,5	2,5	2,5	2,5	0	−200	−380	2,5
120	150	0	−7	7	3,5	2,5	2,5	2,5	0	−250	−380	2,5
150	180	0	−7	7	3,5	5	4	5	0	−250	−380	4
180	250	0	−8	8	4	5	5	5	0	−300	−500	5

Параметр **Sia** применяется только к радиальным шариковым подшипникам с глубокими дорожками; условия модифицированная ширина и серия диаметра сохраняют по строке исполнения.

Таблица 6-B10. Радиальные, кроме конических — наружное кольцо — класс 2 — рис. 6.1.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp / ΔDs U*	ΔDmp / ΔDs L*	VDsp	VDmp	Kea	SD / SD1	Sea	Sea1	VCs / VC1s
—	2,5	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	0,75	1,5	3	1,5
2,5	6	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	0,75	1,5	3	1,5
6	18	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	0,75	1,5	3	1,5
18	30	0	−4	4	2	2,5	0,75	2,5	4	1,5
30	50	0	−4	4	2	2,5	0,75	2,5	4	1,5
50	80	0	−4	4	2	4	0,75	4	6	1,5
80	120	0	−5	5	2,5	5	1,25	5	7	2,5
120	150	0	−5	5	2,5	5	1,25	5	7	2,5
150	180	0	−7	7	3,5	5	1,25	5	7	2,5
180	250	0	−8	8	4	7	2	7	10	4
250	315	0	−8	8	4	7	2,5	7	10	5
315	400	0	−10	10	5	8	3,5	8	11	7

ΔCs/ΔC1s и **VCs/VC1s** принимают по **ΔBs** и **VBs** внутреннего кольца того же подшипника; предельные отклонения **D1** фланца — по таблице 6-C14.

Параметры **Sea/Sea1** и ограничения для закрытых/фланцевых исполнений применяют только в прямо указанной конструкции.

6.6.2. Радиальные шариковые подшипники с глубокими дорожками

Основной таблицы допусков — таблицы 6-B1…6-B10. Параметры, которые в ISO 492 помечены как применимые только к радиальные шариковые подшипники с глубокими дорожками, относятся именно к этому семейству и не переносятся на другие радиальные типы.

Для исполнения с фланцем наружного кольца дополнительно проверяют параметры фланца в пределах применимости ISO; обозначения D1 и связанные характеристики не заменяют базовые d, D, B и C.

6.6.3. Радиально-упорные шариковые подшипники

Базовые размерные и геометрические допуски берут из общего блока 6-B. Для однорядного радиально-упорного подшипника направление осевой базы и условия собранного контроля зависят от конструкции; парные и сверхточные исполнения рассматривают только в подтверждённой системе конкретного исполнения.

6.6.4. Самоустанавливающиеся шариковые подшипники

Используют общие таблицы допусков 6-B в применимой части. Параметры, ограниченные только подшипниками с глубокими дорожками, не переносят. При коническом отверстии дополнительно применяют ветвь 1:12 или 1:30 из таблиц 6-C15/6-C16.

6.6.5. Цилиндрические роликовые подшипники

Используют общие таблицы допусков 6-B. Характеристики, отмеченные в ISO как применимые только к радиальные шариковые подшипники с глубокими дорожками, исключают. Для исполнения без внутреннего кольца вал является дорожкой качения и требования к нему рассматривают как специальный интерфейс, а не как обычное посадочное место кольца.

6.6.6. Сферические роликовые подшипники

Используют общие таблицы допусков 6-B. Для исполнения с коническим отверстием дополнительно применяют таблицы 6-C15/6-C16 и отдельно контролируют конус и условия монтажа.

6.6.7. Тороидальные роликовые подшипники (CARB)

ISO 492 применяется только в подтверждённой области конкретного исполнения. Базовые параметры сопоставляют с общим блоком 6-B; при коническом отверстии — с таблицами 6-C15/6-C16. Область применения проверяют по документации исполнения.

6.6.8. Конические роликовые подшипники — ISO 492

Таблица 6-C0. Расшифровка колонок конических роликовых подшипников — рис. 6.1.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
d / D	Диаметр отверстия / наружный диаметр	Базовые диаметры внутреннего и наружного кольца.
B / C	Ширина внутреннего / наружного кольца	Отклонения ширины обозначаются ΔBs и ΔCs.
T / T1 / T2	Общая и эффективные монтажные ширины конического подшипника	Соответствующие отклонения: ΔTs, ΔT1s, ΔT2s.
TF / TF2	Монтажные размеры фланцевого исполнения	Использовать только там, где стандарт задаёт TF/TF2; отклонения ΔTFs/ΔTF2s.
Δdmp, ΔDmp / Δds, ΔDs	Отклонения среднего / единичного диаметра	Состав параметров зависит от класса точности.
Vdsp / VDsp	Изменение единичного диаметра в одной плоскости	Максимальная допускаемая вариация поперечного размера.
Vdmp / VDmp	Изменение среднего диаметра	Максимальная вариация среднего диаметра по ширине кольца.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
Kia / Kea	Радиальное биение внутреннего / наружного кольца	Характеристика собранного подшипника.
Sd / SD / SD1	Перпендикулярность базовых поверхностей колец	Конкретная база определяется исполнением.
Sia / Sea / Sea1	Осевое биение колец / фланца	Параметр применяют только в указанной стандартом конструкции.
D1	Наружный диаметр фланца наружного кольца	Предельные отклонения приведены отдельно в 6-C14.
ΔSL	Отклонение наклона конического отверстия	Используется в таблицах отверстия 1:12 и 1:30.
U / L	Верхнее / нижнее предельное отклонение	Читаются совместно с конкретным символом колонки.

Таблица 6-C1. Конические роликовые — внутреннее кольцо — нормальный

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp U	Δdmp L	Vdsp	Vdmp	Kia
—	10	0	−12	12	9	15
10	18	0	−12	12	9	15
18	30	0	−12	12	9	18
30	50	0	−12	12	9	20
50	80	0	−15	15	11	25
80	120	0	−20	20	15	30
120	180	0	−25	25	19	35
180	250	0	−30	30	23	50
250	315	0	−35	35	26	60
315	400	0	−40	40	30	70
400	500	0	−45	45	34	80
500	630	0	−60	60	40	90
630	800	0	−75	75	45	100
800	1 000	0	−100	100	55	115
1 000	1 250	0	−125	125	65	130
1 250	1 600	0	−160	160	80	150

Таблица 6-C2. Конические роликовые — наружное кольцо — нормальный

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp	VDmp	Kea
—	18	0	−12	12	9	18
18	30	0	−12	12	9	18
30	50	0	−14	14	11	20

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp	VDmp	Kea
50	80	0	−16	16	12	25
80	120	0	−18	18	14	35
120	150	0	−20	20	15	40
150	180	0	−25	25	19	45
180	250	0	−30	30	23	50
250	315	0	−35	35	26	60
315	400	0	−40	40	30	70
400	500	0	−45	45	34	80
500	630	0	−50	60	38	100
630	800	0	−75	80	55	120
800	1 000	0	−100	100	75	140
1 000	1 250	0	−125	130	90	160
1 250	1 600	0	−160	170	100	180
1 600	2 000	0	−200	210	110	200
2000	2500	0	−250	265	120	220

Таблица 6-C3. Конические роликовые — ширина и монтажные параметры — нормальный

d >, мм	d ≤, мм	ΔBs U	ΔBs L	ΔCs U	ΔCs L	ΔTs / ΔTFs U	ΔTs / ΔTFs L	ΔT1s U	ΔT1s L	ΔT2s / ΔTF2s U	ΔT2s / ΔTF2s L
—	10	0	−120	0	−120	+200	0	+100	0	+100	0
10	18	0	−120	0	−120	+200	0	+100	0	+100	0
18	30	0	−120	0	−120	+200	0	+100	0	+100	0
30	50	0	−120	0	−120	+200	0	+100	0	+100	0
50	80	0	−150	0	−150	+200	0	+100	0	+100	0
80	120	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100
120	180	0	−250	0	−250	+350	−250	+150	−150	+200	−100
180	250	0	−300	0	−300	+350	−250	+150	−150	+200	−100
250	315	0	−350	0	−350	+350	−250	+150	−150	+200	−100
315	400	0	−400	0	−400	+400	−400	+200	−200	+200	−200
400	500	0	−450	0	−450	+450	−450	+225	−225	+225	−225
500	630	0	−500	0	−500	+500	−500	—	—	—	—
630	800	0	−750	0	−750	+600	−600	—	—	—	—
800	1 000	0	−1 000	0	−1 000	+750	−750	—	—	—	—
1 000	1 250	0	−1 250	0	−1 250	+900	−900	—	—	—	—
1 250	1 600	0	−1 600	0	−1 600	+1 050	−1 050	—	—	—	—

Допуски, посадочные места и шероховатость

Таблица 6-C4. Конические роликовые — ширина и монтажные параметры — класс 6X

d >, мм	d ≤, мм	ΔBs U	ΔBs L	ΔCs U	ΔCs L	ΔTs / ΔTFs U	ΔTs / ΔTFs L	ΔT1s U	ΔT1s L	ΔT2s / ΔTF2s U	ΔT2s / ΔTF2s L
—	10	0	−50	0	−100	+100	0	+50	0	+50	0
10	18	0	−50	0	−100	+100	0	+50	0	+50	0
18	30	0	−50	0	−100	+100	0	+50	0	+50	0
30	50	0	−50	0	−100	+100	0	+50	0	+50	0
50	80	0	−50	0	−100	+100	0	+50	0	+50	0
80	120	0	−50	0	−100	+100	0	+50	0	+50	0
120	180	0	−50	0	−100	+150	0	+50	0	+100	0
180	250	0	−50	0	−100	+150	0	+50	0	+100	0
250	315	0	−50	0	−100	+200	0	+100	0	+100	0
315	400	0	−50	0	−100	+200	0	+100	0	+100	0

Таблица 6-C5. Конические роликовые — внутреннее кольцо — класс 5

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp U	Δdmp L	Vdsp	Vdmp	Kia	Sd
—	10	0	−7	5	5	5	7
10	18	0	−7	5	5	5	7
18	30	0	−8	6	5	5	8
30	50	0	−10	8	5	6	8
50	80	0	−12	9	6	7	8
80	120	0	−15	11	8	8	9
120	180	0	−18	14	9	11	10
180	250	0	−22	17	11	13	11
250	315	0	−25	19	13	13	13
315	400	0	−30	23	15	15	15
400	500	0	−35	28	17	20	17
500	630	0	−40	35	20	25	20
630	800	0	−50	45	25	30	25
800	1 000	0	−60	60	30	37	30
1 000	1 250	0	−75	75	37	45	40

Параметры биения и перпендикулярности применяют только к тому кольцу и исполнению, которые указаны в заголовке; ограничения фланцевого наружного кольца сохраняются.

Таблица 6-C6. Конические роликовые — наружное кольцо — класс 5

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp	VDmp	Kea	SD / SD1
—	18	0	−8	6	5	6	4

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp	VDmp	Kea	SD / SD1
18	30	0	−8	6	5	6	4
30	50	0	−9	7	5	7	4
50	80	0	−11	8	6	8	4
80	120	0	−13	10	7	10	4,5
120	150	0	−15	11	8	11	5
150	180	0	−18	14	9	13	5
180	250	0	−20	15	10	15	5,5
250	315	0	−25	19	13	18	6,5
315	400	0	−28	22	14	20	6,5
400	500	0	−33	26	17	24	8,5
500	630	0	−38	30	20	30	10
630	800	0	−45	38	25	36	12,5
800	1 000	0	−60	50	30	43	15
1 000	1 250	0	−80	65	38	52	19
1 250	1 600	0	−100	90	50	62	25
1600	2000	0	−125	120	65	73	32,5

Параметры биения и перпендикулярности применяют только к тому кольцу и исполнению, которые указаны в заголовке; ограничения фланцевого наружного кольца сохраняются.

Таблица 6-C7. Конические роликовые — ширина и монтажные параметры — класс 5

d >, мм	d ≤, мм	ΔBs U	ΔBs L	ΔCs U	ΔCs L	ΔTs / ΔTFs U	ΔTs / ΔTFs L	ΔT1s U	ΔT1s L	ΔT2s / ΔTF2s U	ΔT2s / ΔTF2s L
—	10	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100
10	18	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100
18	30	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100
30	50	0	−240	0	−240	+200	−200	+100	−100	+100	−100
50	80	0	−300	0	−300	+200	−200	+100	−100	+100	−100
80	120	0	−400	0	−400	+200	−200	+100	−100	+100	−100
120	180	0	−500	0	−500	+350	−250	+150	−150	+200	−100
180	250	0	−600	0	−600	+350	−250	+150	−150	+200	−100
250	315	0	−700	0	−700	+350	−250	+150	−150	+200	−100
315	400	0	−800	0	−800	+400	−400	+200	−200	+200	−200
400	500	0	−900	0	−900	+450	−450	+225	−225	+225	−225
500	630	0	−1 100	0	−1 100	+500	−500	—	—	—	—
630	800	0	−1 600	0	−1 600	+600	−600	—	—	—	—

d >, мм	d ≤, мм	ΔBs U	ΔBs L	ΔCs U	ΔCs L	ΔTs / ΔTFs U	ΔTs / ΔTFs L	ΔT1s U	ΔT1s L	ΔT2s / ΔTF2s U	ΔT2s / ΔTF2s L
800	1 000	0	−2 000	0	−2 000	+750	−750	—	—	—	—
1 000	1 250	0	−2 000	0	−2 000	+750	−750	—	—	—	—

Таблица 6-C8. Конические роликовые — внутреннее кольцо — класс 4

d >, мм	d ≤, мм	Δds U	Δds L	Vdsp	Vdmp	Kia	Sd	Sia
—	10	0	−5	4	4	3	3	3
10	18	0	−5	4	4	3	3	3
18	30	0	−6	5	4	3	4	4
30	50	0	−8	6	5	4	4	4
50	80	0	−9	7	5	4	5	4
80	120	0	−10	8	5	5	5	5
120	180	0	−13	10	7	6	6	7
180	250	0	−15	11	8	8	7	8

Параметры биения и перпендикулярности применяют только к тому кольцу и исполнению, которые указаны в заголовке; ограничения фланцевого наружного кольца сохраняются.

Таблица 6-C9. Конические роликовые — наружное кольцо — класс 4

D >, мм	D ≤, мм	ΔDs U	ΔDs L	VDsp	VDmp	Kea	SD / SD1	Sea	Sea1
—	18	0	−6	5	4	4	2	5	7
18	30	0	−6	5	4	4	2	5	7
30	50	0	−7	5	5	5	2	5	7
50	80	0	−9	7	5	5	2	5	7
80	120	0	−10	8	5	6	2,5	6	8
120	150	0	−11	8	6	7	2,5	7	10
150	180	0	−13	10	7	8	2,5	8	11
180	250	0	−15	11	8	10	3,5	10	14
250	315	0	−18	14	9	11	4	10	14
315	400	0	−20	15	10	13	5	13	18

Параметры биения и перпендикулярности применяют только к тому кольцу и исполнению, которые указаны в заголовке; ограничения фланцевого наружного кольца сохраняются.

Таблица 6-C10. Конические роликовые — ширина и монтажные параметры — класс 4

d >, мм	d ≤, мм	ΔBs U	ΔBs L	ΔCs U	ΔCs L	ΔTs / ΔTFs U	ΔTs / ΔTFs L	ΔT1s U	ΔT1s L	ΔT2s / ΔTF2s U	ΔT2s / ΔTF2s L
—	10	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100

d >, мм	d ≤, мм	ΔBs U	ΔBs L	ΔCs U	ΔCs L	ΔTs / ΔTFs U	ΔTs / ΔTFs L	ΔT1s U	ΔT1s L	ΔT2s / ΔTF2s U	ΔT2s / ΔTF2s L
10	18	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100
18	30	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100
30	50	0	−240	0	−240	+200	−200	+100	−100	+100	−100
50	80	0	−300	0	−300	+200	−200	+100	−100	+100	−100
80	120	0	−400	0	−400	+200	−200	+100	−100	+100	−100
120	180	0	−500	0	−500	+350	−250	+150	−150	+200	−100
180	250	0	−600	0	−600	+350	−250	+150	−150	+200	−100

Таблица 6-C11. Конические роликовые — внутреннее кольцо — класс 2

d >, мм	d ≤, мм	Δds U	Δds L	Vdsp	Vdmp	Kia	Sd	Sia
—	10	0	−4	2,5	1,5	2	1,5	2
10	18	0	−4	2,5	1,5	2	1,5	2
18	30	0	−4	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5
30	50	0	−5	3	2	2,5	2	2,5
50	80	0	−5	4	2	3	2	3
80	120	0	−6	5	2,5	3	2,5	3
120	180	0	−7	7	3,5	4	3,5	4
180	250	0	−8	7	4	5	5	5

Параметры биения и перпендикулярности применяют только к тому кольцу и исполнению, которые указаны в заголовке; ограничения фланцевого наружного кольца сохраняются.

Таблица 6-C12. Конические роликовые — наружное кольцо — класс 2

D >, мм	D ≤, мм	ΔDs U	ΔDs L	VDsp	VDmp	Kea	SD / SD1	Sea	Sea1
—	18	0	−5	4	2,5	2,5	0,75	2,5	4
18	30	0	−5	4	2,5	2,5	0,75	2,5	4
30	50	0	−5	4	2,5	2,5	1	2,5	4
50	80	0	−6	4	2,5	4	1,25	4	6
80	120	0	−6	5	3	5	1,5	5	7
120	150	0	−7	5	3,5	5	1,75	5	7
150	180	0	−7	7	4	5	2	5	7
180	250	0	−8	8	5	7	2,5	7	10
250	315	0	−9	8	5	7	3	7	10
315	400	0	−10	10	6	8	3,5	8	11

Допуски, посадочные места и шероховатость

Параметры биения и перпендикулярности применяют только к тому кольцу и исполнению, которые указаны в заголовке; ограничения фланцевого наружного кольца сохраняются.

Таблица 6-C13. Конические роликовые — ширина и монтажные параметры — класс 2

d >, мм	d ≤, мм	ΔBs U	ΔBs L	ΔCs U	ΔCs L	ΔTs / ΔTFs U	ΔTs / ΔTFs L	ΔT1s U	ΔT1s L	ΔT2s / ΔTF2s U	ΔT2s / ΔTF2s L
—	10	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100
10	18	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100
18	30	0	−200	0	−200	+200	−200	+100	−100	+100	−100
30	50	0	−240	0	−240	+200	−200	+100	−100	+100	−100
50	80	0	−300	0	−300	+200	−200	+100	−100	+100	−100
80	120	0	−400	0	−400	+200	−200	+100	−100	+100	−100
120	180	0	−500	0	−500	+200	−250	+100	−100	+100	−150
180	250	0	−600	0	−600	+200	−300	+100	−150	+100	−150

Таблица 6-C14. Фланец наружного кольца — предельные отклонения наружного диаметра

D1 >, мм	D1 ≤, мм	фиксирующий борт U	фиксирующий борт L	нефиксирующий борт U	нефиксирующий борт L
—	6	0	−36	+220	−36
6	10	0	−36	+220	−36
10	18	0	−43	+270	−43
18	30	0	−52	+330	−52
30	50	0	−62	+390	−62
50	80	0	−74	+460	−74
80	120	0	−87	+540	−87
120	180	0	−100	+630	−100
180	250	0	−115	+720	−115
250	315	0	−130	+810	−130
315	400	0	−140	+890	−140
400	500	0	−155	+970	−155
500	630	0	−175	+1 100	−175
630	800	0	−200	+1 250	−200
800	1 000	0	−230	+1 400	−230
1 000	1 250	0	−260	+1 650	−260
1 250	1 600	0	−310	+1 950	−310
1 600	2 000	0	−370	+2 300	−370

Таблица 6-C15. Коническое отверстие 1:12 — нормальный

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp U	Δdmp L	ΔSL U	ΔSL L	Vdsp
—	10	+22	0	+15	0	9
10	18	+27	0	+18	0	11
18	30	+33	0	+21	0	13
30	50	+39	0	+25	0	16
50	80	+46	0	+30	0	19
80	120	+54	0	+35	0	22
120	180	+63	0	+40	0	40
180	250	+72	0	+46	0	46
250	315	+81	0	+52	0	52
315	400	+89	0	+57	0	57
400	500	+97	0	+63	0	63
500	630	+110	0	+70	0	70
630	800	+125	0	+80	0	—
800	1 000	+140	0	+90	0	—
1 000	1 250	+165	0	+105	0	—
1250	1600	+195	0	+125	0	—

ΔSL — отклонение наклона конуса; **Vdsp** применяется в любом поперечном сечении отверстия.

Таблица 6-C16. Коническое отверстие 1:30 — нормальный

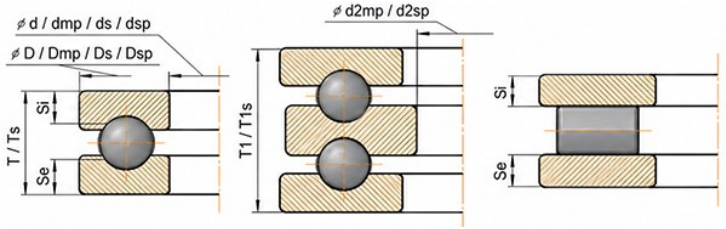
d >, мм	d ≤, мм	Δdmp U	Δdmp L	ΔSL U	ΔSL L	Vdsp
—	50	+15	0	+30	0	19
50	80	+15	0	+30	0	19
80	120	+20	0	+35	0	22
120	180	+25	0	+40	0	40
180	250	+30	0	+46	0	46
250	315	+35	0	+52	0	52
315	400	+40	0	+57	0	57
400	500	+45	0	+63	0	63
500	630	+50	0	+70	0	70

ΔSL — отклонение наклона конуса; **Vdsp** применяется в любом поперечном сечении отверстия.

6.6.9. Упорные подшипники — общие таблицы допусков ISO 199

В русскоязычном справочнике для упорных подшипников используются термины «тугое кольцо», «свободное кольцо» и, для двухстороннего исполнения, «центральное тугое кольцо». При проверке исходного стандарта сопоставлять термин с конкретной конструкцией подшипника.

Рис. 6.4. Упорные подшипники: тугое и свободное кольца, высота и осевые биения.



ISO 199:2014 задаёт классы нормальный, 6, 5 и 4. Класса 2 в этой редакции нет; упорные игольчатые и специальные прецизионные исполнения исключены из общей ветви. В русскоязычном изложении упорных шариковых подшипников используются термины «тугое кольцо», «свободное кольцо» и «центральное тугое кольцо». Все значения 6-D1…6-D8 — в мкм.

Таблица 6-D0. Расшифровка колонок упорных подшипников ISO 199 — рис. 6.4.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
d / d2 / D	Отверстие тугого кольца / центрального тугого кольца / наружный диаметр свободного кольца	Размерный интервал выбирают по соответствующей шайбе/кольцу.
Δdmp / Δd2mp	Отклонение среднего диаметра отверстия тугого / центрального тугого кольца	Не относится к наружному диаметру свободного кольца.
ΔDmp	Отклонение среднего наружного диаметра свободного кольца	Читается по размеру D.
Vdsp / Vd2sp / VDsp	Вариация диаметра в одной радиальной плоскости	Параметр выбирают по тому кольцу, которому посвящена таблица.
T / T1	Номинальная высота одностороннего / двухстороннего подшипника	Отклонения: ΔTs и ΔT1s.
ΔTs / ΔT1s	Отклонение высоты подшипника	U/L — верхнее и нижнее отклонение.
Sia / Sea	Осевое биение тугого / свободного кольца в применимых конструкциях	Для шариковых и цилиндрических упорных с углом контакта 90° — только по примечанию таблицы.

Таблица 6-D1. Тугое кольцо, центральное тугое кольцо и высота подшипника — нормальный — рис. 6.4.

d, d2 >, мм	d, d2 ≤, мм	Δdmp / Δd2mp U	Δdmp / Δd2mp L	Vdsp / Vd2sp	Si	ΔTs U	ΔTs L	ΔT1s U	ΔT1s L
—	18	0	−8	6	10	+20	−250	+150	−400
18	30	0	−10	8	10	+20	−250	+150	−400

d, d2 >, мм	d, d2 ≤, мм	Δdmp / Δd2mp U	Δdmp / Δd2mp L	Vdsp / Vd2sp	Si	ΔTs U	ΔTs L	ΔT1s U	ΔT1s L
30	50	0	−12	9	10	+20	−250	+150	−400
50	80	0	−15	11	10	+20	−300	+150	−500
80	120	0	−20	15	15	+25	−300	+200	−500
120	180	0	−25	19	15	+25	−400	+200	−600
180	250	0	−30	23	20	+30	−400	+250	−600
250	315	0	−35	26	25	+40	−400	—	—
315	400	0	−40	30	30	+40	−500	—	—
400	500	0	−45	34	30	+50	−500	—	—
500	630	0	−50	38	35	+60	−600	—	—
630	800	0	−75	55	40	+70	−750	—	—
800	1000	0	−100	75	45	+80	−1000	—	—
1000	1250	0	−125	95	50	+100	−1400	—	—
1250	1600	0	−160	120	60	+120	−1600	—	—
1600	2000	0	−200	150	75	+140	−1900	—	—
2000	2500	0	−250	190	90	+160	−2300	—	—

Для двухсторонних подшипников значения действуют только при d2 ≤ 190 мм. Sia применяется только к упорным шариковым и цилиндрическим роликовым подшипникам с контактным углом 90° и не применяется к центральному тугому кольцу.

Таблица 6-D2. Свободное кольцо — нормальный — рис. 6.4.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp
10	18	0	−11	8
18	30	0	−13	10
30	50	0	−16	12
50	80	0	−19	14
80	120	0	−22	17
120	180	0	−25	19
180	250	0	−30	23
250	315	0	−35	26
315	400	0	−40	30
400	500	0	−45	34
500	630	0	−50	38

Допуски, посадочные места и шероховатость

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp
630	800	0	−75	55
800	1000	0	−100	75
1000	1250	0	−125	95
1250	1600	0	−160	120
1600	2000	0	−200	150
2000	2500	0	−250	190
2500	2850	0	−300	225

Для двухсторонних подшипников значения действуют только при D ≤ 360 мм. Sea принимают равным Sia тугого кольца того же подшипника и применяют только к упорным шариковым и цилиндрическим роликовым подшипникам с контактным углом 90°.

Таблица 6-D3. Тугое кольцо, центральное тугое кольцо и высота подшипника — класс 6 — рис. 6.4.

d, d2 >, мм	d, d2 ≤, мм	Δdmp / Δd2mp U	Δdmp / Δd2mp L	Vdsp / Vd2sp	Si	ΔTs U	ΔTs L	ΔT1s U	ΔT1s L
—	18	0	−8	6	5	+20	−250	+150	−400
18	30	0	−10	8	5	+20	−250	+150	−400
30	50	0	−12	9	6	+20	−250	+150	−400
50	80	0	−15	11	7	+20	−300	+150	−500
80	120	0	−20	15	8	+25	−300	+200	−500
120	180	0	−25	19	9	+25	−400	+200	−600
180	250	0	−30	23	10	+30	−400	+250	−600
250	315	0	−35	26	13	+40	−400	—	—
315	400	0	−40	30	15	+40	−500	—	—
400	500	0	−45	34	18	+50	−500	—	—
500	630	0	−50	38	21	+60	−600	—	—
630	800	0	−75	55	25	+70	−750	—	—
800	1000	0	−100	75	30	+80	−1000	—	—
1000	1250	0	−125	95	35	+100	−1400	—	—
1250	1600	0	−160	120	40	+120	−1600	—	—
1600	2000	0	−200	150	45	+140	−1900	—	—
2000	2500	0	−250	190	50	+160	−2300	—	—

Для двухсторонних подшипников значения действуют только при d2 ≤ 190 мм. Sia применяется только к упорным шариковым и цилиндрическим роликовым подшипникам с контактным углом 90° и не применяется к центральному тугому кольцу.

Таблица 6-D4. Свободное кольцо — класс 6 — рис. 6.4.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp
10	18	0	−11	8
18	30	0	−13	10
30	50	0	−16	12
50	80	0	−19	14
80	120	0	−22	17
120	180	0	−25	19
180	250	0	−30	23
250	315	0	−35	26
315	400	0	−40	30
400	500	0	−45	34
500	630	0	−50	38
630	800	0	−75	55
800	1000	0	−100	75
1000	1250	0	−125	95
1250	1600	0	−160	120
1600	2000	0	−200	150
2000	2500	0	−250	190
2500	2850	0	−300	225

Для двухсторонних подшипников значения действуют только при D ≤ 360 мм. Sea принимают равным Sia тугого кольца того же подшипника и применяют только к упорным шариковым и цилиндрическим роликовым подшипникам с контактным углом 90°.

Таблица 6-D5. Тугое кольцо, центральное тугое кольцо и высота подшипника — класс 5 — рис. 6.4.

d, d2 >, мм	d, d2 ≤, мм	Δdmp / Δd2mp U	Δdmp / Δd2mp L	Vdsp / Vd2sp	Si	ΔTs U	ΔTs L	ΔT1s U	ΔT1s L
—	18	0	−8	6	3	+20	−250	+150	−400
18	30	0	−10	8	3	+20	−250	+150	−400
30	50	0	−12	9	3	+20	−250	+150	−400
50	80	0	−15	11	4	+20	−300	+150	−500
80	120	0	−20	15	4	+25	−300	+200	−500
120	180	0	−25	19	5	+25	−400	+200	−600
180	250	0	−30	23	5	+30	−400	+250	−600

Допуски, посадочные места и шероховатость

d, d2 >, мм	d, d2 ≤, мм	Δdmp / Δd2mp U	Δdmp / Δd2mp L	Vdsp / Vd2sp	Si	ΔTs U	ΔTs L	ΔT1s U	ΔT1s L
250	315	0	−35	26	7	+40	−400	—	—
315	400	0	−40	30	7	+40	−500	—	—
400	500	0	−45	34	9	+50	−500	—	—
500	630	0	−50	38	11	+60	−600	—	—
630	800	0	−75	55	13	+70	−750	—	—
800	1000	0	−100	75	15	+80	−1000	—	—
1000	1250	0	−125	95	18	+100	−1400	—	—
1250	1600	0	−160	120	25	+120	−1600	—	—
1600	2000	0	−200	150	30	+140	−1900	—	—
2000	2500	0	−250	190	40	+160	−2300	—	—

Для двухсторонних подшипников значения действуют только при d2 ≤ 190 мм. Sia применяется только к упорным шариковым и цилиндрическим роликовым подшипникам с контактным углом 90° и не применяется к центральному тугому кольцу.

Таблица 6-D6. Свободное кольцо — класс 5 — рис. 6.4.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp
10	18	0	−11	8
18	30	0	−13	10
30	50	0	−16	12
50	80	0	−19	14
80	120	0	−22	17
120	180	0	−25	19
180	250	0	−30	23
250	315	0	−35	26
315	400	0	−40	30
400	500	0	−45	34
500	630	0	−50	38
630	800	0	−75	55
800	1000	0	−100	75
1000	1250	0	−125	95
1250	1600	0	−160	120
1600	2000	0	−200	150

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp
2000	2500	0	−250	190
2500	2850	0	−300	225

Для двухсторонних подшипников значения действуют только при D ≤ 360 мм. Sea принимают равным Sia тугого кольца того же подшипника и применяют только к упорным шариковым и цилиндрическим роликовым подшипникам с контактным углом 90°.

Таблица 6-D7. Тугое кольцо, центральное тугое кольцо и высота подшипника — класс 4 — рис. 6.4.

d, d2 >, мм	d, d2 ≤, мм	Δdmp / Δd2mp U	Δdmp / Δd2mp L	Vdsp / Vd2sp	Si	ΔTs U	ΔTs L	ΔT1s U	ΔT1s L
—	18	0	−7	5	2	+20	−250	+150	−400
18	30	0	−8	6	2	+20	−250	+150	−400
30	50	0	−10	8	2	+20	−250	+150	−400
50	80	0	−12	9	3	+20	−300	+150	−500
80	120	0	−15	11	3	+25	−300	+200	−500
120	180	0	−18	14	4	+25	−400	+200	−600
180	250	0	−22	17	4	+30	−400	+250	−600
250	315	0	−25	19	5	+40	−400	—	—
315	400	0	−30	23	5	+40	−500	—	—
400	500	0	−35	26	6	+50	−500	—	—
500	630	0	−40	30	7	+60	−600	—	—
630	800	0	−50	40	8	+70	−750	—	—

Для двухсторонних подшипников значения действуют только при d2 ≤ 190 мм. Sia применяется только к упорным шариковым и цилиндрическим роликовым подшипникам с контактным углом 90° и не применяется к центральному тугому кольцу.

Таблица 6-D8. Свободное кольцо — класс 4 — рис. 6.4.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp
10	18	0	−7	5
18	30	0	−8	6
30	50	0	−9	7
50	80	0	−11	8
80	120	0	−13	10
120	180	0	−15	11
180	250	0	−20	15
250	315	0	−25	19

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp U	ΔDmp L	VDsp
315	400	0	−28	21
400	500	0	−33	25
500	630	0	−38	29
630	800	0	−45	34
800	1000	0	−60	45

Для двухсторонних подшипников значения действуют только при D ≤ 360 мм. Sea принимают равным Sia тугого кольца того же подшипника и применяют только к упорным шариковым и цилиндрическим роликовым подшипникам с контактным углом 90°.

6.6.10. Упорные шариковые подшипники

Для упорных шариковых подшипников используются термины «тугое кольцо», «свободное кольцо» и «центральное тугое кольцо» двухстороннего подшипника. Обозначения и численные пределы применять только в пределах соответствующей конструкции. Числовые значения классов нормальный / 6 / 5 / 4 берут из общего блока 6-D. Параметры Sia/Sea применяют только там, где это разрешено примечаниями таблиц.

6.6.11. Упорные цилиндрические роликовые подшипники

Общий класс точности и основные размерные характеристики проверяют по блоку 6-D в применимой части. Для компонентов и исполнений, где отдельный стандарт или каталог задаёт дополнительные требования, общий ряд ISO 199 не заменяет эти специальные условия.

6.6.12. Упорные сферические роликовые подшипники

ISO 199 используют в применимой части. Не все параметры колец и высоты универсальны для этой конструкции; специальные ограничения и ужесточённые требования конкретного производителя проверяют отдельно.

6.6.13. Игольчатые радиальные подшипники и игольчатые сборки

В эту ветвь собраны ISO 1206, ISO 3030, ISO 3245 и связанные требования к валу-дорожке, корпусу-дорожке, сепараторным сборкам и штампованным наружным кольцам. Поле посадки, форма, твёрдость и шероховатость здесь рассматриваются совместно.

Специальные числовые таблицы ниже применяют только в пределах указанного семейства и способа контроля; они не образуют общий ряд классов ISO 492.

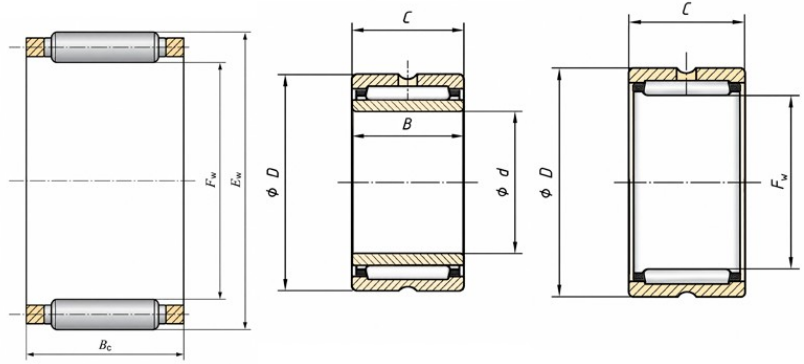


Рис. 6.7. Игольчатые исполнения: с кольцами, без внутреннего кольца и сепараторная сборка.

Таблица 6-H0. Расшифровка обозначений игольчатых подшипников и сборок — рис. 6.7 и 6.8.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
d	Номинальный диаметр отверстия внутреннего кольца	Для игольчатого подшипника с обработанным внутренним кольцом.
D	Номинальный наружный диаметр наружного кольца	Для обработанного кольца — наружный диаметр кольца; для штампованного исполнения — наружный диаметр штампованного наружного кольца.
B	Номинальная ширина внутреннего кольца	Осевая ширина обработанного внутреннего кольца на рис. 6.7.
C	Номинальная ширина наружного кольца	На рис. 6.7 — ширина обработанного наружного кольца; на рис. 6.8 — ширина штампованного наружного кольца.
ΔBs	Отклонение ширины внутреннего кольца B	Верхнее и нижнее предельные отклонения приводятся отдельно.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
VBs	Изменение ширины внутреннего кольца	Максимальная допускаемая вариация измеренной ширины B.
ΔCs	Отклонение ширины наружного кольца C	Для ISO 3245 относится также к ширине штампованного наружного кольца.
VCs	Изменение ширины наружного кольца	Для обработанного наружного кольца — допускаемая вариация ширины C.
Δdmp	Отклонение среднего диаметра отверстия внутреннего кольца	Средний размер отверстия относительно номинального d.
ΔDmp	Отклонение среднего наружного диаметра наружного кольца	Средний наружный размер относительно номинального D.
Vdmp	Изменение среднего диаметра отверстия внутреннего кольца	Максимальная допускаемая вариация среднего диаметра d.
VDmp	Изменение среднего наружного диаметра наружного кольца	Максимальная допускаемая вариация среднего диаметра D.
Kia	Радиальное биение внутреннего кольца собранного подшипника	Применяется к исполнению с обработанным внутренним кольцом.
Kea	Радиальное биение наружного кольца собранного подшипника	Применяется к обработанному наружному кольцу.
Fw	Номинальный вписанный диаметр комплекта игольчатых роликов	Функциональный диаметр для исполнения без внутреннего кольца и сепараторной сборки.
Fws min	Минимальный единичный диаметр отверстия комплекта игольчатых роликов	Функциональная характеристика комплекта роликов; не является полем допуска вала.
Ew	Номинальный описанный наружный диаметр комплекта игольчатых роликов	Функционально соответствует диаметру дорожки корпуса для сепараторной сборки.
Bc	Номинальная ширина сепараторной игольчатой сборки	Осевая ширина комплекта «сепаратор + ролики».
ΔBcs	Отклонение ширины сепараторной сборки Bc	Не смешивать с ΔBs внутреннего кольца и ΔCs наружного кольца.
C1	Толщина торца штампованного наружного кольца с профилированным закрытым торцом	Показана на соответствующем закрытом исполнении рис. 6.8.
C2	Толщина торца штампованного наружного кольца с плоским закрытым торцом	Относится к варианту с плоским закрытым торцом рис. 6.8.
Диаметр отверстия кольцевого калибра	Рабочий диаметр кольцевого калибра для функционального контроля	Размер контрольного приспособления, а не подшипника; используется совместно с Fws min.
G6	Рекомендуемое поле отверстия корпуса-дорожки	Относится к корпусу, поверхность которого непосредственно работает как дорожка качения.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
IT3	Уровень допуска формы и изменения среднего диаметра	В этой ветви используется для круглости и изменения среднего диаметра дорожки.
Ra / Rz	Параметры шероховатости поверхности дорожки	Не являются размерными допусками кольца.
H12	Альтернативное поле расстояния между осевыми направляющими поверхностями	Используется только в соответствующей строке требований к осевому направлению сепараторной сборки.

Эти таблицы не образуют общий ряд нормальный → 6 → 5 → 4 → 2. Каждая действует только для указанного семейства, исполнения и способа контроля; обозначения рис. 6.7 и 6.8 применяют только к соответствующей конструкции.

Таблица 6-H1. ISO 1206 — игольчатые с обработанными кольцами — внутреннее кольцо, нормальный — рис. 6.7. Единицы: мкм.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp верх.	Δdmp ниж.	Vdmp макс.	Kia макс.	ΔBs верх.	ΔBs ниж.	VBs макс.
2,5	10	0	−8	6	10	0	−120	15
10	18	0	−8	6	10	0	−120	20
18	30	0	−10	8	13	0	−120	20
30	50	0	−12	9	15	0	−120	20
50	80	0	−15	11	20	0	−150	25
80	120	0	−20	15	25	0	−200	25
120	180	0	−25	19	30	0	−250	30
180	250	0	−30	23	40	0	−300	30
250	315	0	−35	26	50	0	−350	35
315	400	0	−40	30	60	0	−400	40

Только серии 48, 49 и 69 в области применения ISO 1206.

Таблица 6-H2. ISO 1206 — игольчатые с обработанными кольцами — наружное кольцо, нормальный — рис. 6.7. Единицы: мкм.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp верх.	ΔDmp ниж.	VDmp макс.	Kea макс.
6	18	0	−8	6	15
18	30	0	−9	7	15
30	50	0	−11	8	20
50	80	0	−13	10	25
80	120	0	−15	11	35
120	150	0	−18	14	40
150	180	0	−25	19	45
180	250	0	−30	23	50

Допуски, посадочные места и шероховатость

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp верх.	ΔDmp ниж.	VDmp макс.	Kea макс.
250	315	0	−35	26	60
315	400	0	−40	30	70
400	500	0	−45	34	80

ΔCs/VCs соответствуют **ΔBs/VBs** внутреннего кольца того же подшипника.

Таблица 6-H3. ISO 1206 — отверстие комплекта игольчатых роликов без внутреннего кольца — рис. 6.7. Единицы: мкм.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.
3	6	+18	+10
6	10	+22	+13
10	18	+27	+16
18	30	+33	+20
30	50	+41	+25
50	80	+49	+30
80	120	+58	+36
120	180	+68	+43
180	250	+79	+50
250	315	+88	+56
315	400	+98	+62

Значения действуют при ограниченной вариации отверстия наружного кольца; **Fws min** задан как разность относительно **Fw**.

Таблица 6-H4. ISO 1206, изменение 1 — рекомендуемые допуски вала-дорожки — рис. 6.7.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	поле диаметра	Ra макс., мкм	круглость макс.	изменение среднего диаметра макс.
6	80	h5	0,2 (Rz 1)	IT3	IT3
80	200	g5	0,2 (Rz 1)	IT3	IT3
200	400	f6	0,2 (Rz 1)	IT3	IT3

Таблица информативная. Поля относятся к корпусу H7…K7; при более точном корпусе рабочий зазор проверяют отдельно.

Таблица 6-H5. ISO 3030 — ширина сепаратора игольчатой сборки — рис. 6.7.

Bc	ΔBcs верх., мм	ΔBcs ниж., мм
все	−0,2	−0,8

Таблица 6-H6. ISO 3030 — рекомендуемая дорожка корпуса — рис. 6.7. Единицы: мкм, кроме Ra.

Ew >, мм	Ew ≤, мм	G6 верх.	G6 ниж.	Ra макс., мкм	круглость IT3 макс.	изменение среднего диаметра IT3 макс.
6	10	+14	+5	0,2	2,5	2,5
10	18	+17	+6	0,2	3	3
18	30	+20	+7	0,2	4	4
30	50	+25	+9	0,2	4	4
50	80	+29	+10	0,2	5	5
80	120	+34	+12	0,3	6	6

Таблица информативная; для последней размерной ветви Ra = 0,3 мкм, для предшествующих = 0,2 мкм.

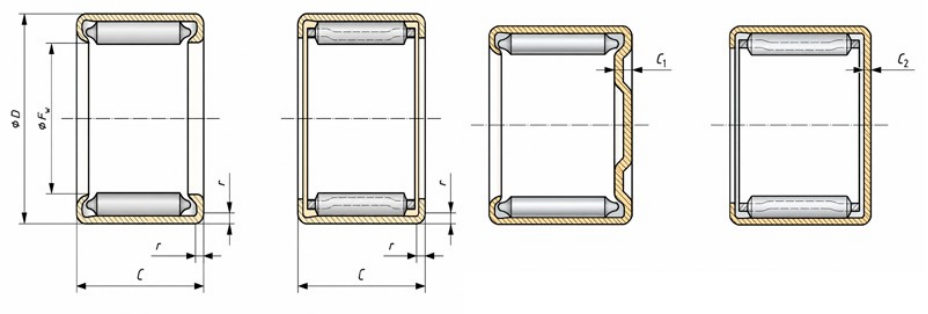
Таблица 6-H7. ISO 3030 — рекомендуемая дорожка вала — рис. 6.7. Единицы: мкм, кроме поля и Ra.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	поле	верх.	ниж.	Ra макс., мкм	круглость IT3 макс.	изменение среднего диаметра IT3 макс.
3	6	h5	0	−5	0,2	2,5	2,5
6	10	h5	0	−6	0,2	2,5	2,5
10	18	h5	0	−8	0,2	3	3
18	30	h5	0	−9	0,2	4	4
30	50	h5	0	−11	0,2	4	4
50	80	h5	0	−13	0,2	5	5
50	80	g5	−10	−23	0,2	5	5
80	120	g5	−12	−27	0,3	6	6

Альтернативное **g5** в диапазоне 50…80 мм увеличивает зазор; выбор требует проверки рабочего зазора.

Таблица 6-H8. ISO 3030 — осевое направление сепараторной сборки — рис. 6.7.

Bc	расстояние верх., мм	расстояние ниж., мм	Ra макс., мкм
все	+0,2	0	2



Альтернативное отклонение — H12.

Рис. 6.8. Штампованное наружное кольцо и контроль в кольцевом калибре.

Таблица 6-H9. ISO 3245 — штампованное наружное кольцо, серия диаметров 1D — рис. 6.8; ед. мкм.

Fw, мм	D, мм	диаметр отверстия кольцевого калибра, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.
4	8	7,984	+28	+10
5	9	8,984	+28	+10
6	10	9,984	+28	+10
7	11	10,98	+31	+13
8	12	11,98	+31	+13
9	13	12,98	+31	+13
10	14	13,98	+31	+13
12	16	15,98	+34	+16
14	20	19,976	+34	+16
15	21	20,976	+34	+16
16	22	21,976	+34	+16
17	23	22,976	+34	+16

Fw, мм	D, мм	диаметр отверстия кольцевого калибра, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.
18	24	23,976	+34	+16
20	26	25,976	+41	+20
22	28	27,976	+41	+20
25	32	31,972	+41	+20
28	35	34,972	+41	+20
30	37	36,972	+41	+20
32	39	38,972	+50	+25
35	42	41,972	+50	+25
38	45	44,972	+50	+25
40	47	46,972	+50	+25
42	49	48,972	+50	+25
45	52	51,967	+50	+25
50	58	57,967	+50	+25
55	63	62,967	+60	+30
60	68	67,967	+60	+30
65	73	72,967	+60	+30
70	78	77,967	+60	+30

Отклонение наружного диаметра **D** численно не задаётся; функциональную посадку обеспечивает изготовитель. Значения **Fws min** относятся к контролю в кольцевом калибре.

Таблица 6-H10. ISO 3245 — штампованное наружное кольцо, серия диаметров 2D — рис. 6.8. Единицы: мкм.

Fw, мм	D, мм	диаметр отверстия кольцевого калибра, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.
8	14	13,98	+31	+13
9	15	14,98	+31	+13
10	16	15,98	+31	+13
12	18	17,98	+34	+16
14	22	21,976	+34	+16
15	23	22,976	+34	+16
16	24	23,976	+34	+16
17	25	24,976	+34	+16

Допуски, посадочные места и шероховатость

Fw, мм	D, мм	диаметр отверстия кольцевого калибра, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.
18	26	25,976	+34	+16
20	28	27,976	+41	+20
22	30	29,976	+41	+20
25	35	34,972	+41	+20
28	38	37,972	+41	+20
30	40	39,972	+41	+20
32	42	41,972	+50	+25
35	45	44,972	+50	+25
38	48	47,972	+50	+25
40	50	49,972	+50	+25
42	52	51,967	+50	+25
45	55	54,967	+50	+25

Отклонение наружного диаметра **D** численно не задаётся; функциональную посадку обеспечивает изготовитель. Значения **Fws min** относятся к контролю в кольцевом калибре.

Таблица 6-H11. ISO 3245 — ширина штампованного наружного кольца — рис. 6.8.

C	ΔCs верх., мм	ΔCs ниж., мм
все	0	−0,3

Дорожки качения игольчатых исполнений

Таблица 6-O3. Игольчатый подшипник без внутреннего кольца: вал-дорожка — рис. 6.7.

Диаметр отверстия комплекта роликов Fw, мм	Поле вала-дорожки	Ra макс., мкм	Rz макс., мкм	Круглость	Изменение среднего диаметра
>6…≤80	**h5**	0,2	1	**IT3**	**IT3**
>80…≤200	**g5**	0,2	1	**IT3**	**IT3**
>200…≤400	**f6**	0,2	1	**IT3**	**IT3**

Это официальная ISO-рекомендация из информативного приложения, а не универсальная таблица посадочного места. Вал должен быть закалён и окончательно отшлифован; минимальная твёрдость поверхности — **670 HV (58 HRC)**. При цементации минимальная глубина слоя **0,3…0,8 мм** зависит от размера, ролика, термообработки и нагрузки. Поля даны для корпуса **H7…K7**; при более точном корпусе проверяют установленный зазор.

Таблица 6-O4. Игольчатая сепараторная сборка: вал-дорожка — рис. 6.7.

Номинальный диаметр дорожки, мм	Поле и отклонения, мкм	Ra макс., мкм	Круглость IT3 макс., мкм	Изменение среднего диаметра IT3 макс., мкм
>3…≤6	**h5: 0/−5**	0,2	2,5	2,5
>6…≤10	**h5: 0/−6**	0,2	2,5	2,5
>10…≤18	**h5: 0/−8**	0,2	3	3
>18…≤30	**h5: 0/−9**	0,2	4	4
>30…≤50	**h5: 0/−11**	0,2	4	4
>50…≤80	**h5: 0/−13**	0,2	5	5
>50…≤80	**g5: −10/−23**	0,2	5	5
>80…≤120	**g5: −12/−27**	0,3	6	6

Альтернативное **g5** в диапазоне **>50…≤80 мм** увеличивает рабочий зазор; при сомнении выбор проверяют по источнику подшипника и расчётным условиям узла.

Таблица 6-O5. Игольчатая сепараторная сборка: дорожка корпуса — рис. 6.7.

Номинальный диаметр дорожки, мм	G6, отклонения, мкм	Ra макс., мкм	Круглость IT3 макс., мкм	Изменение среднего диаметра IT3 макс., мкм
>6…≤10	**+14/+5**	0,2	2,5	2,5
>10…≤18	**+17/+6**	0,2	3	3
>18…≤30	**+20/+7**	0,2	4	4
>30…≤50	**+25/+9**	0,2	4	4
>50…≤80	**+29/+10**	0,2	5	5
>80…≤120	**+34/+12**	0,3	6	6

Таблицы 6-O4 и 6-O5 — официальные ISO-рекомендации из информативного приложения для общего применения и нормального рабочего зазора. Дорожки должны быть закалены, окончательно отшлифованы и иметь твёрдость не менее **670 HV**; для нестандартного режима пригодность значений проверяют отдельно.

Таблица 6-O6. Игольчатая сепараторная сборка: поверхности осевого направления — рис. 6.7.

Область по ширине Bc	Отклонение расстояния между направляющими поверхностями, мм	Ra макс., мкм	Альтернативное поле
Все ширины	**+0,2/0**	2	**H12**

Эта строка из информативного приложения ISO относится к осевым направляющим поверхностям, а не к радиальной дорожке качения.

6.6.14. Упорные игольчатые подшипники

Общую таблицу упорных подшипников ISO 199 автоматически не применяют. Для этого семейства требуется отдельная нормативная ветвь по конструкции шайб или дорожек, сопряжённым поверхностям и осевому интерфейсу; числовые таблицы в текущей редакции не подменяются данными радиальных игольчатых подшипников.

6.6.15. Приборные подшипники

Таблица 6-E0. Расшифровка колонок приборных подшипников ISO 1224-1/-2. — рис. 6.1.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
d / D / D1	Отверстие / наружный диаметр / наружный диаметр фланца	Базовые размеры приборного подшипника.
Δdmp / ΔDmp	Отклонение среднего диаметра отверстия / наружной поверхности	Средний размер относительно номинала.
Δds / ΔDs	Отклонение единичного диаметра	В наружном кольце отдельно различают открытое и закрытое исполнение.
Vdsp, Vdmp / VDsp, VDmp	Изменение единичного и среднего диаметра	Колонки «макс.» задают предельную вариацию.
ΔBs / VBs	Отклонение и изменение ширины внутреннего кольца	Применяются к таблицам внутреннего кольца.
ΔCs / VCs	Отклонение и изменение ширины наружного кольца	Применяются к таблицам наружного кольца.
Kia / Kea	Радиальное биение внутреннего / наружного кольца	Максимальное допустимое значение.
Sdr / Sd / SD	Параметры перпендикулярности/геометрии торца	Sd для внутреннего кольца определяется по нормативной зависимости через Sdr; SD — для наружного.
Sia / Sea / Sea1	Осевое биение внутреннего / наружного кольца / фланцевого исполнения	Не переносить между открытым, закрытым и фланцевым исполнением.
ΔC1s / VC1s / ΔD1s	Параметры специальной ширины C1 и диаметра фланца D1	Использовать только для исполнения, где эти размеры предусмотрены.

6.6.15.1. Приборные подшипники метрических серий — ISO 1224-1

Классы 5A/4A относятся только к метрическим приборным прецизионным подшипникам; это не обычные классы 5/4 ISO 492. Значения — в мкм.

Таблица 6-E1. 5A — внутреннее кольцо.— рис. 6.1.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp верх.	Δdmp ниж.	Δds верх.	Δds ниж.	Vdsp макс.	Vdmp макс.	ΔBs верх.	ΔBs ниж.	VBs макс.	Kia макс.	Sdr макс.	Sia макс.
0,6	10	0	−5	0	−5	3	3	0	−25	5	3,5	7	7

Для согласованной пары или комплекта допуск суммарной ширины внутреннего кольца применяют по числу подшипников; **Sd** определяют по нормативной зависимости через **Sdr**, средний диаметр торца и геометрию фаски.

Таблица 6-E2. 5A — наружное кольцо.— рис. 6.1.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp верх.	ΔDmp ниж.	ΔDs открытое исполнение верх.	ΔDs открытое исполнение ниж.	ΔDs закрытое исполнение верх.	ΔDs закрытое исполнение ниж.	VDsp/VDmp открытое исполнение макс.	VDsp/VDmp закрытое исполнение макс.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.	VCs макс.	Kea макс.	SD макс.	Sea макс.	Sea1 макс.	ΔC1s верх.	ΔC1s ниж.	VC1s макс.	ΔD1s верх.	ΔD1s ниж.
2	18	0	−5	0	−5	+1	−6	3	5	0	−25	5	5	8	8	10	0	−50	5	0	−25
18	30	0	−6	0	−6	+1	−7	3	5	0	−25	5	6	8	8	10	0	−50	5	0	−25

Для согласованной пары или комплекта допуск суммарной ширины наружного кольца применяют по числу подшипников; открытое и закрытое исполнения, а также параметры фланца не взаимозаменяют.

Таблица 6-E3. 4A — внутреннее кольцо.— рис. 6.1.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp верх.	Δdmp ниж.	Δds верх.	Δds ниж.	Vdsp макс.	Vdmp макс.	ΔBs верх.	ΔBs ниж.	VBs макс.	Kia макс.	Sdr макс.	Sia макс.
0,6	10	0	−5	0	−5	2,5	2,5	0	−25	2,5	2,5	3	3

Для согласованной пары или комплекта допуск суммарной ширины внутреннего кольца применяют по числу подшипников; **Sd** определяют по нормативной зависимости через **Sdr**, средний диаметр торца и геометрию фаски.

Таблица 6-E4. 4A — наружное кольцо.— рис. 6.1.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp верх.	ΔDmp ниж.	ΔDs открытое исполнение верх.	ΔDs открытое исполнение ниж.	ΔDs закрытое исполнение верх.	ΔDs закрытое исполнение ниж.	VDsp/VDmp открытое исполнение макс.	VDsp/VDmp закрытое исполнение макс.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.	VCs макс.	Kea макс.	SD макс.	Sea макс.	Sea1 макс.	ΔC1s верх.	ΔC1s ниж.	VC1s макс.	ΔD1s верх.	ΔD1s ниж.
2	18	0	−5	0	−5	+1	−6	2,5	5	0	−25	2,5	3,5	4	5	8	0	−50	2,5	0	−25
18	30	0	−5	0	−5	+1	−6	2,5	5	0	−25	2,5	4	4	5	8	0	−50	2,5	0	−25

Для согласованной пары или комплекта допуск суммарной ширины наружного кольца применяют по числу подшипников; открытое и закрытое исполнения, а также параметры фланца не взаимозаменяют.

6.6.15.2. Приборные подшипники дюймовых серий — ISO 1224-2

Классы 5A/4A относятся только к дюймовая серия приборным прецизионным подшипникам; это самостоятельная система. Нормативные значения таблиц ниже даны в мкм; переводные таблицы приложения в 0,0001 дюйма не используются как второй нормативный ряд.

Таблица 6-F1. 5A — внутреннее кольцо.— рис. 6.1.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp верх.	Δdmp ниж.	Δds верх.	Δds ниж.	Vdsp макс.	Vdmp макс.	ΔBs верх.	ΔBs ниж.	VBs макс.	Kia макс.	Sdr макс.	Sia макс.
0,6	10	0	−5	0	−5	3	3	0	−25	5	3,5	7	7

Для согласованной пары или комплекта допуск суммарной ширины внутреннего кольца применяют по числу подшипников; **Sd** определяют по нормативной зависимости через **Sdr**, средний диаметр торца и геометрию фаски.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Таблица 6-F2. 5A — наружное кольцо.— рис. 6.1.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp верх.	ΔDmp ниж.	ΔDs открытое исполнение верх.	ΔDs открытое исполнение ниж.	ΔDs закрытое исполнение верх.	ΔDs закрытое исполнение ниж.	VDsp/VDmp открытое исполнение макс.	VDsp/VDmp закрытое исполнение макс.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.	VCs макс.	Kea макс.	SD макс.	Sea макс.	Sea1 макс.	ΔC1s верх.	ΔC1s ниж.	VC1s макс.	ΔD1s верх.	ΔD1s ниж.
2	18	0	−5	0	−5	+1	−6	3	5	0	−25	5	5	8	8	10	0	−50	5	0	−25
18	30	0	−6	0	−6	+1	−7	3	5	0	−25	5	6	8	8	10	0	−50	5	0	−25

Для согласованной пары или комплекта допуск суммарной ширины наружного кольца применяют по числу подшипников; открытое и закрытое исполнения, а также параметры фланца не взаимозаменяют.

Таблица 6-F3. 4A — внутреннее кольцо.— рис. 6.1.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp верх.	Δdmp ниж.	Δds верх.	Δds ниж.	Vdsp макс.	Vdmp макс.	ΔBs верх.	ΔBs ниж.	VBs макс.	Kia макс.	Sdr макс.	Sia макс.
0,6	10	0	−5	0	−5	2,5	2,5	0	−25	2,5	2,5	3	3

Для согласованной пары или комплекта допуск суммарной ширины внутреннего кольца применяют по числу подшипников; **Sd** определяют по нормативной зависимости через **Sdr**, средний диаметр торца и геометрию фаски.

Таблица 6-F4. 4A — наружное кольцо.— рис. 6.1.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp верх.	ΔDmp ниж.	ΔDs открытое исполнение верх.	ΔDs открытое исполнение ниж.	ΔDs закрытое исполнение верх.	ΔDs закрытое исполнение ниж.	VDsp/VDmp открытое исполнение макс.	VDsp/VDmp закрытое исполнение макс.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.	VCs макс.	Kea макс.	SD макс.	Sea макс.	Sea1 макс.	ΔC1s верх.	ΔC1s ниж.	VC1s макс.	ΔD1s верх.	ΔD1s ниж.
2	18	0	−5	0	−5	+1	−6	2,5	5	0	−25	2,5	3,5	4	5	8	0	−50	2,5	0	−25
18	30	0	−5	0	−5	+1	−6	2,5	5	0	−25	2,5	4	4	5	8	0	−50	2,5	0	−25

Для согласованной пары или комплекта допуск суммарной ширины наружного кольца применяют по числу подшипников; открытое и закрытое исполнения, а также параметры фланца не взаимозаменяют.

6.6.16. Линейные шариковые втулки — ISO 10285

Для линейных шариковых втулок L-классы не переводят в P-классы радиальных подшипников. Вал является направляющей дорожкой и должен проверяться по размеру, прямолинейности, шероховатости и требованиям соответствующей серии.

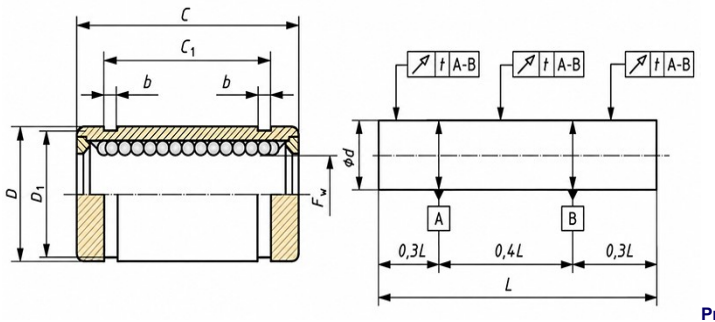


Рис. 6.6. Линейные шариковые втулки и вал-дорожка.

Таблица 6-G0. Расшифровка обозначений линейных шариковых втулок и вала-дорожки — рис. 6.6.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
Fw	Номинальный диаметр отверстия комплекта шариков линейной втулки	Функциональный размер комплекта шариков, соответствующий размеру направляющего вала.
Fws min	Минимальный единичный диаметр отверстия комплекта шариков	Предельная характеристика собранной втулки при функциональном контроле; не является полем допуска вала.
D	Номинальный наружный диаметр линейной шариковой втулки	Соответствующая характеристика отклонения — ΔDmp.
ΔDmp	Отклонение среднего наружного диаметра втулки	В таблицах может задаваться отдельно для размерных серий 1, 3 или 5.
D1	Диаметр канавки под стопорное пружинное кольцо	Показан на рис. 6.6 внутри наружного диаметра D.
C	Номинальная ширина наружной обоймы втулки	Соответствующее отклонение — ΔCs.
ΔCs	Отклонение ширины наружной обоймы C	Верхнее и нижнее отклонения приводятся в таблицах классов L.
C1	Номинальное расстояние между наружными торцами канавок под стопорные кольца	Не является дополнительной длиной втулки.
ΔC1s	Отклонение расстояния C1 между наружными торцами канавок	Применяется только к исполнениям, имеющим такие канавки.
b	Ширина канавки под стопорное пружинное кольцо	Геометрический размер канавки на рис. 6.6.
Kea	Радиальное биение наружной поверхности собранной линейной втулки	Указывается только для классов и серий, где нормируется.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
d	Номинальный наружный диаметр направляющего вала	Параметр вала-дорожки; не следует обозначать его как Fw.
Δds	Отклонение единичного наружного диаметра вала от номинального d	Для валов h6/h7 и специального поля серии 5.
Vdsp	Изменение наружного диаметра вала в одной радиальной плоскости	Характеризует разброс диаметра в одном поперечном сечении.
Vdmp	Изменение среднего наружного диаметра вала	Характеризует изменение среднего диаметра вдоль контролируемой длины.
L	Контролируемая длина вала	Используется на схеме проверки прямолинейности/биения вала.
A / B	Опорные базовые сечения при контроле прямолинейности вала	Совместная база A–B образуется двумя опорными участками.
0,3L / 0,4L / 0,3L	Положение баз A и B и контрольных участков относительно общей длины L	Схема расположения опор, а не самостоятельные допускаемые размеры вала.
t относительно A–B	Индикаторный контроль при проверке прямолинейности	Измерение выполняют относительно совместной базы A–B.
Ra	Максимальная шероховатость поверхности вала-дорожки	В таблицах прецизионного вала используется 0,32 мкм.
S1 / S3 / S5	Индекс размерной серии 1 / 3 / 5 в заголовках таблиц	Показывает, к какой серии относится численное значение; не путать с размером S1 в других стандартах.

Классы **L9/L7/L7A/L6/L6A/L6J/L6JA** являются отдельной системой линейного движения. Изменение 1:2012 заменяет объясняющую таблицу A.1: он уточняет базовые поля/специальные классы и неприменимость отдельных параметров, но не заменяет числовые таблицы 2…8 ниже. Значения — в мкм.

Таблица 6-G1. L9 — серия 1, закрытая/регулируемая — рис. 6.6.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.
—	3	+12,5	−12,5	+180	−180
3	5	+15	−15	+215	−215
5	6	+15	−15	+260	−260
6	10	+18	−18	+260	−260
10	18	+21,5	−21,5	+260	−260
18	20	+26	−26	+260	−260
20	30	+26	−26	+310	−310
30	50	+31	−31	+370	−370
50	80	+37	−37	+435	−435

Fws min определяют при установке в толстостенный кольцевой калибр с заданным диаметром; ограничения серий 1/3/5, штампованное наружное кольцо и полимерный корпус сохраняют по заголовку и примечаниям класса.

Таблица 6-G2. L7 — серии 1/3, закрытая/регулируемая — рис. 6.6.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.	ΔDmp S1 верх.	ΔDmp S1 ниж.	ΔDmp S3 верх.	ΔDmp S3 ниж.	ΔCs S1 верх.	ΔCs S1 ниж.	ΔCs S3 верх.	ΔCs S3 ниж.	ΔC1s S3 верх.	ΔC1s S3 ниж.
—	3	+10	0	0	−9	—	—	0	−360	—	—	—	—
3	4	+12	0	0	−9	—	—	0	−430	—	—	—	—
4	5	+12	0	0	−9	0	−11	0	−430	0	−520	+270	0
5	6	+12	0	0	−11	0	−11	0	−520	0	−520	+270	0
6	8	+15	0	0	−11	0	−11	0	−520	0	−520	+270	0
8	10	+15	0	0	−11	0	−13	0	−520	0	−520	+330	0
10	18	+18	0	0	−13	0	−13	0	−520	0	−620	+330	0
18	20	+21	0	0	−13	0	−16	0	−520	0	−620	+390	0
20	25	+21	0	0	−16	0	−16	0	−620	0	−740	+390	0
25	30	+21	0	0	−16	0	−16	0	−620	0	−740	+460	0
30	40	+25	0	0	−19	0	−19	0	−740	0	−740	+460	0
40	50	+25	0	0	−19	0	−19	0	−740	0	−870	+460	0
50	60	+30	0	0	−19	0	−22	0	−870	0	−1000	+540	0
60	80	+30	0	—	—	0	−22	—	—	0	−1000	+630	0
80	120	+35	0	—	—	0	−25	—	—	0	−1000	+630	0

Fws min определяют при установке в толстостенный кольцевой калибр с заданным диаметром; ограничения серий 1/3/5, штампованное наружное кольцо и полимерный корпус сохраняют по заголовку и примечаниям класса.

Таблица 6-G3. L7A — серии 3, открытая/регулируемая — рис. 6.6.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.	ΔC1s верх.	ΔC1s ниж.
4	6	+18	0	0	−520	+270	0
6	8	+22	0	0	−520	+270	0
8	10	+22	0	0	−520	+330	0
10	18	+27	0	0	−620	+330	0
18	20	+33	0	0	−620	+390	0
20	25	+33	0	0	−740	+390	0
25	30	+33	0	0	−740	+460	0
30	40	+39	0	0	−740	+460	0
40	50	+39	0	0	−870	+460	0
50	70	+46	0	0	−1000	+540	0
70	80	+46	0	0	−1000	+630	0
80	120	+54	0	0	−1000	+630	0

Допуски, посадочные места и шероховатость

Fws min определяют при установке в толстостенный кольцевой калибр с заданным диаметром; ограничения серий 1/3/5, штампованное наружное кольцо и полимерный корпус сохраняют по заголовку и примечаниям класса.

Таблица 6-G4. L6 — серии 1/3, закрытая/регулируемая — рис. 6.6.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.	ΔDmp S1 верх.	ΔDmp S1 ниж.	ΔDmp S3 верх.	ΔDmp S3 ниж.	ΔCs S1 верх.	ΔCs S1 ниж.	ΔCs S3 верх.	ΔCs S3 ниж.	ΔC1s S3 верх.	ΔC1s S3 ниж.	Kea S1 макс.	Kea S3 макс.
—	3	+6	0	0	−6	—	—	0	−360	—	—	—	—	15	—
3	4	+8	0	0	−6	—	—	0	−430	—	—	—	—	15	—
4	5	+8	0	0	−6	0	−8	0	−430	0	−520	+270	0	15	18
5	6	+8	0	0	−8	0	−8	0	−520	0	−520	+270	0	18	18
6	8	+9	0	0	−8	0	−8	0	−520	0	−520	+270	0	18	18
8	10	+9	0	0	−8	0	−9	0	−520	0	−520	+330	0	18	21
10	18	+11	0	0	−9	0	−9	0	−520	0	−620	+330	0	21	21
18	20	+13	0	0	−9	0	−11	0	−520	0	−620	+390	0	21	25
20	25	+13	0	0	−11	0	−11	0	−620	0	−740	+390	0	25	25
25	30	+13	0	0	−11	0	−11	0	−620	0	−740	+460	0	25	25
30	40	+16	0	0	−13	0	−13	0	−740	0	−740	+460	0	30	30
40	50	+16	0	0	−13	0	−13	0	−740	0	−870	+460	0	30	30
50	60	+19	0	0	−13	0	−15	0	−870	0	−1000	+540	0	30	35
60	80	+19	0	—	—	0	−15	—	—	0	−1000	+630	0	—	35
80	120	+22	0	—	—	0	−18	—	—	0	−1000	+630	0	—	40

Fws min определяют при установке в толстостенный кольцевой калибр с заданным диаметром; ограничения серий 1/3/5, штампованное наружное кольцо и полимерный корпус сохраняют по заголовку и примечаниям класса.

Таблица 6-G5. L6A — серии 3, открытая/регулируемая — рис. 6.6.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.	ΔC1s верх.	ΔC1s ниж.
4	6	+12	0	0	−520	+270	0
6	8	+15	0	0	−520	+270	0
8	10	+15	0	0	−520	+330	0
10	18	+18	0	0	−620	+330	0
18	20	+21	0	0	−620	+390	0
20	25	+21	0	0	−740	+390	0
25	30	+21	0	0	−740	+460	0
30	40	+25	0	0	−740	+460	0
40	50	+25	0	0	−870	+460	0
50	70	+30	0	0	−1000	+540	0
70	80	+30	0	0	−1000	+630	0
80	120	+35	0	0	−1000	+630	0

Fws min определяют при установке в толстостенный кольцевой калибр с заданным диаметром; ограничения серий 1/3/5, штампованное наружное кольцо и полимерный корпус сохраняют по заголовку и примечаниям класса.

Таблица 6-G6. L6J — серии 5, закрытая/регулируемая — рис. 6.6.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.	ΔDmp верх.	ΔDmp ниж.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.	ΔC1s верх.	ΔC1s ниж.	Kea макс.
—	4	0	−8	0	−10	0	−200	—	—	15
4	5	0	−8	0	−10	0	−200	+240	−240	15
5	8	0	−9	0	−11	0	−200	+240	−240	18
8	10	0	−9	0	−13	0	−200	+300	−300	21
10	18	0	−9	0	−13	0	−200	+300	−300	21
18	20	0	−10	0	−16	0	−200	+300	−300	25
20	30	0	−10	0	−16	0	−300	+300	−300	25
30	40	0	−12	0	−19	0	−300	+300	−300	30
40	50	0	−12	0	−22	0	−300	+300	−300	30
50	60	0	−15	0	−22	0	−300	+300	−300	35
60	80	0	−15	0	−22	0	−400	+400	−400	35
80	100	0	−20	0	−25	0	−400	+400	−400	40

Fws min определяют при установке в толстостенный кольцевой калибр с заданным диаметром; ограничения серий 1/3/5, штампованное наружное кольцо и полимерный корпус сохраняют по заголовку и примечаниям класса.

Таблица 6-G7. L6JA — серии 5, открытая/регулируемая — рис. 6.6.

Fw >, мм	Fw ≤, мм	Fws min верх.	Fws min ниж.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.	ΔC1s верх.	ΔC1s ниж.
5	6	+4	−9	0	−200	+240	−240
6	8	+6	−9	0	−200	+240	−240
8	10	+6	−9	0	−200	+300	−300
10	18	+9	−9	0	−200	+300	−300
18	20	+11	−10	0	−200	+300	−300
20	30	+11	−10	0	−300	+300	−300
30	40	+13	−12	0	−300	+300	−300
40	50	+13	−12	0	−300	+300	−300
50	60	+15	−15	0	−300	+300	−300
60	80	+15	−15	0	−400	+400	−400
80	100	+15	−20	0	−400	+400	−400

Fws min определяют при установке в толстостенный кольцевой калибр с заданным диаметром; ограничения серий 1/3/5, штампованное наружное кольцо и полимерный корпус сохраняют по заголовку и примечаниям класса.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Таблица 6-H19. ISO 13012-1 — валы для линейных втулок серий 1 и 3 — рис. 6.6. Единицы: мкм для размерных/геометрических допусков.

d, мм	Δds h6 верх.	Δds h6 ниж.	Δds h7 верх.	Δds h7 ниж.	Vdsp h6 макс.	Vdsp h7 макс.	Vdmp h6 макс.	Vdmp h7 макс.	прямолинейность макс., мкм/м	Ra макс., мкм	глубина упрочнённого слоя min, мм	фаска min, мм
3	0	−6	0	−10	3	4	4	6	150	0,32	0,4	0,8
4	0	−8	0	−12	4	5	5	8	150	0,32	0,4	0,8
5	0	−8	0	−12	4	5	5	8	150	0,32	0,4	1
6	0	−8	0	−12	4	5	5	8	150	0,32	0,4	1
8	0	−9	0	−15	4	6	6	9	120	0,32	0,4	1
10	0	−9	0	−15	4	6	6	9	120	0,32	0,4	1
12	0	−11	0	−18	5	8	8	11	100	0,32	0,6	1,5
14	0	−11	0	−18	5	8	8	11	120	0,32	0,6	1,5
16	0	−11	0	−18	5	8	8	11	100	0,32	0,6	1,5
20	0	−13	0	−21	6	9	9	13	100	0,32	0,9	1,5
25	0	−13	0	−21	6	9	9	13	100	0,32	0,9	1,5
30	0	−13	0	−21	6	9	9	13	100	0,32	0,9	1,5
35	0	−16	0	−25	7	11	11	16	100	0,32	1,5	2,5
40	0	−16	0	−25	7	11	11	16	100	0,32	1,5	2,5
50	0	−16	0	−25	7	11	11	16	100	0,32	1,5	2,5
60	0	−19	0	−30	8	13	13	19	100	0,32	2,2	2,5
80	0	−19	0	−30	8	13	13	19	100	0,32	2,2	2,5
100	0	−22	0	−35	10	15	15	22	100	0,32	3,2	3,5

Только прецизионные закалённые и шлифованные валы для серий 1/3; TIR указанного метода вдвое больше реального допуска прямолинейности.

Таблица 6-H20. ISO 13012-2 — валы для линейных втулок серии 5 — рис. 6.6. Единицы: мкм для размерных/геометрических допусков.

d, мм	Δds верх.	Δds ниж.	Vdsp макс.	Vdmp макс.	прямолинейность макс., мкм/м	Ra макс., мкм	глубина упрочнённого слоя min, мм	фаска min, мм
3	−8	−14	3	4	150	0,32	0,4	0,8
4	−8	−16	4	5	150	0,32	0,4	0,8
5	−8	−16	4	5	150	0,32	0,4	1
6	−9	−17	4	5	150	0,32	0,4	1
8	−9	−18	4	6	120	0,32	0,4	1
10	−9	−18	4	6	120	0,32	0,4	1
12	−9	−20	5	8	100	0,32	0,6	1,5
13	−9	−20	5	8	100	0,32	0,6	1,5
16	−9	−20	5	8	100	0,32	0,6	1,5
20	−10	−23	6	9	100	0,32	0,9	1,5

d, мм	Δds верх.	Δds ниж.	Vdsp макс.	Vdmp макс.	прямолинейность макс., мкм/м	Ra макс., мкм	глубина упрочнённого слоя min, мм	фаска min, мм
25	−10	−23	6	9	100	0,32	0,9	1,5
30	−10	−23	6	9	100	0,32	0,9	1,5
35	−12	−28	7	11	100	0,32	1,5	2,5
40	−12	−28	7	11	100	0,32	1,5	2,5
50	−12	−28	7	11	100	0,32	1,5	2,5
60	−15	−34	8	13	100	0,32	2,2	2,5
80	−15	−34	8	13	100	0,32	2,2	2,5
100	−20	−42	10	15	100	0,32	3,2	3,5

Только прецизионные закалённые и шлифованные валы для серии 5; не переносить на серий 1/3.

Классы точности отдельных тел качения. ISO 3096:1996 задаёт классы 2/3/5 для готовых игольчатых роликов как отдельных тел качения. Это не классы собранного подшипника; локальный ISO 3096:2018 неполон до числовых таблиц, поэтому его значения здесь не публикуются.

Таблица 6-O7. Линейная шариковая втулка: поверхность вала-дорожки — рис. 6.6.

ISO-серия	Размерная область	Ra макс., мкм	Прямолинейность	Твёрдость и упрочнение	Где приведена полная размерная таблица
Серии 1 и 3	**d=3…100 мм**, только перечисленные размеры	0,32	**100…150 мкм/м** по размеру; указанный TIR вдвое больше реального допуска	закалённый и шлифованный вал; не менее **653 HV**; глубина слоя **0,4…3,2 мм**	6-H19
Серия 5	**d=3…100 мм**, только перечисленные размеры	0,32	**100…150 мкм/м** по размеру	закалённый и шлифованный вал; не менее **653 HV**; глубина слоя **0,4…3,2 мм**	6-H20

Ra 0,32 мкм является частью системы «линейная втулка + вал» и не переносится на обычное место внутреннего кольца.

6.6.17. Вставные подшипники

Для вставных подшипников применяют специальную систему ISO 9628; допуск отверстия и требования к закреплению рассматривают отдельно от обычной ветви ISO 492.

Допуски, посадочные места и шероховатость

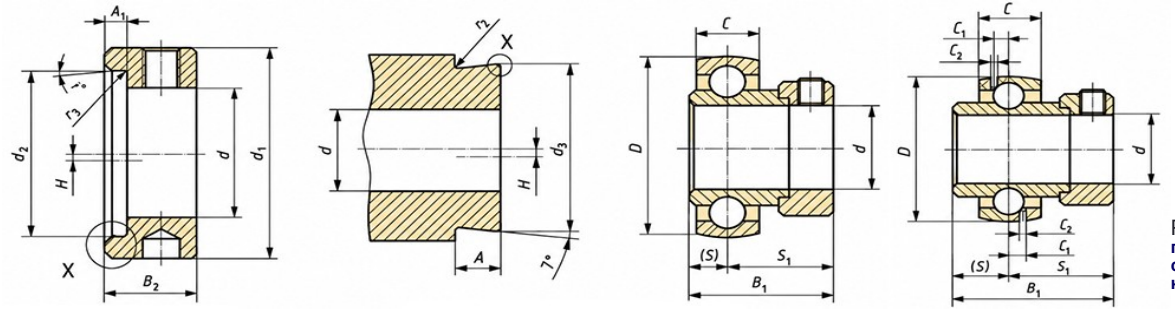


Рис. 6.9. Вставной подшипник со стопорными кольцами.

Расшифровка обозначений рис. 6.9 и колонок таблиц 6-H12…6-H14.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
d	Номинальный диаметр отверстия вставного подшипника и эксцентрикового стопорного кольца	Для готового отверстия подшипника используется Δdmp; для отверстия стопорного кольца — Δds.
Δdmp	Отклонение среднего диаметра отверстия подшипника	Применяется в таблицах 6-H12 и 6-H14.
Vdsp	Изменение диаметра отверстия подшипника в одной радиальной плоскости	Максимальная допустимая вариация отверстия.
Δds	Отклонение единичного диаметра отверстия эксцентрикового стопорного кольца	Применяется в таблице 6-H13.
d1	Наружный диаметр эксцентрикового стопорного кольца	Габаритный размер кольца; показан на детали A рис. 6.9.
d2	Малый диаметр отверстия эксцентричной поверхности стопорного кольца в теоретическом остром углу	Не является просто дополнительным диаметром стопорного кольца.
Δd2s	Отклонение единичного малого диаметра d2	Используется в таблице 6-H13.
d3	Большой наружный диаметр эксцентричной поверхности внутреннего кольца в теоретическом остром углу	Показан на детали B рис. 6.9.
H	Эксцентриситет эксцентричного участка внутреннего кольца и эксцентрикового стопорного кольца	Соответствующая характеристика — ΔHs. Это не высота.
ΔHs	Отклонение эксцентриситета H	Применяется к сопрягаемым эксцентричным поверхностям.
A	Ширина эксцентричной поверхности внутреннего кольца	Показана на детали B.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
A1	Ширина эксцентричной поверхности эксцентрикового стопорного кольца	Соответствующее отклонение — ΔA1s.
ΔA1s	Отклонение единичной ширины A1	Используется в таблице 6-H13.
B1	Общая ширина внутреннего кольца вместе с эксцентриковым стопорным кольцом	Показана на вариантах C–F.
B2	Ширина эксцентрикового стопорного кольца	Соответствующее отклонение — ΔB2s.
ΔB2s	Отклонение единичной ширины B2	Используется в таблице 6-H13.
C	Ширина наружного кольца подшипника	Основной осевой размер наружного кольца.
C1	Расстояние от средней плоскости наружного кольца до центра зоны смазывания	Показано на исполнении F.
C2	Ширина зоны смазывания наружного кольца	Показана на исполнении F.
D	Наружный диаметр вставного подшипника	На рис. 6.9 показан габаритный наружный диаметр.
S	Расстояние от центра дорожки качения до торца внутреннего кольца со стороны, противоположной устройству закрепления	На эскизе заключено в скобки как справочный/зависимый размер.
S1	Расстояние от центра дорожки качения до торца со стороны устройства закрепления	Для разных исполнений границей может быть внутреннее кольцо или стопорное кольцо.
r2	Радиус сопряжения эксцентричной поверхности внутреннего кольца	Показан в увеличенном фрагменте X детали B.
r3	Радиус сопряжения эксцентричной поверхности эксцентрикового стопорного кольца	Показан на детали A.
7°	Номинальный конструктивный угол в зоне эксцентричного сопряжения	Геометрия конструкции; не является отдельной колонкой допуска 6-H12…6-H14.

Таблица 6-H12. ISO 9628 — вставные подшипники — рис. 6.9. Единицы: мкм.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp верх.	Δdmp ниж.	Vdsp макс.	ΔHs верх.	ΔHs ниж.
10	18	+15	0	10	+100	−100
18	31,75	+18	0	12	+100	−100
31,75	50,8	+21	0	14	+100	−100
50,8	80,962	+24	0	16	+100	−100
80,962	120	+28	0	19	+100	−100

Значения относятся к готовому отверстию независимо от покрытия/обработки; отверстие находится на плюсовой стороне.

Таблица 6-H13. ISO 9628 — эксцентриковые стопорные кольца — рис. 6.9. Единицы: мкм.

d >, мм	d ≤, мм	Δds верх.	Δds ниж.	Δd2s верх.	Δd2s ниж.	ΔHs верх.	ΔHs ниж.	ΔB2s верх.	ΔB2s ниж.	ΔA1s верх.	ΔA1s ниж.
10	36,512	+250	+25	+300	0	+100	−100	+270	−270	0	−180
36,512	55,562	+300	+25	+400	0	+100	−100	+330	−330	0	−180
55,562	80,962	+300	+25	+400	0	+100	−100	+330	−330	0	−220
80,962	120	+350	+35	+500	0	+100	−100	+330	−330	0	−220

Только эксцентриковые стопорные кольца в области применения ISO 9628.

Таблица 6-H14. ISO 9628, изменение 1 — вставные подшипники, серия диаметров 3 — рис. 6.9. Единицы: мкм.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp верх.	Δdmp ниж.	Vdsp макс.
24	30,162	+18	0	12
30,162	50	+21	0	14
50	80,962	+24	0	16
80,962	120	+28	0	19
120	140	+33	0	22

Дополнение серии 3; применять совместно с базовым ISO 9628.

6.6.18. Опорные ролики и ролики с цапфой

Для опорных роликов и роликов с цапфой используют специальную ветвь ISO 7063. Наружная рабочая поверхность, отверстие или цапфа и сопряжённая дорожка детали контролируются как единая система.

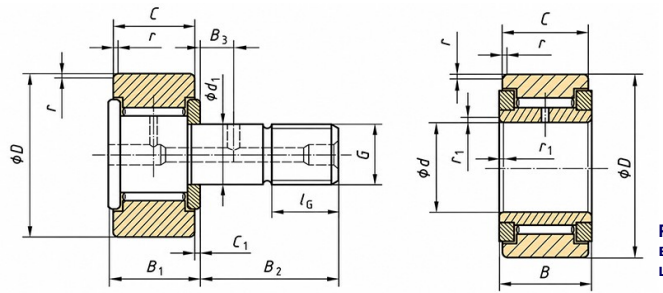


Рис. 6.10. Опорные ролики: исполнение с внутренним кольцом и исполнение со шпилькой.

Расшифровка обозначений рис. 6.10 и колонок таблиц 6-H15…6-H18 и 6-O8.

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
D	Номинальный наружный диаметр наружного кольца опорного ролика	В 6-H15 отдельно нормируются цилиндрическая и бочкообразная рабочие поверхности.
ΔDmp	Отклонение среднего наружного диаметра D	Пределы различаются для цилиндрической и бочкообразной поверхности.
C	Номинальная ширина наружного кольца	Соответствующее отклонение — ΔCs.
ΔCs	Отклонение ширины наружного кольца C	Используется в таблице 6-H15.
Kea	Радиальное биение наружного кольца собранного опорного ролика	Максимальное допустимое значение.
d	Номинальный диаметр отверстия ролика с внутренним кольцом	Соответствующее отклонение — Δdmp.
Δdmp	Отклонение среднего диаметра отверстия d	Используется в таблице 6-H16.
B	Общая ширина внутреннего кольца и боковых шайб опорного ролика с отверстием	Не только ширина внутреннего кольца; соответствующее отклонение — ΔBs.
ΔBs	Отклонение общей ширины B	Используется в таблице 6-H16.
d1	Номинальный диаметр цапфы ролика с цапфой	Соответствующее отклонение — Δd1s.
Δd1s	Отклонение единичного диаметра цапфы d1	Используется в таблице 6-H17.
B1	Расстояние от торца цапфы до торца боковой шайбы ролика с цапфой	Габаритный осевой размер исполнения с цапфой.
B2	Длина хвостовика цапфы	Соответствующее отклонение — ΔB2s.
ΔB2s	Отклонение длины B2	Используется в таблице 6-H18.
B3	Расстояние от торца боковой шайбы до оси радиального смазочного отверстия в цапфе	Монтажно-функциональный размер системы смазывания.
C1	Расстояние от торца наружного кольца до торца боковой шайбы	Показано на исполнении с цапфой.
G	Обозначение резьбы на цапфе	Это обозначение резьбы, а не линейный размер.
lG	Длина резьбового участка цапфы	На рис. 6.10 обозначена вдоль резьбового конца.
r	Размер фаски/скругления наружного кольца в радиальном и осевом направлениях	Граничная геометрия наружного кольца.
rs min	Минимальный единичный размер фаски наружного кольца	Используется там, где стандарт приводит минимальное значение.

Допуски, посадочные места и шероховатость

Обозначение	Расшифровка	Как читать в таблице
r1	Размер фаски/скругления внутреннего кольца	Показан на исполнении с отверстием.
r1s min	Минимальный единичный размер фаски внутреннего кольца	Граничное значение соответствующего размера r1.
Ra	Максимальная шероховатость вала-дорожки исполнения без внутреннего кольца	В 6-O8 приведено функциональное требование к непосредственной дорожке качения.
Твёрдость	Требуемая твёрдость поверхности вала-дорожки	Контролируется совместно с термообработкой и окончательным шлифованием.

Таблица 6-H15. ISO 7063 — наружное кольцо опорного ролика — рис. 6.10. Единицы: мкм.

D >, мм	D ≤, мм	ΔDmp цилиндрическая поверхность верх.	ΔDmp цилиндрическая поверхность ниж.	ΔDmp бочкообразная поверхность верх.	ΔDmp бочкообразная поверхность ниж.	ΔCs верх.	ΔCs ниж.	Kea макс.
10	30	0	−21	0	−50	0	−120	15
30	50	0	−25	0	−50	0	−120	20
50	80	0	−30	0	−50	0	−120	25
80	120	0	−35	0	−50	0	−120	35
120	150	0	−40	0	−50	0	−120	40
150	180	0	−40	0	−50	0	−150	45
180	240	0	−46	0	−50	0	−200	50

Таблица применяется к исполнение с внутренним кольцом и исполнение с цапфой; цилиндрическую и бочкообразную наружные поверхности не смешивать.

Таблица 6-H16. ISO 7063 — внутреннее кольцо исполнение с внутренним кольцом — рис. 6.10. Единицы: мкм.

d >, мм	d ≤, мм	Δdmp верх.	Δdmp ниж.	ΔBs верх.	ΔBs ниж.
2,5	10	0	−8	0	−270
10	18	0	−8	0	−330
18	30	0	−10	0	−390
30	50	0	−12	0	−460
50	80	0	−15	0	−540
80	120	0	−20	0	−630

Таблица 6-H17. ISO 7063 — диаметр цапфы исполнение с цапфой — рис. 6.10. Единицы: мкм.

d1 >, мм	d1 ≤, мм	Δd1s верх.	Δd1s ниж.
3	6	0	−12

d1 >, мм	d1 ≤, мм	Δd1s верх.	Δd1s ниж.
6	10	0	−15
10	18	0	−18
18	30	0	−21
30	50	0	−25
50	80	0	−30
80	120	0	−35

Таблица 6-H18. ISO 7063 — длина цапфы исполнение с цапфой — рис. 6.10.

B2	ΔB2s верх., мм	ΔB2s ниж., мм
все	+0,5	−1

Таблица 6-O8. Ролик без внутреннего кольца: вал как дорожка — рис. 6.10.

Поверхность	Ra макс., мкм	Твёрдость	Обязательное условие	Статус
Вал-дорожка ролика без внутреннего кольца	0,2	**58…64 HRC**	термообработка и окончательное шлифование	Каталожная рекомендация для указанной конструктивной ветви

Численное **Ra** этой строки относится к валу-дорожке исполнения без внутреннего кольца. Для наружной контактной дорожки ролика применяют требования конкретной системы; универсальное **Ra** по имеющимся источникам не подтверждено.

6.6.19. Опорно-поворотные устройства (ОПУ)

В текущей главе для ОПУ приведены только подтверждённые требования к монтажной опорной поверхности. Полные размерные и геометрические допуски зависят от семейства и модели и не подменяются системой ISO 492.

Таблица 6-O9. ОПУ: монтажная опорная поверхность

Поверхность	Ra, мкм	Связанные условия	Статус и ограничение
Непрерывная опорная поверхность кольца ОПУ	3,2…6,3	плоскостность, осевое биение, жёсткость, толщина опоры и крепёж проверяют совместно	Каталожная рекомендация одной конструктивной системы; не переносить на все ОПУ

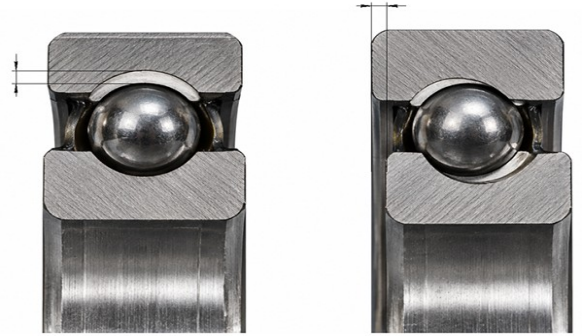
Крупногабаритные и сверхточные места имеют отдельные численные таблицы по классам и размерам. Без обозначения конкретной системы эти таблицы теряют безопасный область применения, поэтому их значения не превращены в универсальные таблицы OID; применять полный набор требований выбранного исполнения.

Суффикс C2/CN/C3/C4/C5 указывает исходную группу внутреннего зазора, но сам по себе не показывает, какой зазор останется после монтажа и в работе. Посадки колец обычно уменьшают исходный зазор, а температура может дополнительно уменьшать или увеличивать его. Поэтому исходную группу выбирают так, чтобы после монтажа и при рабочей температуре подшипник имел требуемый рабочий зазор либо предусмотренный конструкцией преднатяг.

Важно — какие данные имеют приоритет. ISO задаёт терминологию, нормативные группы внутреннего зазора, численные пределы в своей области применения и принципы измерения. Каталоги изготовителей нужны для конкретных серий: они уточняют исполнения по умолчанию, специальные системы обозначений и правила оценки установленного или рабочего состояния. Монтажные операции и контроль установки рассматриваются в отдельной главе. ГОСТ в этой главе используется только для сравнения систем; значения из ГОСТ нельзя автоматически подставлять вместо значений применимого ISO.

Практический порядок выбора и проверки:

1. Определить точное семейство подшипника, конструкцию отверстия и исполнение.
2. Определить, какой параметр действительно задаёт состояние этого семейства: радиальный внутренний зазор, осевой внутренний зазор, установленный осевой люфт или преднатяг.
3. По применимой таблице или данным изготовителя выбрать исходную группу зазора либо требуемое установленное состояние пары/комплекта.
4. Отдельно определить, насколько посадка внутреннего кольца на вал и наружного кольца в корпус изменит исходный зазор.
5. Получить остаточный зазор — то есть зазор после монтажа колец, но до установившегося рабочего нагрева.
6. Отдельно учесть температурное изменение посадок и разность температур внутреннего и наружного колец.
7. Определить рабочий зазор или рабочий преднатяг при фактической температуре узла.
8. Проверить, соответствует ли полученное состояние требованиям конкретного подшипника: остаётся ли допустимый положительный зазор, состояние около нуля или предусмотренный преднатяг.
9. Отрицательный расчётный зазор нельзя автоматически называть допустимым преднатягом. Преднатяг считается нормальным только тогда, когда он намеренно задан конструкцией, регулировкой или системой изготовителя.



7.1. Радиальный и осевой зазор

Радиальный внутренний зазор — радиальное перемещение одного кольца относительно другого между двумя противоположными предельными положениями при фиксированном втором кольце и ненагруженном подшипнике. Измерение выполняют по предусмотренной методике и в требуемых угловых положениях; одно локальное измерение не заменяет полный результат.

07

Осевой внутренний зазор — осевое перемещение одного кольца относительно другого между двумя противоположными предельными положениями при фиксированном втором кольце и ненагруженном подшипнике.

Радиальный и осевой внутренний зазор — разные параметры. Универсального коэффициента, который позволял бы для любого подшипника пересчитать радиальный зазор в осевой, нет: связь определяется внутренней геометрией конкретного семейства и исполнения.

7.2. Исходный → остаточный → рабочий зазор

Таблица 7-А. Исходный, остаточный и рабочий зазор

Состояние	Когда рассматривают	От чего зависит и что его изменяет	Что нужно проверить
Исходный зазор	До монтажа подшипника на вал и в корпус; внешняя нагрузка и преднатяг отсутствуют	Нормативная или заводская группа зазора, размер, семейство и исполнение	Выбрана ли правильная таблица для данного семейства, формы отверстия и размера; какое исполнение предусмотрено для конкретной серии
Остаточный зазор после монтажа	После установки внутреннего и наружного колец, но до установившегося рабочего нагрева	Натяг обеих посадок, деформация вала и корпуса, геометрия и жёсткость сопряжённых деталей	Насколько монтаж уменьшил исходный зазор и не стал ли остаточный зазор ниже допустимого для данного подшипника
Рабочий зазор	В работающем узле при фактической температуре и нагрузке	Остаточный зазор, разность температур колец, температурное изменение посадок и другие факторы, которые предусмотрены выбранной расчётной моделью	Какое состояние получилось в работе: допустимый положительный зазор, состояние около нуля или предусмотренный преднатяг

Упрощённая схема баланса зазора:

$$s_{раб} = s_{исх} - \Delta s_{пос} - \Delta s_{темп} \pm \Delta s_{проч}$$

Здесь $s_{раб}$ — рабочий зазор; $s_{исх}$ — исходный зазор до монтажа; $\Delta s_{пос}$ — изменение зазора из-за посадок; $\Delta s_{темп}$ — изменение зазора из-за разности температур колец; $\Delta s_{проч}$ — другие изменения, которые прямо предусмотрены выбранной расчётной моделью. Это не универсальная нормативная формула. Знак каждого слагаемого выбирают по физическому смыслу: фактор, уменьшающий зазор, вычитают, а фактор, увеличивающий зазор, прибавляют.

Иными словами: исходный зазор, остаточный зазор после монтажа и рабочий зазор в нагретом узле — это три разные величины; подменять одну другой нельзя.

7.3. C2 / CN / C3 / C4 / C5

Таблица 7-B. Практические обозначения групп зазора

Каталожное обозначение	Нормативная группа в применимой области ISO	Положение относительно нормальной группы	Как нельзя трактовать обозначение
C2	G2 / группа 2	Исходный зазор меньше нормальной группы	C2 не означает нулевой или отрицательный зазор и не относится к классу точности
CN	GN / нормальная группа	Нормальный диапазон для конкретного семейства и размера	CN не означает 0 мкм: это диапазон значений, который зависит от семейства и диаметра
C3	G3 / группа 3	Исходный зазор больше нормальной группы	C3 не является классом точности и не задаёт одно одинаковое значение зазора для всех размеров
C4	G4 / группа 4	Исходный зазор больше C3	Больший исходный зазор не означает, что рабочий зазор после монтажа и нагрева автоматически будет допустимым
C5	G5 / группа 5	Исходный зазор больше C4	C5 нельзя выбирать автоматически только из-за высокой температуры или натяга; нужно оценить остаточный и рабочий зазор

Классы точности P4/P2 и группы зазора C2/CN/C3/C4/C5 описывают разные характеристики. В каталожной маркировке часто используют C-коды, а в численных таблицах ISO этой главы — нормативные группы G2/GN/G3/G4/G5. Такое соответствие применимо только в той области, где оно прямо задано стандартом или системой конкретного семейства. Например, C3 не является одним фиксированным значением в микрометрах: пределы C3 зависят от семейства, конструкции отверстия и диаметра.

Таблица 7-C. Как правильно читать похожие обозначения и исполнения без явного C-кода

Ситуация	Частая ошибочная трактовка	Как трактовать правильно / что делать
Стандартное исполнение без суффикса C	Если C-кода нет, значит подшипник всегда CN	Нормальная группа действительно часто не маркируется, но это не универсальное правило. Проверить обозначение и исполнение по документации конкретной серии.
Отдельное исполнение с коническим отверстием	Без суффикса всегда должна быть нормальная группа	Для некоторых серий исходным исполнением может быть C3. Использовать правило конкретной серии, а не предположение по отсутствию суффикса.
Вставной подшипник / корпусной узел	Для всех вставных подшипников используется одна группа по умолчанию	Разные серии могут поставляться, например, с C3 или C4. Проверить именно обозначение и каталог нужного узла.
Специальное высокоточное исполнение	Если обычного C-кода нет, зазор обязательно CN	Вместо обычных C-групп может применяться специальный класс зазора или преднатяга. Расшифровывать обозначение нужно по системе этого исполнения.

Зазор и преднатяг

Ситуация	Частая ошибочная трактовка	Как трактовать правильно / что делать
MC1…MC5	Это просто другое написание C1…C5	MC — отдельная система, применяемая для миниатюрных подшипников. Нельзя автоматически приравнивать MC1…MC5 к обычным C-группам.
Коды, похожие на C1 / SPC2, в специальном исполнении	Похожее обозначение автоматически означает обычную группу ISO C1/C2	Если код входит в специальную систему конкретной серии, его значение определяют только по документации этой серии; сходство букв и цифр недостаточно.
Буквенные классы преднатяга	Одинаковая буква у разных изготовителей означает одинаковую силу преднатяга	Буквенный класс имеет смысл только внутри конкретной системы изготовителя. Универсального соответствия между разными системами нет.
Z-коды линейных направляющих	Z — универсальная шкала преднатяга для всех направляющих	Код Z, уровень преднатяга и способ его задания относятся к конкретной модели направляющей и каретки.
Осевой люфт пары конических роликоподшипников	Это то же самое, что осевой внутренний зазор отдельного немонтированного подшипника	Осевой люфт — параметр уже установленной и отрегулированной пары. Его нельзя подменять осевым внутренним зазором отдельного подшипника другой конструкции.
Совпала одна численная строка ISO и ГОСТ	Значит стандарты полностью эквивалентны	Совпадение одной строки ничего не говорит о других размерах и семействах. Отдельно проверяют область применения, границы размеров, названия групп и численные пределы.

Главное правило: отсутствие суффикса C не доказывает, что подшипник имеет нормальную группу CN. Сначала проверяют обозначение конкретной серии и правило её исполнения по умолчанию.

ISO и ГОСТ: почему одинаковые номера групп нельзя считать взаимозаменяемыми

Сравнение ISO и ГОСТ ниже нужно только для понимания различий. Для выбора зазора OID используется таблица того стандарта, который применим к конкретному семейству и размеру. Даже если отдельные численные строки совпадают, это не означает, что совпадают области применения, границы размеров и система обозначений в целом.

Параметр / семейство	Что задаёт ISO	Что задаёт ГОСТ	Практический вывод для выбора зазора
Радиальный однорядный шариковый, цилиндрическое отверстие	G2 / GN / G3 / G4 / G5 со своими размерными интервалами; в первом малом интервале G4/G5 не заданы	Собственные номерные группы; для малого диапазона предусмотрены дополнительные группы	Отдельные строки могут совпадать, но универсальное правило «ISO G2 = ГОСТ группа 2» применять нельзя. Выбирать значения только из таблицы выбранного стандарта.
Верхний размерный предел однорядного радиального шарикового	Таблица этой главы продолжается до d = 1 600 мм	Сравниваемая таблица заканчивается при d = 1 000 мм	Различие верхнего диаметра — различие области применения. Отсутствие строки в одном стандарте не означает ошибку другого стандарта.

Зазор и преднатяг

Параметр / семейство	Что задаёт ISO	Что задаёт ГОСТ	Практический вывод для выбора зазора
Однорядный радиальный шариковый, коническое отверстие	В ISO 5753-1 соответствующей таблицы нет	Есть отдельная конструктивная ветвь	Прямой перенос значений недопустим: данные ГОСТ не вставляют в таблицу ISO для другой области применения.
Двухрядный самоустанавливающийся шариковый, цилиндрическое отверстие	G2 / GN / G3 / G4 / G5 со своим размерным пределом	Собственная система групп и более широкий размерный диапазон	Даже если отдельные строки совпадают, на больших размерах и границах диапазонов системы расходятся. Использовать таблицу того стандарта, который принят для расчёта.
Цилиндрический роликовый / комплектный игольчатый, цилиндрическое отверстие	Для рассматриваемой области используется одна система G2 / GN / G3 / G4 / G5	Для взаимозаменяемых и невзаимозаменяемых подшипников системы разделены	Нельзя сопоставлять группы только по порядковому номеру. Сначала определить конструкцию и ветвь стандарта, затем брать численные пределы.
Цилиндрический роликовый, коническое отверстие	G2 / GN / G3 / G4 в одной таблице данного семейства	Взаимозаменяемая и невзаимозаменяемая ветви разделены	Не смешивать ветви. Для каждой конструкции сохранять её собственные номера групп и размерные интервалы.
Тороидальный роликовый	Отдельные таблицы для цилиндрического и конического отверстия	Ближайшая по названию ветвь относится к однорядному сферическому роликовому	Сходство названия или принципа работы не делает семейства взаимозаменяемыми. Прямое численное сравнение не применять.
Двухрядный сферический роликовый	G2 / GN / G3 / G4 / G5 в собственных интервалах	Есть дополнительная группа 1 и свои границы размерных интервалов	Отдельные числа могут совпасть, но универсального соответствия номеров групп нет. Нужна таблица конкретного стандарта.
Четырёхточечный шариковый, α=35°	ISO 5753-2: осевые группы G2 / GN / G3 / G4	Сравниваемая таблица относится к двухрядному радиально-упорному шариковому	Это разные конструкции. Даже при похожих числах переносить одну таблицу на другую нельзя.
Измерение радиального зазора	ISO 1132-2 задаёт методы A/B, область применения, измерительные нагрузки и требуемые поправки	ГОСТ 520 содержит методы, которые по схеме могут быть похожи на А/Б	Похожая схема измерения не означает одинаковую процедуру. Нагрузки, коррекции и область применения брать из выбранного нормативного источника.
Термины «радиальный зазор» / «осевой зазор»	Определения используются по ISO 1132-1	В ГОСТ 25256 есть близкие по смыслу термины; указанная в главе редакция имеет статус NEQ относительно ISO	Не называть ГОСТ полным аналогом ISO. При спорной трактовке ссылаться на определение того стандарта, который применён в расчёте.

Если для строки сравнительного стандарта нельзя однозначно подтвердить соответствие по семейству, конструкции и размерному диапазону, такую строку не используют для выбора зазора OID и не переносят в таблицы автоматически.

7.4. Численные таблицы по семействам

Ниже приведены применимые размерные ряды ISO для указанных семейств. Значения относятся к немонтированным и непренагруженным подшипникам в условиях, предусмотренных стандартом. Интервал читают буквально: например, запись >40…≤50 означает d больше 40 мм и не больше 50 мм. Знак «—» означает, что для данного интервала группа в таблице не определена; интерполировать значение между соседними строками нельзя.

Для радиального зазора в таблицах используются группы G2 / GN / G3 / G4 / G5; GN — нормальная группа, а не нулевой зазор. Для осевого зазора четырёхточечного подшипника используются G2 / GN / G3 / G4. Каталожные обозначения C2/CN/C3/C4/C5 нельзя читать как готовые значения в микрометрах без выбора нужной строки по семейству и диаметру.

У некоторых серий каталог изготовителя может охватывать размеры, которые начинаются ниже нижней границы соответствующей таблицы ISO. В таком случае используют данные именно этой серии; нижнюю строку ISO нельзя продолжать вниз или экстраполировать на размер вне области стандарта.

Таблица 7-D1. Радиальный однорядный шариковый — цилиндрическое отверстие

Семейство: радиальный однорядный шариковый подшипник; форма отверстия: цилиндрическая; параметр: радиальный внутренний зазор; диапазон: d >2,5…≤1 600 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>2,5…≤6	0–7	2–13	8–23	—	—
>6…≤10	0–7	2–13	8–23	14–29	20–37
>10…≤18	0–9	3–18	11–25	18–33	25–45
>18…≤24	0–10	5–20	13–28	20–36	28–48
>24…≤30	1–11	5–20	13–28	23–41	30–53
>30…≤40	1–11	6–20	15–33	28–46	40–64
>40…≤50	1–11	6–23	18–36	30–51	45–73
>50…≤65	1–15	8–28	23–43	38–61	55–90
>65…≤80	1–15	10–30	25–51	46–71	65–105
>80…≤100	1–18	12–36	30–58	53–84	75–120
>100…≤120	2–20	15–41	36–66	61–97	90–140
>120…≤140	2–23	18–48	41–81	71–114	105–160
>140…≤160	2–23	18–53	46–91	81–130	120–180
>160…≤180	2–25	20–61	53–102	91–147	135–200
>180…≤200	2–30	25–71	63–117	107–163	150–230
>200…≤225	2–35	25–85	75–140	125–195	175–265
>225…≤250	2–40	30–95	85–160	145–225	205–300

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>250…≤280	2–45	35–105	90–170	155–245	225–340
>280…≤315	2–55	40–115	100–190	175–270	245–370
>315…≤355	3–60	45–125	110–210	195–300	275–410
>355…≤400	3–70	55–145	130–240	225–340	315–460
>400…≤450	3–80	60–170	150–270	250–380	350–520
>450…≤500	3–90	70–190	170–300	280–420	390–570
>500…≤560	10–100	80–210	190–330	310–470	440–630
>560…≤630	10–110	90–230	210–360	340–520	490–700
>630…≤710	20–130	110–260	240–400	380–570	540–780
>710…≤800	20–140	120–290	270–450	430–630	600–860
>800…≤900	20–160	140–320	300–500	480–700	670–960
>900…≤1 000	20–170	150–350	330–550	530–770	740–1 040
>1 000…≤1 120	20–180	160–380	360–600	580–850	820–1 150
>1 120…≤1 250	20–190	170–410	390–650	630–920	890–1 260
>1 250…≤1 400	30–200	190–440	420–700	680–1 000	—
>1 400…≤1 600	30–210	210–470	450–750	730–1 060	—

Таблица 7-D2. Двухрядный самоустанавливающийся шариковый — цилиндрическое отверстие

Семейство: двухрядный самоустанавливающийся шариковый подшипник; форма отверстия: цилиндрическая; параметр: радиальный внутренний зазор; диапазон: d >2,5…≤500 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>2,5…≤6	1–8	5–15	10–20	15–25	21–33
>6…≤10	2–9	6–17	12–25	19–33	27–42
>10…≤14	2–10	6–19	13–26	21–35	30–48
>14…≤18	3–12	8–21	15–28	23–37	32–50
>18…≤24	4–14	10–23	17–30	25–39	34–52
>24…≤30	5–16	11–24	19–35	29–46	40–58
>30…≤40	6–18	13–29	23–40	34–53	46–66
>40…≤50	6–19	14–31	25–44	37–57	50–71
>50…≤65	7–21	16–36	30–50	45–69	62–88

Зазор и преднатяг

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>65…≤80	8–24	18–40	35–60	54–83	76–108
>80…≤100	9–27	22–48	42–70	64–96	89–124
>100…≤120	10–31	25–56	50–83	75–114	105–145
>120…≤140	10–38	30–68	60–100	90–135	125–175
>140…≤160	15–44	35–80	70–120	110–161	150–210
>160…≤180	15–50	40–92	82–138	126–185	—
>180…≤200	17–57	47–105	93–157	144–212	—
>200…≤225	18–62	50–115	100–170	155–230	—
>225…≤250	20–70	57–130	115–195	175–255	—
>250…≤280	23–78	65–145	125–220	200–295	—
>280…≤315	27–90	75–165	145–250	230–335	—
>315…≤355	32–100	85–185	165–285	260–380	—
>355…≤400	35–110	90–205	185–325	295–430	—
>400…≤450	38–125	100–230	205–345	315–465	—
>450…≤500	40–135	110–255	230–380	345–510	—

Таблица 7-D3. Двухрядный самоустанавливающийся шариковый — коническое отверстие

Семейство: двухрядный самоустанавливающийся шариковый подшипник; форма отверстия: коническая; параметр: радиальный внутренний зазор; диапазон: d >18…≤500 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>18…≤24	7–17	13–26	20–33	28–42	37–55
>24…≤30	9–20	15–28	23–39	33–50	44–62
>30…≤40	12–24	19–35	29–46	40–59	52–72
>40…≤50	14–27	22–39	33–52	45–65	58–79
>50…≤65	18–32	27–47	41–61	56–80	73–99
>65…≤80	23–39	35–57	50–75	69–98	91–123
>80…≤100	29–47	42–68	62–90	84–116	109–144
>100…≤120	35–56	50–81	75–108	100–139	130–170
>120…≤140	40–68	60–98	90–130	120–165	155–205

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>140…≤160	45–74	65–110	100–150	140–191	180–240
>160…≤180	50–85	75–127	117–173	161–220	—
>180…≤200	55–95	85–143	131–195	182–250	—
>200…≤225	63–107	95–160	145–215	200–275	—
>225…≤250	70–120	107–180	165–245	230–310	—
>250…≤280	78–133	120–200	180–275	255–350	—
>280…≤315	87–150	135–225	205–310	280–385	—
>315…≤355	97–165	150–250	220–340	310–430	—
>355…≤400	105–180	160–275	245–375	335–470	—
>400…≤450	115–200	170–300	260–400	360–510	—
>450…≤500	120–215	180–325	275–425	380–545	—

Таблица 7-D4. Цилиндрический роликовый / комплектный игольчатый — цилиндрическое отверстие

Семейство: цилиндрический роликовый или комплектный игольчатый подшипник с внутренним кольцом; форма отверстия: цилиндрическая; параметр: радиальный внутренний зазор; диапазон: d ≤2 000 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
≤10	0–25	20–45	35–60	50–75	—
>10…≤24	0–25	20–45	35–60	50–75	65–90
>24…≤30	0–25	20–45	35–60	50–75	70–95
>30…≤40	5–30	25–50	45–70	60–85	80–105
>40…≤50	5–35	30–60	50–80	70–100	95–125
>50…≤65	10–40	40–70	60–90	80–110	110–140
>65…≤80	10–45	40–75	65–100	90–125	130–165
>80…≤100	15–50	50–85	75–110	105–140	155–190
>100…≤120	15–55	50–90	85–125	125–165	180–220
>120…≤140	15–60	60–105	100–145	145–190	200–245
>140…≤160	20–70	70–120	115–165	165–215	225–275
>160…≤180	25–75	75–125	120–170	170–220	250–300
>180…≤200	35–90	90–145	140–195	195–250	275–330
>200…≤225	45–105	105–165	160–220	220–280	305–365

Зазор и преднатяг

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>225…≤250	45–110	110–175	170–235	235–300	330–395
>250…≤280	55–125	125–195	190–260	260–330	370–440
>280…≤315	55–130	130–205	200–275	275–350	410–485
>315…≤355	65–145	145–225	225–305	305–385	455–535
>355…≤400	100–190	190–280	280–370	370–460	510–600
>400…≤450	110–210	210–310	310–410	410–510	565–665
>450…≤500	110–220	220–330	330–440	440–550	625–735
>500…≤560	120–240	240–360	360–480	480–600	—
>560…≤630	140–260	260–380	380–500	500–620	—
>630…≤710	145–285	285–425	425–565	565–705	—
>710…≤800	150–310	310–470	470–630	630–790	—
>800…≤900	180–350	350–520	520–690	690–860	—
>900…≤1 000	200–390	390–580	580–770	770–960	—
>1 000…≤1 120	220–430	430–640	640–850	850–1 060	—
>1 120…≤1 250	230–470	470–710	710–950	950–1 190	—
>1 250…≤1 400	270–530	530–790	790–1 050	1 050–1 310	—
>1 400…≤1 600	330–610	610–890	890–1 170	1 170–1 450	—
>1 600…≤1 800	380–700	700–1 020	1 020–1 340	1 340–1 660	—
>1 800…≤2 000	400–760	760–1 120	1 120–1 480	1 480–1 840	—

Таблица 7-D5. Цилиндрический роликовый — коническое отверстие

Семейство: цилиндрический роликовый подшипник; форма отверстия: коническая; параметр: радиальный внутренний зазор; диапазон: d ≤2 000 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4
≤10	15–40	30–55	40–65	50–75
>10…≤24	15–40	30–55	40–65	50–75
>24…≤30	20–45	35–60	45–70	55–80
>30…≤40	20–45	40–65	55–80	70–95
>40…≤50	25–55	45–75	60–90	75–105
>50…≤65	30–60	50–80	70–100	90–120

Зазор и преднатяг

d, мм	G2	GN	G3	G4
>65…≤80	35–70	60–95	85–120	110–145
>80…≤100	40–75	70–105	95–130	120–155
>100…≤120	50–90	90–130	115–155	140–180
>120…≤140	55–100	100–145	130–175	160–205
>140…≤160	60–110	110–160	145–195	180–230
>160…≤180	75–125	125–175	160–210	195–245
>180…≤200	85–140	140–195	180–235	220–275
>200…≤225	95–155	155–215	200–260	245–305
>225…≤250	105–170	170–235	220–285	270–335
>250…≤280	115–185	185–255	240–310	295–365
>280…≤315	130–205	205–280	265–340	325–400
>315…≤355	145–225	225–305	290–370	355–435
>355…≤400	165–255	255–345	330–420	405–495
>400…≤450	185–285	285–385	370–470	455–555
>450…≤500	205–315	315–425	410–520	505–615
>500…≤560	230–350	350–470	455–575	560–680
>560…≤630	260–380	380–500	500–620	620–740
>630…≤710	295–435	435–575	565–705	695–835
>710…≤800	325–485	485–645	630–790	775–935
>800…≤900	370–540	540–710	700–870	860–1 030
>900…≤1 000	410–600	600–790	780–970	960–1 150
>1 000…≤1 120	455–665	665–875	865–1 075	1 065–1 275
>1 120…≤1 250	490–730	730–970	960–1 200	1 200–1 440
>1 250…≤1 400	550–810	810–1 070	1 070–1 330	1 330–1 590
>1 400…≤1 600	640–920	920–1 200	1 200–1 480	1 480–1 760
>1 600…≤1 800	700–1 020	1 020–1 340	1 340–1 660	1 660–1 980
>1 800…≤2 000	760–1 120	1 120–1 480	1 480–1 840	1 840–2 200

07

Таблица 7-D6. Тороидальный роликовый — цилиндрическое отверстие

Семейство: тороидальный роликовый подшипник; форма отверстия: цилиндрическая; параметр: радиальный внутренний зазор; диапазон: d >18…≤1 800 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>18…≤24	15–30	25–40	35–55	50–65	65–85
>24…≤30	15–35	30–50	45–60	60–80	75–95
>30…≤40	20–40	35–55	55–75	70–95	90–120
>40…≤50	25–45	45–65	65–85	85–110	105–140
>50…≤65	30–55	50–80	75–105	100–140	135–175
>65…≤80	40–70	65–100	95–125	120–165	160–210
>80…≤100	50–85	80–120	120–160	155–210	205–260
>100…≤120	60–100	100–145	140–190	185–245	240–310
>120…≤140	75–120	115–170	165–215	215–280	280–350
>140…≤160	85–140	135–195	195–250	250–325	320–400
>160…≤180	95–155	150–220	215–280	280–365	360–450
>180…≤200	105–175	170–240	235–310	305–395	390–495
>200…≤225	115–190	185–265	260–340	335–435	430–545
>225…≤250	125–205	200–285	280–370	365–480	475–605
>250…≤280	135–225	220–310	305–410	405–520	515–655
>280…≤315	150–240	235–330	330–435	430–570	570–715
>315…≤355	160–260	255–360	360–485	480–620	620–790
>355…≤400	175–280	280–395	395–530	525–675	675–850
>400…≤450	190–310	305–435	435–580	575–745	745–930
>450…≤500	205–335	335–475	475–635	630–815	810–1 015
>500…≤560	220–360	360–520	510–690	680–890	890–1 110
>560…≤630	240–400	390–570	560–760	750–980	970–1 220
>630…≤710	260–440	430–620	610–840	830–1 080	1 070–1 340
>710…≤800	300–500	490–680	680–920	920–1 200	1 200–1 480
>800…≤900	320–540	530–760	750–1 020	1 010–1 330	1 320–1 660
>900…≤1 000	370–600	590–830	830–1 120	1 120–1 460	1 460–1 830
>1 000…≤1 120	410–660	660–930	930–1 260	1 260–1 640	1 640–2 040

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>1 120…≤1 250	450–720	720–1 020	1 020–1 380	1 380–1 800	1 800–2 240
>1 250…≤1 400	490–800	800–1 130	1 130–1 510	1 510–1 970	1 970–2 460
>1 400…≤1 600	570–890	890–1 250	1 250–1 680	1 680–2 200	2 200–2 740
>1 600…≤1 800	650–1 010	1 010–1 390	1 390–1 870	1 870–2 430	2 430–3 000

Таблица 7-D7. Тороидальный роликовый — коническое отверстие

Семейство: тороидальный роликовый подшипник; форма отверстия: коническая; параметр: радиальный внутренний зазор; диапазон: d >18… ≤1 800 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>18…≤24	15–35	30–45	40–55	55–70	65–85
>24…≤30	20–40	35–55	50–65	65–85	80–100
>30…≤40	25–50	45–65	60–80	80–100	100–125
>40…≤50	30–55	50–75	70–95	90–120	115–145
>50…≤65	40–65	60–90	85–115	110–150	145–185
>65…≤80	50–80	75–110	105–140	135–180	175–220
>80…≤100	60–100	95–135	130–175	170–220	215–275
>100…≤120	75–115	115–155	155–205	200–255	255–325
>120…≤140	90–135	135–180	180–235	230–295	290–365
>140…≤160	100–155	155–215	210–270	265–340	335–415
>160…≤180	115–175	170–240	235–305	300–385	380–470
>180…≤200	130–195	190–260	260–330	325–420	415–520
>200…≤225	140–215	210–290	285–365	360–460	460–575
>225…≤250	160–235	235–315	315–405	400–515	510–635
>250…≤280	170–260	255–345	340–445	440–560	555–695
>280…≤315	195–285	280–380	375–485	480–620	615–765
>315…≤355	220–320	315–420	415–545	540–680	675–850
>355…≤400	250–350	350–475	470–600	595–755	755–920
>400…≤450	280–385	380–525	525–655	650–835	835–1 005
>450…≤500	305–435	435–575	575–735	730–915	910–1 115
>500…≤560	330–480	470–640	630–810	800–1 010	1 000–1 230

Зазор и преднатяг

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>560…≤630	380–530	530–710	700–890	880–1 110	1 110–1 350
>630…≤710	420–590	590–780	770–990	980–1 230	1 230–1 490
>710…≤800	480–680	670–860	860–1 100	1 100–1 380	1 380–1 660
>800…≤900	520–740	730–960	950–1 220	1 210–1 530	1 520–1 860
>900…≤1 000	580–820	810–1 040	1 040–1 340	1 340–1 670	1 670–2 050
>1 000…≤1 120	640–900	890–1 170	1 160–1 500	1 490–1 880	1 870–2 280
>1 120…≤1 250	700–980	970–1 280	1 270–1 640	1 630–2 060	2 050–2 500
>1 250…≤1 400	770–1 080	1 080–1 410	1 410–1 790	1 780–2 250	2 250–2 740
>1 400…≤1 600	870–1 200	1 200–1 550	1 550–1 990	1 990–2 500	2 500–3 050
>1 600…≤1 800	950–1 320	1320–1 690	1 690–2 180	2 180–2 730	2 730–3 310

Таблица 7-D8. Двухрядный сферический роликовый — цилиндрическое отверстие

Семейство: двухрядный сферический роликовый подшипник; форма отверстия: цилиндрическая; параметр: радиальный внутренний зазор; диапазон: d >14…≤1 000 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>14…≤18	10–20	20–35	35–45	45–60	60–75
>18…≤24	10–20	20–35	35–45	45–60	60–75
>24…≤30	15–25	25–40	40–55	55–75	75–95
>30…≤40	15–30	30–45	45–60	60–80	80–100
>40…≤50	20–35	35–55	55–75	75–100	100–125
>50…≤65	20–40	40–65	65–90	90–120	120–150
>65…≤80	30–50	50–80	80–110	110–145	145–180
>80…≤100	35–60	60–100	100–135	135–180	180–225
>100…≤120	40–75	75–120	120–160	160–210	210–260
>120…≤140	50–95	95–145	145–190	190–240	240–300
>140…≤160	60–110	110–170	170–220	220–280	280–350
>160…≤180	65–120	120–180	180–240	240–310	310–390
>180…≤200	70–130	130–200	200–260	260–340	340–430
>200…≤225	80–140	140–220	220–290	290–380	380–470
>225…≤250	90–150	150–240	240–320	320–420	420–520

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>250…≤280	100–170	170–260	260–350	350–460	460–570
>280…≤315	110–190	190–280	280–370	370–500	500–630
>315…≤355	120–200	200–310	310–410	410–550	550–690
>355…≤400	130–220	220–340	340–450	450–600	600–750
>400…≤450	140–240	240–370	370–500	500–660	660–820
>450…≤500	140–260	260–410	410–550	550–720	720–900
>500…≤560	150–280	280–440	440–600	600–780	780–1 000
>560…≤630	170–310	310–480	480–650	650–850	850–1 100
>630…≤710	190–350	350–530	530–700	700–920	920–1 190
>710…≤800	210–390	390–580	580–770	770–1 010	1 010–1 300
>800…≤900	230–430	430–650	650–860	860–1 120	1 120–1 440
>900…≤1 000	260–480	480–710	710–930	930–1 220	1 220–1 570

Таблица 7-D9. Двухрядный сферический роликовый — коническое отверстие

Семейство: двухрядный сферический роликовый подшипник; форма отверстия: коническая; параметр: радиальный внутренний зазор; диапазон: d >18…≤1 000 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>18…≤24	15–25	25–35	35–45	45–60	60–75
>24…≤30	20–30	30–40	40–55	55–75	75–95
>30…≤40	25–35	35–50	50–65	65–85	85–105
>40…≤50	30–45	45–60	60–80	80–100	100–130
>50…≤65	40–55	55–75	75–95	95–120	120–160
>65…≤80	50–70	70–95	95–120	120–150	150–200
>80…≤100	55–80	80–110	110–140	140–180	180–230
>100…≤120	65–100	100–135	135–170	170–220	220–280
>120…≤140	80–120	120–160	160–200	200–260	260–330
>140…≤160	90–130	130–180	180–230	230–300	300–380
>160…≤180	100–140	140–200	200–260	260–340	340–430
>180…≤200	110–160	160–220	220–290	290–370	370–470
>200…≤225	120–180	180–250	250–320	320–410	410–520

Зазор и преднатяг

d, мм	G2	GN	G3	G4	G5
>225…≤250	140–200	200–270	270–350	350–450	450–570
>250…≤280	150–220	220–300	300–390	390–490	490–620
>280…≤315	170–240	240–330	330–430	430–540	540–680
>315…≤355	190–270	270–360	360–470	470–590	590–740
>355…≤400	210–300	300–400	400–520	520–650	650–820
>400…≤450	230–330	330–440	440–570	570–720	720–910
>450…≤500	260–370	370–490	490–630	630–790	790–1 000
>500…≤560	290–410	410–540	540–680	680–870	870–1 100
>560…≤630	320–460	460–600	600–760	760–980	980–1 230
>630…≤710	350–510	510–670	670–850	850–1 090	1 090–1 360
>710…≤800	390–570	570–750	750–960	960–1 220	1 220–1 500
>800…≤900	440–640	640–840	840–1 070	1 070–1 370	1 370–1 690
>900…≤1 000	490–710	710–930	930–1 190	1 190–1 520	1 520–1 860

Таблица 7-D10. Четырёхточечный шариковый, α=35° — осевой внутренний зазор

Семейство: четырёхточечный шариковый подшипник; форма отверстия: цилиндрическая; параметр: осевой внутренний зазор; диапазон: d >10…≤1 000 мм; единицы: мкм.

d, мм	G2	GN	G3	G4
>10…≤18	15–65	50–95	85–130	120–165
>18…≤40	25–75	65–110	100–150	135–185
>40…≤60	35–85	75–125	110–165	150–200
>60…≤80	45–100	85–140	125–175	165–215
>80…≤100	55–110	95–150	135–190	180–235
>100…≤140	70–130	115–175	160–220	205–265
>140…≤180	90–155	135–200	185–250	235–300
>180…≤220	105–175	155–225	210–280	260–330
>220…≤260	120–195	175–250	230–305	290–360
>260…≤300	135–215	195–275	255–335	315–390
>300…≤350	155–240	220–305	285–370	350–430

d, мм	G2	GN	G3	G4
>350…≤400	175–265	245–330	310–400	380–470
>400…≤450	190–285	265–360	340–435	415–510
>450…≤500	210–310	290–390	365–470	445–545
>500…≤560	225–335	315–420	400–505	485–595
>560…≤630	250–365	340–455	435–550	530–645
>630…≤710	270–395	375–500	475–600	580–705
>710…≤800	290–425	405–540	520–655	635–770
>800…≤900	315–460	440–585	570–715	695–840
>900…≤1 000	335–490	475–630	615–770	755–910

Таблица 7-D10 относится только к четырёхточечным шариковым подшипникам с контактным углом 35°. Её нельзя переносить на однорядные или двухрядные радиально-упорные шариковые, упорные шариковые и конические роликовые подшипники.

7.5. Влияние посадок и жёсткости сопряжений на внутренний зазор

Посадки изменяют размеры колец, поэтому исходный зазор после монтажа обычно уже не сохраняется. Натяг внутреннего кольца на валу расширяет внутреннее кольцо, а натяг наружного кольца в корпусе сжимает наружное кольцо; оба эффекта обычно уменьшают радиальный внутренний зазор. Но уменьшение зазора не равно величине натяга один к одному: результат зависит от толщины кольца, сплошного или полого вала, толщины и материала корпуса, а также общей жёсткости сопряжения.

Таблица 7-E. Как посадки и жёсткость сопряжённых деталей изменяют зазор

Фактор	Что физически происходит	Как обычно меняется внутренний зазор	Что учесть при расчёте или проверке
Натяг внутреннего кольца	Посадка с натягом увеличивает диаметр внутреннего кольца на валу	Радиальный внутренний зазор обычно уменьшается	Фактический эффективный натяг, толщину кольца, материал и жёсткость вала
Натяг наружного кольца	Посадка с натягом уменьшает диаметр наружного кольца в отверстии корпуса	Радиальный внутренний зазор обычно уменьшается	Фактический эффективный натяг, толщину кольца, материал и жёсткость корпуса
Полый вал	Полый вал деформируется сильнее сплошного, поэтому часть натяга расходуется на деформацию самого вала	Внутреннее кольцо расширяется не так, как на сплошном валу; уменьшение зазора будет другим	Отношение внутреннего и наружного диаметров полого вала и расчётную модель, предназначенную для полого вала

Зазор и преднатяг

Фактор	Что физически происходит	Как обычно меняется внутренний зазор	Что учесть при расчёте или проверке
Тонкостенный или лёгкосплавный корпус	Корпус легче деформируется под посадкой и может иметь коэффициент теплового расширения, отличный от стали	Сжатие наружного кольца и его изменение при нагреве могут заметно отличаться от случая толстостенного стального корпуса	Толщину стенки, материал корпуса, его температуру и жёсткость всей опоры
Коническое отверстие подшипника	Осевое продвижение внутреннего кольца по конусу изменяет натяг посадки	При увеличении натяга радиальный внутренний зазор уменьшается; конкретная величина зависит от семейства и геометрии	Для расчёта зазора использовать правило конкретного семейства. Монтажное продвижение и контроль установки рассматриваются отдельно в главе о монтаже

В отдельных каталоговых расчётных моделях для ограниченных сочетаний размеров и жёсткости встречается оценка, при которой часть эффективного натяга — порядка 70–90 % — преобразуется в уменьшение радиального зазора. Это не универсальное правило OID и не постоянный коэффициент для всех подшипников. Использовать такую долю можно только тогда, когда применимость конкретной модели подтверждена для рассматриваемого узла.

Для подшипника с коническим отверстием осевое перемещение кольца по конусу изменяет натяг, а значит и радиальный внутренний зазор. В этой главе рассматривается только этот физический принцип; конкретная величина продвижения, способ монтажа и контроль уменьшения зазора относятся к главе о монтаже.

7.6. Температурное изменение рабочего зазора

Температура изменяет рабочий зазор двумя разными механизмами, которые нельзя смешивать:

- изменение размеров вала и корпуса меняет фактический натяг посадок колец;
- разность температур внутреннего и наружного колец непосредственно меняет расстояние между дорожками и, следовательно, внутренний зазор. Оба эффекта оценивают отдельно и объединяют только в рамках выбранной расчётной модели.

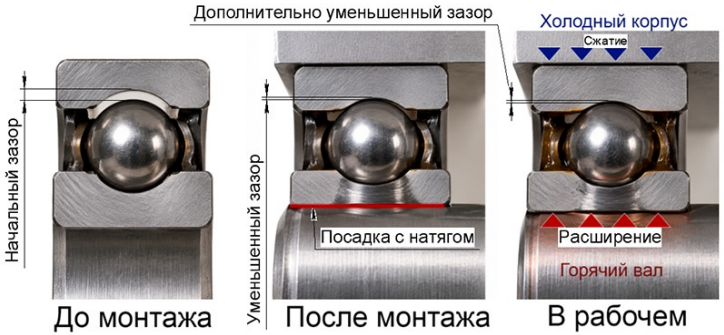


Таблица 7-F. Температурные воздействия

Температурное воздействие	Что происходит физически	Что нужно определить или рассчитать	Какую ошибку нужно исключить
Внутреннее кольцо горячее наружного	Внутреннее кольцо расширяется сильнее наружного; при принятой модели радиальный зазор уменьшается	Разность температур ΔT = Твн − Тнар и соответствующее изменение зазора ΔsT	Не пропустить уменьшение рабочего зазора до состояния около нуля или до непредусмотренного преднатяга
Корпус и наружное кольцо имеют разные температуры	Из-за разного теплового расширения меняется фактический натяг наружного кольца в корпусе	Отдельно определить температурное изменение диаметра отверстия корпуса и наружного кольца с учётом их материалов, затем определить, как изменилась посадка	Не перепутать знак поправки: изменение натяга посадки может уменьшать или увеличивать рабочий зазор в зависимости от материалов и температур
Лёгкосплавный корпус	Коэффициент линейного расширения корпуса отличается от коэффициента стального кольца	Для корпуса и кольца использовать коэффициенты их реальных материалов, фактические температуры и геометрию	Не подставлять коэффициент линейного расширения стали для алюминиевого или другого лёгкосплавного корпуса — это даст ошибочную посадку и рабочий зазор
Пусковой переходный режим	Внутреннее кольцо, наружное кольцо, вал и корпус нагреваются с разной скоростью; временная разность температур может отличаться от установившейся	Переходную разность температур и, если это требуется расчётной моделью, максимальное временное изменение зазора/преднатяга	Не оценивать узел только по установившейся температуре и не пропустить кратковременный пик преднатяга или увеличенного зазора при пуске
Установившийся режим	Температуры деталей стабилизировались относительно рабочего режима	Рабочий зазор или преднатяг при установившихся температурах	Не использовать переходные температуры как установившиеся и, наоборот, не переносить установившийся расчёт на пусковой режим

Для стальных колец, если выбранная расчётная модель допускает такое приближение, используют:

$$\Delta T = T_{вн} - T_{нар}$$

$$\Delta sT = \alpha \cdot dcp \cdot \Delta T$$

где α — коэффициент линейного расширения материала кольца; dcp=(d+D)/2 — принятый в этой модели средний диаметр подшипника; ΔT=Твн−Тнар. Если ΔT>0, внутреннее кольцо горячее наружного и рассчитанная ΔsT считается уменьшением радиального зазора. Если ΔT<0, знак ΔsT меняется и в пределах этой модели температурная составляющая увеличивает зазор. При dcp в миллиметрах результат ΔsT получается в миллиметрах; для перевода в микрометры его умножают на 1000.

$$s_{раб} = s_{ост} - \Delta sT$$

Знаки в этих формулах действуют только для указанной модели и принятого определения ΔT. Коэффициент линейного расширения должен соответствовать реальному материалу. Нельзя использовать коэффициент стали для алюминиевого или другого лёгкосплавного корпуса. Кроме того, изменение натяга посадки из-за нагрева вала/корпуса и непосредственное изменение зазора из-за разности температур колец — два разных эффекта; один нельзя автоматически подменять другим.

7.7. Измерение

В ISO 1132-2 для контроля радиального внутреннего зазора используются обозначения «Метод A» и «Метод B». Это названия нормативных способов измерения, а не типы подшипников и не названия измерительных приборов.

Метод A — прямое измерение радиального перемещения одного кольца относительно другого. Одно кольцо удерживают в заданном положении, а второе последовательно перемещают в радиальном направлении к двум противоположным предельным положениям контакта тел качения с дорожками. По разности этих положений определяют радиальный внутренний зазор. Измерение выполняют в предусмотренных стандартом угловых положениях; измерительное усилие должно быть только таким, чтобы надёжно установить контакт и не вносить недопустимую упругую деформацию.

Метод B — измерение радиального зазора под заданной измерительной нагрузкой. К одному из колец прикладывают нормированную радиальную нагрузку, установленную для соответствующего размера и типа подшипника, и измеряют относительное перемещение колец. Поскольку сама измерительная нагрузка упруго деформирует контакты тел качения с дорожками, полученное перемещение при необходимости корректируют по правилам метода и приводят к значению, соответствующему ненагруженному состоянию.

В таблице 7-G ниже приведено только практическое пояснение области применения методов и измерительных нагрузок. Полные схемы установки подшипника, направление измерительной силы и перемещения, число измерительных положений, порядок выполнения измерения и правила коррекции результата следует смотреть непосредственно в ISO 1132-2:2001 «Подшипники качения — Допуски — Часть 2: Принципы и методы измерения и контроля», разделы 16.1 и 16.2.

Если краткое изложение в справочнике и нормативная процедура требуют уточнения, при выполнении контрольного измерения следует руководствоваться полной процедурой ISO 1132-2 для конкретного применимого случая.

Таблица 7-G. Методы измерения внутреннего зазора

Семейство / размер	Метод	Измерительная нагрузка	Как выполнять и корректировать результат	Ограничение / область применения
Радиальные подшипники, для которых ISO 1132-2 предусматривает метод A	Метод A по ISO 1132-2	Минимальная нагрузка, достаточная только для устойчивого контакта	Измерять в нескольких угловых положениях и применять упругую коррекцию, если она предусмотрена методикой	Не считать метод A универсальным для однорядных радиально-упорных и конических роликовых подшипников
Радиальный шариковый, цилиндрический или сферический роликовый, d ≤ 30 мм	Метод B по ISO 1132-2	Шариковый: 25 Н; роликовый: 50 Н	Измерить в трёх положениях и привести результат к ненагруженному состоянию по правилам метода	Измерительная нагрузка должна быть не более 0,005 C0r

Семейство / размер	Метод	Измерительная нагрузка	Как выполнять и корректировать результат	Ограничение / область применения
Те же семейства, 30 < d ≤ 50 мм	Метод B по ISO 1132-2	Шариковый: 30 Н; роликовый: 60 Н	Измерить в трёх положениях и привести результат к ненагруженному состоянию по правилам метода	Измерительная нагрузка должна быть не более 0,005 C0r
Те же семейства, 50 < d ≤ 80 мм	Метод B по ISO 1132-2	Шариковый: 35 Н; роликовый: 70 Н	Измерить в трёх положениях и привести результат к ненагруженному состоянию по правилам метода	Измерительная нагрузка должна быть не более 0,005 C0r
Те же семейства, 80 < d ≤ 120 мм	Метод B по ISO 1132-2	Шариковый: 40 Н; роликовый: 80 Н	Измерить в трёх положениях и привести результат к ненагруженному состоянию по правилам метода	Измерительная нагрузка должна быть не более 0,005 C0r
Те же семейства, 120 < d ≤ 200 мм	Метод B по ISO 1132-2	Шариковый: 50 Н; роликовый: 100 Н	Измерить в трёх положениях и привести результат к ненагруженному состоянию по правилам метода	Приведённая в этой главе таблица измерительных нагрузок заканчивается при d = 200 мм
Четырёхточечный шариковый подшипник	Измеряют полное осевое перемещение одного кольца относительно другого	Чистая осевая измерительная нагрузка, которая не должна создавать преднатяг	Одно кольцо фиксируют, второе последовательно перемещают в обоих осевых направлениях	Численные осевые группы ISO, приведённые в этой главе, относятся только к четырёхточечной конструкции с α = 35°
Игольчатый подшипник без внутреннего кольца	Контролируют геометрию собранного узла с учётом дорожки качения на валу	Нагрузка и процедура — по методике конкретного исполнения	В расчёт внутреннего зазора входит фактический диаметр дорожки вала и геометрия корпуса	Заводского параметра одного подшипника недостаточно: состояние определяется геометрией всего собранного узла

C0r — базовая статическая радиальная грузоподъёмность, используемая здесь только для ограничения измерительной нагрузки в соответствующей методике.

Измерительная нагрузка сама может упруго изменить измеряемое перемещение. Поэтому, если метод предусматривает поправку на упругую деформацию, результат приводят к ненагруженному состоянию. Перед измерением также учитывают сопротивление уплотнений и смазочного материала: они могут мешать свободному перемещению кольца и искажать показание.

В этой главе приведены только общие методы измерения внутреннего зазора. Специализированные способы контроля, которые являются частью монтажа конкретного подшипника, рассматриваются в главе о монтаже вместе с условиями их применения.

07

Температурные условия измерения

Перед измерением подшипник, измерительный инструмент и эталон должны иметь стабильную температуру помещения. В качестве эталонной температуры размерных измерений используется 20 °C. Однако эта глава не задаёт универсальный допустимый диапазон отклонения от 20 °C и не устанавливает одно фиксированное время температурной выдержки для всех подшипников.

- Подшипник выдерживают до температурной стабилизации; измерительное средство и эталон должны находиться в тех же температурных условиях.
- Во время измерения нельзя заметно нагревать кольца руками или другим локальным источником тепла.
- После нагрева, охлаждения, переноса из другого температурного помещения или мойки горячей/холодной жидкостью измерение проводят только после восстановления стабильного температурного состояния. Если внутреннее и наружное кольца имеют разную температуру, полученное значение нельзя напрямую сравнивать с нормативной таблицей исходного зазора.
- Отдельная монтажная или контрольная процедура может требовать одинаковой температуры внутреннего кольца, наружного кольца, вала или корпуса. Такое требование применяют только к той процедуре, где оно прямо установлено; его нельзя превращать в универсальное правило для всех подшипников.

Важно: температурно нестабильный подшипник может показать зазор, который не соответствует его фактической нормативной группе. Поэтому нагретый или охлаждённый подшипник нельзя сравнивать с таблицей ISO до выполнения условий измерения.

Практическая рекомендация OID: при приёмочном, спорном или экспертном контроле записывать фактическую температуру подшипника и помещения и отмечать, была ли достигнута температурная стабилизация. Это рекомендация к протоколированию результатов, а не отдельное требование ISO к форме протокола.

7.8. Преднатяг и отрицательный зазор

Положительный внутренний зазор означает, что до нагружения между контактами сохраняется свободное относительное перемещение колец. При состоянии около нуля свободный зазор практически выбран. Отрицательное значение означает, что внутри подшипника уже возникло предварительное контактное нагружение. Называть такое состояние допустимым преднатягом можно только тогда, когда преднатяг создан намеренно и предусмотрен конструкцией или системой регулировки. Случайный отрицательный рабочий зазор из-за чрезмерной посадки или температуры не следует считать нормальным преднатягом.

Таблица 7-H. Основные системы преднатяга и регулировочного состояния

Система	Как задаётся преднатяг / состояние	Где обычно применяется	Что может пойти неправильно
Жёсткий преднатяг с фиксированным положением	Взаимное осевое положение колец или подшипников в комплекте фиксируют геометрией деталей, проставок или регулировки	Радиально-упорные пары и комплекты	После монтажа и нагрева фактический преднатяг может вырасти из-за посадок, температурного расширения и деформаций узла
Преднатяг постоянной силой	Требуемую осевую силу создаёт упругий элемент; при изменении положения он должен сохранять заданный диапазон силы	Радиально-упорные опоры, в том числе высокоскоростные	Слишком мягкий упругий элемент снизит жёсткость опоры; выход элемента из рабочего хода изменит заданную силу

Система	Как задаётся преднатяг / состояние	Где обычно применяется	Что может пойти неправильно
Согласованная заводская пара или комплект	Изготовитель подбирает геометрию согласованных подшипников так, чтобы после правильной сборки получить заданный зазор или преднатяг	Высокоточные радиально-упорные подшипники	Буквенный или иной класс имеет смысл только в системе конкретного изготовителя; нельзя переносить его на другую марку или серию
Радиальный преднатяг	Создаётся намеренное отрицательное радиальное внутреннее состояние, предусмотренное конструкцией и расчётом	Специальные высокоточные цилиндрические роликовые исполнения	Избыточный радиальный преднатяг повышает нагрев и контактные напряжения и может сократить ресурс
Регулировка пары конических роликоподшипников	После установки пары задают требуемый осевой люфт, состояние около нуля или преднатяг	Конические роликовые пары	Рабочая регулировка меняется из-за деформаций и температуры; конкретный способ установки и регулировки рассматривается в главе о монтаже

Обозначения DB, DF и DT показывают взаимное расположение радиально-упорных подшипников в комплекте; они сами по себе не задают величину преднатяга. Класс или величину преднатяга нужно определять отдельно по системе конкретного изготовителя или расчётной задаче.

7.9. Как задаётся зазор или преднатяг у разных семейств

Таблица 7-I. Какой параметр использовать для оценки состояния подшипника

Семейство	Основной параметр состояния	Как задают зазор, люфт или преднатяг	Что обязательно проверить
Радиальный однорядный шариковый	Радиальный внутренний зазор	Группы C2/CN/C3… применяют в области, предусмотренной ISO или серией. Осевой зазор отдельно обычно не является основным нормируемым параметром; преднатяг задают только по специальной задаче.	Точное семейство, d, форму отверстия, посадки и рабочую температуру.
Радиально-упорный шариковый	Осевой зазор или преднатяг одиночного подшипника либо комплекта	Обычные C-группы не являются основной системой. В установленной паре может задаваться осевой люфт или преднатяг; конкретный класс зависит от системы изготовителя.	Направление и величину Fa, угол контакта, схему DB/DF/DT, класс зазора/преднатяга и комплектование.
Двухрядный радиально-упорный	Осевой зазор конкретной конструкции	Система осевого зазора или преднатяга определяется конкретным исполнением. Обычные C-группы применяют только там, где это прямо предусмотрено для данного семейства.	Конструкцию колец и точную систему групп или классов данного исполнения.
Четырёхточечный шариковый	Осевой внутренний зазор	Используются отдельные осевые группы. Таблица 7-D10 этой главы применима только к конструкции с α = 35°. Преднатяг возможен только если предусмотрен исполнением.	Контактный угол, конструкцию подшипника и применимость конкретной таблицы ISO.

Зазор и преднатяг

Семейство	Основной параметр состояния	Как задают зазор, люфт или преднатяг	Что обязательно проверить
Самоустанавливающийся шариковый	Радиальный внутренний зазор	Радиальные C-группы применяются в соответствующей области. Осевой внутренний зазор не является основной системой задания; преднатяг обычно не используют, если иное не предусмотрено специальным исполнением.	Форму отверстия, размер и правило исполнения конкретной серии.
Цилиндрический роликовый	Радиальный внутренний зазор	Радиальные C-группы применяются в соответствующей области. Возможность осевого перемещения определяется конструкцией бортов и не является отдельной C-группой осевого зазора. Радиальный преднатяг применяют только в специальных высокоточных исполнениях.	Взаимозаменяемость, форму отверстия, посадки, остаточный и рабочий зазор, конструкцию бортов.
Тороидальный роликовый	Радиальный внутренний зазор	Используются собственные радиальные группы семейства. Допустимое осевое смещение является конструктивной функцией и не равно осевому внутреннему зазору. Преднатяг — только если предусмотрен конкретным исполнением.	Собственную таблицу семейства, форму отверстия и рабочее состояние после монтажа.
Сферический роликовый	Радиальный внутренний зазор	Применяются радиальные C-группы для соответствующей формы отверстия. Осевой внутренний зазор не является основной системой задания. Специальный преднатяг возможен только по правилам конкретного исполнения.	Форму отверстия, исходный, остаточный и рабочий радиальный зазор.
Конический роликовый	Регулировка установленной пары: осевой люфт, состояние около нуля или преднатяг	Обычные C2/CN/C3… не задают установленное состояние пары. После монтажа регулируют осевой люфт либо преднатяг в соответствии с системой узла.	Требуемую регулировку пары, способ фиксации, деформации узла и рабочую температуру.
Игольчатый с внутренним кольцом	Радиальный зазор комплектного подшипника	Радиальные группы применяют в области, где они предусмотрены ISO или серией. Осевой зазор обычно не является основным параметром; преднатяг — только по специальному исполнению.	Полноту комплекта, посадки и таблицу именно этого семейства.
Игольчатый без внутреннего кольца	Радиальный зазор собранного узла	Независимой заводской величины C для готового подшипника недостаточно, потому что дорожкой внутреннего кольца служит вал. Итоговый зазор формируется геометрией вала и корпуса.	Диаметр и качество дорожки вала, размеры корпуса и правила конкретного исполнения.
Игольчатый со штампованным наружным кольцом	Внутренний размер и зазор после запрессовки в корпус	Универсальная C-система не используется как самостоятельный параметр. Фактическое состояние появляется после установки тонкого наружного кольца в корпус.	Точную конструкцию, геометрию корпуса и данные изготовителя; монтажную процедуру рассматривать отдельно.

Зазор и преднатяг

Семейство	Основной параметр состояния	Как задают зазор, люфт или преднатяг	Что обязательно проверить
Упорный шариковый	Осевое рабочее состояние	Обычные радиальные C-группы не применяются. Осевой зазор или преднатяг используют только в той форме, которая предусмотрена конкретным исполнением.	Минимальную осевую нагрузку, соосность и правила применения конкретной серии.
Упорный цилиндрический роликовый	Осевое рабочее состояние	Обычные радиальные C-группы не применяются. Осевой зазор задают по конструкции узла; универсальной системы преднатяга для всех таких подшипников нет.	Данные конкретного исполнения и требования узла.
Упорный сферический роликовый	Осевое регулируемое состояние / преднатяг по схеме	Обычные C-группы не применяются. Осевой зазор, возможный осевой люфт и преднатяг определяются схемой установки и требованиями конкретного исполнения.	Направление нагрузки, требуемое рабочее состояние и правила регулировки конкретного узла.
Миниатюрный	Собственная система радиального зазора	Обычные C-группы нельзя переносить автоматически. Для миниатюрных серий может применяться специальная система, например классы MC.	Точный класс MC или другой код и документацию конкретной серии.
Высокоточный / шпиндельный	Осевой или радиальный преднатяг	Используется специальная система изготовителя; обычные C-группы могут быть неприменимы. Преднатяг задаётся классом, комплектованием или конструкцией узла.	Комплектование, класс преднатяга, посадки, частоту вращения и рабочую температуру.
Крупногабаритный	Зазор или регулируемое состояние соответствующего семейства	Применять только ту таблицу и метод, которые охватывают данный тип и размер. Осевой зазор, люфт или преднатяг возможны только в соответствии с конструкцией.	Верхний размерный предел таблицы, метод измерения и деформации крупного узла.
Тонкостенный	Система конкретного исполнения	Универсальной системы C, осевого зазора или преднатяга для всех тонкостенных подшипников в этой главе не задаётся. Используют документацию конкретной серии.	Конструкцию колец, серию, посадки и деформацию корпуса.
Вставной / корпусной узел	Радиальный зазор, предусмотренный конструкцией серии	Группа по умолчанию зависит от серии и может быть, например, C3 или C4. Отсутствие отдельного суффикса не позволяет угадать группу.	Точное обозначение, конструкцию фиксации и правило исполнения конкретной серии.
Перекрёстно-роликовый	Зазор или преднатяг конкретной серии	Обычные C-группы не являются универсальной системой. Осевой/радиальный зазор и преднатяг определяются конструкцией конкретного подшипника.	Конструкцию кольца, жёсткость узла, момент трения и данные изготовителя.
Опорный ролик / ролик с цапфой	Радиальный зазор конкретной серии	C-группа возможна только если прямо предусмотрена этим семейством. Осевой зазор и преднатяг обычно не задаются как универсальные параметры.	Геометрию наружной дорожки, сопряжение с валом/цапфой и правило серии.

Зазор и преднатяг

Семейство	Основной параметр состояния	Как задают зазор, люфт или преднатяг	Что обязательно проверить
Линейная шариковая втулка	Собранный зазор или преднатяг	Обычные подшипниковые C-группы не применяются. Итоговое состояние зависит от диаметра вала, корпуса и класса втулки.	Допуск вала, геометрию корпуса, класс зазора/преднатяга и риск заклинивания.
Профильная направляющая	Класс зазора или преднатяга конкретной модели	Обычные C-группы подшипников качения не применяются. Преднатяг определяется сочетанием направляющей и каретки и кодом производителя.	Совместимость направляющей и каретки, точный код модели и класс преднатяга.
ОПУ	Осевой и/или радиальный зазор либо преднатяг конструкции	Обычные C-группы не применяются. Нужный осевой зазор, возможный люфт и преднатяг зависят от конструкции ОПУ и его регулировки.	Fr, Fa, Mt, жёсткость колец и болтового соединения, момент трения и данные изготовителя.
Подшипник скольжения	Диаметральный или радиальный рабочий зазор	Обычные C-группы подшипников качения не применяются. Для упорных конструкций действует собственная система; посадка может изменять рабочий зазор.	Посадку, вал, корпус, материалы пары и рабочую температуру.
Шарнирный подшипник скольжения	Собственный радиальный внутренний зазор	Обычные C-группы в этой главе не применяются. Угловая подвижность шарнира не является осевым внутренним зазором; возможный преднатяг зависит от конструкции.	Пару материалов, посадки, точную серию и данные изготовителя.

Обычные группы C2/CN/C3/C4/C5 используют только для тех семейств и исполнений, где такая система прямо предусмотрена стандартом или серией изготовителя. Для остальных конструкций состояние задаётся другим параметром: осевым внутренним зазором, установленным осевым люфтом, преднатягом, размером собранного узла или специальной системой конкретной серии. Поэтому сначала определяют тип подшипника и параметр, которым для него нормируется состояние, и только затем выбирают таблицу или метод контроля.

Скорость, трение и температура

Допустимый скоростной режим определяется не одной каталожной цифрой. Он формируется совместным действием нагрузки, смазывания, конструкции сепаратора и уплотнений, рабочего зазора или преднатяга, кинематики тел качения и способности узла отводить выделяемое тепло.

Глава 8 связывает три вопроса: насколько быстро может вращаться подшипник, какие потери на трение возникают при этом режиме и к какой рабочей температуре приводит тепловой баланс. Глава не заменяет расчёт ресурса (глава 5), проверку посадок (глава 6) и расчёт рабочего зазора/преднатяга (глава 7).

Как читать эту главу

Ключевая логика: каталожная скорость — это исходная характеристика, а не автоматическое разрешение на работу узла с такой скоростью. Для конкретной опоры отдельно проверяют механическое ограничение, тепловой режим, смазывание, минимальную нагрузку, уплотнения, сепаратор и рабочий зазор/преднатяг.

Обозначения и показатели, используемые в главе

Обозначение	Что означает	Единица / примечание
n	Фактическая частота вращения кольца или вала. Это режим работы, а не предел.	мин$^{-1}$ (об/мин)
n_ref	Справочная (reference) скорость, если такой параметр приведён в технических данных OID. Обычно связана с тепловой оценкой в заданных эталонных условиях.	Точный смысл — по определению в технических данных OID для конкретного исполнения.
n_lim	Предельная (limiting) скорость стандартного исполнения, если она приведена. Обычно связана прежде всего с механическими ограничениями.	Не заменяет проверку температуры.
d, D	Диаметр отверстия и наружный диаметр подшипника.	мм
d_m	Средний диаметр; когда методика использует обычное определение: d_m = (d + D)/2.	мм; проверять определение в конкретной методике.
n·d_m	Скоростной фактор: совместно характеризует размер и частоту вращения.	Условно мм/мин. Это не допустимая скорость сама по себе.
P, F_r, F_a	Эквивалентная нагрузка, радиальная и осевая составляющие.	Н или кН — в соответствии с используемой методикой.
P_min	Минимальная требуемая нагрузка для устойчивой кинематики тел качения.	Формула зависит от семейства и должна быть задана для конкретного исполнения OID.

Скорость, трение и температура

08

Обозначение	Что означает	Единица / примечание
C, C0	Базовая динамическая и статическая грузоподъёмность.	Используются только там, где это предусмотрено расчётной системой.
M	Момент трения подшипника.	Н·мм или Н·м; единицу обязательно фиксировать.
P_loss	Мощность, превращаемая в тепло вследствие трения.	Вт.
p, v, p·v	Удельное давление, скорость скольжения и их произведение для подшипников скольжения.	Не являются критериями скорости подшипников качения.
d1·n	Скоростной показатель, встречающийся у отдельных роликов/узлов.	d1 берут только из определения конкретной продуктовой системы.
M_t	Опрокидывающий/наклоняющий момент в задачах ОПУ.	Не заменяет F_r и F_a.

Алгоритм проверки скоростного и теплового режима

1. Определить точное семейство, размер и исполнение подшипника: открытое/закрытое, тип сепаратора, наличие уплотнений, класс зазора или заданный преднатяг.
2. В технических данных OID для точного исполнения определить, какие скоростные показатели приведены и как они определены.
3. Не выбирать «большее число». Справочная и предельная скорости отвечают на разные вопросы и проверяются раздельно.
4. Проверить фактические F_r, F_a, эквивалентную нагрузку P и требование P_min. На высокой скорости слишком малая нагрузка также опасна из-за проскальзывания.
5. Проверить способ смазывания, количество смазочного материала и вязкость при фактической рабочей температуре.
6. Проверить сепаратор и уплотнения: они могут ограничить скорость раньше колец и тел качения.
7. Проверить рабочий, а не только исходный, зазор или преднатяг после посадок и температурного расширения.
8. Оценить момент трения и соответствующую мощность тепловыделения по применимой модели.
9. Определить реальные пути теплоотвода: вал, корпус, окружающий воздух, циркулирующее масло, внешнее охлаждение.
10. Проверить температурные ограничения каждого компонента: колец, сепаратора, уплотнений, смазочного материала, полимеров и покрытия.
11. После пуска контролировать температуру в заранее определённой точке и её изменение во времени.
12. Рабочий режим считать подтверждённым только после проверки всех применимых ограничений; определяющим является наиболее строгий из них.

8.1. Справочная и предельная частоты вращения

В технических данных OID могут встречаться похожие по названию, но разные по физическому смыслу скоростные показатели. Их нельзя складывать, усреднять или автоматически заменять один другим. Сначала устанавливают определение показателя для конкретной серии и исполнения OID.

В справочнике OID справочная скорость рассматривается как исходная тепловая характеристика, а предельная скорость — как отдельное конструктивное ограничение стандартного исполнения. Если для конкретной серии применяются стандартизованные условия ISO 15312, это должно быть прямо указано в технических данных OID. Численное значение используют только вместе с условиями, для которых оно задано.

Таблица 8-A — Как понимать каталожные характеристики скорости

Показатель	Что он означает	Что он НЕ означает	Как применять
Справочная скорость n_ref	Эталонная тепловая характеристика при заданных для конкретной серии OID нагрузке, смазывании и теплоотводе. Если применяются условия ISO 15312, это указывается в технических данных OID.	Не является механическим максимумом и не описывает фактический теплоотвод произвольного корпуса.	Использовать как исходную точку тепловой оценки. При отличающихся нагрузке/вязкости применять только корректировку, указанную в технических данных OID.
Скорректированная справочная скорость	Результат корректировки n_ref на фактическую нагрузку и/или вязкость по той же методике.	Не является новым механическим пределом и не учитывает автоматически реальный корпус и охлаждение.	Применять только вместе с исходной n_ref и коэффициентами той же системы.
Предельная скорость n_lim	Верхний предел для стандартного исполнения, обычно определяемый механическими факторами: сепаратором, центробежными силами, кинематикой, направляющими поверхностями и другими конструктивными ограничениями.	Не доказывает, что при этой скорости температура и смазочная плёнка будут допустимыми.	Для стандартного исполнения рассматривать как ограничение. Превышение возможно только при специально адаптированном подшипнике и подтверждённой инженерной методике.
Фактическая скорость n	Реальная скорость машины.	Не является характеристикой подшипника.	Сравнивать со всеми применимыми ограничениями.
Допустимая скорость конкретного узла	Результат инженерной проверки конкретной компоновки по механике, теплу, смазыванию, уплотнениям, сепаратору и рабочему зазору/преднатягу.	Не является универсальной табличной характеристикой семейства.	Формируется после расчёта и проверки условий, а не выбирается по одному числу из таблицы.
n·d_m	Скоростной фактор, объединяющий размер и скорость; используется в правилах смазывания и в отдельных высокоскоростных методиках.	Не является самостоятельной «максимальной скоростью».	Использовать только если конкретная методика прямо задаёт допустимый диапазон n·d_m.

08

Практическое правило: нельзя просто взять min(n_ref, n_lim). n_ref — эталонная тепловая характеристика, а не жёсткий предел. Сначала из n_ref получают применимую тепловую оценку для реальных условий, затем отдельно сравнивают её с n_lim и другими ограничениями узла.

Как читать строку конкретного изделия

Если продуктовая таблица содержит две колонки — справочную и предельную скорость — действуют так: сначала проверяют, для какого исполнения они приведены; затем оценивают тепловую пригодность по справочной скорости и её правилам корректировки; после этого отдельно проверяют предельную скорость, уплотнение, сепаратор, смазку, минимальную нагрузку и рабочий зазор/преднатяг. Скорость одного размера или открытого исполнения нельзя переносить на другой размер или закрытое исполнение. Логика раздельной проверки показана на рис. 8.1.



Рис. 8.1 — Раздельная тепловая и механическая проверка скоростного режима. Схема не задаёт численных пределов.

Таблица 8-B1 — Что проверять для основных типов подшипников качения

Семейство	С чего начинать	Что обязательно проверить	Особенность
Радиальный однорядный шариковый	Начать с n_ref и n_lim конкретного обозначения, если обе характеристики приведены.	Нагрузку и P_min, уплотнения, смазку, рабочий зазор.	Закрытое исполнение может ограничиваться уплотнением или заводской смазкой раньше, чем открытое.
Радиально-упорный шариковый	Использовать данные для точного угла контакта и схемы установки; для шпиндельных серий дополнительно применяют n·d_m или специальные скоростные карты.	Рабочий преднатяг, DB/DF/DT-комплект, F_a/F_r, число подшипников, подачу смазки и охлаждение.	Скорость одиночного подшипника не переносится на преднагруженный комплект.
Четырёхточечный шариковый	Использовать скорость конкретного четырёхточечного подшипника.	Осевая/комбинированная нагрузка, кинематику, сепаратор, смазку.	Не переносить правила четырёхточечных ОПУ.
Самоустанавливающийся шариковый	Использовать n_ref/n_lim конкретного исполнения.	P_min, рабочий зазор, смазку и закрытие.	Самоустановка компенсирует угол, но не отменяет тепловую и смазочную проверку.
Цилиндрический роликовый	Использовать n_ref/n_lim; для прецизионных серий — только скоростные факторы, прямо заданные в технических данных OID.	P_min, тип сепаратора или полнокомплектность, состояние бортов, зазор/преднатяг, подвод масла.	Полнокомплектное исполнение обычно имеет другой скоростной режим, чем вариант с сепаратором.
Сферический роликовый	Использовать n_ref/n_lim точного исполнения.	P_min, F_r/F_a, зазор, сепаратор, вязкость, холодный пуск.	Самоустановка не исключает проскальзывание тяжёлых роликов при малой нагрузке.
Тороидальный роликовый	Использовать каталожные скорости только вместе с правилами минимальной нагрузки и смазывания данного семейства.	Осевое перемещение, холодный пуск, зазор, вязкость.	Нагрузочное условие и P_min могут зависеть от скорости и вязкости.
Конический роликовый	Использовать каталожную скорость и, если требуется, специализированную модель момента трения.	Рабочую регулировку (endplay/preload), F_a/F_r, контакт торца ролика с буртом, смазку, приработку.	Пусковой момент и установившийся рабочий момент — разные состояния.
Игольчатый	Использовать данные точной серии и исполнения с/без внутреннего кольца, сепаратором или полным комплектом.	Дорожку вала, монтажный зазор, смазку, P_min, геометрию корпуса.	Для исполнения без внутреннего кольца вал является частью дорожки качения.

Семейство	С чего начинать	Что обязательно проверить	Особенность
Упорный шариковый	Использовать каталожную скорость конкретного упорного исполнения.	Минимальную осевую нагрузку, центровку, смазку, охлаждение.	Правила радиального шарикового подшипника напрямую не переносятся.
Упорный цилиндрический/игольчатый	Использовать каталожные ограничения конкретного семейства.	Минимальную осевую нагрузку, состояние шайб, центровку и подвод масла.	Высокая доля скольжения требует отдельной проверки смазывания.
Упорный сферический роликовый	Использовать n_ref/n_lim данного исполнения.	Минимальную осевую нагрузку, допустимую радиальную составляющую, масло и температуру.	Радиальная нагрузка допустима только совместно с осевой в пределах правила семейства.

Таблица 8-B2 — Специальные и отличающиеся по метрике системы

Система	Основная метрика	Что проверять	Что нельзя делать
Сверхточный / шпиндельный	Скорость конкретной конфигурации; n·d_m только если он прямо задан в технических данных OID.	Преднатяг, комплект, масло-воздух/масло, охлаждение, материал тел качения.	«Достижимая скорость» здесь означает результат для конкретной системы, а не общий предел стандартного подшипника.
Крупногабаритный	Каталожная скорость конкретной серии плюс тепловая проверка всей опоры.	Теплоёмкость, длительность прогрева, корпус, вал, сепаратор, смазку.	Одинаковые об/мин у малого и крупного подшипника не означают одинаковую скоростную тяжесть режима.
Тонкостенный	Только данные конкретной серии.	Деформацию колец после монтажа, уплотнения, сепаратор и рабочий зазор.	Правила обычного радиального шарикового подшипника нельзя переносить без подтверждения.
Вставной / корпусной узел	Скорость полного обозначения узла.	Интегральное уплотнение, заводскую смазку, фиксацию, корпус.	Предел отдельного вставного подшипника не обязательно равен пределу всего узла.
Опорный ролик / ролик с цапфой	Показатели, приведённые в технических данных OID: об/мин, скорость наружного контакта или d1·n.	Дорожку качения, контакт с внешней поверхностью, уплотнения, смазку, цапфу.	d1 и допустимый d1·n берут только из методики данного изделия.
Прецизионный перекрёстно-роликовый	Режим вращения или качания конкретного изделия.	Преднатяг, смазку, уплотнения, монтажную деформацию.	Качание и непрерывное вращение — разные режимы.

Скорость, трение и температура

Система	Основная метрика	Что проверять	Что нельзя делать
ОПУ	Окружная скорость/об/мин и отдельно режим непрерывного вращения или качания.	F_r, F_a, M_t, преднатяг, уплотнения, смазку, деформацию опорной конструкции.	Кратковременная скорость не становится непрерывно допустимой.
Линейная направляющая	Линейная скорость, ускорение, ход и частота циклов.	Рециркуляцию, торцевые элементы, смазку и преднатяг.	Об/мин и n·d_m обычного подшипника здесь неприменимы.
Подшипник скольжения / шарнирный	p, v, p·v и вид движения.	Материал пары, смазывание, угол/частоту качания, теплоотвод.	Критерии подшипников качения n_ref/n_lim напрямую неприменимы.

Таблица 8-C — Факторы, которые могут снизить допустимую рабочую скорость

Фактор	Почему влияет	Что может произойти	Что проверять
Рост нагрузки	Увеличиваются контактные потери и тепловыделение.	Снижается тепловой запас; могут потребоваться более низкая скорость или лучшее охлаждение.	Фактическую P, F_r/F_a и правило коррекции конкретной системы.
Слишком малая нагрузка	Тела качения могут не обеспечивать устойчивое качение и начинают проскальзывать.	Smearing, задиры, износ и нагрев даже при хорошем расчётном ресурсе.	P_min конкретного семейства и исполнения.
Высокая вязкость	Растут вязкостные потери и перемешивание.	Повышаются момент трения и температура.	Вязкость при рабочей температуре, а не только ISO VG при 40 °C.
Избыточная пластичная смазка	Увеличивается перемешивание смазки.	Пусковой температурный пик и длительный перегрев.	Количество, свободный объём и процедуру распределения/приработки.
Контактное уплотнение	Кромка создаёт собственный момент трения.	Уплотнение может стать скоростным и температурным ограничителем.	Материал, диаметр контактной дорожки, окружную скорость и температуру.
Сепаратор	На скорость влияют прочность, масса, способ ведения и смазывание направляющих поверхностей.	Механический или температурный предел может наступить раньше предела колец.	Материал, конструкцию и точное исполнение.
Преднатяг / слишком малый рабочий зазор	Растёт контактная нагрузка и момент трения; зазор может перейти в нежелательный преднатяг.	Рост температуры и дальнейшее увеличение рабочего преднатяга.	Рабочее состояние после посадок и нагрева.

Фактор	Почему влияет	Что может произойти	Что проверять
Недостаточный теплоотвод	Выделяемая мощность не удаляется с требуемой скоростью.	Рабочая температура растёт даже при механически допустимой скорости.	Корпус, вал, воздух, масло, внешнее тепло и охлаждение.
Сложная многоподшипниковая опора	Несколько подшипников и распорных деталей добавляют потери и взаимное влияние преднатяга.	Допустимая скорость узла может быть ниже скорости отдельного подшипника.	Схему комплекта и распределение преднатяга.
Непрерывная работа вместо кратковременной	Узел не успевает остывать.	Более строгий тепловой режим.	Длительность, паузы и рабочий цикл.

Поправочный коэффициент допустимо применять только к той исходной скорости и при тех условиях, для которых он опубликован. Коэффициент из одной каталожной системы нельзя переносить на скорость или формулу другой системы.

8.2. Трение и тепловыделение

Момент трения M показывает сопротивление вращению. Мощность потерь P_loss показывает, с какой скоростью механическая энергия превращается в тепло. Это разные величины: одинаковый момент трения при большей частоте вращения создаёт большую тепловую мощность.

Для точного расчёта момента используют утверждённую для конкретного узла расчётную модель или специализированное ПО. Простая формула с одним условным коэффициентом трения пригодна только для грубой оценки порядка величины и только тогда, когда выбранная методика задаёт коэффициент, нагрузку и расчётный диаметр. Для окончательного расчёта нельзя подбирать μ «по памяти» или смешивать коэффициенты разных расчётных систем. Качественная зависимость момента трения от скорости показана на рис. 8.2.



Рис. 8.2 — Качественное изменение момента трения с ростом скорости. Схематично; численные границы областей зависят от конкретного подшипника и режима.

Таблица 8-D — Какой уровень модели трения выбирать

Уровень	Что описывает	Когда применять	Главное ограничение
Качественная причинная модель	Показывает, какие механизмы создают потери: качение, скольжение, уплотнения, масло, преднатяг.	Диагностика и ранняя оценка.	Не даёт численного момента.
Упрощённая коэффициентная оценка	Сводит сопротивление к одному коэффициенту в рамках конкретной методики.	Предварительная оценка порядка величины.	Не отделяет уплотнения, вязкостные и гидродинамические потери; без заданного методикой μ использовать нельзя.
Компонентная инженерная модель	Разделяет основные составляющие момента и учитывает нагрузку, скорость, вязкость, уплотнения и/или масляные потери.	Инженерный расчёт подшипникового узла.	Все коэффициенты, единицы и области применимости берут из одной системы.

Уровень	Что описывает	Когда применять	Главное ограничение
Тепловая модель узла	Связывает рассчитанные потери с реальным теплоотводом через корпус, вал, масло и воздух.	Определение рабочей температуры.	Требует данных реальной конструкции, которых нет в одной продуктовой таблице.
Специализированная модель	Учитывает особенности шпиндельных, конических, ОПУ, линейных или скользящих систем.	Только для соответствующей конструкции.	Не переносится на другое семейство без прямого подтверждения.

Физические составляющие момента трения

Для понимания структуры потерь суммарный момент трения удобно рассматривать по физическим источникам: качение, скольжение, трение уплотнений и сопротивление смазочного материала. Такое разложение помогает искать источник нагрева, но само по себе не является универсальной расчётной формулой.

При инженерной оценке отдельно рассматривают потери качения, потери скольжения, трение контактных уплотнений и потери на перемешивание или движение смазочного материала.

Численное значение каждого вклада рассчитывают только по той методике, в которой определены коэффициенты, единицы и область применимости. Если для конкретного исполнения OID компонентная модель не задана, суммарный момент нельзя получать простым сложением условных слагаемых.

Пусковой момент нельзя автоматически считать равным установившемуся рабочему моменту. На пуске вязкость смазочного материала, состояние уплотнений и распределение смазки отличаются от установившегося режима, поэтому эти состояния оценивают отдельно.

Переход от момента трения к мощности тепловыделения

Если суммарный момент M известен, переход к мощности является обычным механическим преобразованием и не зависит от выбранной модели момента.

При M в Н·м: $P_{loss} = M \cdot \omega$

При M в Н·мм и n в мин⁻¹: $P_{loss} = \pi \cdot n \cdot M / (30 \cdot 10^3) \approx 1{,}0472 \cdot 10^{-4} \cdot M \cdot n$

P_{loss} получается в ваттах. Перед подстановкой обязательно проверить единицу момента: Н·мм и Н·м отличаются в 1000 раз.

Таблица 8-E — Откуда берётся и куда уходит тепло

Сторона баланса	Источник / путь	Механизм	Что учитывать
Генерация	Качение и скольжение	Потери в контактах дорожек, тел качения, бортов и направляющих.	Нагрузка, геометрия, скорость, вязкость и состояние смазывания.
Генерация	Уплотнения	Трение контактной кромки.	Материал, диаметр, окружную скорость, температуру и среду.
Генерация	Масло / пластичная смазка	Перемешивание, разбрызгивание и гидродинамическое сопротивление.	Уровень масла, количество смазки, расход и дренаж.

Скорость, трение и температура

Сторона баланса	Источник / путь	Механизм	Что учитывать
Генерация	Преднатяг	Увеличивает контактную нагрузку.	Рабочий, а не только исходный, преднатяг.
Генерация	Смежные элементы	Передачи, внешние уплотнения и технологический процесс могут подводить тепло к опоре.	Все источники тепла на валу и рядом с корпусом.
Отвод	Вал и корпус	Теплопроводность в окружающую конструкцию.	Материал, сечения, контактные поверхности, основание.
Отвод	Воздух	Естественная или принудительная конвекция.	Площадь, поток воздуха и температуру среды.
Отвод	Циркулирующее масло	Поток уносит часть тепловой мощности.	Расход, температуры на входе/выходе и дренаж.
Отвод	Струйная / масло-воздушная система	Локальная подача смазки и, в зависимости от системы, частичный вынос тепла.	Форсунки, дозировку, воздух, расход, возврат масла.
Отвод	Рубашка / внешнее охлаждение	Отвод через корпус или соседнюю конструкцию.	Влияние охлаждения на разность температур колец и рабочий преднатяг.

В установившемся режиме средняя тепловая мощность, генерируемая в опоре и поступающая извне, должна быть равна мощности, которую узел способен отвести. Это условие баланса, а не готовая формула коэффициента теплоотдачи. Основные направления притока и отвода тепловой мощности показаны на рис. 8.3.

P_генерации + P_внешнего тепла = P_отвода



Рис. 8.3 — Тепловой баланс подшипникового узла: основные источники тепловой мощности и пути её отвода.

Тепловая и механическая проверки независимы. Низкая температура корпуса не отменяет ограничения сепаратора, уплотнения, минимальной нагрузки или кинематики; механически допустимая скорость, в свою очередь, не гарантирует допустимую температуру.

8.3. Рабочая температура

Фраза «температура подшипника» без указания места измерения неполна. Корпус, неподвижное кольцо, вращающееся кольцо, смазочный материал, сепаратор и кромка уплотнения могут иметь разные температуры. В журнале контроля всегда указывают точку датчика, нагрузку, скорость, окружающую температуру и время от запуска.

Таблица 8-F — Что именно показывает измеренная температура

Точка / величина	Что показывает	Где полезна	Чего из неё нельзя заключать
Неподвижное кольцо	Температуру доступного кольца и её тренд.	Контроль опоры при возможности установки датчика близко к кольцу.	Температуру вращающегося кольца и локального контакта.
Корпус рядом с опорой	Удобный косвенный показатель нагрева узла.	Постоянный мониторинг машины.	Точную температуру дорожки качения.
Расчётная температура внутреннего кольца	Оценку более горячего кольца по тепловой модели.	Анализ температурного градиента и рабочего зазора/преднатяга.	Прямое измерение, если датчика на кольце нет.
Средняя расчётная температура опоры	Среднее состояние, полученное из теплового баланса.	Инженерный расчёт.	Локальный пик на сепараторе, уплотнении или контакте.

Точка / величина	Что показывает	Где полезна	Чего из неё нельзя заключать
Масло на входе	Температуру и вязкость подаваемого масла.	Циркуляционная и струйная системы.	Температуру после прохождения через опору.
Масло на выходе	Нагрев потока и величину уносимого тепла.	Оценка работы масляной системы.	Максимальную локальную температуру внутри подшипника.
Окружающая среда	Граничное условие теплоотвода.	Сравнение режимов и тепловой расчёт.	Температуру корпуса или колец.
Уплотнение / сепаратор / полимер	Температуру конкретного ограничивающего компонента.	Специальный контроль или расчёт.	Общую температуру всего подшипника.

Температура корпуса ≠ температура дорожки качения. Сравнивать температурные тренды можно только при одинаковом месте датчика и сопоставимом нагрузочно-скоростном режиме.

Как устанавливают допустимую температуру узла

У подшипникового узла нет одного универсального «максимума температуры». Для каждого ограничивающего компонента находят допустимый диапазон именно для его материала и исполнения, затем проверяют, какой из этих пределов наступает первым при заданной длительности работы.

Таблица 8-G — Что может ограничить рабочую температуру

Компонент	Что ограничивает	Что проверять
Кольца и тела качения	Размерная стабильность, твёрдость и усталостные свойства.	Материал, термообработку, длительность воздействия, расчёт ресурса.
Стальной сепаратор	Прочность и смазывание направляющих поверхностей.	Конструкцию, способ ведения, скорость и смазку.
Латунный сепаратор	Прочность, инерционные нагрузки и совместимость со средой.	Точное исполнение, смазочный материал, рабочую среду.
Полимерный сепаратор (PA66, PEEK и др.)	Температурно-зависимую прочность, старение и химическую совместимость.	Точный полимер, армирование, масло/смазку, присадки и продолжительность воздействия.
Уплотнение	Температуру и трение кромки, химическую стойкость эластомера.	Материал уплотнения, контактную/бесконтактную геометрию, среду и окружную скорость.
Пластичная смазка / масло	Вязкость, образование плёнки, окисление и срок службы.	Базовое масло, загуститель, присадки, рабочую температуру и интервал замены.
Покрытие / специальное исполнение	Адгезию, износ и совместимость материалов.	Полный набор ограничений специального варианта.

Компонент	Что ограничивает	Что проверять
Посадка, зазор и преднатяг	Температурный градиент меняет внутреннее состояние подшипника.	Материалы вала/корпуса, температуры колец, расчёт по главам 6–7.

Для всей сборки определяющим является наиболее строгое из подтверждённых ограничений. Температурная стойкость одного материала не является разрешённой температурой всего узла.

8.4. Температурная стабилизация после запуска

После запуска температура редко сразу выходит на постоянный уровень. Меняются вязкость, распределение пластичной смазки, контактные условия и тепловой градиент колец. Поэтому оценивать режим по одной ранней точке нельзя.

Под «устойчивым плато» в этой главе понимается повторяемый режим, при котором при неизменных скорости, нагрузке, окружающей температуре и охлаждении скорость изменения контролируемой температуры стала малой по критерию конкретной пусковой/эксплуатационной процедуры. Универсального численного порога dT/dt и универсального времени прогрева OID не задаёт.

Таблица 8-H — Как интерпретировать температурный тренд

Стадия	Что происходит	Нормальный признак	Тревожный признак	Действие
Запуск	Быстро меняются скорость, вязкость и распределение смазки.	Контролируемый первоначальный рост.	Быстрый выход за предел, установленный процедурой пуска.	Не продолжать разгон «до стабилизации», если уже превышен аварийный критерий.
Распределение пластичной смазки	Излишек смазки вытесняется из рабочей зоны.	Пусковой пик постепенно уменьшается.	Пик не ослабевает или повторяется при неизменном режиме.	Проверить количество смазки и свободный объём.
Приработка	Стабилизируются контактные поверхности и момент трения.	Температурный тренд становится спокойнее.	Температура продолжает ускоренно расти.	Особенно важна для отдельных конических и высокоскоростных исполнений.
Приближение к установившемуся режиму	Генерация и отвод тепла сближаются.	Скорость изменения температуры уменьшается.	Плато не формируется при постоянной нагрузке/скорости.	Проверить смазывание, преднатяг и охлаждение.
Устойчивый режим	Средние потери и теплоотвод сбалансированы.	Повторяемая температура и стабильные вибрация/шум.	Температура компонента, вибрация или шум продолжают расти.	Плато корпуса не доказывает отсутствие локального перегрева.
Повторный запуск	Вновь меняются вязкость и распределение смазки.	Тренд сопоставим с предыдущим исправным циклом.	Нагрев быстрее или выше при одинаковых условиях.	Искать изменение зазора/преднатяга, смазки или повреждение.

Температурное плато само по себе не доказывает правильность смазывания: недостаточная подача иногда уменьшает вязкостные потери, а удалённый датчик может не видеть локального перегрева. Типовые формы температурного тренда показаны на рис. 8.4.

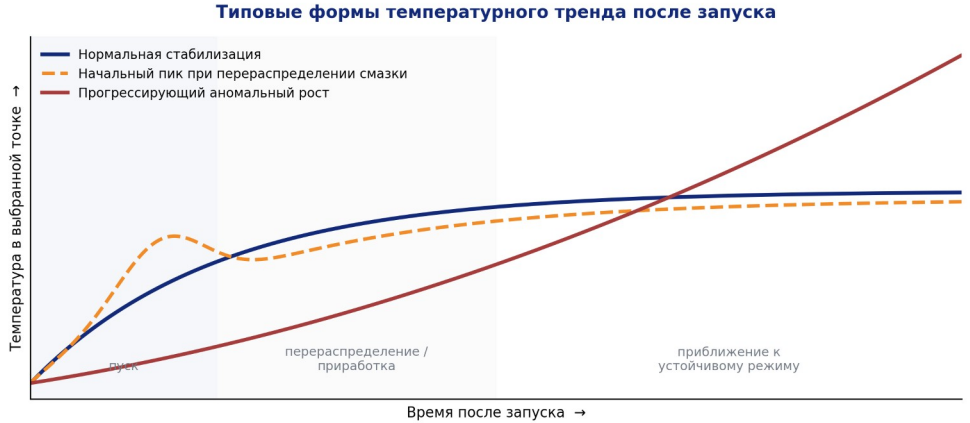


Рис. 8.4 — Типовые формы температурного тренда после запуска. Схематично; универсальные пороги температуры и времени не задаются.

8.5. Особые исполнения и материалы

Специальное исполнение может изменить один ограничитель и одновременно усилить другой. Например, охлаждение уменьшает температуру корпуса, но способно увеличить температурный градиент колец и тем самым изменить рабочий преднатяг. Поэтому специальные исполнения оценивают как систему.

Таблица 8-I — Системы, для которых обычное скоростное правило нельзя переносить напрямую

Исполнение / система	Почему отличается	Что именно нельзя переносить
Конический роликовый	Регулировка и скользящий контакт торца ролика с большим буртом заметно влияют на момент и температуру.	Не использовать пусковой момент как установившийся и не подставлять формулу другого семейства.

Исполнение / система	Почему отличается	Что именно нельзя переносить
Опорный ролик / ролик с цапфой	Есть внешний контакт с дорожкой; могут использоваться d1·n или скорость наружной поверхности.	Не заменять эти показатели обычным n·d_m без прямого указания в технических данных OID.
ОПУ	Нагрузку определяют совместно F_r, F_a и M_t; часто различают непрерывное вращение и качание.	Не принимать кратковременную скорость за непрерывную.
Перекрёстно-роликовый прецизионный	Рабочий преднатяг и монтажная деформация сильно меняют сопротивление.	Не переносить режим обычного цилиндрического роликового или ОПУ без проверки.
Линейная система	Определяющими являются линейная скорость, ускорение, ход, рециркуляция и частота циклов.	Не переводить линейную скорость в об/мин без точной кинематической модели.
Подшипник скольжения / шарнирный	Работает по p, v, p·v и тепловому режиму пары скольжения.	Не применять n_ref/n_lim подшипников качения.
Сверхточный / шпиндельный	Скорость связана с комплектом, преднатягом, подачей смазки и охлаждением.	Не использовать скорость одиночного стандартного подшипника.
Гибридный	Керамические тела качения меняют массу, центробежные силы, электроизоляционные и трибологические свойства.	Не назначать универсальный процент повышения скорости без данных OID для конкретного исполнения.
Специальный сепаратор	Может увеличить скоростную способность, но сам имеет собственные механические и температурные пределы.	Не делать вывод по одному названию материала.
Масло-воздух / струйная система	Меняет подачу смазки, перемешивание и теплоотвод.	Не применять универсальный «коэффициент повышения скорости» вне методики, для которой он опубликован.

Таблица 8-J — Что означает температурная стабилизация колец

Уровень	Что означает	Что ещё проверить	Неверный вывод
Стандартное исполнение	Кольца имеют размерную стабильность в диапазоне, установленном в технических данных OID для данного семейства.	Смазку, сепаратор, уплотнение, твёрдость и длительность воздействия.	Нельзя считать, что одно «стандартное» значение одинаково для всех серий и конструктивных исполнений OID.
Стабилизация для повышенной температуры	Термообработка расширяет диапазон размерной стабильности конкретных колец.	Снижение твёрдости/ресурса, остальные компоненты и рабочий зазор.	Температура стабилизации колец не равна допустимой температуре всей опоры.

Уровень	Что означает	Что ещё проверить	Неверный вывод
Суффикс/код OID	Обозначает конкретное исполнение и систему термообработки OID.	Таблицу обозначений OID для конкретной серии.	Одинаковые символы S0…S4 у разных систем нельзя автоматически считать эквивалентными.

Высокотемпературное исполнение может включать не только стабилизированные кольца, но и другой сепаратор, уплотнение, смазочный материал, зазор и покрытие. Выбор только по одному температурному суффиксу неполон.

8.6. Влияние уплотнений, зазора, преднатяга и смазывания

Таблица 8-K — Как конкретные факторы меняют трение и температуру

Фактор	Механизм	Возможный результат	Главная проверка
Открытое исполнение	Нет момента интегрального уплотнения.	Потери могут быть ниже, но защита полностью зависит от внешнего узла.	Внешнее уплотнение, загрязнение и способ подачи смазки.
Защитная шайба	Бесконтактный металлический элемент обычно не создаёт постоянного трения кромки.	Небольшие добавочные потери, но защита ограничена конструкцией зазора.	Точное исполнение и продуктовую скорость.
Бесконтактное уплотнение	Работает через щель/лабиринт без постоянного контакта.	Низкое трение при правильно выдержанном зазоре.	Зазор, материал, загрязнение и конкретную продуктовую строку.
Контактное уплотнение	Кромка скользит по сопряжённой поверхности.	Дополнительный момент и нагрев; уплотнение может ограничить скорость.	Материал, диаметр контакта, окружную скорость, среду и температуру.
Рабочий зазор	Определяет контактное состояние после посадок и нагрева.	Слишком малый зазор увеличивает потери; слишком большой может ухудшать кинематику и не гарантирует меньшего трения.	Цепочку исходный → монтажный → рабочий по главе 7.
Преднатяг	Увеличивает жёсткость и контактную нагрузку.	Растут момент и температура; нагрев может дополнительно изменить преднатяг.	Исходный, монтажный и рабочий преднатяг не смешивать.
Количество пластичной смазки	Меняет перемешивание и доступность смазки в контакте.	Избыток греет; недостаток повышает риск голодания.	Рекомендованный объём/массу и процедуру приработки конкретного исполнения.
Вязкость масла	Одновременно определяет толщину плёнки и вязкостные потери.	Слишком высокая увеличивает потери; слишком низкая ухудшает разделение поверхностей.	Вязкость при рабочей температуре и требуемое состояние смазочной плёнки.

Скорость, трение и температура

Фактор	Механизм	Возможный результат	Главная проверка
Масляная ванна	Погружение обеспечивает подачу, но создаёт перемешивание.	Слишком высокий уровень увеличивает нагрев и может ограничить скорость.	Уровень, вязкость, скорость и охлаждение.
Циркулирующее масло	Управляемый поток подаёт смазку и выносит тепло.	Увеличение расхода не всегда снижает температуру: растут гидродинамические и насосные потери.	Расход, направление, температуры вход/выход, дренаж.
Масло-воздух	Малая дозированная подача уменьшает перемешивание.	Высокоскоростной потенциал только при гарантированной доставке масла к контакту.	Форсунку/проставку, дозу, воздух, вязкость и дренаж.
Струйная подача	Большой поток одновременно смазывает и отводит тепло.	При плохом дренировании увеличиваются сопротивление, затопление и насосные потери.	Направление струи, расход, возврат масла и мощность системы.
Минимальная нагрузка	Поддерживает правильную кинематику тел качения.	При P < P_min возможны проскальзывание, smearing и нагрев.	P_min точного семейства, особенно при высокой скорости и холодном пуске.

C3 — группа исходного внутреннего зазора, а не «высокоскоростной класс». Больший исходный зазор сам по себе не гарантирует меньшего трения или более высокой допустимой скорости.

Таблица 8-L — Способ смазывания и рабочий режим

Способ	Когда применим	Трение	Теплоотвод	Главный риск
Пластичная смазка	Может применяться на высокой скорости только при подходящей конструкции и дозировке.	Потери сильно зависят от количества и распределения.	Ограниченный; основной отвод обычно через корпус и вал.	Избыток, голодание, неправильная приработка.
Масляная ванна	Подходит для многих непрерывных режимов в пределах продуктовых ограничений.	Вязкостные и перемешивающие потери зависят от уровня масла.	Через корпус и частично через масло.	Переполнение, высокая вязкость, нагрев.
Циркулирующее масло	Позволяет управлять подачей и выносом тепла.	Зависит от расхода, направления струи и дренажа.	Значительный при рассчитанном потоке.	Недоставка, избыток, насосные потери, плохой дренаж.
Масло-воздух	Высокий скоростной потенциал при точной дозировке.	Малое перемешивание при подтверждённой доставке.	Ограниченный самим малым потоком; охлаждение часто требует других путей.	Масло не доходит до контакта или нарушена дозировка.

Способ	Когда применим	Трение	Теплоотвод	Главный риск
Струйная смазка	Используется в специальных высокоскоростных системах для подачи масла и интенсивного отвода тепла.	Гидродинамические потери могут быть значительными.	Высокий при правильном расходе и дренировании.	Затопление контакта, утечки, насосная мощность, неправильное направление струи.

Итоговая проверка режима

Для изделий OID последовательность проверки должна быть одинаковой: точное исполнение → определения скоростных характеристик в технической документации OID → фактическая нагрузка и P_min → способ смазывания и рабочая вязкость → сепаратор и уплотнение → рабочий зазор/преднатяг → модель момента и тепловыделения → реальные пути теплоотвода → температура в определённой точке → ограничения всех материалов → проверка устойчивого температурного тренда.

Нельзя делать вывод о безопасности только потому, что температура корпуса невысока. Нельзя считать класс точности, C3, керамические тела качения, специальный сепаратор или принудительную подачу масла автоматическим разрешением на повышение скорости. Любое повышение допустимого режима должно следовать из конкретной продуктовой методики и проверки узла.

Где уточнять полные методики и численные пределы

• ISO 15312 — стандартизованные условия определения тепловой справочной скорости подшипников качения. Использовать для понимания исходной reference-speed концепции, а не как универсальный предел реальной машины.

• Технические данные OID для точного подшипника — справочная/предельная скорость, ограничения сепаратора и уплотнений, минимальная нагрузка и условия конкретного исполнения.

• Утверждённая расчётная методика OID для момента трения и теплового режима — расчёт применимых составляющих момента и тепловой мощности. Коэффициенты из разных расчётных схем не смешивать.

• Глава 7 настоящего справочника — переход исходный → монтажный → рабочий зазор/преднатяг и влияние температурного градиента.

• Глава 9 настоящего справочника и технический паспорт выбранного смазочного материала — рабочая вязкость, количество смазки, интервалы и температурные ограничения.

Контрольный лист перед утверждением скоростного режима

Если хотя бы один пункт ниже не подтверждён исходными данными или применимой методикой, скоростной режим следует считать не подтверждённым, а не «условно допустимым».

Таблица 8-M — Контроль перед пуском и утверждением режима

Проверка	Что должно быть подтверждено	Источник данных
1. Исполнение	Полное обозначение подшипника, сепаратор, уплотнения, зазор/преднатяг, открытое или закрытое исполнение.	Маркировка и технические данные OID для конкретного исполнения.

Скорость, трение и температура

Проверка	Что должно быть подтверждено	Источник данных
2. Скоростной показатель	Понятно, что именно означает n_ref, n_lim или другой показатель и при каких условиях он задан.	Раздел определения скоростей в технической документации OID.
3. Фактическая скорость	Фактическая n сопоставлена с тепловой оценкой и механическим ограничением; не выбрано просто «большее/меньшее число» без анализа.	Расчёт узла + технические данные OID.
4. Нагрузка	Подтверждены F_r, F_a, P и P_min для данного семейства.	Расчёт нагрузки и продуктовая методика.
5. Смазывание	Определены способ, количество/расход, рабочая вязкость и путь доставки смазки.	Глава 9 + технические данные OID и паспорт смазочного материала.
6. Сепаратор и уплотнение	Их механические, скоростные и температурные ограничения не превышены.	Точная продуктовая строка.
7. Рабочий зазор / преднатяг	Проверено состояние после посадок и температурного градиента, а не только исходный класс.	Глава 7 + расчёт узла.
8. Потери и теплоотвод	Применима выбранная модель момента; учтены реальные пути теплоотвода и внешнее тепло.	Утверждённая расчётная модель + конструкция машины.
9. Температура	Указана точка датчика и критерий пуска; тренд стабилизируется при постоянном режиме.	Пусковая/эксплуатационная процедура.
10. Материальные пределы	Проверены кольца, сепаратор, уплотнение, смазка, полимеры и покрытия.	Технические данные OID и паспорта материалов.
11. Итог	Режим подтверждён наиболее строгим из применимых ограничений.	Протокол инженерной проверки.

Смазывание — это не выбор «банки смазки», а система. Для надёжной работы одновременно задают смазочный материал, рабочую вязкость, способ доставки в контакт, количество, путь отвода или выхода, чистоту, совместимость с материалами и порядок обслуживания.

В этой главе различаются два понятия: смазочный материал — пластичная смазка, масло или предусмотренный самосмазывающийся слой; способ смазывания — то, как материал удерживается или подаётся: закладка, масляная ванна, циркуляция, масло-воздух, струя, централизованная подача и т. п. Нельзя выбирать способ подачи, не выбрав сам материал и его рабочую вязкость.

Параметры смазочной плёнки и модифицированного ресурса рассматриваются в главе 5, а влияние трения, скорости и температуры — в главе 8. Здесь приведена практическая логика выбора, первоначального заполнения, повторного смазывания и контроля состояния системы.

Ключевые понятия, которые нельзя смешивать

Термин	Что означает	Что с ним нельзя путать
Смазочный материал	Конкретное масло, пластичная смазка либо предусмотренный антифрикционный/самосмазывающийся слой	Со способом подачи
Способ смазывания	Как материал поступает и удерживается в рабочей зоне: закладка, ванна, циркуляция, масло-воздух и т. п.	С маркой или химическим составом продукта
Первоначальное заполнение	Количество материала, заданное при вводе узла в работу	С дозой одного последующего пополнения
Доза пополнения	Количество, добавляемое за один цикл повторного смазывания	С полным объёмом подшипника или корпуса
Ресурс пластичной смазки	Расчётная или испытательная долговечность самого материала в заданных условиях	С назначенным интервалом обслуживания
Интервал повторного смазывания	Когда выполняют пополнение, вытеснение или замену	С ресурсом подшипника
Рабочая вязкость v	Фактическая кинематическая вязкость масла или базового масла пластичной смазки при рабочей температуре	С классом ISO VG при 40 °C и с NLGI
v_1 и κ	v_1 — требуемая/эталонная вязкость в выбранной модели; $\kappa = v/v_1$ — отношение фактической вязкости к требуемой	С классом качества масла или универсальным нормативом

Если приводится коэффициент, процент заполнения или поправка, рядом должна быть понятна база: какая методика, какой физический объём и какое исполнение подшипника. Число без этой базы использовать нельзя.

09

Алгоритм выбора и проверки системы смазывания

1. Определить точное обозначение подшипника, конструкцию узла и наличие специальных каналов, уплотнений или встроенного резервуара.
2. Установить, к какой системе относится контакт: подшипник качения, пара скольжения, линейная направляющая, ОПУ/опорный ролик или другой специальный узел. Это определяет, какая методика вообще применима.
3. Проверить заводское заполнение: чем заполнено изделие, является ли оно необслуживаемым и разрешено ли повторное смазывание.
4. Выбрать тип смазочного материала: пластичная смазка, масло либо предусмотренная сухая/самосмазывающаяся система.
5. Отдельно выбрать способ доставки или удержания материала: закладка, ванна, циркуляция, масло-воздух, струя, централизованная подача и т. п.
6. Определить рабочую температуру и требуемую вязкость. Для расчётных моделей, где это предусмотрено, определить v_1, фактическую $v(T)$ и отношение $\kappa = v/v_1$.
7. Для пластичной смазки выбрать базовое масло, загуститель, NLGI и необходимые свойства; для масла — базовый тип, ISO VG, VI и пакет присадок.
8. Проверить совместимость смазочного материала с сепаратором, уплотнениями, покрытиями, полимерами, рабочей средой и старым продуктом.
9. Назначить первоначальное количество смазочного материала именно внутри подшипника.
10. Отдельно назначить заполнение корпуса, резервуара, полости и линий. Эти объёмы не складывают в один «процент заполнения».
11. Выбрать процедуру повторного смазывания: пополнение, вытеснение старой смазки свежей через предусмотренный выход либо полная замена.
12. Определить дозу одного пополнения и интервал по одной утверждённой методике OID для конкретного исполнения; не смешивать формулу одной расчётной системы с коэффициентами другой.
13. Внутри выбранной методики учесть скорость, нагрузку, температуру, вибрацию, ориентацию вала, вращение наружного кольца, загрязнение и воду.
14. Задать контроль фактической доставки, температуры, утечек, состояния выходящей смазки/масла, чистоты, фильтрации и свободного пути выхода или слива.

Основной принцип: сначала определяют материал и способ его подачи, затем — рабочую вязкость, количество, интервал и контроль. Ни один из этих параметров не заменяет остальные.

9.1. Выбор способа смазывания

Выбор выполняют в два этапа. Сначала решают, нужен ли в рабочем контакте пластичный смазочный материал, масло или специальная сухая/самосмазывающаяся система. Затем выбирают способ подачи. Поэтому «пластичная смазка» и «централизованная система», например, не являются альтернативами одного уровня: централизованная система может подавать именно пластичную смазку. Логика выбора описана ниже.

Логика выбора системы смазывания словами. 1) Определить точное исполнение подшипника OID и проверить заводское заполнение и возможность повторного смазывания. 2) Решить, требуется ли пластичная смазка, масло или предусмотренная самосмазывающаяся система. 3) Затем выбрать способ подачи: закладка, централизованная подача, масляная ванна, циркуляция, масло-воздух или струя. 4) После выбора проверить рабочую вязкость, количество, чистоту, совместимость и путь выхода или слива.

Таблица 9-A — Как выбрать способ смазывания

Условия	Предпочтительное направление	Почему	Что обязательно проверить
Открытый подшипник качения; нет специальной потребности в охлаждении или промывке	Обычно пластичная смазка; масло — если оно уже является рабочей средой машины или так требует конструкция	Пластичную смазку проще удерживать; масло удобно, когда оно уже циркулирует в машине	Рабочую вязкость, скорость, температуру, количество, уплотнения и требуемый интервал обслуживания
Высокая скорость	Малая контролируемая закладка пластичной смазки, если это подтверждено для серии; при более жёстком режиме — масло-воздух или струйная подача	При высокой скорости избыток материала увеличивает перемешивание и нагрев; одновременно нужно гарантировать поступление масла в контакт	Рабочую вязкость, подачу, отвод, разгон и приработку
Необходимо отводить тепло	Циркуляционное масло; для специальных высокоскоростных узлов — струйная подача	Поток может переносить тепло к баку и охладителю	Расход по тепловой и смазочной потребности, слив, фильтр, температуры входа/выхода
Большой внешний теплоприток	Циркуляционное масло с охлаждением	Пластичная смазка сама по себе практически не отводит тепло	Тепловой баланс, резервуар, охладитель и аварийный контроль подачи
Сильное загрязнение или вода	Защищённая система пластичного смазывания с предусмотренным вытеснением старой смазки либо фильтруемая циркуляция масла	Нужны исключение проникновения и удаление загрязнённого материала	Уплотнения, выход для вытеснения старой смазки, фильтрацию, анализ и замену
Труднодоступная точка	Централизованная/автоматическая система пластичного смазывания или дистанционная подача масла	Обслуживание переносится за пределы опасной зоны	Фактический выход дозатора, заполненность линии, насосуемость на холоде, отсутствие блокировки ветви и подтверждение доставки
Требуется частое пополнение	Автоматическая подача малыми дозами либо переход на подходящую масляную систему	Автоматизация уменьшает зависимость от ручного обслуживания, но не отменяет контроль фактической доставки	Цикл, фактический выход инжектора, слив или вытеснение старой смазки

Смазывание

Условия	Предпочтительное направление	Почему	Что обязательно проверить
Шпиндельный узел	Контролируемая закладка пластичной смазки, система «масло-воздух» или специализированная струйная система	Критичны малое количество, чистота и температура	Преднатяг, приработку, фильтрацию, сухость воздуха, сопло и дренаж
ОПУ	Система пластичного смазывания дорожки качения; зубчатое зацепление обслуживается отдельно	Дорожка и зубчатый венец — разные зоны	Количество по окружности, вращение при подаче, выход старой смазки, отдельный смазочный материал зубчатого венца
Линейная система	Пластичная смазка, масло или встроенный резервуар конкретного блока	Интервал может зависеть от пути, времени, ориентации и хода	Точки подачи, распределение, уплотнения/скребки, расстояние и режим работы
Необслуживаемая пара скольжения	Сухая или самосмазывающаяся система, если это прямо задано материалом пары	Смазочную функцию выполняет слой скольжения	Точную контактную пару; допустимость или запрет дополнительной смазки

Таблица 9-B — Способы смазывания и их область применения

Способ	Сильная сторона	Главное ограничение	Типичные области	Что контролировать
Пластичная смазка	Удерживается в узле, поддерживает уплотнение, не требует сложной установки	Слабо отводит тепло; стареет; избыток вызывает перемешивание	Большинство обычных подшипников, корпуса, линейные блоки	Количество, температура, утечки, интервал, выход для вытеснения старой смазки
Централизованная/ автоматическая система пластичного смазывания	Регулярные малые дозы в удалённые или многочисленные точки	Работающий насос не доказывает, что конкретный дозатор или ветвь действительно подают смазку	Труднодоступные корпуса, ОПУ, линии, ролики	Фактическую подачу дозатора, цикл, объём трубки, насосуемость, контроль доставки
Масляная ванна / разбрызгивание системным маслом	Простая непрерывная подача; может использовать масло редуктора	Высокий уровень вызывает потери и нагрев; низкий — недостаточная подача масла в контакт	Коробки передач, корпуса общего назначения	Статический и рабочий уровень, вспенивание, возврат и загрязнение

Смазывание

Способ	Сильная сторона	Главное ограничение	Типичные области	Что контролировать
Циркуляционное масло	Охлаждение, фильтрация и удаление загрязнений	Насос, бак, охладитель и слив усложняют систему	Высокая температура, внешний теплоприток, крупные и быстрые узлы	Расход, температуры, фильтр, бак, слив, состояние масла
Капельная / фитильная подача	Простая локальная малая подача	Нет универсального числа капель; ограничены охлаждение и промывка	Небольшие подшипники и локальные точки	Стабильность дозы, видимость подачи, дренаж
Струйная подача	Проникает в высокоскоростную зону и может интенсивно охлаждать	Избыток увеличивает сопротивление; нужны сопло и принудительный слив	Специальные высокоскоростные подшипники и шпиндели	Скорость и положение струи по выбранной методике, расход, слив, мощность потерь
Система «масло-воздух»	Точная малая доза масла; малые потери от перемешивания; поток воздуха помогает доставке и защите зоны	Нужны сухой чистый воздух, правильно подобранная линия и сопло; давление само по себе не подтверждает доставку масла	Высокоскоростные и прецизионные узлы	Дозу, период, сухость/чистоту воздуха, сопло, подтверждение доставки
Масляный туман	Непрерывное поступление аэрозоля в предусмотренную систему	Экология, терминология и оборудование отличаются от системы масло-воздух	Специальные непрерывно работающие установки	Генератор тумана, воздух, давление, улавливание и нормативные ограничения
Специальный резервуар / удерживаемое масло	Длительно удерживает масло в заданном исполнении	Это свойство конкретной конструкции, а не универсальная замена пластичной смазки	Исполнения с пористым или полимерным резервуаром	Допустимые семейства, температура, скорость, возможность обслуживания
Сухая/самосмазывающаяся пара скольжения	Не требует внешней системы подачи в разрешённом режиме	Материал и поверхность задают строгую область применения	Втулки и шарнирные подшипники с самосмазывающимся или антифрикционным слоем	Контактную пару, загрязнение, температуру и запрет повторного смазывания

Важно — система «масло-воздух» ≠ масляный туман. В системе «масло-воздух» дозированные капли транспортируются воздухом преимущественно как пристенный поток. Масляный туман — аэрозольная система. Их количества, аппаратуру, критерии подачи и обслуживание нельзя объединять.

09

9.2. Пластичная смазка

Пластичная смазка — это система из базового масла, загустителя и присадок. В рабочем контакте смазочную плёнку формирует главным образом базовое масло, которое выделяется из структуры. Загуститель удерживает масло и определяет консистенцию и механическое поведение, а присадки решают специальные задачи: защита от окисления и коррозии, работа при смешанном/граничном трении и т. п. Поэтому нельзя выбирать пластичную смазку только по NLGI, цвету или типу загустителя.

Таблица 9-C — Что означает характеристика пластичной смазки

Параметр	Что физически означает	На что влияет	Главная ошибка
Вязкость базового масла	Кинематическая вязкость масла, выделяемого загустителем	Плёнка, трение, запуск, допустимая скорость	Подменять её классом NLGI
NLGI	Класс консистенции по пенетрации	Удержание, утечка, распределение и косвенно насосуемость	Считать NLGI классом вязкости или качества
Рабочая пенетрация	Глубина проникновения стандартного конуса после обработки	Числовая основа класса консистенции	Считать её толщиной смазочной плёнки
Загуститель	Структура, удерживающая базовое масло	Вода, температура, механическая стабильность, совместимость	Считать одинаковый загуститель доказательством совместимости продуктов
Температура каплепадения	Испытательная характеристика потери структуры	Помогает оценивать тип системы вместе с рабочим диапазоном	Принимать за максимальную рабочую температуру
Механическая стабильность	Изменение структуры при сдвиге и работе	Утечки, размягчение, затвердевание, выделение масла	Оценивать поведение только по исходному NLGI
Окислительная стабильность	Сопротивление химическому старению	Срок службы при температуре и контакте с воздухом	Выводить срок из температуры каплепадения
Водостойкость	Устойчивость к вымыванию и воздействию воды	Сохранение состава в мокрой среде	Считать попадание воды допустимым
Защита от коррозии	Способность состава защищать поверхности	Состояние при конденсации, простоях и интенсивной мойке	Подменять её общей водостойкостью
Противозадирные и противоизносные присадки (EP/AW)	Химическая защита в смешанном и граничном режимах	Задиры, износ, скольжение и материал контакта	Считать EP универсальной прибавкой к ресурсу
Выделение масла	Выход базового масла из структуры	Питание контакта, утечки и изменение консистенции	Считать более жёсткую пластичную смазку заведомо безопаснее
Насосуемость	Способность проходить по линии при фактической температуре	Работа централизованной системы	Оценивать только по NLGI без температуры и рецептуры
Низкотемпературное поведение	Сопротивление при запуске и выделение масла на холоде	Пусковой момент, подача и прогрев	Проверять только ISO VG или температуру застывания

Важно — NLGI ≠ вязкость базового масла. Меньшее число NLGI обычно означает более мягкую консистенцию, большее — более жёсткую. Насосуемость при этом зависит также от рецептуры, температуры, длины и диаметра линии.

Важно — температура каплепадения ≠ максимальная рабочая температура. Температура каплепадения не задаёт непрерывный рабочий предел. Универсальная зависимость вида «каплепадение минус X °C» не применяется.

На практическом уровне различают литиевые, литиево-комплексные, кальциевые, полимочевинные, алюминиево-комплексные и специальные немыльные загустители. Название химической группы не заменяет проверку водостойкости, механической стабильности, температурного диапазона, насосуемости и совместимости конкретного продукта.

Противозадирные и противоизносные присадки (EP/AW) полезны там, где расчётный режим предполагает смешанное или граничное трение, но они не являются универсальной «прибавкой к ресурсу». Химически активные системы присадок необходимо проверять по рабочей температуре и совместимости с материалами подшипника, уплотнений и рабочей среды. Для серо- и фосфорсодержащих систем при повышенной температуре химическую реактивность оценивают отдельно.

Твёрдые добавки — например, дисульфид молибдена или графит — применяют только там, где это предусмотрено для медленного, высоконагруженного или скользящего контакта. Их нельзя автоматически переносить в высокоскоростной подшипник качения: при неподходящем применении твёрдые частицы способны ухудшать условия качения и повышать риск поверхностного повреждения. Для пар PTFE, сталь/бронза и сталь/сталь правила также различаются.

9.3. Масло

При масляном смазывании необходимо назначить не только марку и вязкость масла, но и способ доставки в контакт, статический и рабочий уровень либо расход, фильтрацию, вентиляцию корпуса, возврат и слив. Факт наличия масла в корпусе не доказывает, что оно в требуемом количестве проходит через рабочую зону.

Для типовой горизонтальной масляной ванны с неподвижным подшипником при проверке уровня распространённая исходная точка — статический уровень около центра нижнего тела качения. Это относится именно к такой схеме. Вертикальный вал, редукторное разбрызгивание, маслоподающее кольцо, качающийся узел и специальный корпус могут иметь другой заданный уровень.

Важно — статический уровень масла ≠ рабочий уровень. После пуска вращающиеся детали отбрасывают и перекачивают масло, изменяют его возврат и могут создавать локальное накопление. Поэтому смотровое стекло интерпретируют вместе с геометрией корпуса и режимом работы, а не как универсальную линию уровня.

Для циркуляционной системы расход выбирают как минимум по двум независимым задачам:

- смазочная потребность контакта;
- потребность в отводе тепла.

После выбора расхода проверяют температуры масла на входе и выходе, фильтрацию, охладитель, объём резервуара, вентиляцию и пропускную способность свободного слива. Потока, достаточного для образования плёнки, может быть недостаточно для охлаждения. И наоборот, слишком большой поток при плохом сливе способен залить подшипник, увеличить перемешивание, вспенивание и температуру.

В струйной системе скорость струи, положение форсунки и расход назначают по утверждённой расчётной методике и геометрии узла. Критерии разных расчётных схем не усредняют. Струя должна достигать зоны контакта, а корпус — отводить поступившее масло без накопления.

Для системы «масло-воздух» контролируют дозу за цикл, частоту подачи, чистоту и сухость воздуха, длину линии, положение сопла, запуск и фактическую доставку масла. Давление в трубке само по себе не подтверждает поступление капли в контакт.

Интервал замены масла определяют по температуре, окислению, загрязнению, воде, присадкам, объёму системы и данным анализа. Один календарный интервал не является универсальным. При попадании воды или частиц может потребоваться немедленная замена независимо от наработки.

9.4. Вязкость

Вязкость выбирают при рабочей температуре подшипника, а не по одному обозначению канистры. Для пластичной смазки в расчёте плёнки используют вязкость её базового масла. Важно различать три величины: класс ISO VG при 40 °C, фактическую рабочую вязкость v(T) и требуемую/эталонную вязкость v_1 выбранной расчётной модели.

Таблица 9-D — Как выбирать вязкость

Шаг	Что определить	Какая величина нужна	Типичная ошибка
1	Точную серию, средний диаметр подшипника d_m и частоту вращения n	Требуемую/эталонную кинематическую вязкость v_1 по утверждённой методике OID для конкретного исполнения	Брать v_1 из другой методики, другого семейства или использовать только об/мин без размера подшипника
2	Установившуюся температуру масла/подшипника в рабочем режиме	Фактическая кинематическая вязкость v при этой температуре	Использовать температуру окружающего воздуха вместо рабочей температуры смазочного материала
3	Условие образования плёнки	Отношение κ = v/v1	Считать κ классом масла; расчёт ресурса относится к главе 5
4	Реальную вязкостно-температурную характеристику	Зависимость v(T) выбранного масла или базового масла пластичной смазки	Использовать универсальную кривую без указанного VI
5	Номинальный продукт	ISO VG при 40 °C, VI, базовое масло, присадки и низкотемпературные свойства	Считать одинаковый ISO VG одинаковой работоспособностью

Как понимать v_1. Это не «нормальная вязкость для всех подшипников». Если для конкретного изделия OID применяется расчётная модель с v_1, эту величину определяют только по правилам данной модели с учётом геометрии и скорости. Фактическую v при рабочей температуре

получают по вязкостно-температурным данным выбранного масла или базового масла пластичной смазки. Если для конкретной серии OID метод определения v_1 не задан, назначать её по аналогии с другой расчётной системой нельзя.

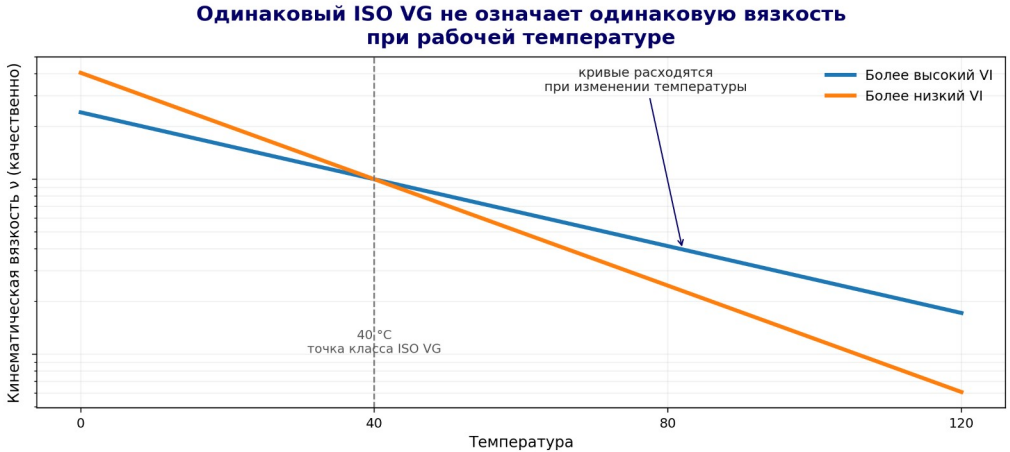
Для связи с расчётом плёнки используют:

$$\kappa = v / v_1$$

где v — фактическая кинематическая вязкость при рабочей температуре, а v_1 — требуемая/эталонная вязкость по выбранной модели. Отношение κ характеризует условие образования смазочной плёнки внутри этой модели; оно не является классом качества масла. Расчёт влияния κ на ресурс рассматривается в главе 5.

Таблица 9-E — Что означает ISO VG

Величина	Что означает	Что НЕ означает
ISO VG	Номинальный класс кинематической вязкости при 40 °C	Вязкость в подшипнике при рабочей температуре
Рабочая v	Кинематическая вязкость при фактической температуре, обычно в мм²/с	Класс консистенции пластичной смазки или динамическую вязкость
Динамическая η	Сопротивление сдвигу в динамических единицах	Кинематическую v без предусмотренного пересчёта и плотности
VI	Чувствительность вязкости к изменению температуры	Сам класс ISO VG или гарантию одинакового поведения разных масел



Схематично. Для расчёта используют фактическую ν(T) выбранного продукта или проверенную диаграмму/калькулятор с известным VI.

Рис. 9.3 — Влияние температуры и индекса вязкости VI на рабочую вязкость (схематично)

Важно — одинаковый ISO VG ≠ одинаковые эксплуатационные свойства смазочного материала. Могут отличаться базовое масло, VI, зависимость вязкости от давления, присадки, окислительная стабильность и совместимость с материалами.

Рабочую вязкость определяют по фактической зависимости ν(T) выбранного масла или базового масла пластичной смазки. Если используется график, на нём должен быть известен VI или конкретный продукт. Рис. 9.3 показывает только принцип: два масла одного ISO VG могут иметь одинаковую номинальную вязкость около 40 °C, но разную вязкость при реальной рабочей температуре. Поэтому одинаковый ISO VG не означает одинаковую работоспособность.

9.5. Количество и первоначальное заполнение

Количество пластичной смазки задают только после определения физического объёма, к которому относится рекомендация. Внутреннее свободное пространство подшипника, свободная полость корпуса, объём резервуара/линий и доза одного пополнения — четыре разные величины. Процент или масса без указания этой базы двусмысленны.

Таблица 9-F — Какие количества смазки нельзя путать

Количество	Что означает	Как задаётся	Главная ошибка
Заполнение внутреннего свободного пространства подшипника	Пластичная смазка непосредственно между кольцами, телами качения и сепаратором	По семейству, скорости, сепаратору, ориентации и процедуре распределения	Переносить процент на объём корпуса
Заполнение свободного пространства корпуса	Пластичная смазка рядом с подшипником, участвующая в защите, запасе и вытеснении старой смазки	По конструкции корпуса, способу подачи, скорости и риску проникновения загрязнений	Заполнять корпус полностью без проверки перемешивания и нагрева
Количество в резервуаре или системе	Запас пластичной смазки или масла в баке, полости, трубках и встроенном питателе	По схеме подачи, времени автономности, охлаждению и объёму линий	Считать весь запас находящимся в рабочем контакте
Заводское заполнение	Материал и количество, введённые при изготовлении конкретного исполнения	По техническим данным точной серии	Принимать заводское заполнение за пожизненно необслуживаемое исполнение
Доза повторного смазывания	Количество, добавляемое за один цикл пополнения	По способу подачи, размеру, интервалу и наличию выхода	Использовать как первоначальное заполнение подшипника или корпуса

Четыре количества смазки, которые нельзя объединять. 1) Внутри подшипника — материал непосредственно между кольцами, телами качения и сепаратором. 2) В корпусе — материал в свободной полости рядом с подшипником. 3) В резервуаре и линиях — запас системы подачи, который не находится целиком в рабочем контакте. 4) Доза пополнения — количество, добавляемое за один цикл обслуживания. Для каждого из этих объёмов задаются свои правила; процент или масса имеют смысл только вместе с указанием базы, к которой они относятся.

Почему значения процента заполнения нельзя переносить без пояснения. Процент может относиться к разным базовым объёмам: внутреннему свободному пространству подшипника, полости корпуса, резервуару или иной части системы. Поэтому два разных процента нельзя сравнивать, пока не совпадают определение объёма, конструкция узла, скорость и назначение заполнения. В справочнике OID любое значение процента обязательно сопровождается указанием, что именно заполняется и для какого режима оно задано.

Единого процента первоначального заполнения для всех конструкций нет. Есть только рекомендации внутри конкретной методики и с определённой базой объёма. При высокой скорости количество обычно приходится ограничивать из-за перемешивания и нагрева; в медленном загрязнённом узле корпус, наоборот, может заполняться значительно больше для защиты и вытеснения загрязнений.

Для первоначального заполнения проверяют:

- семейство и исполнение подшипника;
- скорость и риск перемешивания;

- определение свободного объёма;
- геометрию корпуса и ориентацию;
- способ подачи и возможность выхода;
- требуемую защиту от загрязнения и коррозии;
- процедуру распределения и приработки.

Важно — больше пластичной смазки ≠ лучшее смазывание. Избыток повышает перемешивание, момент, температуру и давление на уплотнения. Недостаточное количество также опасно: низкий момент или температура сами по себе не доказывают безопасную плёнку.

Важно — заполнено на заводе ≠ не требует повторного смазывания. Заводское заполнение не определяет автоматически состав пластичной смазки, процент заполнения, ресурс пластичной смазки, доступность точки и интервал обслуживания.

Важно — транспортная/консервационная смазка ≠ рабочий смазочный материал. Консервационный материал некоторых штампованных игольчатых и специальных исполнений может защищать при хранении, но не заменяет рабочее смазывание.

Для шпиндельных, ОПУ, линейных, перекрёстно-роликовых, подшипников скольжения и систем со встроенным резервуаром количество назначают по специальной методике. Для тонкостенных подшипников универсальные первоначальное заполнение и интервал не устанавливаются: их определяют по данным конкретной серии.

9.6. Интервалы повторного смазывания

Термин «повторное смазывание» может означать три разные операции: 1) пополнение рассчитанной дозой; 2) вытеснение старой смазки свежей через предусмотренный выход; 3) полную замену с удалением старого материала. Для них различаются и количество, и интервал, и требования к корпусу. Ниже эти процедуры описаны словами.

Три процедуры повторного смазывания. Пополнение — добавляют рассчитанную дозу без задачи удалить весь старый материал. Вытеснение — свежей смазкой постепенно удаляют старую через предусмотренный выход; без свободного выхода такую процедуру не выполняют. Полная замена — старый материал удаляют в объёме, предусмотренном процедурой обслуживания, после чего вводят новый. Дозу и интервал одной процедуры нельзя автоматически переносить на другую.

Таблица 9-G — Количество при повторном смазывании

Система	Что считать	Практический принцип	Ограничение
Обычная подача сбоку к подшипнику качения	Массу одной дозы пополнения	Как исходный ориентир в нескольких общих системах используют $G_p \approx 0{,}005 \cdot D \cdot B$	Только ориентировочно для обычных подшипников качения; не первоначальное заполнение подшипника или корпуса и не универсальная формула корпуса
Подача через центральные отверстия кольца	Дозу, поступающую ближе к рабочей зоне	В некоторых системах требуется меньшая доза, чем при подаче сбоку	Точное значение берут только из методики данного исполнения

Система	Что считать	Практический принцип	Ограничение
Централизованная линия	Дозу в точке плюс объём, необходимый для заполнения пустой линии	Проверяют фактическую подачу дозатора и поступление в узел	Номинал дозатора не компенсирует пустую, холодную или заблокированную линию
Вытеснение старой смазки свежей через предусмотренный выход (вытеснение старой смазки)	Количество до выхода обновлённой пластичной смазки по предусмотренному пути	Интервал может определяться загрязнением, а не старением пластичной смазки	Нужен свободный выход; нельзя создавать давление в закрытой полости
Шпиндель, ОПУ, линейная система или система скольжения	Специальную дозу соответствующей системы	Используют данные конкретной серии, точки и режима	Зависимость 0,005·D·B не переносится автоматически

Для некоторых обычных схем боковой подачи к подшипнику качения в качестве исходного ориентира используют:

$$Gp \approx 0{,}005 \cdot D \cdot B$$

где Gp — ориентировочная доза одного пополнения, г; D — наружный диаметр подшипника, мм; B — ширина подшипника, мм. Это не формула первоначального заполнения подшипника или корпуса. Для конических, упорных и специальных конструкций параметр размера и сама формула применяются только тогда, когда это прямо предусмотрено выбранной методикой.

Таблица 9-H — Что определяет интервал повторного смазывания

Фактор	Как влияет	Что проверить	Типичная ошибка
Скорость	Ускоряет работу и перемешивание пластичной смазки; повышает требования к подаче	Параметр скорости принятой модели и фактическую температуру	Использовать только об/мин без размера и типа подшипника
Размер	Крупный подшипник требует отдельной оценки распределения и контроля состояния	Длину пути, объём, точки подачи и отбор проб	Переносить интервал небольшого подшипника
Семейство	Скольжение, движение сепаратора и внутреннее пространство различаются	Специальную ветвь для данного семейства	Назначать единый интервал всем типам
Нагрузка	Высокая нагрузка и скольжение повышают требования к плёнке и присадкам	Нагрузочный режим, минимальную нагрузку и удары	Считать низкую скорость достаточной причиной для длинного интервала

Смазывание

Фактор	Как влияет	Что проверить	Типичная ошибка
Температура	Рост ускоряет окисление и обычно сокращает ресурс пластичной смазки	Установившуюся температуру и таблицу коррекции именно выбранной методики	Переносить температурный коэффициент из другой системы или применять его вне указанного диапазона
Ориентация	Вертикальный вал меняет удержание и распределение	Утечку, путь подачи, количество и выход	Использовать поправку для вертикального вала без проверки, предусмотрена ли она выбранной методикой
Вибрация	Повышает механическую нагрузку на пластичную смазку и риск фреттинга	Амплитуду, ускорение и инструкцию машины	Оставлять обычный календарный интервал
Вращение наружного кольца	Меняет движение пластичной смазки и параметр скорости	Какая деталь вращается и какая модель применена	Использовать условие вращения внутреннего кольца
Частицы	Могут сделать вытеснение старой смазки определяющей процедурой	Уплотнения, чистоту фитинга, фильтр, выход	Ожидать окончания ресурса пластичной смазки
Вода/технологическая жидкость	Вызывает коррозию и деградацию состава	Источник проникновения, уплотнения, анализ и замену	Полагаться только на водостойкость пластичной смазки
Сепаратор	Геометрия и материал влияют на распределение и совместимость	Исполнение сепаратора и совместимость с присадками	Игнорировать исключение конкретного сепаратора
Состав пластичной смазки	Базовое масло, загуститель и стабильность задают её ресурс	Точную рецептуру и рабочую температуру	Считать все NLGI 2 эквивалентными
Вытеснение старой смазки	Может удалять состарившуюся пластичную смазку и загрязнения	Наличие непрерывного выхода	Подавать новую пластичную смазку в закрытую полость
Доступность/автоматика	Определяет реальную выполнимость обслуживания	Дозатор, линии, сигнализацию и безопасный доступ	Считать автоматическую систему безошибочной

Как пользоваться поправками OID. Сначала получают базовый интервал по утверждённой для конкретного исполнения методике, затем применяют только те корректировки, которые прямо предусмотрены этой же методикой и только в указанной области. Если для серии OID нет опубликованной температурной, нагрузочной или эксплуатационной поправки, коэффициент не назначают по аналогии. После расчёта интервал подтверждают по фактической температуре, загрязнению, состоянию выходящей смазки и результатам контроля.

Важно — ресурс пластичной смазки ≠ интервал повторного смазывания. Ресурс пластичной смазки — расчётная или испытательная характеристика работы материала. Интервал повторного смазывания — решение по обслуживанию, обычно дополнительно сокращаемое или корректируемое с учётом надёжности, доступа и реальной среды.

Основная ошибка — взять базовый интервал из одной диаграммы, а затем умножить его на температурные, нагрузочные или эксплуатационные коэффициенты из другой системы. Такой результат не имеет подтверждённой области применимости. После расчёта интервал всё равно подтверждают по фактической температуре, состоянию выходящей пластичной смазки, загрязнению и анализу при достаточной длительности эксплуатации.

При предусмотренном вытеснении старой смазки свежей через выход (вытеснении старой смазки) новая пластичная смазка должна иметь выход. В закрытом корпусе давление может повредить уплотнение, а старый загрязнённый материал останется внутри. Автоматическая система также требует проверки фактической подачи, цикла, объёма линии, насосуемости, заблокированных ветвей и пути выхода при вытеснении старой смазки.

9.7. Скорость, температура и загрязнение

Условия эксплуатации одновременно меняют вязкость, подачу, старение и требуемое обслуживание. Их нельзя учитывать одной общей «поправкой на тяжёлые условия».

Таблица 9-I — Как условия эксплуатации меняют смазывание

Условие	Что происходит	Что обычно меняют	Что нельзя делать автоматически
Высокая скорость	Растут перемешивание, сопротивление воздуха и чувствительность к избытку пластичной смазки	Снижают ненужное количество, проверяют вязкость, подачу и приработку	Устанавливать единый малый процент заполнения
Низкая скорость / высокая нагрузка	Возрастает роль смешанного/граничного трения и присадок	Проверяют более вязкое базовое масло, достаточную рабочую v, допустимость EP/AW и температурный режим	Считать любую пластичную смазку с маркировкой EP подходящей без проверки вязкости и материалов
Высокая температура	Вязкость уменьшается, окисление ускоряется, ресурс пластичной смазки обычно сокращается	Уточняют масло/пластичную смазку, интервал, охлаждение и уплотнения	Применять общий температурный множитель
Низкая температура	Растут вязкость, сопротивление движению и пусковой момент; ухудшается насосуемость	Проверяют запуск, линии, базовое масло и фактическую подачу	Оценивать пригодность только по ISO VG
Вибрация	Ускоряет механическое разрушение пластичной смазки и фреттинг	Сокращают интервал по данным машины, контролируют распределение	Использовать обычный интервал для стационарного режима
Вертикальный вал	Меняются удержание, утечка и питание контакта	Пересматривают интервал, количество и способ удержания	Применять горизонтальный коэффициент без проверки

Условие	Что происходит	Что обычно меняют	Что нельзя делать автоматически
Твёрдые частицы	Повреждают поверхности и нарушают плёнку	Улучшают уплотнения, чистоту обращения, фильтрацию и вытеснение старой смазки	Ограничиваться добавлением более вязкой пластичной смазки
Вода / конденсат	Вызывает коррозию и деградацию смазочной системы	Исключают проникновение, применяют контроль, вытеснение старой смазки свежей или замену	Считать водостойкую пластичную смазку разрешением воды
Интенсивная мойка/технологическая жидкость	Может вымывать пластичную смазку и проникать через уплотнения	Проверяют уплотнения, защиту от коррозии и частоту обслуживания	Полагаться только на цвет или название загустителя
Длительный простой	Возникают конденсация, коррозия и локальное стекание масла	Назначают консервацию, проверку перед пуском и при необходимости повторное смазывание	Оценивать состояние только по наработке в часах
Качание/малый ход	Тела качения могут не совершать полный оборот; возрастает риск фреттинга	Применяют интервал и материал для конкретного семейства, контролируют распределение	Использовать модель непрерывного вращения
Высокая скорость / малая нагрузка	Возрастает риск проскальзывания тел качения и smearing; одной «малой вязкости» недостаточно	Проверяют минимальную нагрузку, рабочий зазор/преднатяг, способ подачи и вязкость	Решать проблему только заменой смазочного материала, не проверяя минимальную нагрузку и кинематику

Требования к чистоте и фильтрации всегда записывают в той системе оценки, в которой они получены. Размер ячейки сетки, номинальная и абсолютная тонкость фильтрации, β-отношение фильтра и код чистоты ISO — разные характеристики. Нельзя заменять одно число другим без предусмотренного пересчёта и определения.

Важно — водостойкая пластичная смазка ≠ допустимое загрязнение водой. Даже водостойкий состав не устраняет коррозию, нарушение плёнки и деградацию присадок или загустителя.

Контроль состояния включает чистоту хранения и заправки, закрытые ёмкости, чистые фитинги, уплотнения/скребки, фильтрацию, удаление воды, осмотр выходящего материала, температурный тренд и анализ масла. Одно измерение температуры не определяет состояние пластичной смазки: нужно отличать приработку, установившийся режим и изменение тренда.

9.8. Совместимость

Перед заменой или смешением устанавливают химию обоих продуктов и материалы узла. Совпадение одного свойства не доказывает взаимозаменяемость готовых смазок.

Таблица 9-J — Что проверять перед смешением или заменой смазки

Что сравнить	Почему	Что делать при неизвестности
Базовое масло	Минеральные и разные синтетические системы могут не смешиваться и иначе взаимодействовать с материалами	Не смешивать; получить подтверждение продукта или выполнить предусмотренное испытание
Загуститель	Смесь может размягчиться, затвердеть или потерять масло	Определить точную химию; при смене очистить/промыть по допустимой процедуре
NLGI	Разная консистенция меняет распределение, утечку и насосуемость	Не использовать совпадение NLGI как критерий совместимости
Вязкость базового масла	Определяет плёнку и поведение при температуре	Сопоставить ν(T), а не только номинальный класс
Присадки	EP/AW, ингибиторы и твёрдые частицы могут конфликтовать с материалами и друг с другом	Требовать подтверждённую эффективность и совместимость с материалами
Уплотнения	Масло и присадки могут вызывать набухание, усадку или потерю прочности	Проверить точный эластомер и температурный диапазон
Сепаратор/полимер	Активные присадки и базовые масла могут воздействовать на полиамид PA66, латунь и покрытия	Проверить материал сепаратора и разрешённую смазочную систему
Рабочая среда	Вода, технологическая жидкость, очиститель, лакокрасочное покрытие и остатки старого продукта меняют результат	Установить все контактирующие среды и процедуру замены

Важно — одинаковый класс NLGI ≠ совместимость пластичных смазок. NLGI описывает консистенцию, а не совместимость базового масла, загустителя, присадок и материалов.

Даже если базовые масла и загустители считаются совместимыми, две готовые смазки нельзя автоматически считать полностью взаимозаменяемыми. При неизвестности продукты не смешивают вслепую: устанавливают химию, получают подтверждение совместимости или проводят испытание и выполняют очистку либо вытеснение старой смазки по процедуре конкретного узла. Полные химические матрицы служат предварительной проверкой, а не универсальным разрешением на смешение.

Таблица 9-K — Смазочный материал и материалы узла

Компонент	Что может быть чувствительно	Что проверить	Опасная ошибка
Сепаратор полиамид PA66	Температура, активные EP-присадки, старение и базовое масло	Допустимый смазочный материал и непрерывную рабочую температуру	Считать полимер химически нейтральным
Латунный сепаратор	Некоторые активные серо- и фосфорсодержащие системы	Состав присадки EP/AW и рабочую температуру	Выбирать EP только по высокой нагрузке
Уплотнения NBR/FKM и другие	Базовое масло, температура и присадки	Точный эластомер и таблицу совместимости продукта	Подменять один эластомер другим
Покрытия, краски, клеи и акриловые материалы	Отдельные синтетические базовые масла и присадки могут вызывать размягчение, набухание или потерю адгезии	Точный материал покрытия/клея и таблицу химической совместимости выбранного продукта	Считать все синтетические масла одинаковыми по воздействию на полимеры
Специальные полимеры и композиты	Совместимость зависит от точного материала, базового масла, присадок и температуры	Материал детали и разрешённые для конкретного исполнения OID смазочные системы	Предполагать совместимость только по похожему названию химической группы
Пара скольжения с фторопластом PTFE	Дополнительная пластичная смазка может нарушить переносную плёнку (переносная антифрикционная плёнка)	Точный материал слоя и разрешение на повторное смазывание	Смазывать любое необслуживаемое исполнение
Сталь/бронза	Твёрдые присадки и режим скольжения	Разрешённый состав, в частности допустимость MoS_2	Переносить правило сталь/сталь
Сталь/сталь шарнирного подшипника	Требует предусмотренного смазывания и защиты от загрязнения	Пластичную смазку, канавки/отверстия, интервал и вытеснение старой смазки	Считать всё семейство необслуживаемым

Одного названия «шарнирный подшипник скольжения» недостаточно для назначения смазки. Сначала определяют точную пару скольжения. Для некоторых исполнений с PTFE дополнительное смазывание запрещено, потому что оно нарушает формирование предусмотренной переносной антифрикционной плёнки. Пара сталь/сталь, напротив, требует предусмотренного смазывания и защиты от загрязнений. Для сталь/бронза и других пар правила могут быть иными.

Таблица 9-L — Семейства с особой системой смазывания

Семейство	Что отличается	Что обязательно проверить	Главная ловушка
Шпиндельные/прецизионные	Малая контролируемая закладка пластичной смазки, приработка либо система «масло-воздух»/струйная подача	Преднатяг, количество, температуру, чистоту, сопло, воздух и слив	Переносить шпиндельное заполнение на обычный подшипник
Сферические/тороидальные роликовые	Размер, нагрузка, сепаратор, бессепараторное и уплотнённое исполнения меняют обслуживание	Подачу через кольцо/корпус, вытеснение старой смазки, отбор проб и ориентацию	Считать одно название семейства достаточным для выбора интервала
Конические роликовые	Значимы контакт торца ролика с бортом, регулировка, тепло и чистота	Вязкость, подачу, приработку и отвод масла	Игнорировать влияние регулировки на температуру
Игольчатые/штампованные	Мало пространства, дорожка на валу и небольшие каналы; возможна транспортная смазка	Рабочий смазочный материал, доступ, сепаратор/бессепараторное исполнение и радиальную/упорную область	Принимать консервант за рабочий смазочный материал
Опорные ролики / ролики с цапфой	Внутренний контакт качения и внешняя сопряжённая дорожка — две зоны	Внутренний порт, сепаратор/бессепараторное исполнение и смазывание внешней дорожки	Забывать внешнюю дорожку у заполненного на заводе подшипника
ОПУ	Дорожка качения и зубчатый венец — самостоятельные зоны	Разные пластичные смазки, количества, интервалы; распределение по окружности и вытеснение старой смазки	Обслуживать зубчатый венец и дорожку одной дозой
Линейные направляющие/втулки	Интервал может зависеть от пути или времени; ориентация меняет распределение	Ход, путь, режим, точки подачи, скребки и исполнение резервуара	Переводить километры в часы без фактической скорости
Прецизионные перекрёстно-роликовые	Низкое контролируемое количество и распределение, зависящее от качания	Заводское заполнение, отверстия, ход/угол и уплотнения	Применять общий интервал ОПУ или роликового подшипника
Вставные/корпусные узлы	Заводская пластичная смазка и возможность пополнения зависят от серии и корпуса	Тип пластичной смазки, ниппель, выход, полость уплотнения и ориентацию	Заводское заполнение считать пожизненным

Семейство	Что отличается	Что обязательно проверить	Главная ловушка
Подшипники и втулки скольжения	Режим может быть сухим, с пластичной смазкой, маслом или гидродинамическим	Материал пары, канавки, первое смазывание и загрязнение	Переносить правила подшипников качения
Шарнирные подшипники скольжения	Пары сталь/сталь и PTFE/сталь-бронза имеют противоположные правила	Точную пару скольжения и допустимость повторного смазывания	Смазывать или не смазывать только по названию семейства
Тонкостенные	Количество и интервал сильно зависят от точной серии	Данные серии, скорость, уплотнения и доступ	Публиковать универсальные заполнение и интервал

9.9. Типовые ошибки

Большинство отказов связано не с одним «плохим продуктом», а с сочетанием неправильной вязкости, дозы, подачи, загрязнения и режима обслуживания.

Таблица 9-M — Типовые ошибки при смазывании

Ошибка	Почему опасно	Правильная проверка
Выбран неподходящий смазочный материал	Плёнка, температура, материалы и интервал не соответствуют режиму	Семейство, скорость, нагрузку, температуру, среду и подтверждение применимости
Неправильная рабочая вязкость	Слишком малая нарушает плёнку; слишком высокая повышает сопротивление и нагрев	v(T), v1, к и фактические данные смазочного материала
NLGI принят за вязкость	Консистенция не задаёт толщину смазочной плёнки	Вязкость базового масла отдельно от NLGI
Температура каплепадения принята за рабочий предел	Испытательная точка не задаёт непрерывную рабочую температуру	Опубликованный рабочий диапазон и окислительную стабильность
Избыточное количество пластичной смазки	Перемешивание, нагрев, утечки и повреждение уплотнений	Определение свободного пространства, скорость и приработку
Недостаточное количество пластичной смазки	Недостаточное поступление масла в контакт и скрытое нарушение смазочной плёнки	Путь подачи, распределение, температурный тренд и осмотр
Заполнение подшипника смешано с заполнением корпуса	Процент применяется к неправильному объёму	Раздельный расчёт обоих пространств

Ошибка	Почему опасно	Правильная проверка
Заводское заполнение принято за пожизненное	Пропускаются старение и предусмотренное обслуживание	Точное исполнение, доступность, ресурс пластичной смазки и интервал
Транспортная смазка принята за рабочую	Контакт запускается без требуемого смазочного материала	Инструкцию по монтажу и эксплуатации конкретного изделия
Неверный уровень масла	Слишком высокий уровень увеличивает перемешивание и нагрев; слишком низкий может лишить контакт требуемой подачи масла	Статический/рабочий уровень, ориентацию и геометрию корпуса
Заблокирован или мал слив	Масло накапливается, растут сопротивление и температура	Пропускную способность слива, возврат масла и вентиляцию
Расход масла выбран только по одной функции	Может не хватить охлаждения либо возникнуть переполнение	Потребность в смазывании и потребность в отводе тепла
Ресурс пластичной смазки принят за интервал	Обслуживание назначается слишком поздно	Сначала определить базовый интервал по выбранной методике, затем применить её собственные поправки и контроль состояния
Перемножены факторы разных моделей	Результат не имеет подтверждённой методики	Одна полная модель с её областью применимости
Смешаны несовместимые пластичные смазки	Возможны размягчение, затвердевание и потеря масла	Базовое масло, загуститель, присадки, материалы и испытание
Выполнено вытеснение старой смазки без предусмотренного выхода	Растёт давление, остаётся старая пластичная смазка, повреждаются уплотнения	Непрерывный путь выхода и безопасную процедуру
Автоматическая система признана безошибочной	Пустая/заблокированная ветвь не видна по работе насоса	Фактическую подачу инжектора, цикл, объём линии и подтверждение доставки
Неправильно смазана необслуживаемая пара скольжения	Нарушается переносная плёнка или возникает износ	Точную пару и прямое правило «смазывать / не смазывать»
Не смазана внешняя дорожка опорного ролика	Заводское заполнение защищает только внутренний контакт	Внутренний подшипник и внешнюю дорожку как две зоны
Дорожка качения и зубчатый венец ОПУ обслуживаются как одна зона	Различаются материал, доза, интервал и способ нанесения	Два отдельных плана смазывания

Симптом не является диагнозом. Например, высокая температура действительно может быть вызвана переполнением или высокой вязкостью, но также — чрезмерным преднатягом, неправильной посадкой, перегрузкой или перекосом. Поэтому при осмотре сначала фиксируют симптом, затем проверяют смазочную ветвь и параллельно сохраняют альтернативные механические причины.

Симптом	Смазочные причины, которые следует проверить	Возможны также другие причины
Высокая температура	Переполнение, высокая вязкость, заблокированный слив, неправильная приработка	Преднатяг, посадка, нагрузка, перекос
Утечка	Переполнение, несовместимая пластичная смазка, давление, ориентация	Повреждение уплотнения или поверхности
Шум / рост момента	Загрязнение, неправильная вязкость, избыток или недостаточная подача	Повреждение дорожки, преднатяг, монтаж
Размазывание / задиры	Недостаточная подача, низкая рабочая вязкость, скольжение	Минимальная нагрузка, ускорения, геометрия
Коррозия	Вода, конденсат, истощение защитных свойств, простой	Материал, технологическая среда, хранение
Износ / частицы	Загрязнение, плохая фильтрация, небрежное обращение	Перекос, дефект поверхности, перегрузка
Потемнение / отложения	Окисление, высокая температура, слишком длинный интервал	Внешний нагрев и химическое загрязнение

9.10. Практическая карта точки смазывания

Чтобы глава работала как справочник, для каждой реальной точки смазывания желательно хранить не только название продукта, но и полный набор исходных данных. Неизвестный параметр отмечают как неопределённость, а не заменяют догадкой.

Поле	Что записывать	Зачем
Подшипник и узел	Полное обозначение, исполнение, уплотнения, сепаратор, корпус	Определяет применимую методику и совместимость
Смазочный материал	Точное наименование смазочного материала, спецификация, партия/дата при необходимости	Исключает подмену продукта по общему описанию
Тип и способ смазывания	Пластичная смазка/масло; закладка, ванна, циркуляция, масло-воздух и т. п.	Разделяет материал и систему подачи

Поле	Что записывать	Зачем
Рабочая вязкость	ISO VG/вязкость базового масла, VI, v(T), при необходимости v_1 и к	Показывает реальное условие плёнки
Первоначальное количество	Отдельно для подшипника и корпуса/полости	Исключает двусмысленный «процент заполнения»
Повторное смазывание	Пополнение / вытеснение / полная замена	Определяет процедуру, дозу и наличие выхода
Доза и интервал	Масса/объём одного цикла, период, источник методики	Позволяет воспроизвести обслуживание
Путь выхода/слив	Куда должна уходить старая смазка или масло	Предотвращает рост давления и залив
Условия	Скорость, нагрузка, температура, ориентация, вибрация, загрязнение, вода	Нужны для корректировки исходного режима
Материалы	Сепаратор, уплотнения, покрытия, пара скольжения	Нужны для проверки химической совместимости
Контроль	Температура, утечки, фактическая доставка, состояние выходящего материала/масла, анализ	Подтверждает, что расчёт работает в реальном узле

Подшипник одного базового семейства и одинакового габарита может иметь разные внутреннюю геометрию, сепаратор, встроенную защиту, материалы, термообработку и покрытия. Эти признаки изменяют путь передачи нагрузки, трение, скорость, монтаж, смазывание и стойкость к рабочей среде, поэтому исполнение проверяют как единую конструктивную систему.

Глава предназначена для конструктивной проверки уже выбранного семейства. Предварительный выбор типа выполняют по главе 4, нагрузку и ресурс — по главе 5, точность и посадочные места — по главе 6, зазор и преднатяг — по главе 7, скорость и тепловой режим — по главе 8, смазывание — по главе 9. Численные пределы принимают только для конкретной серии, размера и комплектации.

Практическая последовательность проверки: внутренняя конструкция → сепаратор → защитная шайба или уплотнение → материалы → термообработка → покрытие → электрозащитное или гибридное исполнение → температурная пригодность всей системы. Каждый пункт проверяют отдельно; свойство одного компонента нельзя автоматически переносить на остальные.

10.1. Внутренняя конструкция

Название семейства описывает общий принцип работы, но не полностью задаёт путь нагрузки и взаимное перемещение деталей. Внутри одного семейства могут различаться число рядов, контактная геометрия, положение бортов, наличие направляющего кольца, способ заполнения телами качения, разъёмность и способность к внутреннему осевому смещению. Для упорных, перекрёстно-роликовых и линейных систем значение имеют также комплектность шайб, чередование тел качения и устройство возвратного контура.

Проверку начинают с физической схемы, а не с общего наименования. Сначала устанавливают, через какие дорожки и тела качения замыкается нагрузка; затем — какие детали ограничивают осевое перемещение; после этого — какие компоненты можно разделить при монтаже и где допускается относительное движение. Только такая последовательность позволяет отличить конструктивное свойство от функции, назначенной подшипнику в конкретном узле. Например, наличие борта ещё не доказывает допустимость требуемой осевой нагрузки, если отсутствует соответствующая дорожка, направляющая поверхность или расчётная модель.

Таблица 10-A — Влияние внутренней конструкции

Конструктивный признак	Что физически меняется	Основное следствие	Что проверить / нельзя предполагать
Один, два или несколько рядов	Число линий контакта и распределение нагрузки между ними	Могут изменяться направления осевой нагрузки, моментная жёсткость и допустимая схема опоры	Нагрузочную модель именно данного исполнения; многорядность сама по себе не задаёт равномерное распределение
Контактная геометрия	Угол и направление линии действия нагрузки	Определяет сочетание радиальной и осевой нагрузки, а также необходимость пары	Направление осевой нагрузки, схему установки и условия регулировки
Система бортов	Число и положение направляющих бортов на кольцах	Задаёт осевое ведение роликов, способность к осевой фиксации и внутреннему смещению	Какой компонент удерживает вал и в каком направлении; допустима ли осевая нагрузка
Направляющее или центральное кольцо	Способ направления тел качения и сепаратора	Меняет внутреннюю кинематику, трение и подвод смазки	Конструктивную ветвь, рекомендации по смазыванию и монтажную ориентацию

Конструкция и исполнения подшипников

Конструктивный признак	Что физически меняется	Основное следствие	Что проверить / нельзя предполагать
Выемки для заполнения	Плечи колец имеют локальные выемки, позволяющие установить больше тел качения	Радиальная способность внутри сопоставимой серии может увеличиваться, но комбинированная нагрузка остаётся ограниченной геометрией плеч	Ориентацию выемок и допустимость осевой нагрузки
Сепараторное исполнение	Тела качения разделены и направляются сепаратором	Сохраняется пространство для смазки; обычно благоприятнее скоростной режим внутри сопоставимой ветви	Материал и ведение сепаратора, минимальную нагрузку, скорость и смазывание
Бессепараторное исполнение	Свободный объём заполнен большим числом тел качения	Возможна повышенная радиальная способность, но возрастают контакты между телами качения и требования к смазыванию	Скорость, минимальную нагрузку, тепловой режим и осевую функцию бортов
Разъёмная конструкция	Одно или несколько колец, шайб либо комплект тел качения можно монтировать отдельно	Упрощается определённая последовательность сборки и контроля деталей	Комплектность, ориентацию, передачу монтажного усилия и функцию опоры
Внутреннее осевое смещение	Кольца могут перемещаться друг относительно друга внутри подшипника без скольжения посадки	Можно компенсировать осевое тепловое удлинение вала при сохранении неподвижных посадок	Доступный ход с учётом несоосности, зазора и соседних деталей
Исполнение без внутреннего кольца	Закалённая поверхность вала используется как дорожка качения	Уменьшается радиальный габарит, но вал становится функциональной частью подшипника	Материал, твёрдость, геометрию и шероховатость дорожки по разделу 6
Самоустанавливающаяся дорожка	Сферическая поверхность допускает взаимный поворот колец	Компенсируется угловая несоосность в пределах конкретной конструкции	Совместное влияние нагрузки, осевого смещения и монтажного перекоса
Упорный комплект	Шайбы и комплект тел качения образуют ориентированную осевую опору	Нагрузка передаётся в одном либо двух направлениях в зависимости от исполнения	Направление нагрузки, минимальную осевую нагрузку, комплектность и соосность
Перекрёстное расположение роликов	Соседние ролики ориентированы в разных направлениях	Компактная опора может воспринимать радиальную, осевую и моментную нагрузку	Специализированную расчётную модель, точность посадочных поверхностей и крепление
Линейный контур	Тела качения движутся по конечной дорожке либо рециркулируют в блоке	Формируется линейное перемещение с ограниченным или протяжённым ходом	Совместимость блока и направляющей, ориентацию, защиту и обслуживание

Однорядное радиально-упорное исполнение обычно передаёт осевую нагрузку преимущественно в одном направлении. Двунаправленная работа требует согласованной пары, специальной схемы или многорядной конструкции. При этом два ряда внутри одного подшипника нельзя автоматически считать эквивалентом произвольно составленной пары: отличаются внутренняя геометрия, монтажная база и условия распределения нагрузки.

Для цилиндрических роликоподшипников функция опоры определяется прежде всего системой бортов. Одинаковое общее название семейства может скрывать фиксирующее, полуфиксирующее или плавающее исполнение. Возможность осевой нагрузки и возможность внутреннего осевого смещения являются разными свойствами; одна не выводится из другой.

Важно: Одинаковое название семейства и одинаковые габариты не гарантируют одинаковую внутреннюю конструкцию; обновлённая конструкция может сохранить базовое обозначение. Перед заменой сопоставляют число рядов, линии контакта, борта, направляющие детали, разъёмность и направление осевой нагрузки.

Важно: Внутреннее осевое смещение происходит между деталями подшипника и не требует скольжения кольца по посадочной поверхности. Эти механизмы нельзя подменять друг другом при проектировании плавающей опоры.

Разъёмность описывает возможность раздельной сборки компонентов, а не назначение опоры. Разъёмный подшипник может выполнять фиксирующую функцию, а неразъёмный — работать в плавающей схеме при соответствующем решении сопряжений. Для разъёмных упорных и конических комплектов особенно важны сохранение согласованных деталей, их ориентация и передача монтажного усилия только по предусмотренному пути.

Важно: Разъёмный не означает плавающий. Функцию опоры задают путь нагрузки, осевая фиксация и сопряжения узла, а не только возможность отделить кольцо или шайбу.

Сепараторное и бессепараторное исполнения сравнивают только внутри сопоставимой конструктивной ветви. Дополнительные тела качения не доказывают универсально лучшую работу: выигрыш по радиальной нагрузке может сопровождаться снижением допустимой скорости, ростом трения и более строгими требованиями к минимальной нагрузке и смазыванию. Геометрия бортов при этом продолжает определять осевую функцию.

Исполнение повышенной грузоподъёмности с оптимизированной геометрией и сепаратором не считают синонимом бессепараторного. Аналогично быстроходная внутренняя конструкция не доказывает более высокую статическую способность, а класс точности не определяет саму геометрию контакта. Эти признаки сверяют независимо.

Важно: Бессепараторное исполнение не является безусловным усилением. Его выбирают после совместной проверки нагрузки, скорости, минимальной нагрузки, смазывания, теплового режима и осевой функции.

Для тороидального роликоподшипника доступное внутреннее осевое смещение может уменьшаться при угловой несоосности и зависит от фактического внутреннего состояния подшипника. Допустимую несоосность других самоустанавливающихся конструкций проверяют для конкретного исполнения. Профилированное наружное кольцо опорного ролика снижает краевое нагружение на дорожке, но не превращает ролик в самоустанавливающийся подшипник.

Специальные ветви рассматривают по тому же причинному принципу. В игольчатой опоре без внутреннего кольца качество поверхности вала становится частью работоспособности контакта. В ролике с цапфой наружное кольцо работает непосредственно по дорожке машины, поэтому профиль, крепление цапфы и подвод смазки входят в конструктивную проверку. В опорно-поворотном устройстве кольца, крепёж и

монтажные поверхности совместно воспринимают радиальную, осевую и опрокидывающую нагрузку. В перекрёстно-роликовой или линейной системе чередование роликов, разделители, контур рециркуляции и защита направляющей проверяются как элементы конкретной архитектуры, а не как варианты обычного радиального подшипника.

10.2. Сепараторы

Сепаратор выполняет разделение и направление тел качения, а в разъёмных конструкциях может также удерживать их при обращении и монтаже. Его описание всегда раскладывают на три независимых признака: конструкцию, материал и способ ведения. Совпадение одного признака не означает совпадения двух остальных.

Таблица 10-B — Конструкция, материал и ведение сепаратора

Признак	Основные варианты	Что определяет	Что не определяет
Конструкция: штампованный	Деталь малой толщины, сформированная штамповкой	Массу, форму карманов и типовую серийную компоновку	Материал во всех сериях, способ ведения и границы размера
Конструкция: механически обработанный	Массивная деталь с обработанными карманами и направляющими поверхностями	Иная жёсткость, масса, динамика и подвод смазки	Способ ведения, смазочный режим и допустимую скорость
Конструкция: оконный	Замкнутые окна охватывают тела качения	Точное взаимное положение тел качения в заданной геометрии	Материал, расположение перемычек и взаимодействие с кольцами
Конструкция: корончатый	Односторонние пальцы или карманы удерживают тела качения	Компактная сборка в ограниченном конструктивном диапазоне	Семейство, размер и высокотемпературное исполнение; не считать универсальным типом
Специальные конструкции	Штифтовый, ленточный и защёлкивающийся, сегментный или разделительный вариант	Решение задачи конкретного семейства, габарита или среды	Универсальную иерархию и применимость к другому семейству
Материал: сталь	Штампованная или обработанная металлическая деталь	Сочетает механическую прочность и температурную стойкость материала	Конструкцию, ведение, смазку и пределы всего подшипника
Материал: латунь или бронза	Обычно массивная обработанная деталь либо специальный элемент	Меняет массу, трение, совместимость со смазкой и динамику	Ведение, ускорения, смазку и ограничения серии
Материал: полимер	Лёгкая деталь сложной формы	Может уменьшать инерцию и обеспечивать гибкую геометрию карманов	Старение, температуру, химическую совместимость, масло и его присадки
Материал: полиэфирэфиркетон (PEEK), фенольный или текстильный материал	Специализированный материал для определённого режима	Пригодность материала для конкретной конструкции	Раздельные ограничения по старению, скорости, среде и смазыванию

Признак	Основные варианты	Что определяет	Что не определяет
Ведение телами качения	Сепаратор перемещается через контакт с шарами или роликами	Кинематика следует за телами качения	Нагрузку, ускорения, карманы и подвод смазки
Ведение внутренним или наружным кольцом	Направляющая поверхность сепаратора взаимодействует с кольцом	Меняются центробежное поведение, трение и поток смазки	Состояние направляющей поверхности, зазор и смазочный режим
Ведение по борту	Направление задаёт поясок или борт кольца	Поведение зависит от точности и смазывания направляющей пары	Конкретную геометрию борта; материал не является доказательством ведения

Материал сепаратора сам по себе не задаёт допустимую скорость или нагрузку всего подшипника. Латунное исполнение нельзя считать автоматически быстроходным, а полимерное — автоматически малонагруженным. Результат определяется массой, формой карманов, способом ведения, ускорениями, смазкой, температурой и внутренней геометрией подшипника. Количественные температурные границы проверяют в разделе 8, совместимость со смазочным материалом и присадками — в разделе 9.

Исполнение по умолчанию устанавливают в пределах конкретного семейства, серии и размера. Граница может проходить внутри одной размерной серии, а изменение материала или способа изготовления не обязательно отражается в базовом обозначении одинаково во всех системах. При заказе замены нужно получить явное подтверждение конструкции, материала и ведения; внешний вид и отсутствие дополнительного кода для этого недостаточны. Отсутствие специального суффикса не следует трактовать как универсальное указание на материал или конструкцию.

Важно: Отсутствие отдельного обозначения сепаратора не доказывает единый материал для всего семейства. Стандартная конструкция может изменяться на границе серии или размера, оставаясь исполнением по умолчанию.

Штифтовые, ленточные и защёлкивающиеся конструкции допустимо использовать только как наименования подтверждённых специальных решений. Они не образуют универсальную шкалу от «простого» к «усиленному». Сегментные и разделительные элементы тем более относятся к конкретным высокотемпературным, перекрёстно-роликовым или иным специализированным системам.

Важно: Одинаковый материал сепаратора не означает одинаковую конструкцию или способ ведения. При замене отдельно проверяют все три признака, иначе могут измениться трение, подвод смазки, динамика и допустимая скорость.

В инженерной спецификации рекомендуется указывать конструкцию сепаратора, его материал, способ ведения и область применимости исполнения. При входном контроле целесообразно проверять соответствие указанному исполнению и состояние функциональных карманов и направляющих поверхностей в пределах требований конкретного изделия. Если сепаратор отличается при сохранённом базовом обозначении, расчётные и скоростные данные исходного исполнения не переносят без подтверждения.

10.3. Уплотнения и защитные шайбы

В этом подразделе рассматриваются только защитные шайбы и уплотнения, встроенные в подшипник. Они дополняют, но не всегда заменяют внешнюю защиту узла. Термин «закрытый» означает лишь наличие встроенного защитного элемента. Без указания его конструкции нельзя

понять, касается ли кромка ответной поверхности, насколько возрастает трение, от каких загрязнений обеспечивается защита, из какого материала выполнен элемент и допускается ли повторное смазывание.

Таблица 10-C — Классы встроенной защиты

Исполнение	Конструктивный принцип	Основной эффект	Ограничение вывода
Открытое	Встроенные защитные шайбы и уплотнения отсутствуют	Нет дополнительного трения от кромки; доступен прямой подвод смазки	Не сообщает ничего о внешних уплотнениях узла и заводском смазывании
Защитная шайба	Жёсткая шайба образует малый зазор с ответной деталью	Удерживает смазку и ограничивает попадание крупных загрязнений при малом добавочном трении	Не является эластомерным уплотнением и не гарантирует защиту от воды
Бесконтактное уплотнение	Эластомерный элемент образует узкий зазор или лабиринт	Усиливает защиту без постоянного контакта кромки	Не эквивалентно металлической шайбе; способность к защите зависит от геометрии
Уплотнение с малым трением или легкоконтактное уплотнение	Кромка работает с минимальным контактом либо близко к бесконтактному режиму	Компромисс между защитой и потерями на трение	Нельзя переносить характеристики любого другого бесконтактного или контактного исполнения
Контактное уплотнение	Рабочая кромка касается ответной поверхности	Улучшает удержание смазки и защиту от загрязнения	Повышает трение и нагрев; единого уровня момента и скорости нет
Многоступенчатое или многокромочное	Несколько кромок, лабиринтных ступеней либо отражатель	Повышенная защита в тяжёлой среде конкретного узла	Не является прямой заменой обычного однокромочного уплотнения

Выбор защитной шайбы или уплотнения увязывают со скоростью, температурой, типом загрязнения, направлением потока среды, допустимым моментом и возможностью пополнения смазки. Более плотная встроенная защита не всегда предпочтительна: дополнительное трение способно увеличить рабочую температуру и изменить смазочный режим. В линейных направляющих встроенные торцевые элементы не отменяют наружные кожухи при тяжёлом загрязнении.

Функции встроенного и внешнего уплотнения разделяют. При тяжёлом загрязнении необходимость дополнительной внешней защиты проверяют по условиям конкретного узла. Встроенное уплотнение не следует автоматически считать основным машинным уплотнением.

Важно: Слово «закрытый» не определяет, касается ли кромка ответной поверхности. Без уточнения класса нельзя назначать скорость, момент трения или тепловой режим.

Заводская смазка также не означает автоматически смазывание на весь расчётный срок. Внешне сходные закрытые исполнения могут быть необслуживаемыми, допускающими пополнение или требующими периодического обслуживания. Канал пополнения, интервал, совместимость смазок и условия среды проверяют для конкретного исполнения по разделу 9.

Материал уплотнения является отдельным признаком. Он может изменяться без изменения базового размерного семейства, поэтому по одним присоединительным размерам нельзя судить о температурной или химической стойкости. При монтаже необходимо учитывать требования конкретного закрытого исполнения и не повреждать защитную шайбу или рабочую кромку.

Важно: Встроенная защита не гарантирует смазывание на весь срок службы и не задаёт материал кромки. Обслуживание и совместимость со средой проверяют отдельно.

10.4. Материалы

Материал задают для конкретного компонента, а не для подшипника вообще. Кольца, тела качения, сепаратор, уплотнение и слой скольжения могут иметь разные материалы и разные ограничивающие механизмы. Название материала не заменяет проверку термообработки, покрытия, смазывания и фактической среды.

Таблица 10-D — Материальные системы компонентов

Компонент / система	Материал	Зачем применяется	Главное ограничение
Кольца и тела качения	Сталь сквозной закалки	Типовые контакты качения общего назначения	Коррозионная и температурная пригодность не следуют из базового названия стали
Кольцо с локально упрочнённой дорожкой	Сталь с местной закалкой	Сочетание рабочей дорожки с более вязкой остальной частью	Свойства зависят от глубины и зоны упрочнения конкретного изделия
Кольца	Цементированная сталь	Сочетание твёрдого слоя с более вязкой сердцевиной	Не является универсально лучшей заменой стали сквозной закалки
Кольца и тела качения	Карбонитрированная сталь	Повышение стойкости к износу или загрязнённому режиму в заданной серии	Эффект не переносится на всё семейство
Кольца и тела качения	Коррозионностойкая сталь	Работа во влажных, санитарных или специальных условиях	Не означает невосприимчивость к любой коррозионной среде
Кольца и тела качения	Специальная высокотемпературная сталь	Сохранение требуемых свойств в расширенном температурном режиме	Не отменяет ограничения сепаратора, смазки, уплотнения и покрытия
Гибридное исполнение	Стальные кольца и керамические тела качения	Снижение риска прохождения тока через контакт качения, меньшая масса тел качения и иная динамика	Зазор, преднатяг, сепаратор, защитная шайба и уплотнение задаются отдельно
Сепаратор	Сталь, нержавеющая сталь, латунь, бронза или иной подтверждённый металл	Механическая прочность и определённая динамика	Материал не определяет конструкцию, ведение или предельную скорость
Сепаратор	Полимер, полиэфирэфиркетон (PEEK), фенольный или текстильный материал	Снижение массы, специальные карманы и кинематика	Старение зависит от температуры, смазки, присадок и нагрузки

Компонент / система	Материал	Зачем применяется	Главное ограничение
Уплотнение	Эластомер установленного типа	Удержание смазки и защита от среды	Стойкость зависит от химической среды, температуры и контакта кромки
Шарнирная пара скольжения	Упрочнённая сталь по стали	Высокая нагрузка и рабочее угловое движение	Требуются предусмотренные смазывание и обслуживание
Слой скольжения	Бронзовый, полимерный, тканевый или иной композит	Специальная логика трения и обслуживания, включая несмазываемые ветви	Правила пары сталь–сталь не применяют; внешняя смазка может быть недопустима

При выборе коррозионностойкого исполнения учитывают фактическую рабочую среду, температуру, состояние поверхности и смазочный режим. Коррозионностойкое исполнение не означает стойкость к любой агрессивной среде. Защита колец не делает автоматически стойкими сепаратор, уплотнение и смазочный материал.

Гибридное исполнение означает комбинацию стальных колец и керамических тел качения в подтверждённой конструкции. Оно может менять электрическое поведение, инерцию, контактную жёсткость и тепловое расширение элементов, но не определяет автоматически контактный угол, сепаратор, уплотнение, внутренний зазор или преднатяг. Эти параметры проверяют отдельно по разделам 6–9.

Важно: Один материал в названии исполнения не описывает весь подшипник. Коррозионностойкие кольца не гарантируют стойкость сепаратора и уплотнения, а керамические тела качения не задают материал колец, зазор или преднатяг.

Для шарнирных подшипников принципиально различают обслуживаемую металлическую пару и композитный слой скольжения. Первая требует предусмотренного смазывания; для некоторых композитных систем внешняя смазка не нужна или способна ухудшить работу. Нельзя переносить маршрут обслуживания между этими ветвями только по совпадению присоединительных размеров.

При спецификации исполнения целесообразно задавать материалы покомпонентно и проверять их совместимость с температурой, средой, смазочным материалом и монтажным способом. Это не позволяет ошибочно распространить свойство одного материала на весь подшипник.

10.5. Термообработка и стабилизация

Термообработка формирует структуру и твёрдость материала, а размерная стабилизация ограничивает изменение размеров колец при длительном температурном воздействии в установленной области. Это характеристика материала и обработанных деталей, но не готовое разрешение на эксплуатацию всего подшипника при той же температуре.

Таблица 10-E — Роль термообработки и стабилизации

Изменение	Что обеспечивает	Чего не определяет	Что проверять
Сквозная закалка	Заданную структуру рабочего материала по сечению	Стойкость к коррозии и произвольной высокой температуре	Проверить материал, стабилизацию и среду отдельно
Поверхностное упрочнение	Специальное состояние дорожки при иной сердцевине	Универсальное повышение всех характеристик	Сохранить область конкретной конструкции и процесса

Изменение	Что обеспечивает	Чего не определяет	Что проверять
Цементация или карбонитрация	Модифицированный поверхностный слой и заданную сердцевину	Автоматическую взаимозаменяемость с другой системой обработки	Проверить расчётные данные и применимость серии
Размерная стабилизация колец	Ограничение необратимого изменения размеров колец в установленном режиме	Допустимую температуру сепаратора, уплотнения, смазки и покрытия	Найти самый ограничивающий компонент и проверить разделы 7–9
Специальное исполнение по умолчанию	Обработка может быть включена в стандартную комплектацию семейства	Наличие и класс обработки по одному отсутствию обозначения	Проверить актуальное описание конкретной серии и размера

При более высокой степени стабилизации могут изменяться твёрдость и расчётная несущая способность. Поэтому выбор не сводят к принципу «чем выше, тем лучше». Сначала задают фактическую температуру колец и длительность воздействия, затем проверяют расчётные данные, зазор, посадки, сепаратор, защитную шайбу или уплотнение и смазочный материал.

При выборе стабилизации учитывают фактическую ожидаемую температуру соответствующего кольца и длительность воздействия. После этого отдельно проверяют ограничения остальных компонентов, изменение твёрдости и расчётной способности, рабочий зазор и пригодность смазки.

Важно: Температурный класс размерной стабилизации колец не равен допустимой непрерывной температуре собранного подшипника. Классы разных систем обозначений не считают взаимозаменяемыми без прямого подтверждения.

Коды температурной стабилизации разных производителей не следует считать взаимозаменяемыми; конкретные обозначения см. раздел 2. В этой главе фиксируется только инженерный смысл: термообработка должна быть установлена для нужного компонента, а работоспособность определяет наиболее ограниченный элемент всей комплектации.

10.6. Покрытия

Покрытие описывают тремя обязательными признаками: тип, место нанесения и назначение. Одинаковое общее слово «покрытый» может означать трибологический слой на дорожке, защиту наружных поверхностей от коррозии, электрический барьер на посадочной поверхности или обработку для улучшения приработки. Эти решения не взаимозаменяемы.

Таблица 10-F — Назначение и расположение покрытий

Назначение	Где нанесено	Что меняется	Ограничение
Приработка и защита от задира	Кольца и тела качения в заданной серии	Условия приработки, риск задира и размазывания	Не является полной защитой от коррозии и не задаёт электрическую изоляцию
Снижение трения или износа	Дорожка, тело качения либо выбранная контактная поверхность	Трение и износ в конкретном контакте	Эффект нельзя переносить на все поверхности подшипника

Назначение	Где нанесено	Что меняется	Ограничение
Коррозионная защита	Наружные и открытые поверхности, фаски и радиусы	Стойкость поверхности в заданной среде	Не гарантирует защиту рабочих контактов, уплотнения и смазки
Рабочая пара скольжения	Сферическая или плоская ответная поверхность	Совместимость с композитным слоем и приработка	Не является электрозащитой и требует совместимого слоя
Электрическая изоляция наружного кольца	Наружный диаметр и боковые поверхности наружного кольца	Электрический путь через наружное кольцо	Повреждение слоя при монтаже снижает защитную функцию
Электрическая изоляция внутреннего кольца	Отверстие и боковые поверхности внутреннего кольца	Электрический путь через внутреннее кольцо	Не взаимозаменяема автоматически с покрытием наружного кольца
Фосфатирование в составе высокотемпературного исполнения	Поверхности, предусмотренные конкретным исполнением	Приработка, удержание специального смазочного материала и вспомогательная защита	Не является самостоятельной термообработкой колец и работает только как часть полного исполнения

Расположение покрытия определяет, какой контакт или путь оно изменяет. Для трибологического слоя важно, нанесён ли он на дорожку, тела качения или обе стороны контакта. Для коррозионной защиты — закрывает ли он только наружные поверхности либо также фаски и торцы. Для электрической изоляции — какое кольцо отделено от корпуса или вала и какие монтажные поверхности остаются уязвимыми.

Важно: Название покрытия без места нанесения и назначения недостаточно для замены. Чёрная оксидная обработка может поддерживать приработку и защиту от задиров, но не является полной коррозионной защитой.

Толщина слоя способна изменять эффективный размер посадочной поверхности и усилие монтажа. Если покрытие нанесено на отверстие или наружный диаметр, посадку и фактический размер проверяют по разделу 6. Повреждённое покрытие нельзя считать сохранившим исходную функцию только потому, что геометрический размер подшипника формально не изменился.

В спецификации покрытия указывают покрываемый компонент и функциональную зону: сходный внешний вид может относиться к разным процессам и назначениям. При обращении и монтаже следует предотвращать повреждение этой зоны. Способ контроля после монтажа определяют требования конкретного исполнения.

Покрытие решает конкретную задачу поверхности и не исправляет ошибку внутренней конструкции, зазора или смазывания. При замене задают функцию и место нанесения, затем проверяют совместимость с материалом, посадкой, средой и смазкой; совпадение общего названия не подтверждает эквивалентность.

10.7. Электроизоляция и гибридные исполнения

Для электрозащиты подшипникового узла применяют разные физические архитектуры. Покрытие одного из колец создаёт барьер на выбранном пути тока, тогда как гибридное исполнение разрывает проводящий путь в контакте качения за счёт керамических тел качения. Эти решения отличаются также монтажом, механическими свойствами и поведением на высокой частоте.

Таблица 10-G — Качественное сравнение электрозащитных решений

Решение	Где находится изоляция	Что меняется	Что остаётся отдельным параметром
Изоляция наружного кольца	Покрыты наружный диаметр и связанные боковые поверхности	Электрический путь между наружным кольцом и корпусом	Целостность покрытия, монтажный инструмент, посадку и фактические условия электрического воздействия
Изоляция внутреннего кольца	Покрыты отверстие и связанные боковые поверхности	Электрический путь между валом и внутренним кольцом	Защиту слоя при монтаже, посадку и отличие пути тока от наружного исполнения
Гибридное исполнение	Стальные кольца и керамические тела качения	Проводимость контакта, масса тел качения, жёсткость и тепловое поведение	Серию, внутреннюю геометрию, сепаратор, защитную шайбу или уплотнение, зазор, преднатяг и смазывание

Электрическое сопротивление, напряжение пробоя, импеданс и ёмкость описывают разные свойства и разные условия испытания. В этой главе не устанавливаются универсальные численные уровни: пригодность подтверждают для конкретного исполнения, электрической схемы машины, частотного состава воздействия, температуры, влажности, посадки и состояния покрытия.

> **Важно:** Покрытое и гибридное исполнения нельзя считать двумя названиями одного решения. У них различаются место разрыва тока, чувствительность к монтажным повреждениям и механические последствия; сопротивление, пробой, импеданс и ёмкость также не взаимозаменяемы.

Выбор между покрытием внутреннего кольца, покрытием наружного кольца и гибридным исполнением нельзя делать только по доступности размера. Необходимо определить ожидаемый путь тока и учитывать возможные другие токопроводящие пути узла. Подшипник является только одной частью электрической системы машины. Электроизоляционное или гибридное исполнение не отменяет расчёт нагрузки и ресурса по разделу 5 и не задаёт автоматически рабочий зазор или преднатяг по разделу 7.

При монтаже необходимо предотвращать повреждение изоляционного слоя; конкретный способ контроля определяется исполнением. Для гибридного исполнения отдельно проверяют соответствие внутренней геометрии, сепаратора и смазывания динамике керамических тел качения.

10.8. Высокотемпературные исполнения

Высокотемпературное исполнение рассматривают как согласованный пакет компонентов. Размерно стабильные кольца сами по себе не обеспечивают работу подшипника, если раньше достигают предела сепаратор, уплотнение, смазочный материал или покрытие. Одновременно температура меняет посадки, внутренний зазор, вязкость смазки, трение и расчётную несущую способность.

Таблица 10-H — Проверка высокотемпературной системы

Компонент	Что может изменяться	Почему это важно	Где искать количественные ограничения
Кольца и тела качения	Материал, термообработка, стабилизация и изменение твёрдости	Стабильный размер ошибочно принят за сохранение полной несущей способности	разделы 5 и 8
Внутренняя конструкция	Число рядов, борта, направляющие детали и тепловое смещение	Температурное расширение блокирует опору или меняет путь нагрузки	разделы 4, 6 и 7
Сепаратор	Конструкция, материал, ведение, старение и совместимость со смазкой	Сепаратор становится ограничивающим компонентом при пригодных кольцах	разделы 8 и 9
Защитная шайба или уплотнение	Тип контакта, материал кромки, тепловое расширение и трение	Перегрев кромки, потеря герметичности или ошибочный скоростной предел	разделы 8 и 9
Смазочный материал	Базовое масло, загуститель или твёрдая система, совместимость и способ подачи	Потеря плёнки, высыхание, окисление либо невозможность пополнения	раздел 9
Внутренний зазор или преднатяг	Исходное состояние, посадочное уменьшение и температурное изменение	Исчезновение рабочего зазора или выход преднатяга из допустимой области	раздел 7
Покрытие	Назначение, место, приработка и температурная стойкость	Покрытие принято за самостоятельное температурное решение	разделы 6 и 8; подраздел 10.6
Нагрузка, скорость и обслуживание	Реальный цикл, пуски, остановки, минимальная нагрузка и периодичность контроля	Высокотемпературное исполнение ошибочно принято за быстроходное или необслуживаемое	разделы 5, 8 и 9

Рабочую границу задаёт наиболее слабый элемент пакета. Для одной конструкции им может быть смазочный материал, для другой — уплотнение, сепаратор, снижение твёрдости колец или изменение рабочего зазора. Поэтому температурную пригодность подтверждают не одной надписью, а перечнем компонентов и условиями эксплуатации.

При переменном температурном режиме рекомендуется отдельно проверять определяющие состояния рабочего цикла, а не ориентироваться только на среднюю температуру.

Важно: Размерная стабилизация колец не превращает обычную комплектацию в высокотемпературную. Должны быть согласованы кольца, сепаратор, защитная шайба или уплотнение, смазка, зазор, покрытие, нагрузка, скорость и обслуживание.

Повышенная температура не задаёт единую предпочтительную группу внутреннего зазора. Требуемое исходное состояние зависит от посадок, разности температур колец, материала корпуса и вала, геометрии и нагрузки. Расчёт выполняют по разделу 7. Аналогично нельзя

вводить общий коэффициент снижения грузоподъёмности или универсальный скоростной предел для всех высокотемпературных исполнений: эти данные относятся к конкретной серии и проверяются по разделам 5 и 8.

Специальная паста, твёрдый смазочный элемент или сегментный сепаратор могут менять привычную логику обслуживания и заметно ограничивать скорость. Такое исполнение не следует оценивать по правилам обычного пластичного смазочного материала. Открытая и закрытая версии одного температурного семейства также могут иметь разные возможности пополнения смазки и разные требования к внешней защите.

При спецификации высокотемпературное исполнение фиксируют как согласованную конфигурацию компонентов и условий работы. В этой записи связывают материалы и термообработку колец, исполнение сепаратора, встроенную защиту, смазочный материал, исходный зазор или преднатяг, покрытие, рабочий цикл и обслуживание. Запись сохраняют при заказе и последующей замене, чтобы новое исполнение проверялось по тем же определяющим условиям конкретного узла. Изменение одного элемента может потребовать повторной проверки связанных ограничений; если состав не определён полностью, температурная пригодность всей опоры не подтверждена.

Надёжность подшипниковой опоры зависит не только от выбранного подшипника и посадки, но и от способа монтажа. До начала работы определяют, какое кольцо имеет натяг, каким методом оно будет установлено, через какую поверхность пойдёт монтажное усилие и каким измеряемым параметром будет подтверждено конечное положение. Под «путём усилия» понимается последовательность деталей от инструмента до кольца с натягом. Если сила проходит через шарики или ролики и дорожки качения, внутри подшипника могут возникнуть скрытые повреждения. При демонтаже действует тот же принцип: усилие снятия направляют к детали, удерживаемой натягом.

Рабочая последовательность монтажа и демонтажа:

ПОДГОТОВКА → ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСАДКИ КАЖДОГО КОЛЬЦА → ВЫБОР МЕТОДА → ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТИ УСИЛИЯ → КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ / ЗАЗОРА → ФИКСАЦИЯ → ПРОВЕРКА ПОСЛЕ МОНТАЖА → ДЕМОНТАЖ

Последовательность ниже задаёт логику решений. Нельзя выбирать пресс или температуру нагрева до определения посадки каждого кольца; нельзя завершать монтаж только потому, что деталь визуально заняла место. Окончание операции подтверждают предусмотренным параметром: прилеганием к заплечику, внутренним зазором, осевым продвижением, положением втулки или другим установленным критерием.

До начала работы фиксируют обозначение узла, посадки колец, выбранный инструмент, измеряемый конечный критерий и способ фиксации. Если усилие резко возрастает, появляется перекос, движение прекращается или измеряемое значение расходится с ожидаемым, монтаж останавливают и выясняют причину. Увеличивать усилие только для того, чтобы «додавить» неизвестное препятствие, нельзя.

Содержание

Раздел	Наименование	Стр.
11.1	Подготовка и контроль посадочных мест	2
11.2	Цилиндрические посадки	4
11.3	Нагрев	7
11.4	Конические отверстия и втулки	9
11.5	Контроль уменьшения зазора / осевого перемещения	10
11.6	Гидравлические методы	12
11.7	Контроль после монтажа	14
11.8	Демонтаж	14
11.9	Крупногабаритные и тяжёлые подшипники	17
11.10	Что нельзя делать	22

Таблица 11-А — Последовательность монтажной проверки

Этап	Что нужно определить	Если сделать неправильно	Что должно быть подтверждено
Подготовка	Чистота рабочего места; комплектность деталей; отсутствие повреждений; готовность инструмента и измерений	Загрязнение попадает в подшипник; детали смешиваются; монтаж прерывается после приложения усилия	Все детали идентифицированы и защищены; инструмент и средства контроля готовы
Посадки	Как посажено внутреннее кольцо на вал и наружное кольцо в корпус: натяг, переходная или свободная посадка	Усилие прикладывают не к тому кольцу или выбирают неподходящий способ монтажа	Для каждого кольца понятны посадочная поверхность и необходимость преодоления натяга
Метод монтажа	Нужен ли пресс/оправка, нагрев, монтаж на конус или гидравлический способ	Инструмент не соответствует конструкции, размеру или материалам подшипника	Выбран способ, допустимый для данного исполнения и условий узла
Путь усилия	От какой поверхности инструмента и через какие детали сила дойдёт до кольца с натягом	Сила проходит через шарики/ролики, дорожки, сепаратор или уплотнения	Кольцо с натягом нагружается непосредственно; рабочие контакты не являются силовым мостом
Контроль положения	Какой параметр покажет, что монтаж завершён: прилегание, зазор, осевое продвижение, расширение кольца и т. п.	Монтаж заканчивают «по усилию», «по давлению» или по внешнему виду без измеряемого критерия	До начала операции задан исходный и конечный контрольный параметр
Фиксация	Какая гайка, стопорная шайба, кольцо или крепёж удерживают достигнутое положение	Кольцо или втулка смещаются после снятия монтажного инструмента	Рабочая фиксация установлена и проверена до разгрузки инструмента
Статическая проверка	Прилегание к заплечику, отсутствие задевания, состояние уплотнений, смазки и крепежа	Скрытая ошибка остаётся до первого вращения	Узел допускается к контролируемому пробному пуску
Пробный пуск	Шум, вибрация, изменение температуры, утечки, работа системы смазывания	Повреждение развивается при неконтролируемом запуске	Начальный режим устойчив; признаки неправильного монтажа не выявлены

11.1. Подготовка и контроль посадочных мест

Рабочее место подготавливают до вскрытия упаковки подшипника. Подшипник, сопрягаемые детали, инструмент и средства измерения располагают так, чтобы исключить попадание абразивной пыли, металлической стружки, волокон ветоши и влаги. Комплектность проверяют заранее: кольца, втулки, гайки, стопорные шайбы, дистанционные и уплотнительные элементы, относящиеся к одному комплекту, не смешивают с деталями другого узла. Монтажная оправка, втулка или плита должны опираться на предусмотренную торцевую поверхность кольца и не касаться дорожек качения, тел качения, сепаратора или уплотнений.

Перед сборкой контролируют вал, отверстие корпуса и опорные торцы. На посадочных поверхностях не допускают заусенцев, забоин, коррозии и загрязнений, которые способны локально увеличить натяг, вызвать перекос или помешать кольцу полностью прилечь к заплечику. Проверяют размеры, форму и шероховатость посадочных мест; перпендикулярность и чистоту заплечиков; соответствие фасок радиусам колец; состояние резьб, канавок, масляных отверстий и каналов. Требуемые численные допуски берут из главы 6, чертежа узла и документации на конкретное исполнение. Свободная ручная примерка или, наоборот, ощущение тугой посадки не заменяют измерение.

Консервационное масло или защитное покрытие не удаляют автоматически. Для открытого подшипника решение об очистке зависит от состояния покрытия, совместимости с рабочей смазкой и требований производителя. Отдельно следует различать открытые и закрытые исполнения. Под закрытыми здесь понимаются подшипники со встроенными защитными шайбами или уплотнениями, например исполнения с двухсторонними уплотнениями типа 2RS или с двухсторонними защитными шайбами типа 2Z/ZZ; точное обозначение зависит от производителя. Такие подшипники часто поставляются уже заполненными пластичной смазкой на заводе. Их не вскрывают и не промывают как обычный открытый подшипник, если это прямо не предусмотрено документацией на конкретное исполнение.

Таблица 11-B — Подготовка перед монтажом

Объект	Что проверить	Почему это влияет на монтаж	Где брать численное требование
Рабочее место	Чистоту, освещение, защиту открытых деталей и порядок операций	Пыль, стружка и случайное смешение компонентов могут попасть в узел ещё до сборки	Технологическая инструкция предприятия
Вал	Диаметр, форму, шероховатость, чистоту, забоины и коррозию	Определяет фактический натяг внутреннего кольца, соосность и качество опоры	Глава 6 и чертёж узла
Корпус	Диаметр отверстия, форму, чистоту и состояние посадочной поверхности	Определяет посадку наружного кольца и может деформировать его при неправильной геометрии	Глава 6 и чертёж узла
Заплечики	Чистоту, перпендикулярность и отсутствие вмятин на опорном торце	Неполное прилегание создаёт перекос и неопределённое осевое положение кольца	Глава 6 и рабочая документация

Монтаж и демонтаж

11

Объект	Что проверить	Почему это влияет на монтаж	Где брать численное требование
Фаски и переходные радиусы	Соответствие геометрии заплечика фаске/радиусу кольца; отсутствие заусенцев	Слишком большой радиус или забоина не позволяют торцу кольца полностью опереться на заплечик	Чертёж детали и размеры присоединения подшипника
Резьбы	Профиль, чистоту витков, отсутствие задиров и свободный ход гайки	Повреждённая резьба искажает осевое усилие и затрудняет надёжную фиксацию	Чертёж и применимый стандарт резьбы
Масляные каналы	Проходимость, герметичность соединений и выход именно в нужную зону посадки	Перекрытый или неверно подключённый канал делает масляный впрыск неуправляемым	Чертёж узла и инструкция гидравлической системы
Втулки	Обозначение, состояние конуса, резьбы, шлицев и опорных торцов	Неподходящая или повреждённая втулка изменяет связь между осевым продвижением, натягом и зазором	Документация конкретного подшипника/узла
Гайки и стопорные элементы	Соответствие резьбе, состояние опорного торца и наличие фиксатора	Гайка может быть монтажным инструментом, рабочим фиксатором или выполнять обе функции — это нужно различать	Документация конкретного узла
Направляющие и опорные поверхности	Чистоту, прямолинейность, отсутствие ступенек и повреждений	Задают соосность движения и воспринимают реакцию монтажного инструмента	Чертёж и технологическая процедура

Важно: Состояние консервации. Если защитное покрытие чистое, не повреждено и совместимо с рабочим смазочным материалом, само его наличие не является причиной для обязательной промывки. Для подшипника с уплотнениями или защитными шайбами решение об очистке относится только к наружным доступным поверхностям; вскрывать уплотнение ради промывки внутренней полости нельзя без специального указания производителя.

Важно: Посадочное место является частью точности монтажа. Номинально правильный диаметр вала или корпуса ещё не означает, что посадочное место готово. Локальная забоина, овальность, конусность, загрязнение, неправильный радиус перехода или неперпендикулярный заплечик могут заставить кольцо сесть с перекосом, изменить фактический натяг или оставить зазор между торцом кольца и опорной поверхностью.

Подшипник извлекают из упаковки непосредственно перед установкой. Если работа прерывается, открытые детали закрывают от пыли и случайного контакта. К началу монтажа оператор должен однозначно знать: какое кольцо перемещается по посадке, какой торец будет воспринимать усилие, каким инструментом это усилие создаётся, какой параметр контролируется в процессе и что будет считаться завершением операции.

Сопрягаемые детали проверяют до пробной установки подшипника. Кольцо подшипника не используют как калибр для поиска заусенцев или проверки диаметра посадочного места. Острые кромки резьб, шпоночных пазов и переходных участков при необходимости закрывают монтажной втулкой или защитной оправкой, чтобы они не повредили отверстие кольца или уплотнение. Масляные каналы до подключения защищают от загрязнения и заранее убеждаются, что они действительно выходят в предусмотренную зону посадки. Инструмент, фиксаторы и измерительные средства готовят до нагрева или приложения значительного усилия, чтобы не менять метод в середине операции.

11.2. Цилиндрические посадки

При цилиндрической посадке сначала определяют, какое кольцо имеет натяг. Кольцо с натягом — это кольцо, которое должно быть насажено на вал или запрессовано в корпус с преодолением сопротивления посадки. Кольцо со свободной посадкой не требует такого усилия и не должно использоваться как промежуточная опора для запрессовки второго кольца. Общее правило простое: монтажное усилие прикладывают непосредственно к тому кольцу, которое в данный момент перемещается по посадке с натягом.

Пример. Если внутреннее кольцо должно быть напрессовано на вал, а наружное кольцо входит в корпус свободно, оправка должна давить на торец внутреннего кольца. Если вместо этого давить на наружное кольцо, сила пойдёт по цепочке «наружное кольцо → дорожка → шарики или ролики → дорожка внутреннего кольца → внутреннее кольцо». В этом случае тела качения фактически становятся элементами монтажного пресса, что может вызвать вмятины и повреждение дорожек. При натяге наружного кольца ситуация обратная: усилие подают на наружное кольцо. Если оба кольца должны одновременно входить в посадки с натягом, применяют приспособление, которое одновременно и напрямую опирается на оба кольца.

Таблица 11-C — Цилиндрическая посадка и путь усилия

Ситуация	Какое кольцо преодолевает натяг	Правильная опора инструмента	Что произойдёт при неправильной опоре
Внутреннее кольцо напрессовывается на вал; наружное входит в корпус свободно	Внутреннее кольцо	Оправка или втулка опирается только на торец внутреннего кольца	Если давить на наружное кольцо, сила пройдёт через тела качения и дорожки к внутреннему кольцу
Наружное кольцо запрессовывается в корпус; внутреннее имеет свободную посадку	Наружное кольцо	Оправка опирается на торец наружного кольца по максимально возможной площади	Если давить на внутреннее кольцо, монтажная нагрузка пройдёт через тела качения к наружному кольцу
Оба кольца одновременно устанавливаются с натягом	Оба кольца	Общее приспособление имеет отдельные параллельные опорные поверхности для внутреннего и наружного колец	При опоре только на одно кольцо второе будет перемещаться за счёт нагрузки через внутренние контакты подшипника

Ситуация	Какое кольцо преодолевает натяг	Правильная опора инструмента	Что произойдёт при неправильной опоре
Разъёмный подшипник	Только устанавливаемое в данный момент кольцо	Каждое кольцо монтируют отдельно на свою посадочную поверхность; затем соединяют компоненты соосно	Удар кромкой дорожки, загрязнение или перекос при соединении повреждают рабочие поверхности
Неразъёмный подшипник с натягом только одного кольца	Кольцо с натягом	Инструмент опирается непосредственно на кольцо с натягом	Свободно посаженное кольцо нельзя использовать как силовой мост
Тонкостенное наружное кольцо игольчатого подшипника	Тонкостенное наружное кольцо	Направляемая оправка поддерживает кольцо соосно и распределяет усилие по торцу	Локальный удар или перекос может необратимо изменить форму кольца после запрессовки

Важно: Свободно посаженное кольцо нельзя использовать как монтажную оправку. Фраза означает следующее: если, например, внутреннее кольцо имеет натяг на валу, а наружное кольцо сидит свободно, запрещено запрессовывать подшипник, нажимая на наружное кольцо. Наружное кольцо само почти не сопротивляется перемещению, поэтому приложенная к нему сила передастся через шарики или ролики на внутреннее кольцо. Правильно — опереть монтажную втулку непосредственно на торец внутреннего кольца. Для натяга наружного кольца правило зеркальное.

Важно: Если одновременно с натягом устанавливаются оба кольца, одного пути усилия недостаточно. Приспособление должно иметь две опорные поверхности: одна передаёт усилие на внутреннее кольцо, вторая — на наружное. Это позволяет каждому кольцу перемещаться по своей посадке без передачи значительной монтажной нагрузки через тела качения.

Разъёмный подшипник позволяет установить отдельные кольца и роликовый комплект поэтапно, но это не отменяет требований к чистоте и соосности. После раздельной установки детали совмещают без удара кромками дорожек и без принудительного исправления перекоса. Упорные подшипники собирают в правильной ориентации: кольцо, предназначенное для вала, и кольцо, предназначенное для корпуса, внешне могут быть похожи, но выполняют разные функции и не должны меняться местами без проверки конструкции.

В игольчатом подшипнике без внутреннего кольца роль внутренней дорожки выполняет непосредственно поверхность вала. Поэтому её твёрдость, геометрия, шероховатость и чистота являются частью подшипникового узла. Даже правильно запрессованное наружное кольцо не компенсирует дефект рабочей поверхности вала. Тонкостенное штампованное наружное кольцо запрессовывают направляемой оправкой, которая удерживает кольцо соосно и распределяет усилие по торцу; удар по одной стороне или перекос может деформировать кольцо после монтажа.

Для шарнирных подшипников скольжения, линейных втулок, перекрёстно-роликовых и поворотных опор общего правила «нажать на кольцо» недостаточно. У шарнирного подшипника нельзя использовать сферическую поверхность как силовую опору. У линейной втулки нельзя передавать запрессовочное усилие через шарики, ролики или элементы возвратного канала. Для перекрёстно-роликовых и поворотных опор критичны плоскостность и жёсткость баз, порядок затяжки крепежа и конструктивная последовательность монтажа. Поэтому общие правила этой главы применяются только до той точки, где начинается отдельная процедура конкретного семейства.

У вставных подшипников и корпусных узлов следует различать две операции: установку самого подшипника на вал и крепление корпуса к основанию. Стопорные винты, эксцентриковое стопорное кольцо или втулка фиксируют внутреннее кольцо на валу; болты корпуса фиксируют корпус на основании и не заменяют фиксацию внутреннего кольца. Опорные ролики и ролики с цапфой устанавливают через предусмотренные торцы, резьбы и опорные поверхности. В прецизионных и комбинированных опорах положение и затяжку определяют по отдельной процедуре, а не корректируют случайными локальными ударами после сборки.

При монтаже прессом плунжер, монтажная втулка и подшипник должны быть соосны. Торец втулки должен опираться на нужное кольцо по максимально возможной площади, не задевая соседнее кольцо, сепаратор и уплотнение. Резкий рост усилия при почти отсутствующем перемещении, внезапное падение усилия или заметный перекос являются поводом остановить пресс и проверить посадочный размер, фаски, заусенцы и положение оправки. После запрессовки проверяют полное прилегание кольца к заплечику и отсутствие следов повреждения опорного торца.

> **Важно:** Разъёмная конструкция облегчает монтаж, но не делает перекос допустимым. Если отдельное кольцо уже установлено, при соединении с роликовым комплектом и вторым кольцом нельзя «подтягивать» детали ударом или силой через кромку дорожки. Сначала обеспечивают соосность и чистоту, затем соединяют компоненты в предусмотренной последовательности.

Монтаж ведут плавно и контролируемо. Если кольцо движется рывками, один торец заметно опережает другой или усилие увеличивается без ожидаемого перемещения, процесс останавливают. Причиной могут быть перекос, неверный размер, заусенец, загрязнение или неправильная опорная поверхность инструмента. Продолжать запрессовку увеличением усилия до выяснения причины нельзя.

11.3. Нагрев

Нагрев применяют для временного увеличения размера кольца или всего подшипника, чтобы уменьшить усилие, необходимое для посадки с натягом. Однако температура и сам способ нагрева выбираются не «для подшипников вообще», а для конкретного исполнения. Нужно учитывать материал колец и сепаратора, наличие уплотнений или защитных шайб, тип заводской смазки и ограничения производителя. Поэтому одинаковый режим нагрева нельзя автоматически назначать открытому стальному подшипнику, подшипнику с двухсторонними уплотнениями типа 2RS, подшипнику с защитными шайбами 2Z/ZZ и высокоточному исполнению с полимерным сепаратором.

До нагрева определяют конечное положение подшипника и заранее готовят путь переноса к валу или корпусу. Нагретая деталь должна быть установлена без задержки, удара и перекоса. После посадки кольцо удерживают у заплечика до того момента, когда температурная разность уменьшится настолько, что кольцо больше не стремится отойти от торца. Нагрев облегчает посадку, но не исправляет неправильный диаметр, овальность, конусность, заусенцы или неперпендикулярный заплечик.

Таблица 11-D — Методы нагрева

Способ нагрева	Когда подходит	Что обязательно контролировать	Ограничения и пояснение
Индукционный нагрев	Для управляемого равномерного нагрева кольца или подшипника, если исполнение допускает нагрев	Фактическую температуру детали, равномерность цикла, правильную установку на нагревателе; размагничивание — если предусмотрено оборудованием	Температуру задают по конкретному подшипнику. Для исполнения с уплотнениями, полимерным сепаратором или заводской смазкой учитывают их температурные пределы
Нагревательный шкаф или контролируемая плита	Когда деталь можно прогреть равномерно без местного перегрева	Температуру воздуха/плиты и самой детали, чистоту опоры, время переноса к узлу	Деталь не должна лежать на перегретой точке; уплотнения и смазка могут ограничивать допустимый режим
Масляная ванна	Только если этот способ разрешён для данного подшипника и обеспечена чистота масла	Температуру масла и подшипника, отсутствие контакта детали с дном, чистоту после извлечения	Не применять автоматически к закрытым или заводски смазанным подшипникам: возможны загрязнение и воздействие на уплотнения/смазку
Нагревательное кольцо	Для предусмотренных операций с отдельными кольцами некоторых разъёмных роликовых подшипников	Полный контакт нагревательного кольца, температуру и готовность к быстрому монтажу/снятию	Специализированный инструмент; применимость подтверждают для конкретного типа и размера
Открытое пламя / газовая горелка	Не применять как способ контролируемого монтажа или горячего демонтажа	—	Создаёт локальный перегрев и не позволяет надёжно ограничить температуру стали, смазки, уплотнений и сепаратора

Важно: Что означает «закрытый» и «заправленный изготовителем» подшипник. Закрытым здесь называется исполнение со встроенными защитными шайбами или уплотнениями с одной или двух сторон; типичные примеры обозначений — 2RS, 2RSH, 2RS1, 2Z/ZZ и их аналоги у разных производителей. «Заправленный изготовителем» означает, что требуемая пластичная смазка уже внесена на заводе в установленном количестве. Для таких подшипников при нагреве необходимо учитывать не только стальные кольца, но и допустимую температуру уплотнения, сепаратора и самой смазки. Поэтому их нельзя автоматически нагревать по режиму, применяемому к открытому несмазанному подшипнику.

Важно: Нагревательное кольцо — специальный инструмент, а не универсальный нагреватель. Оно предназначено для определённых операций с отдельными кольцами, например для снятия внутренних колец некоторых разъёмных роликовых подшипников, а в отдельных системах может применяться и для монтажа. Возможность его использования определяется конструкцией подшипника и инструкцией к инструменту; одного совпадения диаметра недостаточно.

Для горячего монтажа предпочтителен способ, обеспечивающий равномерный и контролируемый нагрев. Индукционный нагреватель позволяет быстро нагревать кольцо или подшипник и, если это предусмотрено его конструкцией, выполнять размагничивание после цикла. Нагрев открытым пламенем газовой горелки не применяют: пламя создаёт локальный перегрев, который невозможно надёжно контролировать и который может повредить сталь, смазку, уплотнения или сепаратор.

До начала нагрева подготавливают монтажный инструмент, средства измерения температуры, перчатки и свободный путь переноса детали. Если после нагрева подшипник не доходит до заплечика с ожидаемым небольшим усилием, это рассматривают как признак проблемы посадки, а не как повод продолжать локально нагревать одну сторону. После установки проверяют полное торцевое прилегание и выполняют штатную фиксацию узла.

11.4. Конические отверстия и втулки

При конической посадке натяг создаётся не только диаметром деталей, но прежде всего осевым продвижением внутреннего кольца по конусу. По мере продвижения отверстие внутреннего кольца растягивается, натяг увеличивается, а радиальный внутренний зазор подшипника уменьшается. Поэтому «затянуть гайку сильнее» не является критерием правильного монтажа. Конец операции определяют по параметру, установленному для конкретного подшипника: уменьшению радиального зазора, величине осевого продвижения, расширению внутреннего кольца или другому предусмотренному методу.

Необходимо различать три монтажные схемы. 1) Подшипник с коническим отверстием непосредственно на конической шейке вала: кольцо перемещается по конусу вала. 2) Переходная втулка на цилиндрическом валу: втулка образует наружную коническую поверхность, а подшипник продвигается по этой поверхности и затем фиксируется гайкой и стопорным элементом. 3) Стяжная втулка: втулку осево втягивают или вдвигают между цилиндрическим валом и коническим отверстием подшипника, создавая натяг. Наличие резьбы и гайки во всех трёх случаях не означает, что направление движения и порядок фиксации одинаковы.

Таблица 11-E — Коническая посадка: конструкция и способ монтажа

Монтажная схема	Что именно перемещается	Чем подтверждают достаточный натяг	Как удерживают достигнутое положение
Коническая шейка вала	Внутреннее кольцо продвигается по конусу вала	Уменьшением внутреннего зазора, заданным осевым продвижением, расширением кольца или другим методом, указанным для подшипника	Штатной гайкой, шайбой, стопорным элементом или иной конструкцией узла
Переходная втулка на цилиндрическом валу	Подшипник продвигается по наружному конусу втулки; вал остаётся цилиндрическим	Методом, установленным для конкретного подшипника, размера и втулки; значение относится именно к этой комбинации	Гайкой и стопорным элементом втулки либо другим предусмотренным фиксатором

Монтажная схема	Что именно перемещается	Чем подтверждают достаточный натяг	Как удерживают достигнутое положение
Стяжная втулка	Втулка осево вводится между валом и коническим отверстием внутреннего кольца	Уменьшением зазора, заданным положением/перемещением втулки или другим предусмотренным параметром	Отдельной рабочей фиксацией после завершения втягивания/вдавливания втулки

Важно: Одинаковый вид осевого движения не означает одинаковый монтаж. На коническом валу движется кольцо относительно вала; на переходной втулке — подшипник относительно наружного конуса втулки; при стяжной втулке — сама втулка перемещается между валом и кольцом. Поэтому опорная поверхность инструмента, направление усилия и способ окончательной фиксации выбирают по конкретной схеме.

Важно: Конус и допустимое продвижение задаются конструкцией. Нельзя принимать «типовой» угол конуса, осевое перемещение или угол поворота гайки только по внешнему сходству деталей. Требуемая величина зависит от серии подшипника, размера, типа втулки, исходного внутреннего зазора и метода контроля.

Перед монтажом конической посадки проверяют чистоту и прилегание конусов, резьбу, опорные торцы, состояние втулки и возможность выполнить выбранное измерение. Загрязнение или неполный контакт меняют связь между осевым продвижением и фактическим натягом. Гидравлическая гайка может создавать осевое усилие, а масляный впрыск — уменьшать трение между поверхностями; ни один из этих методов сам по себе не определяет, что подшипник уже установлен на нужную глубину.

После достижения требуемого положения устанавливают штатную фиксацию. Если монтажная или гидравлическая гайка использовалась только как инструмент, перед её снятием необходимо убедиться, что кольцо или втулка удерживаются рабочим фиксирующим элементом и не смогут сместиться назад.

Исходную точку отсчёта на конусе устанавливают до измерения продвижения. Деталь должна быть без перекоса, предусмотренные поверхности должны находиться в устойчивом контакте, а индикатор или другое средство измерения — иметь неподвижную базу. Метод по углу поворота гайки применяют только тогда, когда документация связывает конкретный угол с конкретной резьбой, втулкой и размером подшипника. Старые монтажные метки после разборки нельзя считать достаточным подтверждением правильного положения при повторной сборке.

11.5. Контроль уменьшения зазора / осевого перемещения

При монтаже на конус необходимо различать три связанные, но разные величины:

УМЕНЬШЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ЗАЗОРА ≠ ОСЕВОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ≠ КОНЕЧНЫЙ РАБОЧИЙ ЗАЗОР

Уменьшение радиального внутреннего зазора показывает, насколько внутреннее кольцо растянулось и приблизилось к требуемому натягу. Осевое перемещение показывает, какое расстояние кольцо или втулка прошли по конусу от установленной исходной точки. Рабочий зазор после завершения сборки — это состояние подшипника в узле, на которое дополнительно влияют исходная группа зазора, посадки обоих колец и температура. Поэтому нельзя заменить одно измерение другим без прямого указания методики.

Расчёт и выбор исходного и рабочего внутреннего зазора приведены в главе 7. В этой главе рассматривается только использование зазора как монтажного контрольного параметра.

Метод контроля выбирают до начала осевого продвижения. Для некоторых средних и крупных самоустанавливающихся роликовых подшипников уменьшение радиального внутреннего зазора контролируют щупом в установленной методикой зоне. Для других конструкций используют осевое перемещение, угол поворота гайки, измерение расширения внутреннего кольца или специальное измерительное средство. Значение, полученное «в удобном месте», не считается эквивалентным предусмотренной точке измерения.

Таблица 11-F — Методы контроля при монтаже на конус

Метод контроля	Что фактически измеряется	Что результат означает	Что нельзя с ним путать
Уменьшение радиального внутреннего зазора щупом	Разность между исходным и текущим радиальным зазором в предусмотренной точке	Косвенно показывает расширение внутреннего кольца и рост натяга на конусе	Не равно осевому продвижению и не равно окончательному рабочему зазору в нагретом узле
Осевое продвижение	Расстояние, которое кольцо или втулка прошли по конусу от заданной исходной точки	Показывает геометрическое продвижение по конкретному конусу	Нельзя отсчитывать от случайного момента первого сопротивления и переносить величину на другую серию/втулку
Исходное положение + последующее продвижение	Сначала фиксируется воспроизводимая нулевая точка, затем измеряется дальнейший ход	Позволяет сравнивать фактический ход с установленным для данной процедуры	Субъективное ощущение затяжки не заменяет определённую методикой исходную точку
Угол поворота гайки	Угол после установленного начального положения	Через шаг резьбы задаёт осевое перемещение только для конкретной гайки и процедуры	Нельзя применять универсальный угол к другой резьбе, втулке или размеру
Расширение внутреннего кольца	Изменение диаметра/деформации внутреннего кольца специальным средством измерения	Непосредственно связано с созданным натягом в предусмотренной системе контроля	Не является автоматически рабочим зазором подшипника после температурной стабилизации
Специальный метод производителя	Положение, деформация или другой параметр, определённый системой контроля	Даёт результат только в рамках указанной конструкции и инструкции	Нельзя переносить на другое семейство или размер без подтверждения

Важно: Исходная точка является частью измерения. Если метод задаёт осевое продвижение, отсчёт должен начинаться от воспроизводимого исходного положения. «Первое ощущение сопротивления» рукой или ключом зависит от трения, резьбы и состояния поверхности и не является надёжной нулевой точкой, если методика не определяет её именно так.

Важно: Отсутствующее табличное значение не вычисляют простой интерполяцией. Если для данного размера, группы зазора или исполнения в таблице производителя нет целевого уменьшения зазора либо осевого продвижения, соседние значения нельзя автоматически усреднять. Следует использовать методику, предназначенную именно для этого размера и исполнения.

До начала монтажа фиксируют исходное измерение и целевое значение. Во время продвижения следят за плавностью движения и отсутствием перекоса. После достижения цели выполняют повторное измерение, устанавливают стопорный элемент и ещё раз убеждаются, что положение не изменилось после снятия монтажного инструмента. Если два разрешённых способа контроля дают несогласующийся результат, не выбирают «более удобное» значение; проверяют исходную точку, точку измерения, исходный зазор и применимость каждого метода.

Для измерения щупом используют чистые неповреждённые пластины и измеряют в той зоне, которая предусмотрена процедурой для данного семейства подшипников. Для индикаторного контроля обеспечивают жёсткую неподвижную базу. Доступ к точке измерения должен быть предусмотрен до начала монтажа; после создания значительного натяга менять точку измерения на случайную недопустимо.

11.6. Гидравлические методы

Гидравлическая гайка и масляный впрыск решают разные задачи. Гидравлическая гайка преобразует давление масла в управляемую осевую силу и перемещает кольцо или втулку. Масляный впрыск подаёт масло между сопряжёнными посадочными поверхностями, временно разделяет их масляной плёнкой и уменьшает трение. Эти способы можно применять совместно, но давление в системе является параметром работы инструмента, а не размером посадки и не доказательством правильного конечного положения подшипника.

Для гидравлической гайки необходимы подходящая резьба, надёжная опорная поверхность и достаточный ход поршня. Необходимо заранее проверить, что движение поршня действительно перемещает нужное кольцо или втулку в требуемом направлении. Для масляного впрыска нужны предусмотренные конструкцией каналы и распределительные канавки; самостоятельно сверлить отверстия или подавать масло в случайную полость нельзя. Рабочее давление выбирают по документации гидравлического оборудования и монтажной процедуре конкретного узла.

Таблица 11-G — Гидравлические методы

Гидравлический способ	Что делает физически	Что должно быть предусмотрено в узле	Чем подтверждают результат
Гидравлическая гайка	Создаёт осевую силу за счёт давления масла на поршень и перемещает кольцо или втулку	Подходящая резьба, жёсткая опорная поверхность, достаточный ход поршня и безопасное направление движения	Измерением положения: зазором, осевым продвижением, расширением кольца или другим заданным критерием; не давлением
Масляный впрыск	Подаёт масло между сопряжёнными поверхностями, снижая трение и облегчая относительное движение	Предусмотренные масляные каналы, распределительные канавки, герметичные соединения	Фактическим положением детали выбранным измерительным методом; давление лишь обеспечивает масляную плёнку

Гидравлический способ	Что делает физически	Что должно быть предусмотрено в узле	Чем подтверждают результат
Совмещённый способ	Гидравлическая гайка создаёт осевую силу, а масляный впрыск уменьшает трение	Согласованная схема резьбы, опоры, каналов и безопасного ограничения хода	Тем же конечным параметром посадки, что и без гидравлики; ход и давление контролируются дополнительно
Гидравлический демонтаж	Уменьшает трение или создаёт контролируемое усилие для разъединения посадки	Каналы или гидравлический инструмент и, при необходимости, механический ограничитель возможного рывка детали	Контролируемым освобождением посадки и сохранением поверхностей; манометр не определяет момент безопасного окончания сам по себе

Важно: Давление не является мерой натяга. Одно и то же гидравлическое давление при разных размерах, шероховатости, трении и состоянии посадочных поверхностей может вызвать разное осевое перемещение. Правильность монтажа подтверждают независимым параметром — например, осевым продвижением, уменьшением зазора или расширением внутреннего кольца, если такой метод предусмотрен.

Важно: При освобождении конической посадки деталь может резко переместиться. Особенно при демонтаже с масляным впрыском или гидравлическим инструментом следует заранее определить направление возможного движения и установить механический упор либо другое ограничение хода, если оно требуется процедурой. Упор предназначен не для создания дополнительного усилия, а для безопасного принятия детали после размыкания посадки.

После достижения требуемого положения монтажное гидравлическое усилие снимают только в той последовательности, которая не позволит кольцу или втулке сместиться обратно. Сначала обеспечивают штатную фиксацию либо другое предусмотренное удержание, затем разгружают инструмент. Порядок соединения и сброса давления, а также требования к шлангам, соединениям и насосу выполняют по инструкции применяемого гидравлического оборудования.

Перед любой гидравлической операцией определяют, какая деталь может начать двигаться, куда она будет перемещаться и чем ограничен её ход. Конечное положение подшипника контролируют отдельным измеряемым параметром, а не показанием манометра. Это правило относится и к монтажу, и к демонтажу.

11.7. Контроль после монтажа

Контроль после монтажа выполняют в два этапа. Сначала — статическая проверка без вращения: подтверждают полное прилегание колец к заплечикам, правильное положение втулок и стопорных элементов, затяжку крепежа, сохранность уплотнений, наличие требуемого смазочного материала и подключение системы смазывания. Если конструкция допускает ручное проворачивание, вал вращают медленно и проверяют отсутствие заедания, задевания и резких изменений сопротивления. Для подшипников с заданным преднатягом, крупных опор и узлов, которые нельзя безопасно проворачивать вручную, применяют процедуру конкретного оборудования.

Затем выполняют пробный пуск в контролируемом режиме. Начальный режим должен позволять быстро остановить машину при отклонении. Наблюдают шум, вибрацию, изменение температуры во времени, утечки, работу системы подачи смазочного материала и устойчивость

фиксации. Оценивают не только абсолютное значение температуры или вибрации, но и их изменение относительно исходного состояния. Единого времени пробного пуска, одной безопасной частоты вращения и одной предельной температуры для всех подшипников не существует.

Важно: Быстрый разгон ненагруженного подшипника не всегда является безопасной проверкой. Для некоторых конструкций при высокой скорости и недостаточной нагрузке тела качения могут проскальзывать. Поэтому режим пробного пуска выбирают с учётом типа подшипника, смазки и минимально необходимой нагрузки, а не по принципу «сразу раскрутить до максимальной скорости».

Важно: После горячей посадки положение может измениться при охлаждении. Если процедура конкретного узла это предусматривает, после выравнивания температуры повторно проверяют прилегание нагретого кольца к заплечику и состояние фиксаторов. Особенно важно убедиться, что кольцо не отошло от торца во время усадки.

Плавный первый оборот не является окончательным подтверждением качества монтажа. Повреждение дорожек от неправильного пути усилия может проявиться повышенным шумом или вибрацией только после запуска, а недостаточная фиксация — после нескольких циклов нагрузки. Поэтому исходные значения температуры, шума, вибрации и результаты статической проверки целесообразно записать, чтобы последующее изменение можно было отличить от нормального начального состояния.

Если до пуска обнаружено задевание, тугое неравномерное вращение или неполное прилегание кольца, нельзя использовать работу машины как способ «приработать» узел. Сначала проверяют посадочные базы, уплотнения, крепёж, внутренний зазор или преднатяг и отсутствие посторонних деталей. Для циркуляционной системы смазывания дополнительно подтверждают фактическую подачу и возврат масла: наличие масла в баке ещё не означает, что оно поступает к подшипнику.

11.8. Демонтаж

Перед демонтажем сначала решают, планируется ли повторное использование подшипника, втулки и сопрягаемых деталей. Если подшипник должен вернуться в работу, требования к пути усилия остаются такими же строгими, как при монтаже: усилие снятия не должно проходить через тела качения или рабочие поверхности скольжения. Захват и опорные поверхности выбирают так, чтобы нагрузка воспринималась тем кольцом, которое удерживается натягом. После снятия детали очищают, маркируют, осматривают и консервируют по применимой процедуре.

Пример. Если внутреннее кольцо плотно посажено на вал, а наружное кольцо может свободно перемещаться в корпусе, нельзя тянуть съёмником только за наружное кольцо, если подшипник предполагается использовать повторно. В таком случае сила снятия пойдёт от наружного кольца через тела качения к внутреннему кольцу и может повредить дорожки. Съёмник или пресс должен воздействовать на внутреннее кольцо либо на предусмотренную за ним опорную поверхность. При натяге наружного кольца правило выполняется наоборот.

Таблица 11-Н — Демонтаж: выбор метода

Ситуация при демонтаже	Рекомендуемый способ	К какой детали прикладывать усилие	Если деталь будет использоваться повторно
Внутреннее кольцо имеет натяг на валу	Съёмник, пресс или предусмотренное демонтажное приспособление	К внутреннему кольцу либо к специальной опорной поверхности непосредственно за ним	Не тянуть за наружное кольцо через тела качения; защитить вал и торец внутреннего кольца

Ситуация при демонтаже	Рекомендуемый способ	К какой детали прикладывать усилие	Если деталь будет использоваться повторно
Наружное кольцо имеет натяг в корпусе	Пресс, съёмник или предусмотренные выталкивающие элементы корпуса	К наружному кольцу равномерно по окружности	Не выталкивать наружное кольцо за внутреннее через тела качения; исключить перекос в корпусе
Разъёмная конструкция	Снимать компоненты по отдельности в порядке, предусмотренном конструкцией	К тому кольцу/компоненту, который удерживается своей посадкой	Маркировать согласованные части, защищать открытые дорожки и не смешивать комплекты
Неразъёмный подшипник; натяг только одного кольца	Соосный съёмник или пресс с доступом к кольцу с натягом	Непосредственно к кольцу с натягом	Свободное кольцо не использовать как силовой мост
Коническая посадка	Освободить фиксацию и управляемо снять натяг перемещением с конуса	К внутреннему кольцу, втулке, гайке или предусмотренной опоре согласно конструкции	Предусмотреть ограничитель возможного резкого движения после освобождения посадки
Переходная втулка	Освободить стопор и выполнить снятие по процедуре данной втулки	К гайке, внутреннему кольцу или предусмотренному демонтажному элементу	Не повреждать резьбу и конус; сохранить втулку и стопорные элементы как комплект, если они пригодны
Стяжная втулка	Вытянуть втулку штатной гайкой или специальным инструментом	К торцу или резьбе втулки через предусмотренное приспособление	Подшипник должен иметь опору; движение втулки после освобождения ограничивают
Горячее снятие отдельного кольца	Специальное нагревательное кольцо или другая разрешённая система нагрева	Тепловое расширение создают непосредственно в снимаемом кольце	Контролировать температуру; защищать дорожку, вал и соседние детали от перегрева

Ситуация при демонтаже	Рекомендуемый способ	К какой детали прикладывать усилие	Если деталь будет использоваться повторно
Гидравлическое снятие	Масляный впрыск, гидравлическая гайка или предусмотренная комбинация	К посадочным поверхностям и осевой опоре согласно конструкции узла	Заранее ограничить возможный ход детали; не использовать давление как единственный признак полного освобождения

Важно: Требование к сохранению детали зависит от дальнейшего использования. Метод, допустимый при снятии подшипника на утилизацию, может оставить вмятины, трещины или повреждение посадочной поверхности и поэтому быть непригодным, если подшипник, втулку или вал планируется использовать повторно.

Важно: Согласованные компоненты сохраняют как комплект. Разъёмные кольца, роликовые комплекты, сегменты, дистанционные и регулировочные элементы маркируют до разборки и хранят вместе. Внешне одинаковая деталь из другого комплекта может иметь отличия по фактическим размерам или подбору и не должна устанавливаться взамен без подтверждения взаимозаменяемости.

Возможность демонтажа желательно закладывать в конструкцию узла. Выемки для лап съёмника, резьбовые отверстия под выталкивающие винты, достаточный зазор для установки пресса, масляные каналы и специально предусмотренные опорные торцы позволяют снять подшипник без передачи силы через рабочие контакты. Размеры и расположение таких элементов определяются чертежом конкретного узла.

После снятия фиксируют состояние не только подшипника, но и вала, корпуса, заплечиков, втулок, гаек и уплотнений. Следы проворота, фреттинг-коррозии, задиры, забоины и остатки загрязнения необходимо учитывать при поиске первопричины до установки нового подшипника.

До начала демонтажа рекомендуется определить последовательность снятия, направление выхода детали, место приложения усилия и способ удержания после освобождения посадки. Если компоненты должны собираться повторно в том же сочетании, наносят безопасные сборочные метки на нефункциональные поверхности. Решение о повторном использовании подшипника принимают только после очистки и осмотра его состояния.

11.9. Крупногабаритные и тяжёлые подшипники

Для крупногабаритного подшипника одновременно контролируют два независимых пути нагрузки. Грузоподъёмная система воспринимает собственную массу детали и обеспечивает её положение в пространстве. Монтажный или демонтажный инструмент создаёт усилие, необходимое для преодоления посадки. Кран, таль или стропы не должны превращаться в пресс, съёмник или средство для рывкового освобождения натяга.

Важно: Грузоподъёмный механизм предназначен для удержания и позиционирования. Если подшипник не перемещается по посадке при допустимом монтажном методе, нельзя увеличивать натяжение стропа или выполнять рывок крюком. Причину сопротивления устанавливают отдельно: перекос, натяг, заусенец, загрязнение, неправильная опора инструмента или отсутствие требуемого нагрева/гидравлического воздействия.

До подъёма определяют массу подшипника или сборочной единицы, положение центра тяжести, требуемую ориентацию при установке, предусмотренные точки захвата, маршрут перемещения и место, куда деталь будет опущена. Грузоподъёмность крана, тали, траверсы,

стропов, скоб и других элементов принимают по их маркировке и применимой такелажной процедуре с учётом фактической схемы строповки. Значения углов ветвей и допустимых нагрузок не назначают по этой главе: их берут из паспорта оснастки и плана подъёма.

Таблица 11-I — Подготовка к подъёму и строповке

Что проверить	Требование	Почему это важно	Недопустимое действие
Масса и центр тяжести	Использовать данные чертежа, упаковки, ведомости или документации на узел	От них зависят выбор оснастки, устойчивость груза и положение крюка	Оценивать массу «на глаз» или считать центр отверстия центром тяжести без проверки
Точки захвата	Использовать предусмотренные конструкцией точки либо схему охвата, не повреждающую подшипник	Случайная точка может перегрузить кольцо, сепаратор или резьбу	Считать смазочное, технологическое или резьбовое отверстие подъёмной точкой без подтверждения
Стропы, захваты, траверса	Применять исправную маркированную оснастку, подходящую к массе и геометрии детали	Неподходящая оснастка может сдавить кольцо, соскользнуть или создать перекос	Использовать случайный канат, цепь или самодельный захват без подтверждённой грузоподъёмности
Контакт с подшипником	Опора должна приходиться на прочные поверхности колец или на специальное приспособление	Дорожки, тела качения, сепаратор и уплотнения не являются грузозахватными поверхностями	Проводить металлический строп по дорожке качения, сепаратору, уплотнению или телам качения
Положение после подъёма	Заранее подготовить чистую устойчивую опору и свободный маршрут	После снятия с крюка подшипник не должен опираться на уязвимые элементы или загрязняться	Удерживать груз в подвешенном состоянии из-за неподготовленного места установки

Что проверить	Требование	Почему это важно	Недопустимое действие
Нагретый или замасленный подшипник	Оснастку и маршрут готовить до нагрева; применять средства, допускающие температуру и состояние поверхности	После нагрева время на безопасную посадку ограничено, а замасленная поверхность легче выскальзывает из захвата	Перестроповывать нагретую деталь случайной оснасткой или переносить её вручную
Сборочная единица	Различать массу самого подшипника и массу подшипника с валом, втулкой, корпусом или другими деталями	Подъёмная точка подшипника может быть рассчитана только на сам подшипник	Поднимать всю сборку за рым-болты или отверстия, предназначенные только для подшипника

Крупногабаритный подшипник предпочтительно поднимать так, чтобы грузозахватное приспособление поддерживало его снизу или распределяло нагрузку по предусмотренным опорным зонам. Зачаливание всего подшипника за одну случайную точку не допускается: локальная нагрузка может вызвать перекос и остаточную деформацию колец. При необходимости применяют траверсу или специальный захват, который удерживает кольца без контакта с дорожками, сепаратором и уплотнениями.

Если на кольце предусмотрены резьбовые отверстия для рым-болтов, их используют только в соответствии с назначением конкретного исполнения. Рым-болт должен быть полностью установлен, а направление нагрузки должно соответствовать допустимой схеме для данной точки. Подъёмные отверстия в кольце не следует автоматически использовать для подъёма вала, корпуса, ступицы или другой сборочной единицы вместе с подшипником.

При установке на горизонтальный вал грузоподъёмный механизм должен принимать массу подшипника и удерживать отверстие соосно с посадочной поверхностью. Нельзя использовать кромку вала как опору для массы подшипника и затем «выправлять» перекос дополнительным осевым усилием. Когда начинается посадка с натягом, осевое перемещение создают предусмотренным методом: нагревом, прессом, гидравлической гайкой, масляным впрыском или их допустимой комбинацией. Кран при этом продолжает только поддерживать массу и положение детали.

Для крупных подшипников с коническим отверстием и для крупных переходных/стяжных втулок высокое требуемое монтажное усилие является одной из причин применения гидравлической гайки и гидравлического метода. Конечное положение контролируют тем же измеряемым параметром, который установлен для данного подшипника: уменьшением радиального внутреннего зазора, осевым продвижением, расширением кольца или другим предусмотренным критерием. Показание манометра и нагрузка на крюке не заменяют этот контроль.

При горячем монтаже такелажную схему, место установки, инструмент фиксации и измерительные средства подготавливают до начала нагрева. Подшипник после нагрева перемещают без задержки, но без рывка и перекоса. До полного прилегания к заплечику и стабилизации положения его масса должна оставаться управляемой; запрещено компенсировать недостаточный тепловой зазор подтягиванием краном.

При монтаже массивного корпуса на уже установленный на валу подшипник удобна управляемая многоточечная подвеска. Трёхточечная подвеска корпуса с возможностью регулирования длины одной ветви позволяет точнее совместить отверстие корпуса с наружным кольцом и уменьшить риск закусывания при опускании.

Таблица 11-J — Роль грузоподъёмного и монтажного инструмента

Операция	Что делает кран / таль	Чем создают усилие посадки или снятия	Критический контроль
Монтаж на цилиндрический вал; натяг внутреннего кольца	Поддерживает массу и соосность подшипника	Нагрев, пресс или иное предусмотренное приспособление воздействует на внутреннее кольцо	Кольцо движется без перекоса; монтажное усилие не проходит через тела качения
Монтаж подшипника с коническим отверстием	Удерживает подшипник в требуемом положении и разгружает его массу	Гайка, гидравлическая гайка, осевое перемещение по конусу; при предусмотренной конструкции — масляный впрыск	Уменьшение зазора, осевое продвижение или другой заданный параметр
Монтаж на стяжную или переходную втулку	Поддерживает подшипник и не допускает его перекоса относительно втулки/вала	Штатная гайка, гидравлическая гайка или система, предусмотренная конструкцией	Опора подшипника, направление перемещения втулки и окончательная фиксация
Монтаж массивного корпуса на подшипник	Удерживает корпус; позволяет регулировать его положение относительно наружного кольца	Посадка корпуса выполняется собственным весом при свободной посадке либо предусмотренным монтажным способом при натяге	Не передавать массу корпуса на кромку кольца; контролировать соосность
Демонтаж с конического посадочного места	Заранее принимает массу освобождаемого подшипника	Гидравлический съёмник, гидравлическая гайка и/или масляный впрыск по конструкции узла	До освобождения посадки установлен ограничитель возможного осевого хода
Повторное снятие внутреннего кольца цилиндрического роликоподшипника	Принимает массу кольца после ослабления посадки	Специальный индукционный нагреватель или другая разрешённая технологическая система	Нагревается снимаемое кольцо; вал и соседние детали защищены от перегрева

Перед демонтажем крупной детали её массу принимают краном, талью или предусмотренной опорой до того, как будет снята фиксация и освобождена посадка. Особенно это важно для конических соединений и втулок: после подачи масла между сопряжёнными поверхностями сопротивление может резко уменьшиться, и подшипник способен получить быстрое осевое перемещение. До нагнетания давления устанавливают механический стопор, гайку или другое предусмотренное ограничение хода и проверяют, что грузоподъёмное устройство действительно удержит деталь после размыкания посадки.

Для крупногабаритных подшипников механический ручной съёмник часто не обеспечивает требуемое усилие. В таких случаях применяют гидравлический съёмник, гидравлическую гайку, метод гидрораспора или их предусмотренную комбинацию. На стяжной втулке подшипник перед освобождением втулки должен иметь опору; на коническом валу направление возможного схода заранее ограничивают. Краном запрещено «срывать» посадку рывком.

При демонтаже наружного кольца из крупного корпуса или корпуса с уже установленного подшипника отдельно определяют, что именно поднимается грузоподъёмным устройством и какое кольцо удерживается натягом. Захват корпуса за предусмотренные корпусом точки не означает, что через подшипник можно передавать демонтажное усилие. Правило пути усилия из п. 11.8 сохраняется полностью.

Для металлургического оборудования этот порядок особенно важен при работе с подшипниками валков, крупными сферическими, цилиндрическими и многорядными роликовыми подшипниками. При повторяющемся демонтаже внутренних колец средних и крупных цилиндрических роликоподшипников может применяться специализированный стационарный индукционный нагреватель, если такая технология предусмотрена для конкретного узла. Разъёмные и согласованные компоненты перед снятием маркируют и сохраняют комплектом.

Для ВЭУ настоящие требования применимы к крупным подшипникам главного вала и редуктора, если они относятся к обычным подшипникам качения и технология узла не устанавливает иной порядок. Подшипники поворота лопастей и гондолы (ОПУ) требуют отдельной процедуры монтажа и демонтажа с учётом опорных поверхностей, болтовых соединений и собственной схемы строповки; их нельзя обслуживать только по общим правилам этого раздела.

Рабочая последовательность для тяжёлой детали: ПЛАН ПОДЪЁМА → ПОДХВАТ И СТАБИЛИЗАЦИЯ МАССЫ → СОЗДАНИЕ МОНТАЖНОГО/ДЕМОНТАЖНОГО УСИЛИЯ ПРЕДУСМОТРЕННЫМ МЕТОДОМ → КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ИЛИ ЗАЗОРА → ФИКСАЦИЯ / ОГРАНИЧЕНИЕ ХОДА → ПЕРЕНОС НА ПОДГОТОВЛЕННУЮ ОПОРУ.

> **Важно:** Для крупногабаритной детали правильный путь собственного веса так же важен, как правильный путь монтажного усилия. Строповка должна сохранять геометрию и устойчивость детали, а монтажное усилие должно приходить непосредственно к кольцу или элементу посадки, который требуется переместить. Эти две функции контролируют раздельно.

11.10. Что нельзя делать

Ниже приведены запреты в развёрнутой форме. Они относятся к типовым подшипникам качения и помогают избежать ситуаций, когда операция внешне выглядит выполненной, но внутри подшипника уже возникло повреждение. Для специального исполнения допускается только та процедура, которая прямо подтверждена документацией на это исполнение.

- Если кольцо устанавливается с натягом, не передавайте усилие через тела качения. При натяге внутреннего кольца давите на внутреннее кольцо; при натяге наружного — на наружное; при одновременном натяге обоих колец используйте приспособление, которое напрямую опирается на оба кольца.

- Не наносите прямые удары стальным молотком, зубилом или другим твёрдым инструментом по кольцам подшипника. Локальный удар может вызвать скол, вмятину или трещину, а удар через одно кольцо может передаться через тела качения на дорожку второго кольца.
- Не запрессовывайте кольцо с натягом, нажимая на второе кольцо, которое сидит свободно. Например, если внутреннее кольцо плотно садится на вал, а наружное кольцо свободно входит в корпус, нельзя давить на наружное кольцо: сила пройдёт через шарики или ролики и дорожки к внутреннему кольцу. Оправка должна опираться на внутреннее кольцо. При натяге наружного кольца правило действует наоборот.
- Не назначайте одну и ту же температуру нагрева для всех подшипников. Открытый стальной подшипник, подшипник с защитными шайбами, подшипник с контактными уплотнениями типа 2RS и подшипник, заполненный изготовителем пластичной смазкой, могут иметь разные температурные ограничения. Для закрытого и/или заводски смазанного исполнения необходимо учитывать допустимую температуру уплотнений, сепаратора и смазки, а также указания производителя конкретного подшипника.
- Не вскрывайте, не промывайте и не пересмазывайте подшипник с заводскими уплотнениями или защитными шайбами по правилам, предназначенным для открытого подшипника, если изготовитель не предусматривает такую операцию. Обозначения типа 2RS или 2Z/ZZ являются типичными примерами закрытых исполнений, но точный суффикс зависит от производителя.
- Не используйте газовую горелку или другое открытое пламя для монтажного нагрева. Такой нагрев локален и плохо контролируется. Применяйте способ, который позволяет измерять и равномерно ограничивать температуру детали; при индукционном нагреве выполняйте предусмотренное оборудованием размагничивание.
- Не определяйте правильность посадки на конус только «по ощущению» затяжки гайки, по усилию на ключе или по давлению в гидросистеме. Эти величины зависят от трения и состояния поверхностей. Используйте тот конечный критерий, который установлен для данного подшипника: уменьшение зазора, осевое продвижение, расширение кольца или другой предусмотренный параметр.
- Не принимайте показание манометра гидравлической гайки или системы масляного впрыска за размер посадки. Давление показывает режим работы гидравлического инструмента; конечное положение кольца или втулки подтверждается независимым измерением.
- Если подшипник должен использоваться повторно, не снимайте его за свободно посаженное кольцо, когда второе кольцо удерживается натягом. Иначе сила демонтажа пройдёт через тела качения и может повредить дорожки. Захват или опора должны воздействовать на кольцо с натягом либо на предусмотренную для него демонтажную поверхность.
- Не смешивайте после разборки согласованные кольца, роликовые комплекты, втулки, дистанционные и регулировочные элементы. Если детали были подобраны или работали как комплект, их маркируют и хранят вместе до решения о дальнейшем использовании.
- Не запускайте узел, пока не проверены полное прилегание колец, фиксация гаек и стопорных элементов, свобода вращения там, где ручная проверка допустима, состояние уплотнений и фактическая подача смазочного материала.
- Не вычисляйте отсутствующее монтажное значение простой интерполяцией между соседними строками таблицы, если методика производителя этого не разрешает. Осевое продвижение и допустимое уменьшение зазора зависят от размера, серии, исходной группы зазора, втулки и конкретной конструкции.
- Не используйте кран, таль, лебёдку или строп как средство рывком преодолеть посадочный натяг. Грузоподъёмное устройство удерживает массу; усилие посадки или снятия создаёт предусмотренный монтажный инструмент.

Монтаж и демонтаж

- Не поднимайте крупногабаритный подшипник за одну случайную точку и не проводите строп по дорожкам качения, телам качения, сепаратору или уплотнениям. Точки и поверхности захвата выбирают так, чтобы не деформировать и не повреждать рабочие элементы.
- Не поднимайте вал, корпус или другую сборочную единицу за рым-болты либо подъёмные отверстия самого подшипника, если документация не подтверждает такую нагрузку. Точка, предназначенная для массы подшипника, не становится автоматически точкой подъёма всего узла.
- Не освобождайте крупный подшипник с конической посадки, пока его масса не принята и не ограничено возможное осевое перемещение. При гидрораспоре или другом резком снижении трения деталь может сойти с посадки быстрее, чем ожидает оператор.

Важно: Наличие инструмента не доказывает, что метод подходит. Пресс, индукционный нагреватель, гидравлическая гайка или съёмник являются только средствами создания силы или температуры. Перед их применением необходимо определить, какое кольцо имеет натяг, какая поверхность может воспринимать усилие, какое движение должно произойти и чем будет подтвержден правильный результат.

Специальные конструкции требуют собственных правил. Вставные подшипники, корпусные узлы, опорные ролики, линейные системы, шарнирные подшипники, перекрёстно-роликовые и поворотные опоры могут иметь отдельную последовательность фиксации, регулировки и проверки. Общие положения этой главы применяются только там, где они не противоречат документации конкретного исполнения.

Монтаж считается завершённым не в момент, когда подшипник физически оказался на валу или в корпусе, а когда подтверждены правильный путь усилия, требуемое конечное положение, внутренний зазор или другой заданный параметр, штатная фиксация и результат контрольного пуска. Демонтаж начинается с обратной логики: сначала определяют, какая деталь удерживается натягом и будет ли она использоваться повторно, затем выбирают поверхность, через которую можно безопасно приложить усилие снятия.

12.1. Назначение главы и принцип дефектации OID

Глава предназначена для практической дефектации подшипников по наблюдаемым следам повреждения. Классификация построена по механизму и диагностическому рисунку, а не по конкретному типу подшипника. Поэтому для большинства повреждений достаточно одного характерного фото, а применимость к разным конструкциям указывается текстом.

Основная диагностическая цепочка OID: наблюдаемый симптом -> механизм повреждения -> вероятные причины -> подтверждающие проверки -> итоговое заключение.

Один и тот же внешний признак может возникать по разным причинам. Наличие выкрашивания, изменения цвета, трещины, повреждения сепаратора или питтинга само по себе не подтверждает производственную первопричину.

Главный принцип OID: Наблюдаемый след ≠ механизм повреждения ≠ первопричина.

12.2. Доказательность при рекламационной дефектации

Чтобы исключить преждевременное заключение, первопричина признаётся установленной только тогда, когда она согласуется с локализацией повреждения, следом нагрузки, состоянием смазки, посадок и сопряжённых деталей, а альтернативные причины проверены.

В заключении OID рекомендуется использовать три уровня: «наблюдается» - только визуально подтверждённый симптом; «вероятно» - механизм подтверждён совокупностью признаков; «подтверждено» - первопричина дополнительно подтверждена измерениями, данными эксплуатации или лабораторным анализом.

Если данных недостаточно, корректная формулировка: «первопричина не установлена; требуется дополнительная проверка». Для выводов о материале, термообработке или упрочнённом слое визуального осмотра недостаточно.

12.3. Карта повреждений OID

Коды D01-D38 используются как единый индекс главы. Наличие отдельного кода не означает, что механизм полностью независим от других: первичное повреждение часто порождает вторичные дефекты.

Код	Тип повреждения / диагностическая группа	Ключевой признак	Фотоатлас
D01	Классическая контактная усталость / выкрашивание	Локальное глубокое выкрашивание в нагруженной зоне	**FA04, FA06**
D02	Поверхностно-инициированная усталость / микровыкрашивание / peeling	Матовая или серая дорожка, мелкие ямки	**FA14**
D03	Чрезмерный преднатяг, малый рабочий зазор или чрезмерная нагрузка	Выкрашивание по всей рабочей ширине дорожки	**FA05**
D04	Несоосность / перекос колец / краевое нагружение	Диагональный след на дорожке	**FA04, FA06**
D05	Овальность, деформация посадки и неравномерная опора кольца	Две или несколько локальных зон контакта	**FA05, FA09**

Дефектация подшипников

12

Код	Тип повреждения / диагностическая группа	Ключевой признак	Фотоатлас
D06	Вторичное выкрашивание от локального дефекта	Выкрашивание начинается вокруг одиночной вмятины	**FA04**
D07	Абразивный износ	Матовая шероховатая дорожка	**FA01**
D08	Полировочный износ	Зеркальная дорожка при отсутствии явного задирования	**FA01**
D09	Адгезионный износ / размазывание / задиры	Размазанные блестящие участки дорожки	**FA03**
D10	Проскальзывание тел качения / размазывание при входе в нагруженную зону	Повторяющееся окружное размазывание	**FA03**
D11	Повреждение контакта «торец ролика - бурт / направляющая поверхность»	Дугообразные задиры на торце ролика	**FA03**
D12	Перегрев / схватывание / заклинивание	Сильное потемнение, размягчение и задиры	**FA03**
D13	Истинное бринеллирование / статическая пластическая деформация	Вмятины с шагом тел качения и чёткими краями	**FA04, FA12**
D14	Монтажные отметины, задиры и вмятины с шагом тел качения	Вмятины с шагом тел качения после монтажа	**FA07, FA12**
D15	Вмятины, царапины и канавки от загрязняющих частиц	Случайно распределённые вмятины, борозды или канавки	**FA01, FA04**
D16	Ложное бринеллирование / фреттинг в контакте дорожка-тело качения	Неглубокие следы с шагом роликов/шариков	**FA11**
D17	Влажностная и химическая коррозия	Красно-коричневая ржавчина	**FA02**
D18	Коррозионное травление при простое и последующее линейное выкрашивание	Ржавчина с шагом тел качения	**FA02**
D19	Фреттинг-коррозия посадочных поверхностей	Красно-коричневые пятна и порошок на посадке	**FA09, FA10**
D20	Ползучесть / проворот кольца	Зеркальное отверстие внутреннего кольца	**FA10**
D21	Электродуговые ожоги / эрозия от чрезмерного тока	Одиночные глубокие кратеры	**FA13**
D22	Электрическая эрозия от токов утечки / электрическое рифление	Равномерное рифление по дорожке	**FA13**
D23	Вынужденные трещины, сколы и разрушение от перегрузки/монтажа	Скол торца/бурта	**FA07, FA10**

Код	Тип повреждения / диагностическая группа	Ключевой признак	Фотоатлас
D24	Усталостные трещины и вторичный излом	Трещина выходит из зоны выкрашивания	**FA04, FA10**
D25	Термические трещины	Сетка трещин на торце ролика	**FA03**
D26	Износ сепаратора	Износ окон сепаратора	**FA08, FA15**
D27	Деформация / разрушение сепаратора	Смятый сепаратор	**FA08**
D28	Задиры и локальный износ карманов сепаратора от загрязнения	Глубокие царапины в окне сепаратора	**FA08**
D29	Изменение цвета - диагностический признак, а не самостоятельная причина	Синевато-фиолетовая дорожка плюс задиры	**FA03**
D30	Повреждение встроенного уплотнения / защитной шайбы	Блестящая окружная канавка	**FA18**
D31	Перегрузка подшипника / разрушение тел качения	Тяжёлое выкрашивание, трещины или сколы на нескольких телах качения	**FA05**
D32	Сферический роликоподшипник: один ряд перегружен осевой нагрузкой	Один ряд выкрашен по всей окружности	**FA05**
D33	Сферический роликоподшипник: трещина внутреннего кольца от чрезмерного продвижения по конусу	Осевая трещина внутреннего кольца после монтажа на конус	**FA10**
D34	Конический роликоподшипник: чрезмерный осевой зазор / недостаточная регулировка	Гребешковый неравномерный износ	**FA15**
D35	Краевое качение тел качения / канавки около торцов	Окружная канавка у торца ролика с гладкими краями	**FA17**
D36	Боковое задевание торцов колец	Окружные риски на торце кольца	**FA16**
D37	Вторичное касание сепаратора с дорожкой	Окружная канавка на краю дорожки плюс износ сепаратора	**FA08**
D38	Питтинг как отдельный наблюдаемый признак	Тусклая поверхность с мелкими точками	**FA14**

12.4. Фотоатлас характерных повреждений

Фотоатлас является расширяемой визуальной базой OID. Категории FA01-FA18 постоянны; внутри каждой категории допускается добавление новых диагностически значимых изображений.

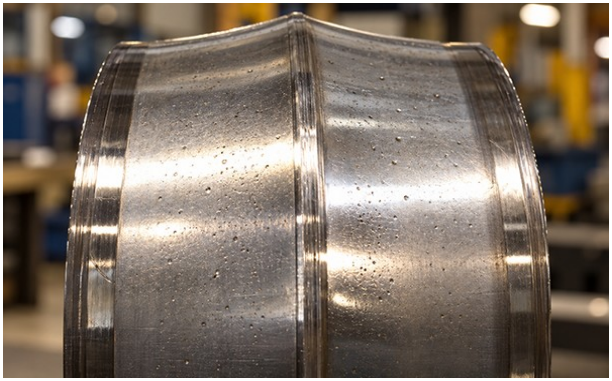
12.4.1. Категории фотоатласа

Код	Категория	Связанные D
FA01	Загрязнение и твёрдые частицы	D07, D08, D15
FA02	Коррозия и травление	D17, D18
FA03	Смазывание, скольжение и тепловые повреждения	D09, D10, D11, D12, D25, D29
FA04	Контактная усталость и выкрашивание	D01, D04, D06, D13, D15, D24
FA05	Перегрузка, преднатяг и малый рабочий зазор	D03, D05, D31, D32
FA06	Несоосность, перекос и краевое нагружение	D01, D04
FA07	Монтаж, демонтаж и обращение	D14, D23
FA08	Сепаратор	D26, D27, D28, D37
FA09	Неравномерная опора и деформация посадки	D05, D19
FA10	Посадки, ползучесть и фреттинг посадочных поверхностей	D19, D20, D23, D24, D33
FA11	Ложное бринеллирование и вибрационный износ	D16
FA12	Истинное бринеллирование и статическая деформация	D13, D14
FA13	Электрические повреждения	D21, D22
FA14	Поверхностная усталость, peeling и питтинг	D02, D38
FA15	Осевой зазор и регулировка	D26, D34
FA16	Боковое задевание торцов	D36
FA17	Краевая работа тел качения	D35
FA18	Уплотнения и дорожки уплотнений	D30

Финальная оговорка OID: При недостаточности доказательств заключение должно фиксировать тип повреждения и вероятные причины без преждевременного назначения производственной первопричины.

FA01. Загрязнение и твёрдые частицы | связанные коды: D07, D08, D15

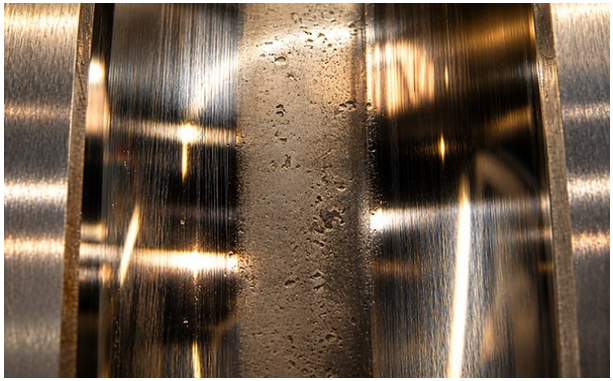
FA01-001 - Многочисленные мелкие вмятины от твёрдых частиц



На дорожке видны многочисленные мелкие вмятины после перекатывания твёрдых частиц. При развитии вокруг них могут возникать локальные концентраторы напряжений.

Связанные коды: D15

FA01-002 - Вмятины от перекатывания твёрдых частиц



Локальные вмятины различной формы на дорожке после перекатывания твёрдых частиц. Оценивают их размер, распределение и наличие вторичного выкрашивания.

Связанные коды: D15

12

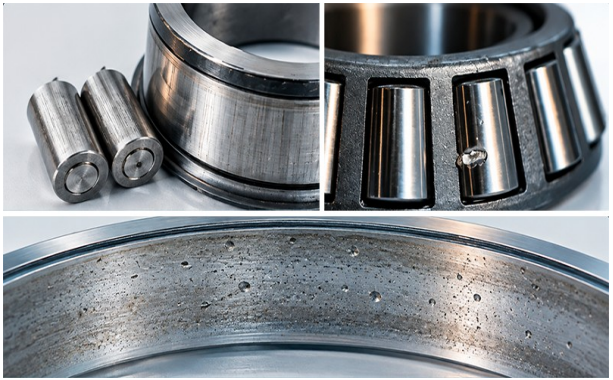
FA01-003 - Вмятины на дорожке внутреннего кольца



Деталь: внутреннее кольцо двухрядного конического роликоподшипника. Наблюдается: вмятины на дорожке качения и матовая поверхность следов вращения. Для данного примера: инородные частицы попали между телом качения и дорожкой.

Связанные коды: D15

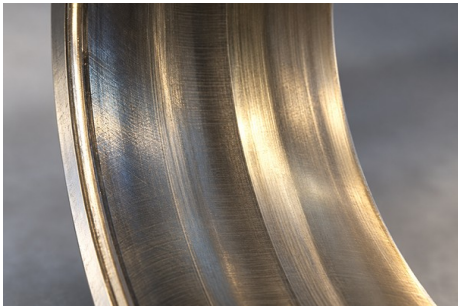
FA01-004 - Загрязнение и твёрдые частицы



Абразивный износ, вмятины и повреждения от твёрдых частиц.

Связанные коды: D15

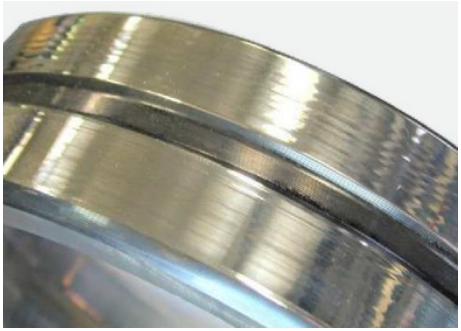
FA01-005 - Абразивный износ дорожки качения



Поверхность дорожки имеет матовый притёртый вид с продольными следами износа. Характерно постепенное снятие материала при загрязнении и недостаточной смазке.

Связанные коды: D07

FA01-006 - Полировочный износ



На поверхности образована гладкая зеркально отполированная зона. Такой след характерен для полировочного износа при микроскольжении, ползучести или недостаточном разделении поверхностей смазкой.

Связанные коды: D08

12

FA02. Коррозия и травление | связанные коды: D17, D18

FA02-001 - Язвенная ржавчина на роликах



Деталь: ролики сферического роликоподшипника. Наблюдается: язвенная ржавчина на поверхности качения. Для данного примера: конденсация влаги при хранении.

Связанные коды: D17

FA02-002 - Ржавчина на дорожке с шагом роликов



Деталь: внутреннее кольцо сферического роликоподшипника. Наблюдается: ржавчина на дорожке с шагом роликов. Для данного примера: попадание воды в смазочный материал.

Связанные коды: D17, D18

FA02-003 - Ржавчина на бурте и дорожке наружного кольца



Деталь: наружное кольцо цилиндрического роликоподшипника. Наблюдается: ржавчина на бурте и дорожке. Для данного примера: ухудшение смазывания вследствие попадания воды.

Связанные коды: D17

FA02-004 - Ржавчина на дорожке с шагом роликов



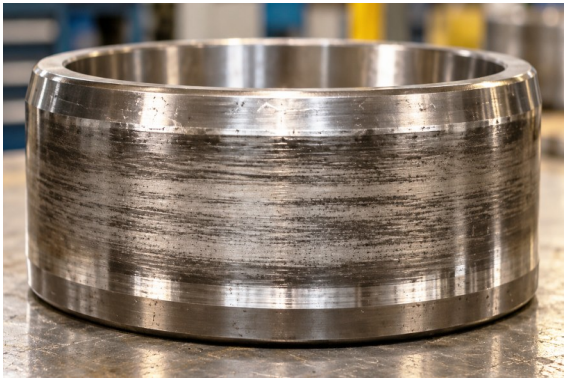
Деталь: наружное кольцо роликосферического подшипника. Наблюдается: местная (питтинговая) коррозия на беговой дорожке. Для данного примера: конденсация влаги при хранении или долгом простое оборудования.

Связанные коды: D17, D18

12

FA03. Смазывание, скольжение и тепловые повреждения | связанные коды: D09, D10, D11, D12, D25, D29

FA03-001 - Окружное размазывание дорожки



Деталь: внутреннее кольцо цилиндрического роликоподшипника. Наблюдается: окружное размазывание дорожки. Для данного примера: проскальзывание роликов из-за избыточного заполнения смазкой.

Связанные коды: D09, D10

FA03-006 - Окружное размазывание дорожки



Деталь: внутреннее кольцо ролико-сферического подшипника. Наблюдается: окружное размазывание дорожки. Для данного примера: проскальзывание роликов из-за недостаточной смазки.

Связанные коды: D09, D10

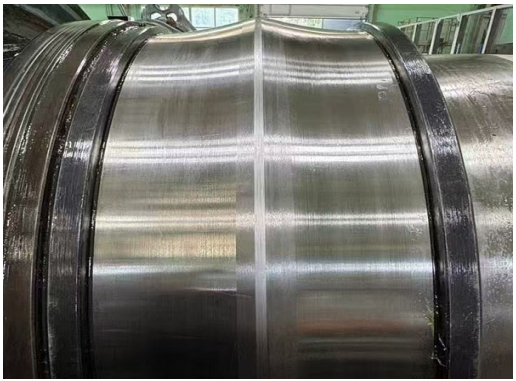
FA03-002 - Задиры на торце бурта внутреннего кольца



Деталь: внутреннее кольцо упорного конического роликоподшипника. Наблюдается: задиры на торце бурта. Для данного примера: частицы износа в смазке и разрушение масляной плёнки при чрезмерной нагрузке.

Связанные коды: D09, D11

FA03-007 – Сформировавшаяся стадия размазывания дорожки качения



Деталь: внутреннее кольцо ролико-сферического подшипника. Наблюдается: окружное размазывание дорожки. Для данного примера: проскальзывание роликов из-за нехватки смазочной плёнки и недостаточной нагрузки во время тестового пуска с целью приработки.

Связанные коды: D09, D10

FA03-003 - Оплавление и изменение цвета роликов



Деталь: выпуклые ролики. Наблюдается: изменение цвета и оплавление поверхности качения, налипание продуктов износа сепаратора. Для данного примера: недостаточное смазывание.

Связанные коды: D12

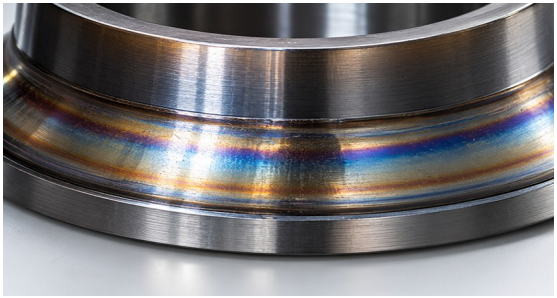
FA03-004 - Оплавление дорожки внутреннего кольца



Деталь: внутреннее кольцо сферического роликоподшипника. Наблюдается: дорожка потемнела и оплавилась; продукты износа сепаратора прикатаны к поверхности. Для данного примера: недостаточное смазывание.

Связанные коды: D12

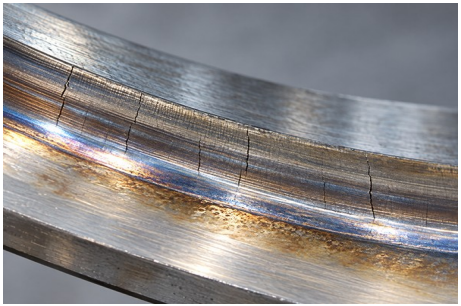
FA03-005 - Синевато-фиолетовое изменение цвета дорожки



Деталь: внутреннее кольцо радиально-упорного шарикоподшипника. Наблюдается: синевато-фиолетовое изменение цвета дорожки. Для данного примера: тепловыделение при неудовлетворительном смазывании.

Связанные коды: D29

FA03-006 - Термические трещины на кольце



На поверхности видны тонкие поперечные трещины, возникшие из-за локального перегрева. Типичный признак — серия коротких термических трещин в зоне контакта.

Связанные коды: D25

12

FA04. Контактная усталость и выкрашивание | связанные коды: D01, D04, D06, D13, D15, D24

FA04-001 - Выкрашивание с шагом шариков



Деталь: внутреннее кольцо радиально-упорного шарикоподшипника. Наблюдается: выкрашивание дорожки с шагом шариков. Для данного примера: вмятины после ударной нагрузки на неподвижный подшипник.

Связанные коды: D01, D06, D13

FA04-002 - Диагональное выкрашивание дорожки



Деталь: внутреннее кольцо радиально-упорного шарикоподшипника. Наблюдается: выкрашивание идёт по диагонали вдоль дорожки. Для данного примера: несоосность вала и корпуса при монтаже.

Связанные коды: D01, D04

FA04-003 - Развитый очаг усталостного выкрашивания



На дорожке виден развитый очаг усталостного разрушения с грубой поверхностью отделения материала в рабочей зоне.

Связанные коды: D01

FA04-004 - Выкрашивание после вмятин



Выкрашивание развивается от ранее образованных вмятин: участок разрушения начинается у дефекта поверхности и распространяется по направлению качения.

Связанные коды: D06, D15

12

FA05. Перегрузка, преднатяг и малый рабочий зазор | связанные коды: D03, D05, D31, D32

FA05-001 - Выкрашивание одной дорожки по всей окружности



Деталь: внутреннее кольцо сферического роликоподшипника. Наблюдается: выкрашивание только одной дорожки по всей окружности. Для данного примера: чрезмерная осевая нагрузка.

Связанные коды: D32

FA05-002 - Повреждение при чрезмерной осевой нагрузке



Широкая зона поверхностного повреждения дорожки при чрезмерной осевой нагрузке и недостаточной толщине смазочной плёнки.

Связанные коды: D03

FA05-003 - Две зоны выкрашивания при овальном зажатии наружного кольца



Деталь: наружное кольцо самоустанавливающегося шарикоподшипника. Наблюдаются две выраженные зоны выкрашивания примерно через 180°. Такая картина соответствует локальному повышению нагрузки при овальном зажатии кольца.

Связанные коды: D05

FA05-004 - Разрушение роликов при чрезмерной нагрузке



На нескольких роликах видны глубокое усталостное выкрашивание и разрушение рабочей поверхности. Повторяемость тяжёлого повреждения на нескольких телах качения характерна для перегрузочного режима. Окончательный вывод подтверждают по фактической нагрузке, следу нагрузки, рабочему зазору или преднатягу, температуре и состоянию смазывания.

Связанные коды: D31

12

FA06. Несоосность, перекос и краевое нагружение | связанные коды: D01, D04

FA06-001 - Развитое поверхностное повреждение дорожки при несоосности



Деталь: внутреннее кольцо цилиндрического роликоподшипника. Наблюдается развитое поверхностное разрушение рабочей зоны при смещённом контакте. При такой картине проверяют несоосность и достаточность смазочной плёнки.

Связанные коды: D04

FA06-002 - Две зоны нагрузки при чрезмерной несоосности



Две выраженные зоны нагружения, расположенные примерно напротив друг друга, характерны для чрезмерной несоосности и высоких локальных нагрузок.

Связанные коды: D04

FA06-003 - Одностороннее выкрашивание при краевом нагружении



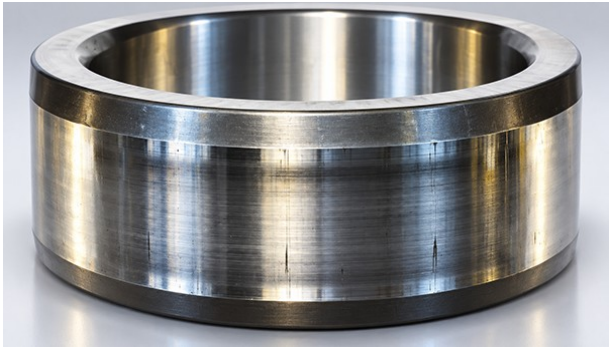
Выкрашивание развивается у края дорожки при перекосе и краевом нагружении, где локальные контактные напряжения максимальны.

Связанные коды: D04, D01

12

FA07. Монтаж, демонтаж и обращение | связанные коды: D14, D23

FA07-001 - Осевые царапины на дорожке внутреннего кольца



Деталь: внутреннее кольцо цилиндрического роликоподшипника. Наблюдается: осевые царапины на дорожке. Для данного примера: подобный деффект проявляется во время неправильного монтажа или демонтажа.

Связанные коды: D14

FA07-002 - Осевые царапины на роликах



Деталь: ролик сферический. Наблюдается: осевые царапины на поверхности качения. Для данного примера: относительного наклона внутреннего и наружного колец во время монтажа или демонтажа .

Связанные коды: D14

FA07-003 - Осевые царапины с шагом роликов



Деталь: наружное кольцо двухрядного цилиндрического роликоподшипника. Наблюдается: осевые царапины на дорожке с интервалом, равным шагу роликов. Для данного примера: наклон колец при монтаже или демонтаже.

Связанные коды: D14

12

FA08. Сепаратор | связанные коды: D26, D27, D28, D37

FA08-001 - Разрушение стоек окон литого сепаратора



Деталь: сепаратор радиально-упорного шарикоподшипника. Наблюдается: разрушение стоек окон литого латунного сепаратора. Для данного примера: аномальная нагрузка на сепаратор из-за несоосного монтажа колец.

Связанные коды: D27

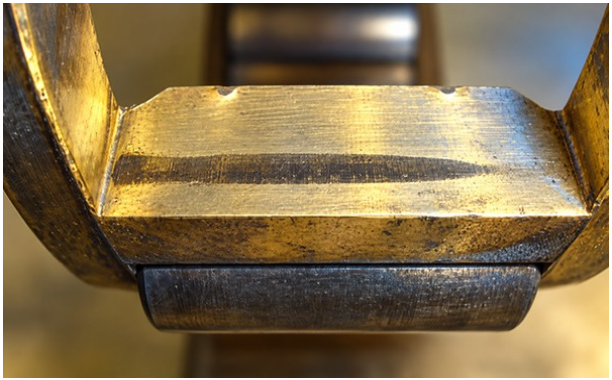
FA08-002 - Разрушение окна штампованного сепаратора



Деталь: сепаратор радиального шарикоподшипника. Наблюдается: разрушение окна штампованного стального сепаратора. По одному изображению первопричина не устанавливается; требуется сопоставление с условиями эксплуатации.

Связанные коды: D27

FA08-003 - Деформация и износ перемычек латунного сепаратора



Износ перемычек латунного сепаратора - естественный износ, возникающий при разрыве масляной пленки или при потере смазкой своих свойств.

Связанные коды: D26

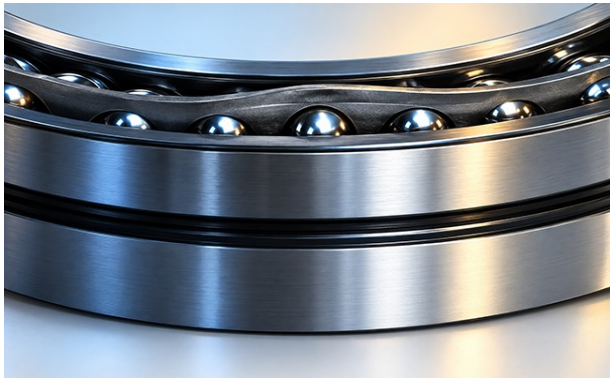
FA08-004 - Разрушение стоек сепаратора



Разрушение стоек штампованного сепаратора. При дефектации проверяют ударные нагрузки, вибрацию, перекос и условия монтажа.

Связанные коды: D27

FA08-005 - Деформация штампованного сепаратора



Деформация штампованного сепаратора после ударного воздействия или неправильного обращения. Такая деформация изменяет зазоры и ведение тел качения.

Связанные коды: D27

FA08-006 - Овализация латунного сепаратора



Деформирование латунного сепаратора с нарушением геометрических размеров от механических воздействий - ударов при монтаже/демонтаже или хранении.

Связанные коды: D27

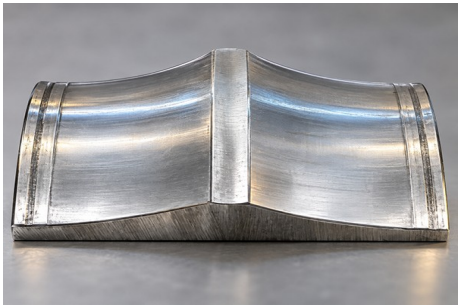
FA08-007 - Износ карманов сепаратора



Рабочие поверхности карманов заметно сточены и закруглены. Повреждение развивается при загрязнении, вибрации и недостаточном смазывании.

Связанные коды: D28

FA08-008 - Вторичное касание сепаратора с дорожкой



На кромках дорожки сформированы кольцевые канавки от контакта сепаратора с кольцом. Такой след указывает на увеличенный зазор и вторичное касание сепаратора с дорожкой.

Связанные коды: D37

12

FA09. Неравномерная опора и деформация посадки | связанные коды: D05, D19

FA09-001 - Неравномерная опора кольца



Локальные зоны фреттинга и контакта показывают неравномерную опору кольца на посадочном месте.

Связанные коды: D05

FA09-002 - Повторяющиеся зоны фреттинга



Повторяющиеся зоны фреттинга на посадочной поверхности отражают неравномерную опору и локальные микроперемещения.

Связанные коды: D05, D19

FA09-003 - Недостаточная опора наружного кольца



На наружном кольце видны следы недостаточной опоры на посадочном месте. Проверяют геометрию, жёсткость и чистоту корпуса.

Связанные коды: D05

FA09-004 - Фреттинг-коррозия на посадочной поверхности внешнего кольца шарикоподшипника



Это специфический вид износа, возникающий на посадочных поверхностях при недостаточной плотности посадки под действием вибраций или циклических нагрузок. Микроскопические смещения между сопрягаемыми поверхностями приводят к разрушению оксидных пленок и интенсивному окислению (ржавлению) обнажившегося металла. Продукты коррозии (абразивные частицы оксида железа) вызывают дальнейший износ.

Связанные коды: D05, D19

12

FA10. Посадки, ползучесть и фреттинг посадочных поверхностей | связанные коды: D19, D20, D23, D24, D33

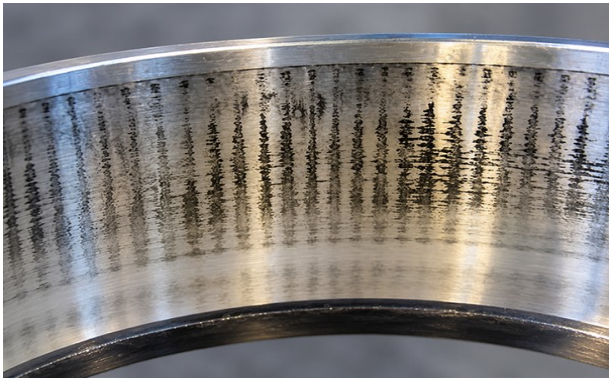
FA10-001 - Фреттинг посадочной поверхности



На посадочной поверхности внутреннего кольца видны бурые и тёмные зоны микроперемещений. Проверяют величину натяга и состояние посадочного места.

Связанные коды: D19

FA10-002 - Следы микроперемещений на посадке



Следы микроперемещений повторяют неровности и волнистость посадочного места. Проверяют геометрию и качество обработки поверхности.

Связанные коды: D19

FA10-003 - Ползучесть с задирами в отверстии внутреннего кольца



Деталь: внутреннее кольцо сферического роликоподшипника. Наблюдается: ползучесть с задирами в отверстии. Для данного примера: недостаточный натяг.

Связанные коды: D20

FA10-004 - Ползучесть наружного кольца по всей окружности



Деталь: наружное кольцо сферического роликоподшипника. Наблюдается: ползучесть по всей окружности наружной поверхности. Для данного примера: свободная посадка наружного кольца в корпусе.

Связанные коды: D20

12

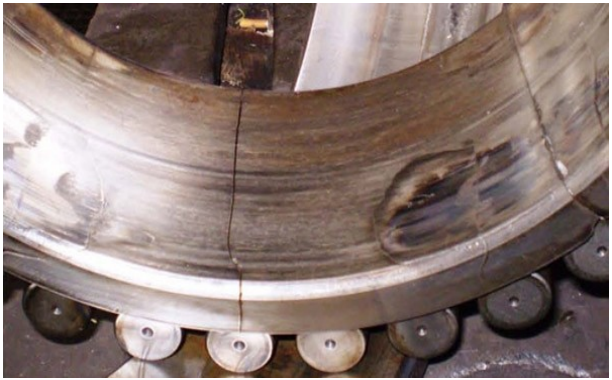
FA10-004-01 - Характерные следы износа и перегрева от проворачивания кольца подшипника



На посадочной поверхности появляются блестящие полированные участки, продольные риски, следы задиров и перегрева

Связанные коды: D20

FA10-005 - Разрушение внутреннего кольца при чрезмерном натяге



Трещина и разрушение внутреннего кольца при чрезмерном натяге на валу. Проверяют фактический диаметр вала, натяг и величину напрессовки.

Воздействие сильных динамических или ударных нагрузок, а также грубые ошибки при монтаже (удары молотком) приводят к хрупкому разрушению деталей подшипника.

Связанные коды: D23, D24

FA10-006 - Трещина внутреннего кольца после чрезмерного продвижения по конусу



Сквозная трещина внутреннего кольца возникла из-за чрезмерного осевого продвижения по конической посадке. Типичный механизм — слишком большое уменьшение зазора и высокий обручной растягивающий стресс.

Связанные коды: D33

12

FA11. Ложное бринеллирование и вибрационный износ | связанные коды: D16

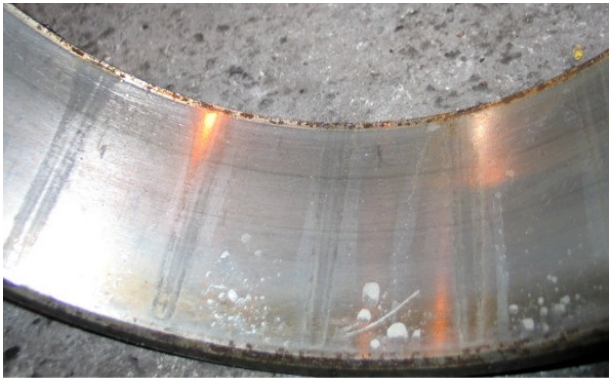
FA11-001 - Ложное бринеллирование на внутренней дорожке



Деталь: внутреннее кольцо радиального шарикоподшипника. Наблюдается: ложное бринеллирование на дорожке. Для данного примера: внешняя вибрация при неподвижном подшипнике.

Связанные коды: D16

FA11-002 - Следы ложного бринеллирования на внешнем кольце роликового подшипника



Возникает в неподвижных подшипниках, подверженных вибрации. Из-за микроперемещений тел качения смазка выдавливается из зоны контакта, происходит фреттинг-коррозия. Проявляется в виде вмятин или пятен износа с шагом тел качения, но без характерного для истинного бринеллирования «валика» выдавленного металла по краям.

Связанные коды: D16

FA11-003 - Ложное бринеллирование на роликах



Деталь: ролики цилиндрического роликоподшипника. Наблюдается: ложное бринеллирование на поверхности качения. Для данного примера: внешняя вибрация при неподвижном подшипнике.

Связанные коды: D16

12

FA12. Истинное бринеллирование и статическая деформация | связанные коды: D13, D14

FA12-001 - Вмятины с шагом шариков после монтажа



Остаточные вмятины с шагом шариков возникают, когда монтажное усилие передаётся через тела качения. Это характерный признак пластической деформации.

Связанные коды: D13, D14

FA12-002 - Истинное бринеллирование на дорожке качения упорного подшипника - следы от вдавливания шариков



Это пластическая деформация (вмятины) на дорожках качения, возникающая от статической перегрузки или удара при монтаже. Вмятины расположены с шагом, равным шагу тел качения

Связанные коды: D13

FA13. Электрические повреждения | связанные коды: D21, D22

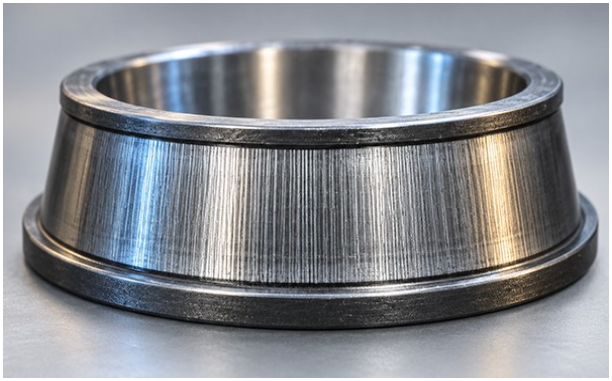
FA13-001 - Полосчатая электрическая эрозия роликов



Деталь: конические ролики. Наблюдается: полосчатый рисунок электрической эрозии на поверхности качения.

Связанные коды: D22

FA13-002 - Полосчатая электрическая эрозия дорожки

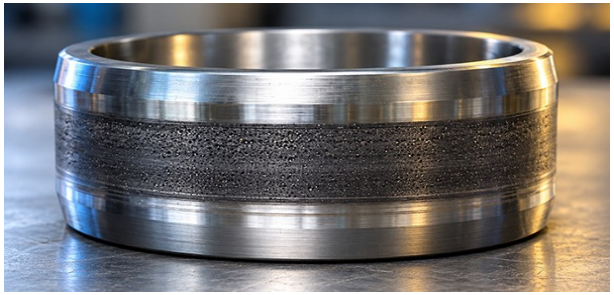


Деталь: внутреннее кольцо конического роликоподшипника. Наблюдается: полосчатый рисунок электрической эрозии на дорожке.

Связанные коды: D22

12

FA13-003 - Пояс электрической эрозии с питтингом



Деталь: внутреннее кольцо цилиндрического роликоподшипника. Наблюдается: пояс электрической эрозии, сопровождаемый мелкими ямками на дорожке.

Связанные коды: D22

FA13-004 - Тёмная электрическая эрозия поверхности шариков



Деталь: шарики радиального шарикоподшипника. Наблюдается: электрическая эрозия тёмного цвета по всей поверхности шариков.

Связанные коды: D22

FA13-005 - Электродуговые кратеры



На поверхности расположена цепочка мелких кратеров от прохождения электрического разряда через контакт. Для дефекта характерны отдельные оплавленные точки и цепочечное расположение следов.

Связанные коды: D21

12

FA14. Поверхностная усталость, peeling и питтинг | связанные коды: D02, D38

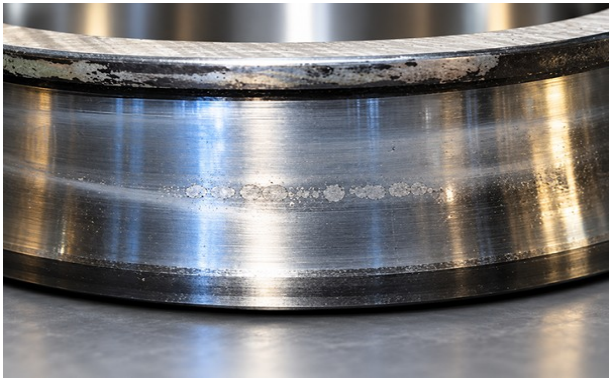
FA14-001 - Круговое peeling на роликах



Деталь: выпуклые ролики. Наблюдается: округлые зоны peeling в центре поверхностей качения. Для данного примера: неудовлетворительное смазывание.

Связанные коды: D02

FA14-002 - Круговое peeling в центре дорожки



Деталь: внутреннее кольцо сферического роликоподшипника. Наблюдается: округлые зоны peeling в центре дорожки. Для данного примера: неудовлетворительное смазывание.

Связанные коды: D02

FA14-003 - Peeling у плеча по всей окружности



Деталь: наружное кольцо сферического роликоподшипника. Наблюдается: peeling возле плеча дорожки по всей окружности. Для данного примера: неудовлетворительное смазывание.

Связанные коды: D02

FA14-004 - Питтинг на поверхности шарика



Деталь: шарик, связанный с примером 9.1. Наблюдается: питтинг на поверхности тела качения. По одному изображению первопричина не устанавливается; требуется сопоставление с условиями эксплуатации.

Связанные коды: D38

12

FA15. Осевой зазор и регулировка | связанные коды: D26, D34

FA15-001 - Диагональный износ окон сепаратора



Диагонально противоположные зоны износа в окнах роликового сепаратора. Проверяют перекос роликов, соосность и правильность регулировки зазора.

Связанные коды: D34, D26

FA16. Боковое задевание торцов | связанные коды: D36

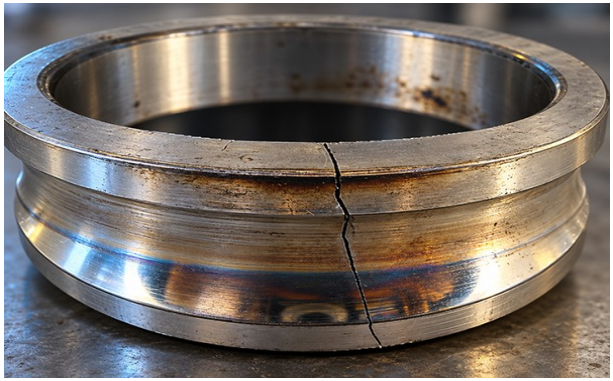
FA16-001 - Термические трещины в зоне бокового контакта



Термические трещины и следы бокового контакта в зоне плеча кольца и сепаратора. Картина связана с интенсивным трением и локальным перегревом.

Связанные коды: D36

FA16-002 - Разрушение кольца от бокового трения



Разрушение кольца после чрезмерного трения о неподвижную соседнюю деталь. Видны признаки нагрева и термического растрескивания.

Связанные коды: D36

FA17. Краевая работа тел качения | связанные коды: D35

FA17-001 - Краевая работа при меняющейся нагрузке



На шарике видны множественные выемки с пластически округлёнными краями, формирующиеся при длительно меняющейся нагрузке у края контакта.

Связанные коды: D35

FA18. Уплотнения и дорожки уплотнений | связанные коды: D30

FA18-001 - Трещины и износ рабочей кромки уплотнения



На рабочей кромке видны выраженный износ и многочисленные поперечные трещины. При дефектации проверяют перегрев, загрязнение зоны уплотнения, чрезмерный натяг и наличие смазки на кромке.

Связанные коды: D30

12.5. Карточки повреждений

12.5.1. Усталость, нагрузка и геометрия

D01. Классическая контактная усталость / выкрашивание

Тип повреждения	Подповерхностно инициированная контактная усталость с последующим отслаиванием материала.
Характер повреждения	В зоне контакта качения накапливаются циклические напряжения. Трещины развиваются под поверхностью и выходят на дорожку или тело качения; материал отслаивается, остаётся грубая раковина, а площадь разрушения постепенно увеличивается.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• достижение фактического усталостного ресурса • нагрузка выше расчётной или длительная работа при повышенной нагрузке • локальная перегрузка из-за перекоса, деформации или неравномерной опоры • неподходящий рабочий зазор или преднатяг, увеличивающий внутреннюю нагрузку • вторичное развитие после ослабления поверхности другим повреждением	• проверять соответствие типоразмера фактической нагрузке и требуемому ресурсу • контролировать рабочий зазор, преднатяг и температурное изменение зазора • обеспечивать соосность и достаточную жёсткость вала и корпуса • контролировать форму, размеры и опору посадочных поверхностей • не допускать ударных и локальных перегрузок

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Локальное глубокое выкрашивание в нагруженной зоне	Контактная усталость после накопления циклов	Наработку, расчётную и фактическую нагрузку, положение зоны нагрузки
Выкрашивание только у одного края дорожки	Краевое нагружение / несоосность	След качения, прогиб вала, соосность посадок
Две зоны повреждения примерно через 180°	Овальность или деформация посадки	Круглость корпуса/вала, равномерность опоры

Применимость: Шариковые и роликовые подшипники всех основных исполнений.
Подтверждающая проверка OID: Заключение о нормальной усталости допустимо только после исключения перегрузки, перекоса, малого зазора, загрязнения, коррозии, электрических и монтажных повреждений.
Фотоатлас: FA04 — Контактная усталость и выкрашивание; FA06 — Несоосность, перекос и краевое нагружение.

D02. Поверхностно-инициированная усталость / микровыкрашивание / peeling

Тип повреждения	Поверхностная усталость, микропиттинг и мелкое шелушение поверхности.
Характер повреждения	Повреждение начинается непосредственно на поверхности при недостаточном разделении контактирующих деталей смазочной плёнкой. Возникают матовые или серые зоны, микротрещины и множество мелких отслоений; при развитии процесс переходит в крупное выкрашивание.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• недостаточная толщина смазочной плёнки • слишком низкая рабочая вязкость или неподходящий смазочный материал • высокая нагрузка, низкая скорость или повышенная температура • повышенное скольжение • загрязнение и локальные вмятины, повышающие поверхностные напряжения • неблагоприятная шероховатость контактирующих поверхностей	• подбирать вязкость и способ смазывания по реальной температуре, скорости и нагрузке • обеспечивать достаточную подачу смазочного материала • поддерживать чистоту смазки и работоспособность уплотнений • уменьшать скольжение, перекос и локальные перегрузки • контролировать качество контактных поверхностей

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Матовая или серая дорожка, мелкие ямки	Тонкая смазочная плёнка / смешанный режим смазывания	Вязкость при рабочей температуре, количество смазки, скорость
Мелкое шелушение вокруг вмятин	Локальная концентрация напряжений от загрязнения	Чистоту смазки, фильтрацию, уплотнения
Поверхностное повреждение усиливается у края дорожки	Недостаточная плёнка плюс перекос	След нагрузки и соосность

Применимость: Все типы; особенно диагностически заметно на дорожках и роликах.
Подтверждающая проверка OID: Не объединять автоматически с классической подповерхностной усталостью: ранние поверхностные признаки и состояние смазки имеют решающее значение.
Фотоатлас: FA14 — Поверхностная усталость, peeling и питтинг.

D03. Чрезмерный преднатяг, малый рабочий зазор или чрезмерная нагрузка

Тип повреждения	Повреждение от чрезмерной внутренней или внешней нагрузки.
Характер повреждения	Увеличивается ширина и интенсивность зоны контакта, растут трение и температура. Возникают ускоренный износ и выкрашивание; в тяжёлой стадии масляная плёнка разрушается и возможно схватывание.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• слишком малый исходный внутренний зазор • чрезмерный натяг посадки • неправильная регулировка пары или чрезмерный осевой преднатяг • тепловое уменьшение рабочего зазора • внешняя нагрузка выше расчётной	• задавать зазор и преднатяг по фактическому режиму работы • контролировать размеры посадок и остаточный зазор после монтажа • учитывать температурное расширение вала, корпуса и колец • контролировать регулировку парных и конических узлов • исключать рабочие перегрузки и ударные нагрузки

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Выкрашивание по всей рабочей ширине дорожки	Чрезмерная нагрузка / преднатяг	Нагрузку, температуру, регулировку, рабочий зазор
Окружной интенсивный след на обоих кольцах	Недостаточный рабочий зазор	Посадки, температурную разницу, исходный зазор
Рост температуры с последующим задиром	Перегрузка и разрушение смазочной плёнки	Температуру, момент вращения, смазывание

Применимость: Все типы; особенно важно для регулируемых и устанавливаемых с натягом узлов.

12

Подтверждающая проверка OID: Разделять внешнюю перегрузку и внутреннюю перегрузку от монтажа/зазора: внешний вид может быть сходным, но корректирующие меры различны.
Фотоатлас: FA05 — Перегрузка, преднатяг и малый рабочий зазор.

D04. Несоосность / перекос колец / краевое нагружение

Тип повреждения	Нарушение распределения нагрузки из-за взаимного наклона колец или прогиба сопряжённых деталей.
Характер повреждения	След контакта смещается к одному краю или располагается диагонально. На роликовых подшипниках нагрузка концентрируется у торца ролика; при продолжительной работе развивается краевое выкрашивание, задиры и трещины.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• несоосность посадок вала и корпуса • прогиб вала • перекос или деформация корпуса • неперпендикулярные заплечики и опорные торцы • недостаточная жёсткость узла • ошибка монтажа или чрезмерный зазор при моментной нагрузке	• обеспечивать соосность и перпендикулярность опорных поверхностей • повышать жёсткость вала и корпуса при необходимости • контролировать геометрию посадок и чистоту опорных поверхностей • выбирать внутренний зазор с учётом фактического перекоса • соблюдать допустимый угол несоосности конструкции

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Диагональный след на дорожке	Несоосность колец	Соосность посадок и опорных торцов
Интенсивный след только у одного края ролика	Краевая нагрузка / прогиб	Прогиб вала, жёсткость корпуса
Локальное выкрашивание у края	Длительная краевая перегрузка	След качения до зоны выкрашивания

Применимость: Все типы; особенно информативно по следу качения роликовых подшипников.
Подтверждающая проверка OID: Наличие краевого выкрашивания не является самостоятельным доказательством перегрузки; требуется подтвердить геометрию узла и положение следа нагрузки.
Фотоатлас: FA04 — Контактная усталость и выкрашивание; FA06 — Несоосность, перекос и краевое нагружение.

D05. Овальность, деформация посадки и неравномерная опора кольца

Тип повреждения	Локальная деформация кольца или неравномерная опора на посадочной поверхности.
Характер повреждения	На неподвижном кольце появляются отдельные зоны контакта вместо ожидаемой равномерной картины. Локальная жёсткость или выступ посадочного места создаёт концентрацию напряжений; впоследствии возможны выкрашивание и трещины.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• овальность вала или корпуса • неравномерная жёсткость корпуса • погрешности механической обработки • локальные выступы, загрязнение или повреждение посадочного места • неправильная сборка разъёмного корпуса • недостаточная торцевая или радиальная опора кольца	• контролировать круглость, цилиндричность и профиль посадок • очищать посадочные поверхности перед монтажом • обеспечивать равномерную жёсткость и достаточную опору корпуса • контролировать стык разъёмного корпуса и отсутствие выступов • не деформировать тонкостенные кольца при хранении и монтаже

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Две или несколько локальных зон контакта	Овальность / деформация посадки	Круглость вала и корпуса
Локальное выкрашивание напротив стыка корпуса	Выступ или повышенная жёсткость в зоне стыка	Поверхность посадки и сборку корпуса
След опоры только на части ширины кольца	Недостаточная опора	Ширину и геометрию посадочного пояска

Применимость: Все типы; особенно важно для тонкостенных наружных колец и разъёмных корпусов.
Подтверждающая проверка OID: До признания дефекта кольца необходимо проверить фактическую опору и форму сопряжённой детали.
Фотоатлас: FA05 — Перегрузка, преднатяг и малый рабочий зазор; FA09 — Неравномерная опора и деформация посадки.

D06. Вторичное выкрашивание от локального дефекта

Тип повреждения	Усталостное разрушение, начавшееся от ранее существовавшего локального повреждения поверхности.
Характер повреждения	Первичным очагом служит вмятина, коррозионная язва, монтажная риска, электрический кратер, зона размазывания или другой концентратор напряжений. После многократного перекатывания вокруг него развивается выкрашивание.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• вмятины от загрязняющих частиц • ударные или монтажные вмятины • коррозионные язвы • электрические кратеры • задиры и размазывание • царапины и локальные дефекты поверхности	• предотвращать первичные вмятины, коррозию, электрический ток и монтажные повреждения • обеспечивать чистый монтаж и фильтрацию • не передавать монтажное усилие через тела качения • поддерживать исправность уплотнений • устранять электрические и смазочные причины до развития вторичной усталости

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Выкрашивание начинается вокруг одиночной вмятины	Загрязнение или механический удар	Форму и расположение первичной вмятины
Выкрашивание с шагом тел качения	Монтажные/ударные вмятины	Историю монтажа и транспортировки
Линейное выкрашивание из коррозионных зон	Коррозия при простое	Следы ржавчины в основании очагов

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: При развитом выкрашивании искать самый ранний локальный очаг; иначе вторичное повреждение легко ошибочно принять за первичную усталость материала.
Фотоатлас: FA04 — Контактная усталость и выкрашивание.

12.5.2. Износ, смазывание и тепловые повреждения

D07. Абразивный износ

Тип повреждения	Постепенное удаление материала твёрдыми частицами и продуктами износа.
Характер повреждения	Поверхность становится матовой, притёртой или шероховатой. При очень мелких частицах возможна сильная полировка; при продолжительной работе меняются размеры и геометрия дорожек, роликов и сепаратора.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• твёрдые загрязняющие частицы в смазке • недостаточная фильтрация или плохое уплотнение • грязный монтаж и обслуживание • недостаточное или неподходящее смазывание • продукты собственного износа подшипника или сепаратора	• улучшать уплотнение и фильтрацию • обеспечивать чистоту монтажа, инструмента и смазочных устройств • применять чистый смазочный материал требуемой вязкости • своевременно заменять загрязнённую смазку • устранять источник металлических и минеральных частиц

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Матовая шероховатая дорожка	Абразивные частицы	Чистоту смазки и фильтров
Царапины и ступенчатый износ	Крупные частицы / продукты износа	Уплотнения, источник стружки
Износ окон сепаратора вместе с загрязнением	Частицы и недостаточная смазка	Состояние сепаратора и смазки

Применимость: Все типы.

Подтверждающая проверка OID: Абразивный износ может быть первичным, но также создаёт вторичное загрязнение, ускоряющее усталость и повреждение смазочной плёнки.
Фотоатлас: FA01 — Загрязнение и твёрдые частицы.

D08. Полировочный износ

Тип повреждения	Форма абразивного износа с интенсивным сглаживанием микронеровностей.
Характер повреждения	Дорожка становится зеркально блестящей, исходная текстура обработки исчезает. При продолжительной работе профиль контакта может изменяться, что создаёт локальные перегрузки.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• очень мелкие абразивные частицы • тонкая смазочная плёнка • низкая рабочая вязкость • загрязнённое масло • длительное проскальзывание или ползучесть на посадке	• повышать чистоту масла и эффективность фильтрации • проверять вязкость и толщину смазочной плёнки • устранять поступление мелкодисперсного загрязнения • проверять посадки при полировке наружной или внутренней посадочной поверхности

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Зеркальная дорожка при отсутствии явного задирования	Мелкие абразивные частицы	Анализ масла и фильтров
Зеркальная посадочная поверхность кольца	Ползучесть / проворот кольца	Натяг и характер нагрузки
Полировка с изменением профиля	Длительный абразивный износ	Геометрию дорожки и распределение нагрузки

Применимость: Все типы; особенно заметно на дорожках и посадочных поверхностях.
Подтверждающая проверка OID: Не считать любую блестящую дорожку нормальной приработкой: оценивать изменение геометрии, загрязнение и толщину плёнки.
Фотоатлас: FA01 — Загрязнение и твёрдые частицы.

D09. Адгезионный износ / размазывание / задиры

Тип повреждения	Повреждение при относительном скольжении и недостаточном разделении поверхностей смазкой.
Характер повреждения	Возникают локальное схватывание и перенос металла, шероховатость, наплывы, блестящие или потемневшие размазанные зоны и задиры. При развитии повышается температура и возможен переход к заклиниванию.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• недостаточная или неподходящая смазка • слишком малая нагрузка при высокой скорости • резкие ускорения и торможения • загрязнение • перекос и скольжение роликов • ползучесть кольца на посадке	• обеспечивать достаточную минимальную нагрузку при высоких скоростях • подбирать вязкость и присадки смазочного материала • контролировать количество смазки и режим приработки • уменьшать перекос и проскальзывание • устранять ползучесть колец

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Размазанные блестящие участки дорожки	Проскальзывание при тонкой плёнке	Нагрузку, скорость, смазку
Задиры с переносом металла	Схватывание поверхностей	Температуру, смазку, загрязнение
Задиры на посадке	Проворот кольца	Натяг и направление нагрузки

Применимость: Все типы; особенно контакты дорожка-тело качения и торец ролика-бурт.
Подтверждающая проверка OID: Отдельно установить, где возникало скольжение: в контакте качения, на бурте или на посадке.
Фотоатлас: FA03 — Смазывание, скольжение и тепловые повреждения.

D10. Проскальзывание тел качения / размазывание при входе в нагруженную зону

Тип повреждения	Динамический адгезионный износ от разницы скоростей тел качения и дорожки.
Характер повреждения	Тела качения замедляются в разгруженной зоне и резко ускоряются при входе в нагруженную. На дорожках формируются повторяющиеся размазанные или шероховатые зоны; возможен локальный нагрев.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• слишком малая нагрузка для данной скорости • высокая частота вращения • резкие ускорения/торможения • избыточное количество пластичной смазки и сопротивление вращению • неподходящий внутренний зазор • неблагоприятная динамика сепаратора и тел качения	• обеспечивать минимальную требуемую нагрузку • контролировать количество пластичной смазки • подбирать зазор и смазку под скорость • избегать резких переходных режимов, если это возможно • контролировать сепаратор и устойчивость движения тел качения

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Повторяющееся окружное размазывание	Проскальзывание при разгрузке	Режим нагрузки и скорость
Размазывание после переполнения смазкой	Повышенное сопротивление и skidding	Количество смазки
Задиры при резком разгоне/торможении	Динамическое проскальзывание	Историю переходных режимов

Применимость: Наиболее характерно для роликовых подшипников, но возможно и у шариковых.
Подтверждающая проверка OID: Не путать с осевыми монтажными рисками: при проскальзывании следы связаны с рабочей траекторией качения.
Фотоатлас: FA03 — Смазывание, скольжение и тепловые повреждения.

D11. Повреждение контакта «торец ролика - бурт / направляющая поверхность»

Тип повреждения	Износ, задиры и разрушение в зоне направляющего контакта ролика с буртом.
Характер повреждения	На торцах роликов и буртах возникают дугообразные царапины, задиры, перенос металла, коксование смазки, износ и в тяжёлых случаях сваривание или разрушение бурта.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• недостаточное смазывание контакта торец-бурт • чрезмерная осевая нагрузка • перекос роликов • твёрдые частицы в контакте • слишком высокий преднатяг или рабочая температура	• обеспечивать достаточную смазку и подходящую вязкость • контролировать осевую нагрузку и регулировку • исключать загрязнение • устранять перекос и деформацию узла • контролировать состояние бурта и торцов роликов при обслуживании

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Дугообразные задиры на торце ролика	Скольжение по бурту при плохой смазке	Смазку и осевую нагрузку
Глубокие задиры/сваривание бурта	Тяжёлый режим трения	Температуру, преднатяг, смазку
Скол или трещина бурта	Удар или осевая перегрузка	Монтаж и величину осевой нагрузки

Применимость: Цилиндрические, сферические и конические роликовые подшипники при наличии соответствующего направляющего контакта.
Подтверждающая проверка OID: Повреждение бурта является отдельной зоной диагностики и не должно автоматически переноситься на всю дорожку как «общий износ».
Фотоатлас: FA03 — Смазывание, скольжение и тепловые повреждения.

D12. Перегрев / схватывание / заклинивание

Тип повреждения	Тяжёлая тепловая стадия повреждения подшипника.
Характер повреждения	Интенсивное трение приводит к резкому росту температуры, изменению цвета, размягчению материала, оплавлению, пластической деформации и налипанию. Конечная стадия - полное заклинивание.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• слишком малый рабочий зазор или чрезмерный преднатяг • недостаточное/неподходящее смазывание • чрезмерная нагрузка • перекос роликов • высокая скорость и большие колебания нагрузки • вторичное развитие после адгезионного износа	• правильно задавать зазор и преднатяг • обеспечивать требуемый тип и количество смазки • контролировать рабочую температуру • устранять несоосность • не допускать перегрузки и превышения допустимой скорости

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Сильное потемнение, размягчение и задиры	Перегрев при недостаточной смазке/зазоре	Температуру, смазку, остаточный зазор
Пластическая деформация бурта	Сильный локальный нагрев	Контакт торец-бурт
Заклинивание с повреждением нескольких деталей	Конечная стадия тяжёлого трения	Определять ранние следы, сохранившиеся до заклинивания

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: Цвет сам по себе не доказывает перегрев; требуется сочетание с изменением структуры, задиром, деформацией и данными о температуре.
Фотоатлас: FA03 — Смазывание, скольжение и тепловые повреждения.

12.5.3. Пластическая деформация, загрязнение и обращение

D13. Истинное бринеллирование / статическая пластическая деформация

Тип повреждения	Остаточные вмятины от тел качения после статической или ударной перегрузки.
Характер повреждения	На дорожке появляются углубления с шагом тел качения. В отличие от вибрационного износа это пластическая деформация металла; от краёв вмятин позднее может развиваться усталостное выкрашивание.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• статическая нагрузка выше допустимой • удар по невращающемуся подшипнику • падение узла или удар при транспортировке • передача монтажного/демонтажного усилия через тела качения	• не передавать усилие через тела качения • использовать правильные оправки и методы монтажа • защищать подшипник и узел от ударов при транспортировке • не допускать статической перегрузки

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Вмятины с шагом тел качения и чёткими краями	Статическая/ударная нагрузка	Историю монтажа, транспортировки и ударов
Вмятины после запрессовки	Монтажное усилие прошло через тела качения	Схему приложения монтажного усилия
Позднее выкрашивание от вмятин	Вторичная усталость	Искать первичную геометрию вмятин

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: Отличать от ложного бринеллирования: истинные вмятины связаны с пластической деформацией, а ложные - с износом от микроперемещений.
Фотоатлас: FA04 — Контактная усталость и выкрашивание; FA12 — Истинное бринеллирование и статическая деформация.

D14. Монтажные отметины, задиры и вмятины с шагом тел качения

Тип повреждения	Механические повреждения, созданные при монтаже или демонтаже.
Характер повреждения	На дорожках и телах качения появляются осевые риски, повторяющиеся вмятины, забоины и локальные задиры. Повреждение может возникнуть ещё до начала нормальной эксплуатации и затем стать очагом вторичной усталости.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• монтаж с перекосом • передача усилия через тела качения • удары инструментом по закалённым деталям • несоосный ввод роликового комплекта • неправильный демонтаж	• применять правильный монтажный инструмент и оправки • прикладывать усилие только к кольцу с натягом • обеспечивать соосность при сборке • при необходимости использовать контролируемый нагрев • не применять удары по кольцам и роликам

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Вмятины с шагом тел качения после монтажа	Усилие передано через тела качения	Метод монтажа и направление усилия

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Осевые царапины на роликах/дорожках	Несоосная сборка	Следы ввода и последовательность монтажа
Скол торца кольца	Удар твёрдым инструментом	Состояние торцов и применявшийся инструмент

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: Если дефект существовал до вращения, характер шаговых отметин и направление рисок имеют более высокую доказательную ценность, чем позднее выкрашивание.
Фотоатлас: FA07 — Монтаж, демонтаж и обращение; FA12 — Истинное бринеллирование и статическая деформация.

D15. Вмятины, царапины и канавки от загрязняющих частиц

Тип повреждения	Локальные механические повреждения от посторонних твёрдых частиц.
Характер повреждения	На дорожках, телах качения и мягких деталях появляются отдельные вмятины, борозды и канавки. Частицы могут вдавливаться в сепаратор и затем многократно царапать сопряжённые поверхности.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• твёрдые частицы в подшипнике или смазке • стружка и продукты износа • повреждённые уплотнения • загрязнение при монтаже или техническом обслуживании	• обеспечивать чистоту монтажа и обслуживания • улучшать уплотнение и фильтрацию • удалять стружку и продукты износа из системы • контролировать чистоту смазочного материала

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Многочисленные вмятины разной формы	Твёрдые частицы	Смазку, фильтры, уплотнения
Длинные канавки	Частица застряла в сепараторе/контакте	Сепаратор и наличие внедрённых частиц
Случайно распределённые мелкие вмятины	Твёрдые загрязняющие частицы	Смазочный материал, фильтры, уплотнения и чистоту обслуживания

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: Вмятины от частиц обычно не имеют строго равного шага, в отличие от ударных отметин через тела качения.
Фотоатлас: FA01 — Загрязнение и твёрдые частицы; FA04 — Контактная усталость и выкрашивание.

12.5.4. Коррозия, фреттинг и посадки

D16. Ложное бринеллирование / фреттинг в контакте дорожка-тело качения

Тип повреждения	Износ и фрикционная коррозия в контактах при малых повторяющихся перемещениях.
Характер повреждения	При вибрации или малых колебаниях в неподвижном/малоходовом подшипнике образуются неглубокие углубления и волнообразные следы, часто с шагом тел качения. Дно может быть блестящим или красно-коричневым; возможен порошкообразный продукт износа.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• внешняя вибрация при неподвижном подшипнике • малые осциллирующие перемещения • вибрация при транспортировке • недостаточная смазка в зоне микроперемещений • повторяющаяся переменная нагрузка	• уменьшать и демпфировать вибрацию • фиксировать вал и корпус при транспортировке • применять подходящую смазку • при допустимости использовать преднатяг или периодическое проворачивание • не хранить чувствительный узел длительно в зоне сильной вибрации

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Неглубокие следы с шагом роликов/шариков	Вибрация при простое	Историю простоя и внешней вибрации
Красно-бурый порошок в зоне контакта	Фреттинг-коррозия	Микроперемещения и смазку
Несколько наборов шаговых следов	Периодические небольшие повороты между простоями	Положение колец в разные периоды

Применимость: Все типы, особенно оборудование с длительными простоями и транспортной вибрацией.

Подтверждающая проверка OID: Отличать от истинного бринеллирования и электрического рифления по форме углублений, продуктам износа, истории вибрации и наличию электрических следов на телах качения.

Фотоатлас: FA11 — Ложное бринеллирование и вибрационный износ.

D17. Влажностная и химическая коррозия

Тип повреждения	Окисление или химическое травление поверхности подшипниковой стали.
Характер повреждения	Поверхность покрывается ржавчиной, коррозионными пятнами и язвами. При агрессивной среде возможны тёмные/чёрные протравленные участки. Коррозионные язвы становятся концентраторами напряжений и могут инициировать последующее выкрашивание.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• проникновение воды, конденсата или технологической жидкости • неэффективное уплотнение • неподходящая или деградировавшая смазка • неправильное хранение и недостаточная консервация • агрессивные химические пары или жидкости • контакт незащищённой поверхности с влажными руками	• улучшать герметизацию • применять антикоррозионную смазку и правильную консервацию • хранить подшипники в сухом стабильном климате и вскрывать упаковку перед монтажом • защищать узел во время мойки и простоя • использовать чистые перчатки при работе с незащищёнными поверхностями

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Красно-коричневая ржавчина	Влага / вода	Уплотнения, хранение, содержание воды в смазке
Тёмные протравленные язвы	Агрессивная химическая среда	Состав среды и смазки
Коррозия на наружной поверхности кольца	Внешняя влага / хранение	Условия хранения и консервацию

Применимость: Все типы.

Подтверждающая проверка OID: Коррозия является самостоятельным повреждением и одновременно может быть первичным очагом последующей усталости.

Фотоатлас: FA02 — Коррозия и травление.

D18. Коррозионное травление при простое и последующее линейное выкрашивание

Тип повреждения	Коррозионные очаги в неподвижном подшипнике, расположенные по положениям тел качения.
Характер повреждения	Во время простоя в местах контакта образуются ржавчина или язвы с равным шагом. После запуска эти зоны подвергаются повторному перекатыванию и могут развиться в линейное/шаговое выкрашивание.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• вода или конденсат в неподвижном подшипнике • загрязнённая водой смазка • неэффективное уплотнение • отсутствие антикоррозионной защиты во время простоя	• исключать попадание воды и конденсацию • поддерживать защитную смазочную плёнку во время простоя • контролировать уплотнения и содержание воды в смазке • применять меры консервации резервного оборудования

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Ржавчина с шагом тел качения	Коррозия при простое	Периоды остановки и влагу
После запуска появляются зоны выкрашивания с тем же шагом	Вторичная усталость от коррозионных язв	Наличие ржавчины в основании очагов
Несколько наборов шаговых следов	Несколько периодов простоя в разных положениях	Историю остановок

Применимость: Все типы; особенно характерно для длительного простоя во влажной среде.
Подтверждающая проверка OID: Шаговое выкрашивание после простоя нельзя автоматически относить к перегрузке; необходимо искать коррозионную основу.
Фотоатлас: FA02 — Коррозия и травление.

D19. Фреттинг-коррозия посадочных поверхностей

Тип повреждения	Окислительный износ посадки при малых относительных перемещениях кольца и вала/корпуса.
Характер повреждения	На отверстии внутреннего кольца или наружной поверхности наружного кольца образуются коричнево-чёрные зоны, порошок и полированные участки. Повреждение ухудшает опору кольца и может способствовать трещинам.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• слишком свободная посадка для циркуляционной нагрузки • погрешности формы и шероховатости посадки • прогиб вала или деформация корпуса • тяжёлая переменная нагрузка и микроперемещения • недостаточная опора кольца	• подбирать посадку по характеру нагрузки • контролировать форму, размеры и качество посадочных поверхностей • обеспечивать достаточную опору кольца • повышать жёсткость узла и уменьшать прогиб • при допустимых свободных посадках применять предусмотренную защиту от фреттинга

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Красно-коричневые пятна и порошок на посадке	Микроперемещения при слабой посадке	Натяг и характер нагрузки
Повторяющиеся локальные зоны фреттинга	Неравномерная опора/волнистость	Геометрию посадки
Фреттинг плюс трещина кольца	Длительное ухудшение опоры	Поверхность посадки и излом

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: Главный ориентир - локализация на посадочной поверхности. Повреждение дорожки само по себе не является фреттинг-коррозией посадки.

Фотоатлас: FA09 — Неравномерная опора и деформация посадки; FA10 — Посадки, ползучесть и фреттинг посадочных поверхностей.

D20. Ползучесть / проворот кольца

Тип повреждения	Макроскопическое относительное скольжение кольца по валу или в корпусе.
Характер повреждения	Посадочная поверхность становится зеркально блестящей, появляются окружные задиры, холодная сварка, изменение цвета и износ. Посадка постепенно ослабляется и изменяет зазор/преднатяг.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• недостаточный натяг • недостаточная осевая фиксация • высокая нагрузка или скорость • нагрев и изменение размеров • ошибка выбора посадки относительно циркуляционной нагрузки	• пересматривать натяг и способ осевой фиксации • контролировать точность вала и корпуса • учитывать направление и характер нагрузки • исключать перегрев и длительное проскальзывание • контролировать посадки после ремонта сопряжённых деталей

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Зеркальное отверстие внутреннего кольца	Creep на валу	Диаметр вала и натяг
Окружные задиры наружного диаметра	Проворот наружного кольца	Посадку корпуса и характер нагрузки
Снижение преднатяга / рост зазора	Износ посадки вследствие ползучести	Фактические размеры после демонтажа

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: Ползучесть может быть первичной причиной или вторичным следствием тяжёлого повреждения дорожки; это устанавливают по последовательности следов.
Фотоатлас: FA10 — Посадки, ползучесть и фреттинг посадочных поверхностей.

12.5.5. Электрические повреждения

D21. Электродуговые ожоги / эрозия от чрезмерного тока

Тип повреждения	Локальное расплавление поверхности при электрическом пробое через подшипник.
Характер повреждения	Появляются отдельные кратеры, ожоги, цепочки кратеров и следы локального плавления, похожие на микросварку. Повреждение может быть единичным или групповым.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• сварочный ток через подшипник • неправильное заземление • мощный электрический разряд через неподвижный подшипник • отсутствие обходного токового пути	• не пропускать сварочный ток через подшипник • обеспечивать корректное заземление оборудования • создавать обходной путь тока • при необходимости применять электрическую изоляцию узла

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Одиночные глубокие кратеры	Мощный разряд	Систему заземления и сварочные работы
Цепочки расплавленных точек	Повторные разряды	Электрическую схему
Локальный ожог на неподвижном подшипнике	Разряд при остановке	Историю электромонтажных работ

Применимость: Все типы, если через подшипник возможен электрический ток.
Подтверждающая проверка OID: Электрический кратер способен стать первичным очагом вторичного выкрашивания; при развитой усталости искать остатки расплавления.
Фотоатлас: FA13 — Электрические повреждения.

D22. Электрическая эрозия от токов утечки / электрическое рифление

Тип повреждения	Множественная электрическая эрозия от длительного прохождения малых токов.
Характер повреждения	Мелкие кратеры постепенно объединяются в равномерные канавки и рифление. Дно следов часто тёмное; сходные признаки появляются и на телах качения.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• длительная утечка тока через подшипник • недостаточная электрическая изоляция • неэффективное заземление • токи от преобразователей и электропривода	• разрывать электрический путь через подшипник • применять предусмотренную электрическую изоляцию • улучшать заземление и уравнивание потенциалов • контролировать паразитные токи при вводе оборудования в эксплуатацию

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Равномерное рифление по дорожке	Длительная утечка тока	Ток через вал/подшипник
Тёмное дно канавок и повреждение тел качения	Электрическая эрозия	Изоляцию и заземление

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Мелкие равномерные ямки до образования рифления	Ранняя электрическая эрозия	Электрические параметры узла

Применимость: Все типы при наличии токов утечки, особенно электроприводные узлы.
Подтверждающая проверка OID: Отличать от ложного бринеллирования: электрические следы обычно имеют тёмное дно и сопровождаются микрократерами на телах качения.
Фотоатлас: FA13 — Электрические повреждения.

12.5.6. Трещины, разрушение и перегрузка

D23. Вынужденные трещины, сколы и разрушение от перегрузки/монтажа

Тип повреждения	Хрупкое или локальное разрушение при напряжении выше прочности детали.
Характер повреждения	Возникают острые сколы, трещины или полный излом кольца/бурта. Часто дефект начинается от места удара, надреза, чрезмерного натяга или неправильной опоры.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• сильный удар при монтаже • прямой удар твёрдым инструментом • чрезмерный натяг посадки • слишком большое продвижение по конусу • недостаточная опора бурта или неправильная геометрия сопряжённой детали • чрезмерная единичная перегрузка	• применять правильный монтажный инструмент и контролируемый нагрев • контролировать натяг и продвижение по конусу • обеспечивать правильную геометрию галтелей и опорных поверхностей • не допускать ударов по закалённым деталям • обеспечивать достаточную опору буртов

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Скол торца/бурта	Удар или недостаточная опора	Монтаж и опорную геометрию
Радиальная/осевая трещина после посадки	Чрезмерный натяг	Фактический размер посадки
Полный излом после локального повреждения	Развитие первичной трещины	Очаг и поверхность излома

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: По одной фотографии нельзя отличить все виды хрупкого разрушения; обязательны измерения посадок и анализ места зарождения трещины.
Фотоатлас: FA07 — Монтаж, демонтаж и обращение; FA10 — Посадки, ползучесть и фреттинг посадочных поверхностей.

D24. Усталостные трещины и вторичный излом

Тип повреждения	Трещины, развивающиеся при циклическом нагружении или от уже существующего усталостного повреждения.
Характер повреждения	Трещина распространяется постепенно; на изломе возможны зоны последовательного роста. Часто рядом присутствует развитое выкрашивание, фреттинг или локальная концентрация напряжений.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• развитое усталостное выкрашивание • циклическое изгибное или контактное нагружение • недостаточная опора кольца • фреттинг и локальная концентрация напряжений • повторяющиеся нагрузки сепаратора	• не эксплуатировать подшипник после развитого выкрашивания • устранять локальные перегрузки и недостаточную опору • контролировать посадки и фреттинг • уменьшать вибрацию и неблагоприятные циклические нагрузки

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Трещина выходит из зоны выкрашивания	Вторичный усталостный излом	Связь трещины с усталостным очагом
Окружная трещина кольца рядом с фреттингом	Недостаточная опора и циклические напряжения	Посадочную поверхность
Разрушение элемента сепаратора с признаками длительного роста	Усталостная нагрузка сепаратора	Вибрацию, перекос, скорость

Применимость: Кольца, сепараторы и другие циклически нагруженные детали.
Подтверждающая проверка OID: При наличии развитого вторичного излома первопричину ищут в наиболее раннем участке трещины и сопутствующих повреждениях.
Фотоатлас: FA04 — Контактная усталость и выкрашивание; FA10 — Посадки, ползучесть и фреттинг посадочных поверхностей.

D25. Термические трещины

Тип повреждения	Трещины поверхностного слоя, вызванные локальным фрикционным нагревом и термоциклированием.
Характер повреждения	На торцах, буртах или боковых поверхностях появляются системы трещин, часто поперёк направления скольжения. Обычно им сопутствуют задиры, изменение цвета и признаки сильного локального трения.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• интенсивное скольжение • недостаточное смазывание	• устранять нежелательное скольжение • обеспечивать достаточную смазку скользящих контактов

Вероятные причины	Профилактические меры
• трение торца кольца о соседнюю деталь • ползучесть кольца и нагрев посадки • чрезмерная осевая нагрузка в контакте торец-бурт	• контролировать осевую фиксацию и зазор • устранять ползучесть колец • не допускать длительного перегрева

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Сетка трещин на торце ролика	Фрикционный нагрев	Смазку контакта торец-бурт
Трещины на торце кольца плюс окружной задир	Боковое скольжение	Осевую фиксацию
Трещины в зоне ползучести	Нагрев посадки	Натяг и следы проворота

Применимость: Наиболее характерно для роликовых подшипников и торцевых контактов, но возможно на любых скользящих поверхностях.
Подтверждающая проверка OID: Термические трещины всегда оценивать совместно со следами скольжения и нагрева; без них причина требует дополнительного подтверждения.
Фотоатлас: FA03 — Смазывание, скольжение и тепловые повреждения.

D31. Перегрузка подшипника / разрушение тел качения

Тип повреждения	Повреждение тел качения при перегрузочном режиме; ведущий диагностический признак - повторяющееся тяжёлое разрушение роликов или шариков.
Характер повреждения	На роликах или шариках появляются глубокое усталостное выкрашивание, отслаивание, локальное дробление поверхности, трещины или сколы. Диагностически важно повторение сходного тяжёлого повреждения на нескольких телах качения. При продолжении работы возможны вторичные повреждения дорожек и сепаратора.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• фактическая радиальная, осевая или комбинированная нагрузка выше расчётной • ударные и кратковременные пиковые нагрузки • чрезмерный преднатяг или слишком малый рабочий зазор, создающие внутреннюю перегрузку • перекос, краевое нагружение или другая концентрация нагрузки • высокая температура и недостаточная толщина смазочной плёнки как ускоряющие факторы	• проверять фактические нагрузки, включая пики и ударные воздействия • при необходимости применять подшипник с большей грузоподъёмностью • корректировать преднатяг и рабочий зазор • устранять перекос и локальную концентрацию нагрузки • обеспечивать достаточное смазывание и допустимый температурный режим

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Сильное выкрашивание на нескольких роликах или шариках	Чрезмерная рабочая нагрузка	Сравнить все тела качения, след нагрузки и фактический режим нагружения
Глубокое выкрашивание по значительной части рабочей поверхности тела качения	Перегрузка с ухудшением или разрушением смазочной плёнки	Нагрузку, температуру, вязкость и подачу смазочного материала
Трещина или скол тела качения после развитого выкрашивания	Вторичное разрушение при продолжении работы	Зону зарождения трещины, предшествующее выкрашивание и наличие свободных фрагментов

Применимость: Все типы подшипников качения; особенно наглядно диагностируется по роликовым подшипникам, где можно сравнить состояние нескольких тел качения.
Подтверждающая проверка OID: Один повреждённый ролик или шарик сам по себе не доказывает перегрузку. Необходимо подтвердить повторяемость повреждения на нескольких телах качения, оценить след нагрузки и фактическую нагрузку, преднатяг или рабочий зазор, а также исключить вмятины от частиц, электрическое повреждение и монтажные дефекты. От D03 этот случай отличается ведущим признаком: при D31 доминирует разрушение тел качения, при D03 - широкое повреждение дорожки из-за нагрузки, преднатяга или малого зазора.
Фотоатлас: FA05 — Перегрузка, преднатяг и малый рабочий зазор.

12.5.7. Сепаратор и уплотнения

D26. Износ сепаратора

Тип повреждения	Постепенное изнашивание окон, направляющих поверхностей, перемычек или наружного диаметра сепаратора.
Характер повреждения	Увеличиваются зазоры в окнах, появляются ступенчатый износ, полировка, царапины и истончение. Это ухудшает ведение тел качения и может привести к вторичному перекосу и касанию колец.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• недостаточная или загрязнённая смазка • высокая скорость • перекос тел качения • вибрация • неправильный зазор или преднатяг • частицы между телами качения и окнами	• обеспечивать правильную смазку и чистоту • контролировать скорость и температуру • устранять перекос и неправильный зазор • проверять соответствие типа сепаратора режиму работы • контролировать износ окон при обслуживании

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Износ окон сепаратора	Недостаточная смазка / частицы	Смазку и загрязнение
Износ направляющей поверхности	Скорость, температура, плохая смазка	Режим работы
Диагонально противоположные зоны износа	Перекос тел качения	Соосность и зазор

Применимость: Все конструкции с сепаратором.
Подтверждающая проверка OID: Износ сепаратора часто вторичен. Необходимо установить, что возникло раньше: нарушение движения тел качения или износ самого сепаратора.
Фотоатлас: FA08 — Сепаратор; FA15 — Осевой зазор и регулировка.

D27. Деформация / разрушение сепаратора

Тип повреждения	Пластическая деформация, разрыв перемычек, заклёпок или боковых колец сепаратора.
Характер повреждения	Сепаратор теряет геометрию, окна деформируются, соединения разрушаются, ролики или шарики смещаются и могут заклинивать. Возможны следы удара, коробление и локальное оплавление.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• неправильный монтаж или падение подшипника • сильная вибрация и ударные нагрузки • значительная моментная нагрузка или несоосность • чрезмерная скорость и резкие ускорения/торможения • недостаточная смазка и перегрев • вторичное заклинивание тел качения	• защищать сепаратор при монтаже и обращении • контролировать вибрацию, скорость и моментные нагрузки • устранять несоосность • обеспечивать правильную смазку • при необходимости выбирать сепаратор, соответствующий режиму работы

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Смятый сепаратор	Монтажный удар / падение	Следы механического воздействия
Разрыв перемычек	Динамическая нагрузка, перекос или усталость	Распределение повреждения и режим работы
Оплавление/деформация	Перегрев или заклинивание	Температурные следы на других деталях

Применимость: Все конструкции с сепаратором.
Подтверждающая проверка OID: Разрушенный сепаратор не должен автоматически считаться первичной причиной: проверить следы на роликах, дорожках и температурную картину.

Фотоатлас: FA08 — Сепаратор.

D28. Задиры и локальный износ карманов сепаратора от загрязнения

Тип повреждения	Локальное повреждение сепаратора твёрдыми частицами и загрязнением.
Характер повреждения	В окнах и на направляющих поверхностях появляются глубокие царапины, задиры и канавки; частицы могут внедряться в более мягкий материал и многократно повреждать ролики и дорожки.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• твёрдые частицы в смазке • стружка от сопряжённых деталей • разрушение других элементов подшипника • недостаточное уплотнение • грязный монтаж и обслуживание	• улучшать уплотнение и фильтрацию • обеспечивать чистоту монтажа • удалять продукты износа из системы • заменять загрязнённый смазочный материал • проверять сепаратор после обнаружения крупных частиц

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Глубокие царапины в окне сепаратора	Твёрдая частица	Наличие внедрённого загрязнения
Канавки на дорожке плюс повреждение сепаратора	Частица застряла в сепараторе	Совпадение траекторий
Износ окон с тёмной загрязнённой смазкой	Абразивное загрязнение	Состав смазки и продукты износа

Применимость: Все конструкции с сепаратором.
Подтверждающая проверка OID: При такой картине фотографировать и сохранять обнаруженные частицы: они имеют высокую доказательную ценность при установлении причины.
Фотоатлас: FA08 — Сепаратор.

D30. Повреждение встроенного уплотнения / защитной шайбы

Тип повреждения	Износ, перегрев, растрескивание или монтажная деформация элемента уплотнения.
Характер повреждения	На дорожке уплотнения появляется блестящая окружная канавка или зона нагрева; кромка может расширяться, растрескиваться, выворачиваться или иметь вмятины. Нарушение уплотнения создаёт путь для загрязнения и влаги.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• грязь и абразив в зоне кромки	• защищать уплотнение при монтаже

Вероятные причины	Профилактические меры
• сухой контакт и недостаток смазки кромки • чрезмерный прижим или перекос уплотнения • высокая температура • неправильный монтаж, повреждение кромки инструментом	• обеспечивать чистую дорожку уплотнения • не допускать сухого трения и чрезмерного прижима • контролировать температуру и геометрию посадки • заменять повреждённые уплотнения до загрязнения подшипника

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Блестящая окружная канавка	Износ дорожки уплотнения	Чистоту и контактное давление
Коричнево-синяя зона	Нагрев кромки	Температуру и смазку
Вывернутая или потрескавшаяся кромка	Монтажное повреждение / перегрев	Состояние кромки и способ монтажа

Применимость: Закрытые/защищённые подшипники и узлы со встроенными уплотнениями.
Подтверждающая проверка OID: При рекламации фиксировать состояние уплотнения до очистки: оно часто объясняет последующее загрязнение, коррозию и абразивный износ.
Фотоатлас: FA18 — Уплотнения и дорожки уплотнений.

D37. Вторичное касание сепаратора с дорожкой

Тип повреждения	Вторичный контакт сепаратора с кольцом после потери правильного ведения.
Характер повреждения	На краях дорожек или кольца образуются окружные канавки/следы касания, совпадающие с траекторией смещённого сепаратора. Часто этому предшествует износ окон и увеличение зазоров в сепараторе.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• износ карманов сепаратора • перекос тел качения • деформация сепаратора • увеличение зазоров после длительного износа • вторичное смещение после другого тяжёлого повреждения	• устранять причины первичного износа сепаратора • контролировать смазку, чистоту и перекос • заменять сепаратор/подшипник до начала вторичного касания • контролировать зазор и ведение тел качения

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Окружная канавка на краю дорожки плюс износ сепаратора	Вторичное касание сепаратора	Совпадение траекторий

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
След касания после сильной деформации сепаратора	Смещение сепаратора	Первичные следы удара/перегрева
Канавка без дефекта сепаратора	Иная причина бокового контакта	Исключить соседние детали

Применимость: Роликовые подшипники с соответствующей геометрией сепаратора; особенно важно при выраженном износе карманов.
Подтверждающая проверка OID: Не назначать касание сепаратора первопричиной без подтверждения последовательности повреждений.
Фотоатлас: FA08 — Сепаратор.

12.5.8. Наблюдаемые признаки и специальные режимы

D29. Изменение цвета - диагностический признак, а не самостоятельная причина

Тип повреждения	Изменение окраски металла или поверхности от температуры, химической реакции, масла или электрического воздействия.
Характер повреждения	Дорожки, тела качения или сепаратор могут стать синими, фиолетовыми, коричневыми, серыми или пятнистыми. Одинаковая окраска может возникать по разным причинам, поэтому цвет оценивают только вместе с текстурой и другими повреждениями.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• нагрев вследствие недостаточного смазывания • масляный/присадочный налёт без критического перегрева • электрическое повреждение • коррозия и окисление • продукты износа и загрязнение	• контролировать температуру и смазывание • использовать совместимые смазочные материалы • устранять электрические и коррозионные причины • не делать вывод о перегреве только по цвету

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Синевато-фиолетовая дорожка плюс задиры	Фактический перегрев	Температурные признаки, твёрдость, смазку
Коричневый налёт без деформации и задиров	Химическая реакция масла/присадок	Состав и состояние смазки
Серая пятнистость с микрократерами	Электрическое или поверхностное повреждение	Микрорельеф и электрические признаки

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: Изменение цвета фиксируется как симптом. Первопричина указывается только после подтверждения сопутствующими признаками.
Фотоатлас: FA03 — Смазывание, скольжение и тепловые повреждения.

D32. Сферический роликоподшипник: один ряд перегружен осевой нагрузкой

Тип повреждения	Специальный диагностический рисунок двухрядного сферического роликоподшипника.
Характер повреждения	Один ряд имеет существенно более интенсивный след нагрузки или выкрашивание, иногда почти по всей окружности, тогда как второй ряд повреждён заметно меньше.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• чрезмерная осевая нагрузка относительно радиальной • зажатая плавающая опора • недостаточная осевая свобода при тепловом удлинении вала • ошибка схемы фиксации вала • неравномерное смазывание рядов как альтернативная причина, если нагрузка не подтверждается	• проверять расчёт осевой нагрузки и схему фиксации • обеспечивать работоспособность плавающей опоры • учитывать температурное удлинение вала • сравнивать состояние и смазывание обоих рядов

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Один ряд выкрашен по всей окружности	Чрезмерная осевая нагрузка	Направление и величину осевой силы
Один ряд имеет намного более интенсивный след	Осевой сдвиг нагрузки / зажатая опора	Функцию плавающей опоры
Один ряд повреждён при недостаточной смазке	Неравномерное смазывание	Подачу смазки к обоим рядам

Применимость: Двухрядные сферические роликоподшипники.
Подтверждающая проверка OID: Обязательно фотографировать оба ряда в одинаковом масштабе; без сравнительного изображения диагностическая ценность сильно снижается.
Фотоатлас: FA05 — Перегрузка, преднатяг и малый рабочий зазор.

D33. Сферический роликоподшипник: трещина внутреннего кольца от чрезмерного продвижения по конусу

Тип повреждения	Трещина внутреннего кольца с коническим отверстием от чрезмерных посадочных напряжений.
Характер повреждения	Возникает осевая трещина или полный разрыв внутреннего кольца. Причина может быть связана с чрезмерным увеличением диаметра кольца при продвижении по конической шейке или втулке.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• чрезмерное осевое продвижение по конусу • слишком большое уменьшение радиального зазора	• контролировать осевое продвижение и/или уменьшение зазора при монтаже • измерять остаточный радиальный зазор

Вероятные причины	Профилактические меры
• чрезмерный натяг • температурная разность между валом и кольцом • овальность или дефект конической посадки	• проверять геометрию конической посадки • не превышать рекомендуемую величину натяга • учитывать температурный режим монтажа и работы

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Осевая трещина внутреннего кольца после монтажа на конус	Чрезмерное продвижение / посадочное напряжение	Осевое продвижение и остаточный зазор
Разрыв плюс выраженный натяг на посадке	Чрезмерная интерференция	Диаметры и конусность
Трещина без явного перегруза дорожки	Посадочное напряжение	Поверхность посадки и излом

Применимость: Сферические роликоподшипники с коническим отверстием и другие подшипники на конических посадках.
Подтверждающая проверка OID: Не формулировать «трещина = эксплуатационная перегрузка» без проверки монтажа на конусе и фактического уменьшения зазора.
Фотоатлас: FA10 — Посадки, ползучесть и фреттинг посадочных поверхностей.

D34. Конический роликоподшипник: чрезмерный осевой зазор / недостаточная регулировка

Тип повреждения	Повреждение от слишком свободной регулировки конического роликового узла.
Характер повреждения	При избыточном осевом зазоре уменьшается и становится нестабильной зона нагрузки. Возникают гребешковый износ, перекос роликов, повышенный контакт с окнами сепаратора, шум и вторичная локальная усталость.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• слишком свободная регулировка • неверно установленный осевой зазор • износ бурта и торцов роликов с последующим ростом зазора • изменение регулировки после приработки или осадки сопряжений	• контролировать фактический осевой зазор после сборки • учитывать приработку и температурный режим • проверять регулировочные элементы и осевую фиксацию • не смешивать требования к зазору и преднатягу разных узлов

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Гребешковый неравномерный износ	Чрезмерный осевой зазор	Фактическую регулировку
Износ окон сепаратора	Сильное взаимодействие роликов с сепаратором при свободной регулировке	Окна сепаратора и траекторию роликов

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Малая/нестабильная зона нагрузки	Недостаточный преднатяг или большой зазор	Пятно нагрузки

Применимость: Конические роликоподшипники и регулируемые парные узлы.
Подтверждающая проверка OID: Различать чрезмерный зазор и чрезмерный преднатяг: обе ошибки регулировки вредны, но дают разные следы и требуют противоположной корректировки.
Фотоатлас: FA15 — Осевой зазор и регулировка.

D35. Краевое качение тел качения / канавки около торцов

Тип повреждения	Пластическая деформация и локальное качение по краю рабочей поверхности.
Характер повреждения	У шариков образуются гладкокромочные дугообразные выемки, у роликов - окружные канавки рядом с торцами. Края следов сглажены пластической деформацией и отличаются от острых царапин от частиц.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• чрезмерная осевая или моментная нагрузка • слишком большой рабочий зазор • перекос колец • краевая концентрация нагрузки	• исключать осевую/моментную перегрузку • выбирать правильный рабочий зазор • устранять перекос • при необходимости выбирать подшипник с большей грузоподъёмностью или лучшей компенсацией несоосности

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Окружная канавка у торца ролика с гладкими краями	Краевая работа	Зазор, осевую нагрузку, перекос
Дугообразная выемка на шарике	Контакт с краем дорожки	Положение следа нагрузки
Краевой износ плюс локальное выкрашивание	Длительная краевая перегрузка	Соосность и рабочий зазор

Применимость: Наиболее характерно для цилиндрических и сферических роликовых подшипников; возможно у шариковых.
Подтверждающая проверка OID: Не перепутать с острыми рисками от загрязняющей частицы; при краевой работе кромки следа обычно пластически сглажены.
Фотоатлас: FA17 — Краевая работа тел качения.

D36. Боковое задевание торцов колец

Тип повреждения	Трение торца кольца о соседнюю деталь или уплотнение.

Характер повреждения	На торцевых поверхностях появляются окружные риски, износ, блестящие дорожки и иногда следы холодной сварки. Повреждение указывает на нежелательное осевое относительное движение.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• недостаточная осевая фиксация • ослабление соседних деталей • чрезмерный осевой зазор • мусор в малом боковом зазоре • неправильное положение проставки, заплечика или уплотнения	• правильно фиксировать кольца и соседние детали • контролировать осевой зазор • обеспечивать чистоту боковых зазоров • проверять отсутствие постоянного контакта с соседними деталями

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Окружные риски на торце кольца	Боковое касание	Осевую фиксацию и зазор
Холодная сварка на торцевой опоре	Сильное относительное скольжение	Затяжку и контакт соседней детали
Износ рядом с уплотнением	Касание уплотнения/детали	Геометрию и положение уплотнения

Применимость: Все типы; особенно важно в регулируемых и плотно скомпонованных узлах.
Подтверждающая проверка OID: Повреждение торца может быть источником тепла и стружки, а не следствием дефекта дорожки.
Фотоатлас: FA16 — Боковое задевание торцов.

D38. Питтинг как отдельный наблюдаемый признак

Тип повреждения	Мелкие точечные углубления и тусклая поверхность, требующие дифференциальной диагностики.
Характер повреждения	На дорожке или теле качения появляются мелкие точечные повреждения, матовость и потеря блеска. Термин описывает внешний вид, а не единственную первопричину: сходный питтинг встречается при поверхностной усталости, коррозии, загрязнении и электрическом воздействии.

Вероятные причины и профилактические меры

Вероятные причины	Профилактические меры
• частицы в смазочном материале • недостаточное смазывание • атмосферная влага и коррозия • ранняя поверхностная усталость • электрические микрократеры как альтернативная причина	• улучшать уплотнение и фильтрацию • использовать подходящую смазку • защищать от влаги • при обнаружении питтинга устанавливать механизм по сопутствующим признакам, а не по названию дефекта

Симптомы, вероятные причины и подтверждение

Симптом	Наиболее вероятная причина	Что проверить
Тусклая поверхность с мелкими точками	Загрязнение / недостаточная смазка	Смазку, фильтрацию, уплотнения
Точки с ржавчиной в основании	Коррозионный питтинг	Влагу и хранение
Равномерные микрократеры с тёмным дном	Электрическая эрозия	Изоляцию и электрический ток

Применимость: Все типы.
Подтверждающая проверка OID: В заключении рекомендуется писать не просто «питтинг», а указывать установленный механизм: усталостный, коррозионный, электрический или связанный с загрязнением.
Фотоатлас: FA14 — Поверхностная усталость, peeling и питтинг.

12.6. Фотопротокол дефектации OID

Фотофиксацию выполняют до очистки, если загрязнение, смазка, коррозионные продукты или частицы имеют диагностическое значение. После общего вида допускается очистка и повторная съёмка рабочих поверхностей.

№	Обязательный кадр	Что должно быть видно
1	Общий вид подшипника	Маркировка, положение колец и общая тяжесть повреждения
2	Внутреннее кольцо	Вся окружность дорожки; для двухрядных - оба ряда в одинаковом масштабе
3	Наружное кольцо	Вся окружность и положение зоны нагрузки
4	Тела качения	Не менее 4-6 элементов, включая наиболее и наименее повреждённые
5	Сепаратор	Окна, перемычки, направляющие поверхности, заклёпки/соединения
6	Посадочные поверхности	Отверстие внутреннего кольца и наружный диаметр наружного кольца
7	Торцы и бурты	Задиры, боковое касание, сколы, термические следы
8	Уплотнения	Кромка, дорожка уплотнения, выворачивание, нагрев и загрязнение
9	Смазка и загрязнение	Состояние до очистки, видимые частицы, вода, продукты износа
10	Масштаб	Для локальных дефектов - фото с линейкой/масштабом и крупным планом

12.7. Что фиксировать до очистки и разборки

• положение подшипника и ориентацию относительно вала/корпуса

• количество, цвет и распределение смазки
• воду, коррозионные продукты и посторонние частицы
• следы на уплотнениях и местах возможного проникновения загрязнения
• следы проворота на посадках и относительное положение колец
• состояние соседних деталей, заплечиков, втулок, гаек, дистанционных колец и корпуса

12.8. Повреждения, которые легко перепутать

Повреждение 1	Повреждение 2	Как различить
Истинное бринеллирование	Ложное бринеллирование	Первое - пластическая вмятина после ударной/статической нагрузки; второе - износ от вибрационных микроперемещений.
Ложное бринеллирование	Электрическое рифление	При электрическом повреждении характерны микрократеры и тёмное дно; при вибрационном - фреттинг и блестящие/коричневые зоны.
Классическое выкрашивание	Вторичное выкрашивание	При вторичном повреждении должен существовать первичный очаг: вмятина, коррозия, электрический кратер, царапина или задир.
Абразивный износ	Адгезионный износ	Абразивный связан с удалением материала частицами; адгезионный - с переносом металла и локальным схватыванием при скольжении.
Перегрев	Масляное изменение цвета	Цвет без задиров, размягчения или деформации сам по себе не подтверждает перегрев.
Ползучесть	Фреттинг-коррозия посадки	Ползучесть - заметное макроскопическое скольжение; фреттинг - малые микроперемещения с порошкообразными продуктами.
Питтинг	Электрические микрократеры	Слово «питтинг» описывает внешний вид; механизм устанавливают по контексту, дну кратеров и сопутствующим признакам.
Краевое качение	Царапина от частицы	Краевые выемки имеют гладкие пластически деформированные края; царапина от частицы обычно острая и линейная.

12.9. Группы вероятных первопричин

Группа	Что входит
Нагрузка и регулировка	перегрузка; ударная нагрузка; чрезмерный преднатяг; чрезмерный зазор; неправильная осевая нагрузка
Геометрия узла	несоосность; прогиб; овальность; неравномерная жёсткость; неперпендикулярность опорных поверхностей
Посадки и монтаж	слишком свободная/тугая посадка; чрезмерное продвижение по конусу; передача усилия через тела качения; удары инструментом

Группа	Что входит
Смазывание	неподходящая вязкость; недостаток или избыток смазки; нарушение подачи; деградация смазочного материала
Загрязнение и герметизация	твёрдые частицы; стружка; вода; повреждённые уплотнения; грязный монтаж
Электрическое воздействие	сварочный ток; токи утечки; неправильное заземление; отсутствие изоляции
Вибрация и простой	ложное бринеллирование; фреттинг; коррозия во время простоя
Материал	рассматривается только после исключения эксплуатационных причин и подтверждается лабораторно

12.10. Алгоритм дефектации OID

1. Зафиксировать исходное состояние до очистки и сохранить диагностически значимые частицы/смазку.
2. Идентифицировать конструкцию подшипника, способ установки, посадки, зазор/преднатяг и функцию фиксирующей/плавающей опоры.
3. Определить основной наблюдаемый симптом и код D01-D38.
4. Оценить след нагрузки на внутреннем и наружном кольцах и сравнить ряды двухрядных подшипников.
5. Разделить первичное повреждение и вторичные последствия. Ищут наиболее ранний очаг.
6. Проверить смазывание, загрязнение, уплотнения, посадочные поверхности и сопряжённые детали.
7. Проверить нагрузку, температуру, скорость, вибрацию, простои и электрические воздействия.
8. Для выводов о материале/термообработке назначить лабораторную проверку.
9. Сформулировать заключение с уровнем уверенности и указать альтернативные причины, которые не удалось исключить.

12.11. Структура итогового заключения OID

Раздел	Содержание
1. Идентификация	Тип, обозначение, номер партии/маркировка, место установки, наработка.
2. Наблюдаемые повреждения	Только фактически подтверждённые признаки и их локализация.
3. Механизм повреждения	Код D01-D38 и объяснение, почему выбран именно этот механизм.
4. Вероятная первопричина	Причина с уровнем уверенности: наблюдается / вероятно / подтверждено.
5. Подтверждающие данные	Фото, измерения посадок и зазора, смазка, температура, нагрузка, след качения, состояние сопряжённых деталей.
6. Альтернативные причины	Что проверено и исключено; что осталось неустановленным.
7. Профилактические меры	Конкретные действия по монтажу, смазыванию, герметизации, регулировке, геометрии и эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От наблюдения к подтверждённому техническому решению

Этот справочник предназначен для практической работы с подшипниковыми узлами. На любом этапе — от хранения и монтажа до эксплуатации, обслуживания и дефектации — надёжный результат начинается с точного наблюдения, правильной последовательности проверки и документирования фактов.

Справочник помогает систематизировать признаки и проверки, но окончательное инженерное решение должно учитывать фактические условия конкретного узла. Один внешний признак не следует превращать в диагноз без подтверждающих данных.

01	**Фиксируйте факты до вмешательства.** Состояние узла, следы смазки, загрязнения, положение деталей и характер повреждений необходимо зафиксировать до очистки и разборки.
02	**Оценивайте подшипник вместе с узлом.** Посадки, зазор или преднатяг, соосность, сопряжённые детали, смазка и фактический режим нагрузки могут быть не менее важны, чем состояние самого подшипника.
03	**Разделяйте симптом, механизм и первопричину.** Выкрашивание, изменение цвета, трещина или износ — это наблюдаемые признаки. Причина устанавливается только после сопоставления всей картины.
04	**Подтверждайте выводы измерениями и данными эксплуатации.** Размеры, температура, нагрузка, скорость, зазоры, состояние смазочного материала и история работы повышают доказательность заключения.
05	**Завершайте анализ предупреждением повторного отказа.** Техническое заключение должно приводить к конкретному корректирующему действию: изменить монтаж, посадку, смазывание, режим нагрузки, защиту от загрязнения или контроль.

Хорошее техническое заключение отвечает на три вопроса:

ЧТО ПРОИЗОШЛО?	ПОЧЕМУ?	ЧТО ИЗМЕНИТЬ?
Наблюдаемый дефект и механизм повреждения.	Наиболее вероятная и подтверждённая первопричина.	Корректирующие меры, исключающие повторение отказа.

ФИНАЛЬНАЯ ПАМЯТКА OID

Перед завершением дефектации и технического заключения

Перед тем как считать работу завершённой, проверьте, что вывод основан не на одном ярком признаке, а на согласованной совокупности наблюдений, измерений и эксплуатационных данных.

✓ Идентификация подшипника и узла подтверждена.	✓ Оценены количество, состояние и загрязнение смазочного материала.
✓ Условия работы зафиксированы: нагрузка, скорость, температура и среда.	✓ Первичное повреждение отделено от вторичных последствий.
✓ След нагрузки осмотрен и сопоставлен с фактическим режимом работы.	✓ Рассмотрены альтернативные причины, а не только первое очевидное объяснение.
✓ Проверены дорожки, тела качения, сепаратор, уплотнения и посадочные поверхности.	✓ Фото, измерения и эксплуатационные данные сохранены вместе с заключением.
✓ Проверены зазор или преднатяг, посадки, соосность и состояние сопряжённых деталей.	✓ Профилактические меры сформулированы конкретно и могут быть проверены после внедрения.

Уровень доказательности вывода

НАБЛЮДАЕТСЯ	ВЕРОЯТНО	ПОДТВЕРЖДЕНО
Факт подтверждается визуально или измерением.	Механизм согласуется с совокупностью признаков.	Первопричина дополнительно подтверждена данными эксплуатации, измерениями или анализом.

НАБЛЮДАТЬ. ПРОВЕРЯТЬ. ПОДТВЕРЖДАТЬ.

Единая последовательность действий превращает отдельные признаки в обоснованное инженерное решение.

КОНЕЦ ТЕХНИЧЕСКОГО СПРАВОЧНИКА OID



ONLY INDUSTRY MECHANICAL PARTS CORP.

Email: order@onlyindustry.ru
Phone: 8 (812) 330-94-14

oidbearing.com

OID®