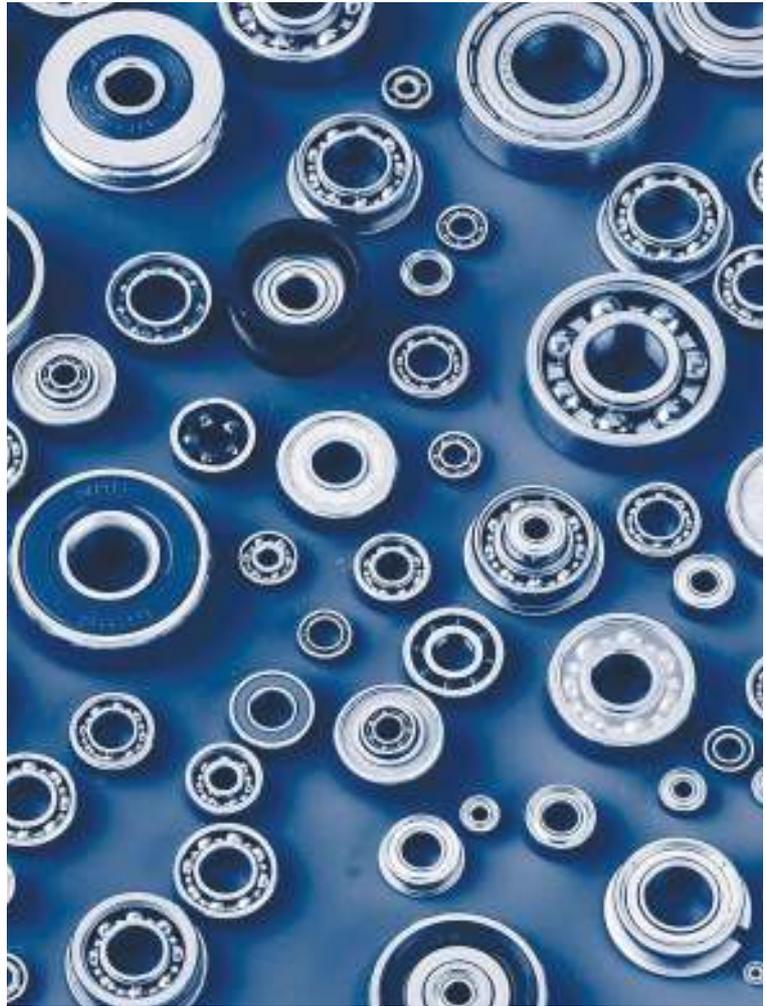


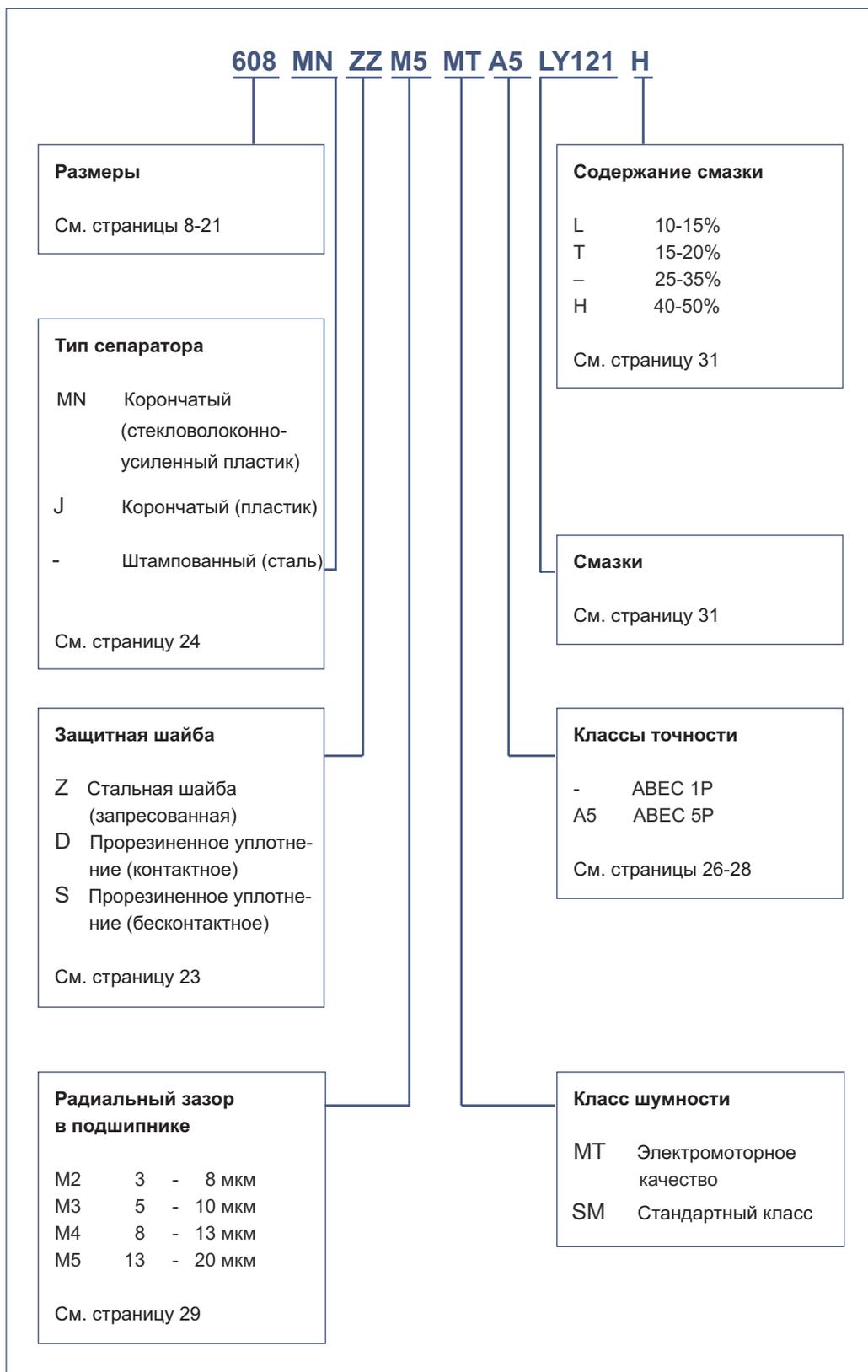
Подшипники



 **Minebea**
European Operations

Система условных обозначений PELMEC*

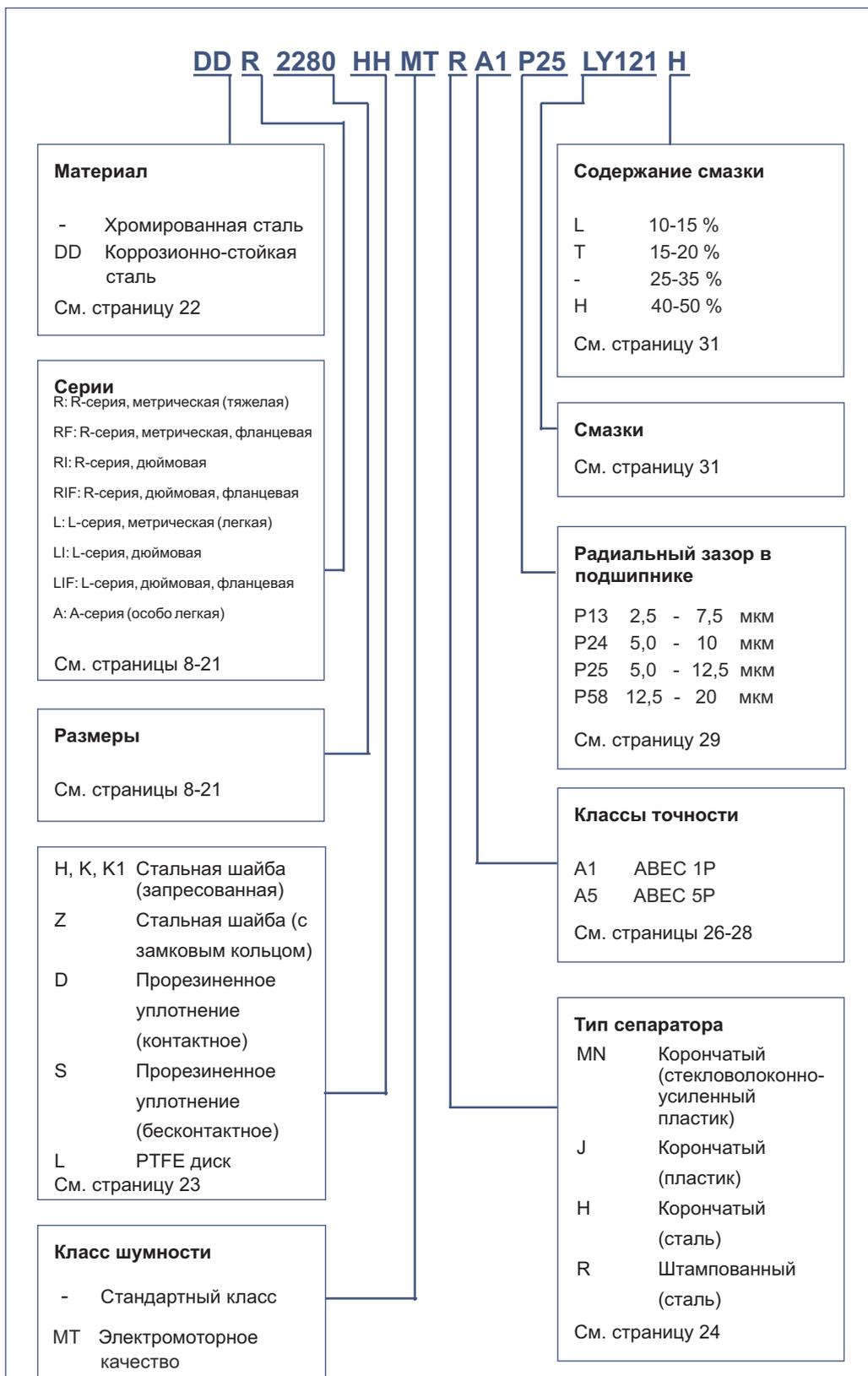
*PELMEC: Precision **E**lectro **M**Echanic **B**earings (Прецизионные Электро Механические Подшипники)
 Данная система обозначений действительна для следующих серий подшипников:
 607, 608, 609, 626, 627, 629, 635, 6000, 6001



Дополнительные отличительные особенности доступны по запросу

Система условных обозначений M+I*

*M+I: Miniature + Instrument Bearings (Миниатюрные и инструментальные подшипники)



Дополнительные отличительные особенности доступны по запросу

Материалы колец и тел качения

Кольца и тела качения подшипников изготавливаются из очень твердой, высокоочищенной подшипниковой стали для того, чтобы выдерживать высокие нагрузки. По этой причине выбираются только тщательно отобранные производители стали.

NMB Minebea применяет хромированную сталь для изготовления колец и тел качения подшипников. В тех случаях, когда требуется повышенное сопротивление коррозии, применяется коррозионно-стойкая сталь. Керамические тела качения могут быть изготовлены для некоторых типов шариковых подшипников по запросу.

NMB Minebea применяет высококачественную, вакуум-дегазированную хромированную сталь, соответствующую спецификациям JISG4805/SUJ2, или AISI/SAE 52100, или эквивалент. После термообработки эта сталь достигает твердости от 62 до 64 HRC и поэтому подходит для выдерживания высоких нагрузок в течение всего ресурса.

NMB Minebea разработала собственную коррозионно-стойкую сталь типа DD400, которая, в сравнении с другими типами сталей, такими как SUS440C/JISG4303/AISI440C, обладает повышенным качеством по твердости, долговечности и устойчивости к нагрузкам. Во-вторых, уменьшен уровень шума за счет особенностей структуры коррозионно-стойкой стали DD400 по сравнению с обычной сталью AISI/440C. В добавок, в структуре стали DD400 усовершенствованы свойства сопротивления коррозии по сравнению с AISI/440C (согласно ASTM-A380).

Хромированная сталь		состав						
стандарт	обозначение	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
JISG4805	SUJ2	0.95-1.10	0.15-0.35	0.5 MAX	0.025 MAX	0.025 MAX	1.3-1.6	–
AISI	52100	0.98-1.10	0.15-0.35	0.25-0.45	0.025 MAX	0.025 MAX	1.3-1.6	–

Коррозионно-стойкая сталь		состав						
стандарт	обозначение	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
–	DD400	0.6-0.75	1.00 MAX	1.0 MAX	0.03 MAX	0.02 MAX	11.50-13.50	0.3 MAX
JISG4303	SUS440C	0.95-1.2	1.00 MAX	1.0 MAX	0.04 MAX	0.03 MAX	16.00-18.00	*

* Возможно добавление максимально до 0.75% молибдена.

стандарт	обозначение	процентный состав						
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
JISG4303	SUS304	0.08 MAX	1.00 MAX	2.00 MAX	0.045 MAX	0.03 MAX	8.0~10.5	18.0~20.0
JISG4303	SUS410	0.15 MAX	1.00 MAX	1.00 MAX	0.04 MAX	0.03 MAX	**	11.5~13.5
JISG3141	SPCC	0.12 MAX	–	0.50 MAX	0.04 MAX	0.045 MAX	–	–

** Допустимо добавление 0.6% никеля.

Защитные уплотнения подшипников

Уплотнения защищают шариковый подшипник от загрязнений и проникновения влаги, и в то же время предотвращают вытекание смазки. В номенклатуре NMB Minebea существует серия шариковых подшипников с бесконтактными и контактными уплотнениями.

Бесконтактные уплотнения

Узкий промежуток между внутренним кольцом и защитной шайбой и лабиринтный эффект, создаваемый геометрией внутреннего кольца, не позволяет проникать загрязнениям снаружи. Поскольку в данном случае нет контакта между внутренним кольцом и защитной шайбой, негативные эффекты трения не действуют.

Металлические уплотнения

Металлические уплотнения изготавливаются из глубокотянутой листовой стали или коррозионно-стойкой стали и, согласно типу шарикового подшипника, запрессованы в установочное место на наружном кольце (рисунок А), или зафиксированы при помощи замкового кольца (рисунок В).

Прорезиненные уплотнения

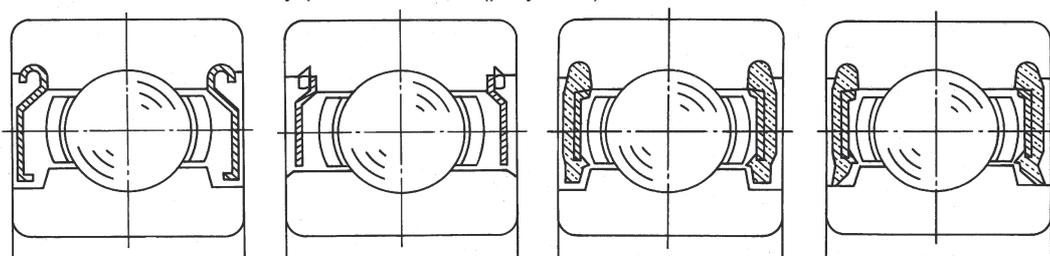
Бесконтактные прорезиненные уплотнения изготавливаются из материала Perbunan® (NBR) со стальной пластиной внутри, и могут использоваться при температурах до 120°C. Прорезиненные уплотнения устанавливаются в специальные места на наружном кольце подшипника (рисунок С). Зазор между внутренним кольцом и защитным уплотнением намного меньше, чем в случае применения металлических уплотнений.

Контактные уплотнения

Контактные уплотнения обеспечивают лучшую защиту от проникновения загрязнений и влаги. Однако, при наличии канавки на внутреннем кольце и уплотнительным диском, возникает повышенное трение.

Прорезиненные уплотнения

Контактные прорезиненные уплотнения также производятся из материала Perbunan® (NBR) со стальной пластиной внутри, и могут использоваться при температурах до 120°C. Прорезиненные уплотнения устанавливаются в специальные места на наружном кольце подшипника. Кромка уплотнения имеет контакт с внутренним кольцом (рисунок D).



А. Несъемное металлическое уплотнение В. Съемное металлическое уплотнение С. Бесконтактное прорезиненное уплотнение D. Контактное прорезиненное уплотнение

При работе в условиях высоких температур или химического воздействия, уплотнения могут изготавливаться из EPDM или HNBR (приблизительно до 130°C), ACM (приблизительно до 150°C) или Teflon (>200°C). Дополнительно возможна разработка специальных уплотнений со специфичной геометрией для частных случаев применения. В данном случае долговечность подшипника может быть гарантирована даже при применении подшипника в более загрязненных условиях, или гарантируется меньшая потеря смазочного материала. Однако, применение подобных специальных уплотнений может быть только после согласования с технической службой NMB Minebea.

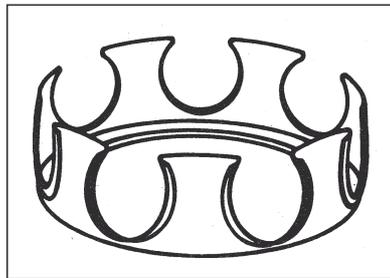
Уплотнение		NMB PELMEC	NMB M+I	DIN/ISO
Металлическая шайба + замковое кольцо			Z	Z
Металлическая шайба	гибкая	-	H	Z
Запрессованная металлическая шайба	деформ-я цинковая пластина	Z	K	Z
	деформ-я нержав. сталь	-	K1	Z
Прорезиненное уплотнение	контактное	D	D	RS
	бесконтактное	S	S	N/A (RS)
Тefлонов. уплотнение	контактное	-	L	N/A (RS)



Сепаратор

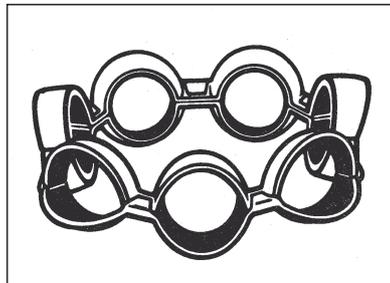
Функция сепаратора – это равномерное распределение нагрузки и направление теплоты в подшипнике, а также предотвращение дополнительного трения и нагрева. В основном сепараторы изготавливаются из стали или пластика.

Применяются следующие типы сепаратора:



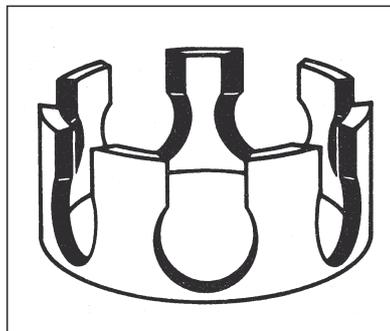
Корончатый замковый сепаратор

применяется для низких и средних скоростей вращения, где требуется очень низкая генерация трения. Корончатый сепаратор изготавливается из стальной пластины и используется в основном при производстве миниатюрных шариковых подшипников.



Штампованный сепаратор

Штампованный сепаратор из двух половинок также изготавливается из стальной пластины. Этот тип характеризуется низким моментом трогания и моментом трения. Благодаря простому процессу автоматической сборки шарикового подшипника, штампованный сепаратор из двух половинок используется для шариковых подшипников больших размеров с очень большими объемами производства.



Литой пластиковый сепаратор

Цельный литой пластиковый сепаратор производится из различных материалов, таких как стеклонаполненный полиамид или полиацетат. В общем случае литые пластиковые сепараторы применяются при очень высоких скоростях вращения. Помимо высокоскоростных свойств, литые пластиковые сепараторы также демонстрируют преимущества при применении со сложными смазочными материалами.

Температура применения ограничена и зависит от материала сепаратора. Применение подшипников в условиях химического воздействия должно быть согласовано с NMB Minebea.

Тип сепаратора	Материал	NMB PELMEC	NMB M+I	DIN/ISO
Цельный с замком	Сталь		H	JH
	Стеклонаполненный полиамид	MN	MN	TNH
	Полиамид "Nylon"	J	M7	TNH
	Полиацетат "Delrin"		J	TNH
Двойной	Сталь	нет	R	J

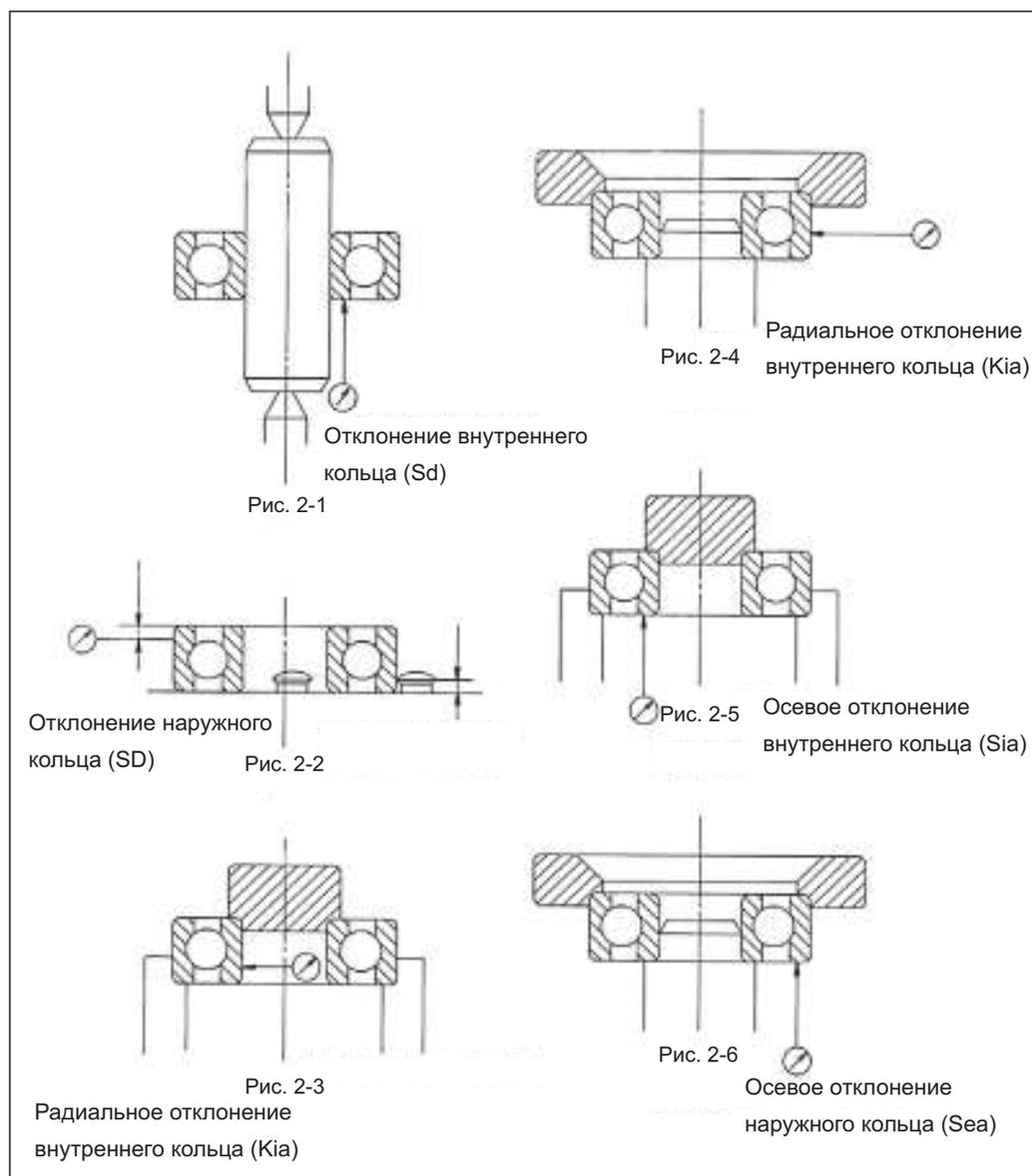
Методы измерений

NMB Minebea производит подшипники для различного рода применений, многие из которых требуют высокий уровень точности подшипника. Шариковый подшипник – основной элемент, характеристика работы которого характеризует эксплуатационные качества и точность всей машины.

NMB Minebea много лет работала для достижения высокой точности и надежности продукции. Для поддержания высокого уровня точности, наша компания применяет высокоточное измерительное оборудование, которое разработано и произведено в собственном инструментальном производстве. Для определения и изучения методов измерения подшипников, см. стандарт JISB 1515 (ISO/TR 9274).

Точность вращения

- (1) Отклонение внутреннего кольца (S_d) – см. рис. 2-1
- (2) Отклонение наружного кольца (S_D) – см. рис. 2-2
- (3) Радиальное отклонение внутреннего кольца (K_{ia}) – см. рис. 2-3
- Радиальное отклонение наружного кольца (K_{ea}) – см. рис. 2-4
- (4) Осевое отклонение внутреннего кольца (S_{ia}) – см. рис. 2-5
- Осевое отклонение наружного кольца (S_{ea}) – см. рис. 2-6



Отклонения шариковых подшипников

Шариковые подшипники NMB Minebea производятся в соответствии со стандартами JIS B 1514 (ISO 492) или AFBMA. Используются следующие символы:

Размеры

d	=	номинальный диаметр отверстия
D	=	номинальный диаметр наружного кольца
B	=	номинальная ширина внутреннего кольца
C	=	номинальная ширина наружного кольца

Отклонения

Δd_s	=	отклонение единичного диаметра отверстия
Δd_{mp}	=	отклонение среднего диаметра отверстия в единичной плоскости
ΔD_s	=	отклонение единичного диаметра наружного кольца
ΔD_{mp}	=	отклонение среднего наружного диаметра в единичной плоскости
ΔB_s	=	отклонение единичной ширины внутреннего кольца
ΔC_s	=	отклонение единичной ширины наружного кольца

Непостоянства

VD_p	=	непостоянство наружного диаметра в единичной плоскости
VD_{mp}	=	непостоянство среднего наружного диаметра
Vd_p	=	непостоянство диаметра отверстия в единичной плоскости
Vd_{mp}	=	непостоянство среднего диаметра отверстия
VB_s	=	непостоянство ширины внутреннего кольца
VC_s	=	непостоянство ширины наружного кольца

Точность вращения

K_{ia}	=	радиальное биение внутреннего кольца собранного радиального подшипника
S_{ia}	=	осевое биение внутреннего кольца собранного подшипника
S_d	=	осевое биение торцевых поверхностей внутреннего кольца относительно отверстия
K_{ea}	=	радиальное биение наружного кольца собранного радиального подшипника
S_{ea}	=	осевое биение наружного кольца собранного подшипника
SD	=	колебание отклонений линии поверхности к соответствующей боковой поверхности



Отклонения шариковых подшипников согласно ISO

Отклонения внутреннего кольца (диаметр отверстия = 18.0 мм согласно стандарту ISO) – значения в мкм

класс точности	Δ_{dmp}		Δ_{ds}		K_{ia}	S_d	S_{ia}	Δ_{BS}		VB_S
	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	макс.	макс.	от	до	макс.
0	0	-8	-	-	10	-	-	0	-40 ^{*1} -120	12 ^{*1} 15 ^{*2} 20
6	0	-7	-	-	5 ^{*1} 6 ^{*2} 7	-	-	0	-40 ^{*1} -120	12 ^{*1} 15 ^{*2} 20
5	0	-5	-	-	4	7	7	0	-40 ^{*2} -80	5
4	0	-4	0	-4	2.5	3	3	0	-40 ^{*2} -80	2.5
2	0	-2.5	0	-2.5	1.5	1.5	1.5	0	-40 ^{*2} -80	1.5

*1 = диаметр отверстия \leq 2.5 мм *2 = диаметр отверстия \leq 10.0 мм

Отклонения наружного кольца ($\varnothing = 30.0$ мм согласно стандарту ISO) – значения в мкм

класс точности	Δ_{Dmp}		Δ_{Ds}		K_{ea}	S_D	S_{ea}	Δ_{CS}		VC_S
	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	макс.	макс.	от	до	макс.
0	0	-8 ^{*1} -9	-	-	15	-	-	0	*2	* 2
6	0	-7 ^{*1} -8	-	-	8 ^{*1} 9	-	-	0	*2	* 2
5	0	-5 ^{*1} -6	-	-	5 ^{*1} 6	8	8	0	*2	5
4	0	-4 ^{*1} -5	0	-4 ^{*1} -5	3 ^{*1} 4	4	5	0	*2	2.5
2	0	-2.5 ^{*1} -4	0	-2.5 ^{*1} -4	1.5 ^{*1} 2.5	1.5	1.5 ^{*1} 2.5	0	*2	1.5

*1 = наружный диаметр \leq 18.0 мм

*2 = значения см. таблицу выше

Отклонения наружного кольца по ширине идентичны отклонениям внутреннего кольца

Отклонения шариковых подшипников согласно AFBMA

Отклонения внутреннего кольца (диаметр отверстия ≤ 18.0 мм согласно стандарту AFBMA) – значения в мкм

класс точности	Δ_{dmp}		Δ_{ds}		K_i	S_{di}	S_i	Δ_{BS}		VB_s
	макс.	мин.	макс.	мин.				от	до	
1P	0	-8	-	-	10	-	-	0	-40 ^{*1} -120	12 ^{*1} 15 ^{*2} 20
3P	0	-5.1	+2.5	-7.6	5.1 7.6	-	-	0	-127	-
5P	0	-5.1	0	-5.1	3.8	7.6	7.6	0	-25.4	5.1
7P	0	-5.1	0	-5.1	2.5	2.5	2.5	0	-25.4	2.5
9P	0	-2.5	0	-2.5	1.3	1.3	1.3	0	-25.4	1.3

*1 = диаметр отверстия ≤ 2.5 мм – *2 = диаметр отверстия ≤ 10.0 мм

Отклонения наружного кольца ($\varnothing = 30.0$ мм согласно стандарту ISO) – значения в мкм

класс точности	Δ_{Dmp}		Δ_{Ds}				K_e	S_D	S_e	Δ_{CS}		VC_s
	макс.	мин.	открытый подшипник		закрытый подшипник					от	до	
1P	0 0	-8 ^{*1} -9	-	-	15	-	-	-	0	*2	*2	
3P	0	-7.6	+2.5	-10.2	+5.1	-12.7	10.2	-	-	0	-127	-
5P	0	-5.1 ^{*1}	0	-5.1	+1	-6.1	5.1	7.6	7.6	0	-25.4	5.1
7P	0	-5.1	0	-5.1	+1	-6.1	3.8	3.8	5.1	0	-25.4	5.1
9P	0 0	-2.5 ^{*1} -3.8	0	-2.5 ^{*1} -3.8	-	-	1.3 ^{*1} 2.5	1.3	1.3 ^{*1} 2.5	0	-25.4	1.3

*1 = наружный диаметр ≤ 18.0 мм

*2 = значения см. таблицу выше

Отклонения наружного кольца по ширине идентичны отклонениям внутреннего кольца

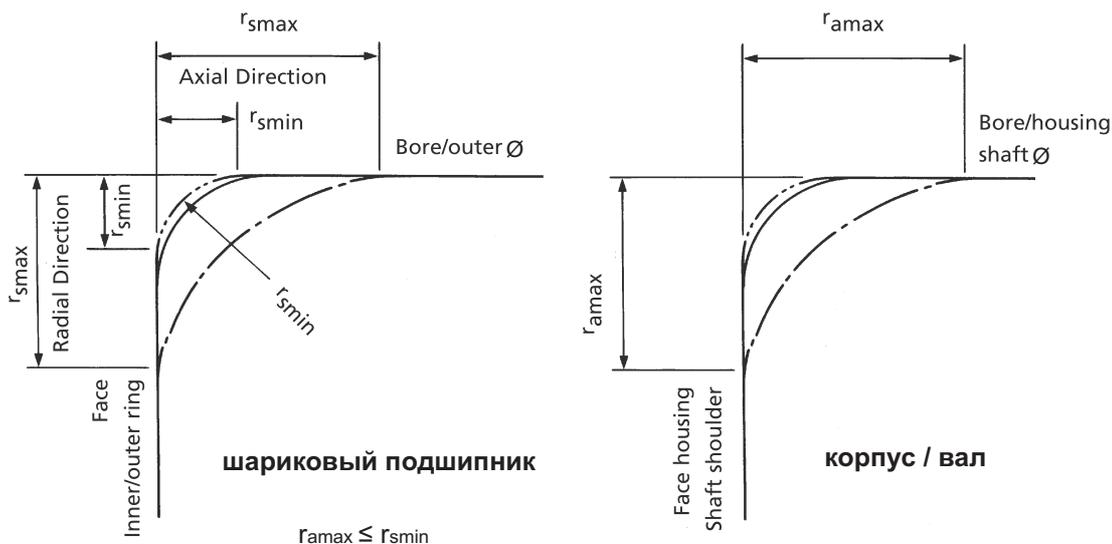
Угловой радиус

Точная форма углового профиля для подшипников в данном разделе не определяется. Она ограничена только минимальным и максимальным угловым радиусом и дугой r_{smin} (см ISO 582).

Значения в мм

r_{smin}	d		r_{smax}		r_{amax} Отверстие Корпус Вал
	>	≤	Радиальное направление	Осевое направление	
0.05	-	-	0.1	0.2	0.05
0.08	-	-	0.16	0.3	0.08
0.1	-	-	0.2	0.4	0.1
0.15	-	-	0.3	0.6	0.15
0.2	-	-	0.5	0.8	0.2
0.3	-	40	0.6	1.0	0.3
0.6	-	40	1.0	2.0	0.6

Точная форма углового профиля не определена в данном разделе, но в радиальном направлении принимается в пределах дуги, указанной на диаграмме, приведенной ниже.



Зазор подшипника

Зазор подшипника – это крайне важная характеристика. Правильный выбор зазора определяет долговечность, шумность, вибрацию и температурные характеристики шарикового подшипника. По этой причине необходимо правильно выбирать необходимую группу зазора в соответствии с особенностями монтажа и эксплуатации подшипника.

На зазор подшипника может оказывать влияние давление, прикладываемое к наружному и внутреннему кольцу, согласно выбранному способу монтажа. Зазор подшипника в неустановленном подшипнике разделяется на несколько групп зазоров. Стандартные значения радиальных зазоров для шарикового подшипника определяются согласно ISO 5753. Однако, по сравнению с ISO, NMB Minebea использует более точную классификацию с существенно уменьшенными допусками.

NMB Minebea производит шариковые подшипники для двух различных секторов продукции. Шариковые подшипники M+I (миниатюрные и инструментальные) с относительно маленькими объемами производства, преимущественно для производства инструментов, и шариковые подшипники Pelmes с обозначением по ISO. В каждом из этих секторов продукции используется различная система обозначений групп зазоров подшипников.

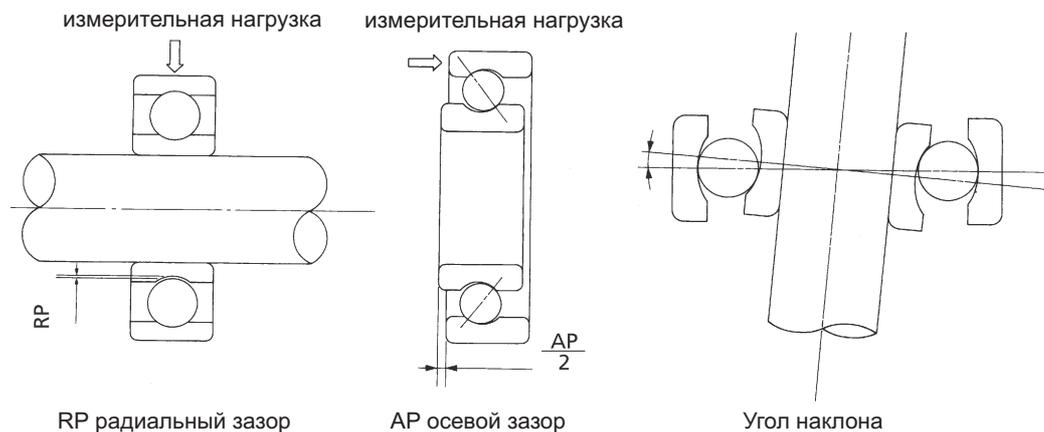
Обозначение радиального зазора для шариковых подшипников Pelmes, в мкм

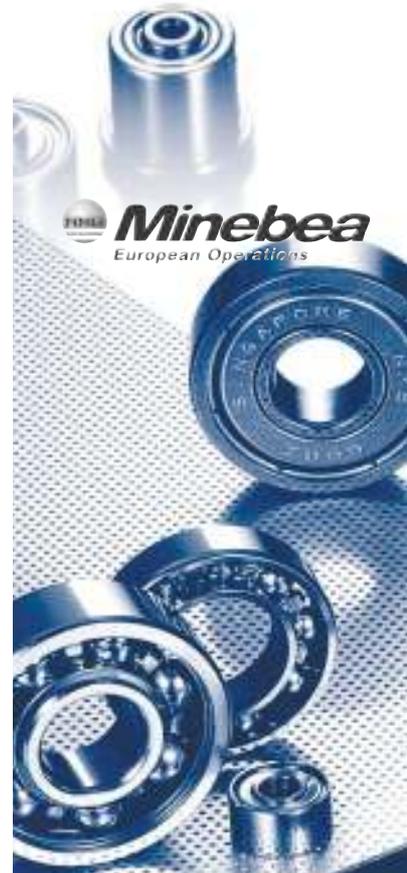
Радиальный зазор	M1	M2	M3 (стандарт)	M4	M5 (стандарт)	M6
Значение в мкм	0-5	3-8	5-10	8-13	13-20	20-28

Обозначение радиального зазора для шариковых подшипников M+I, в мкм

Радиальный зазор	P13	P24	P25 (стандарт)	P35	P58 (стандарт)
Значение в мкм	2,5-7,5	5-10	5-12,5	7,5-12,5	12,5-20

Как дополнительные характеристики, осевой зазор и угол наклона также могут представлять интерес. Осевой зазор не стандартизован, но может играть важную роль, когда, например, устанавливается общий осевой зазор ведущего вала двигателя. Максимальный угол наклона – это результат геометрии внутренней конструкции подшипника и зазора установленного подшипника. Максимальный угол наклона влияет на максимально допустимую ошибку соосности в подшипниковом узле.





Смазка

Обязательным условием сохранения долговечности шариковых подшипников является правильный выбор смазочных материалов. Выбор правильной смазки также оказывает значительное влияние на шумность, трение, скорость вращения и защиту от коррозии. В общем случае все подшипники NMB Minebea смазываются коррозионно-устойчивым маслом.

Подшипники NMB закрытой серии заполняются пластичной смазкой в процессе производства, которая рассчитана на весь срок службы подшипников. В общем случае не допускается замена смазки в закрытых шариковых подшипниках. Открытые шариковые подшипники обычно смазываются маслом.

Главные преимущества пластичной смазки – это хороший эффект защиты от проникновения загрязнений извне, низкий уровень обслуживания (смазка в процессе эксплуатации) и эффект демпфирования шума. Масляная смазка рекомендуется для приводов, где предусмотрена масляная смазка, а также в случаях, когда требуется низкий момент трения. Выбор наиболее приемлемого способа смазки зависит от параметров применения подшипника. Главным образом это рабочая температура, влияние окружающей среды (влага, загрязнения) и требования по шумности. В приведенной ниже таблице указаны стандартные масла и пластичные смазки, пригодные для применения в подшипниках NMB. Другие смазочные материалы также доступны по требованию заказчиков.

Обозн. NMB	Название продукта	Основа / загуститель	Основное масло / загуститель	Интервал температур	Результат применения	Типичное применение
L01	L-245X	диэфирное масло	3,5 / 11,8	-50/120	Защита от загрязнений	Защита от загрязнений (открытый подшипник)
LY121	Multemp SRL	диэфирное масло/литий	5,1 / 26	-40/120	Низкий шум, универсальность	Широкий спектр применения
LY342	Asonic GY 32	диэфирное масло/литий синтетич. HC	5 / 25	-50/140	Низкий шум, низкое трение	Отопитель / вентилятор Электрический мотор
LY532	Asonic HQ 72-102	диэфирное масло/полиуретан	12 / 100	-40/180	Применение при средних / высоких температурах	Применение в автомобилях
LY551	Multemp K37	РАО/полиуретан	7,9 / 47,6	-40/160	Низкое трение, применение при высоких температурах	Вакуум, электроинструмент
LY677	Fomblin NMB PF1	PFPE/PTFE	45 / 159	-60/240	Применение при очень высоких температурах	Применение в автомобилях EGR, ABS
LY683	KI berquiet BQ72-72	сложноэфирное масло/полиуретан	9 / 70	-45/180	Применение при высоких температурах / средняя нагрузка	Применение в автомобилях Электромоторы
LY684	KI bersynth HB 72-52	сложноэфирное масло/полиуретан	9 / 53	-35/180	EPDM совместимость	Применение в автомобилях Масляные насосы
LY706	KI berquiet BQH72-102	сложноэфирное масло/полиуретан	11 / 100	-40/180	Применение при высоких температурах / высокая нагрузка	Применение в автомобилях Электромоторы
LY718	KI berquiet BQ 42-32	сложноэфирное масло/литий	5 / 25	-50/150	Применение при низких температурах / плавное вращение	Медицинский инструмент Миниатюрный приводной инструмент

Количество смазки

Как правило, в закрытых подшипниках 30% свободного пространства заполнены пластичной смазкой. Однако, по запросу, количество смазки может быть изменено. Следующие суффиксы используются при обозначении количества смазки в шариковых подшипниках:

L = 10 – 15 % T = 15 – 20 % No Code 25 – 35% H = 40 – 50 % J = 50 – 60%

Долговечность – статическая грузоподъемность

Долговечность

Стандартный процесс вычисления долговечности динамически нагруженных шариковых подшипников согласно стандарту DIN ISO 281 основан на усталости материала как на причине отказа. Значение Lh10 выражает номинальную долговечность, согласно которой не менее 90 % партии одинаковых подшипников должны отработать без появления признаков усталости металла на рабочих поверхностях.

Номинальная долговечность вычисляется следующим образом:

$$\text{Формула } L_{h10} = \frac{10^6}{n \cdot 60} \left(\frac{C}{P} \right)^3 [\text{h}]$$

- Lh10 = номинальная долговечность [ч]
C = динамическая грузоподъемность [Н]
P = динамическая эквивалентная нагрузка
p = экспонента долговечности (p = 3 для шариковых подшипников)
n = количество оборотов [мин⁻¹]

Динамическая эквивалентная нагрузка P для шариковых подшипников – это математическое значение, которое преобразовывается из действующих радиальной и осевой нагрузок на шариковый подшипник в постоянно действующую радиальную нагрузку. Динамическая грузоподъемность C принимается из соответствующей таблицы в каталоге шариковых подшипников.

$$P = X \cdot Fr + Y \cdot Fa$$

где

- P = динамическая эквивалентная нагрузка
Fr = радиальная нагрузка
Fa = осевая нагрузка
X = радиальный фактор
Y = осевой фактор

Значения для факторов X, Y принимаются из процедуры вычисления согласно DIN ISO 281.

Статическая грузоподъемность

Остаточные деформации развиваются на подшипниках качения и дорожках качения подшипников под высокими статическими напряжениями. Опыт показывает, что общая остаточная деформация в 0.00001 части диаметра подшипника в центре наиболее тяжело нагруженной контактной точки между подшипником и дорожкой качения, может допускаться в большинстве случаев применения без снижения рабочей эффективности подшипника. Статическая грузоподъемность устанавливается максимальной в случае, когда эта деформация приблизительно возникает при равнозначности эквивалентной статической нагрузки и статической грузоподъемности.

Статическая эквивалентная нагрузка P₀ для шариковых подшипников – это математическое значение, которое преобразовывается из действующих радиальной и осевой нагрузок на шариковый подшипник в постоянно действующую радиальную нагрузку. Статическая грузоподъемность C₀ принимается из соответствующей таблицы в каталоге шариковых подшипников.

$$P_0 = X_0 \cdot Fr + Y_0 \cdot Fa$$

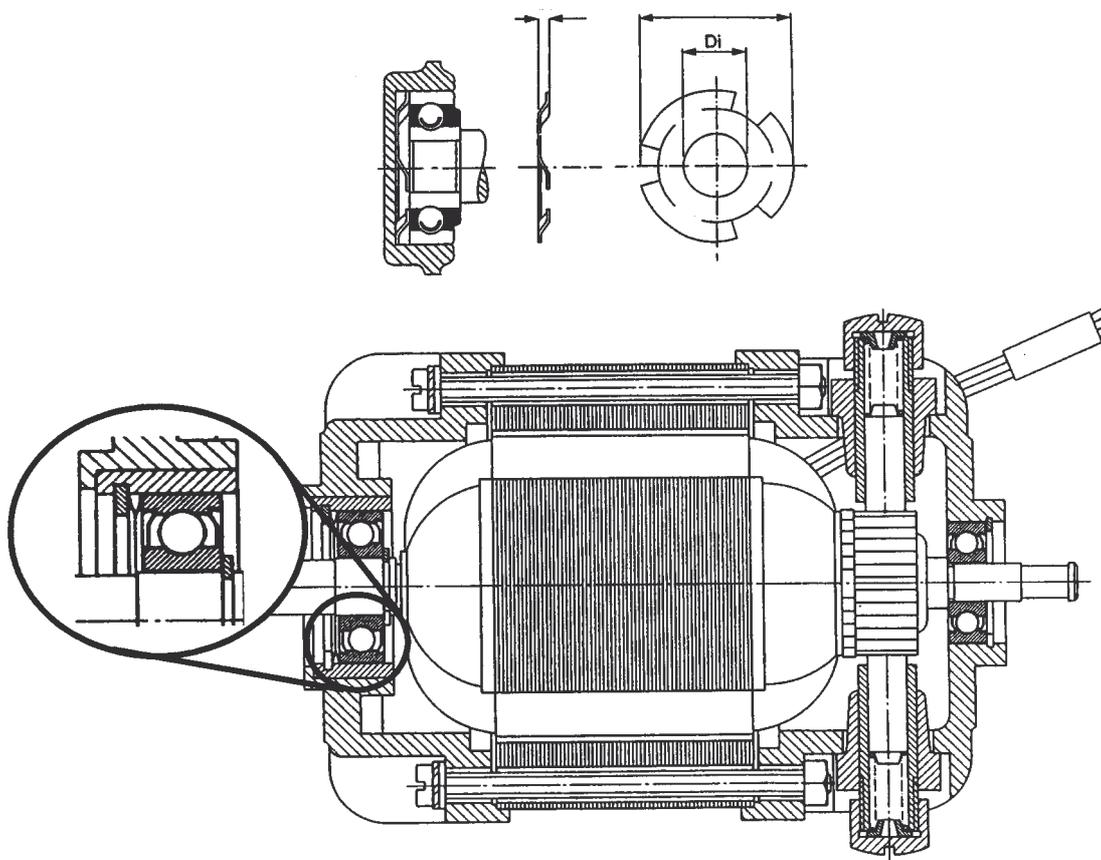
- P₀ = статическая эквивалентная нагрузка
Fr = радиальная нагрузка
Fa = осевая нагрузка
X₀ = радиальный фактор = 0.6 для шариковых подшипников
Y₀ = осевой фактор = 0.5 для шариковых подшипников

Значения для факторов X, Y принимаются из процедуры вычисления согласно DIN ISO 76.

Предварительное нагружение / регулировка подшипника

Для того, чтобы достичь максимально низких рабочих шумов, в большинстве случаев применения, два шариковых подшипника устанавливаются рядом друг с другом (предварительно нагруженные). Предварительное нагружение достигается упругими элементами. Упругий тип предварительной нагрузки уменьшает температурные изменения в процессе эксплуатации, а также вибрации и стационарные напряжения.

Оптимальная предварительная нагрузка должна просчитываться для каждого случая применения отдельно. Если предварительная нагрузка слишком велика, увеличивается момент трения и температура, что приводит к уменьшению долговечности подшипника. С другой стороны, при недостаточной предварительной нагрузке, возникают проблемы с коррозией трения, фреттинг-коррозией, вибрацией и, как следствие, с повышенной шумностью работы. NMB Minebea рекомендует прикладывать предварительную нагрузку к неподвижному кольцу шарикового подшипника. Это препятствует коррозии трения, которая возникает при относительном моменте между вращающимися частями. Вращающееся кольцо должно быть зафиксировано тугой посадкой. Для большинства применений, это означает, что внутреннее кольцо шарикового подшипника должно быть установлено на вращающийся вал с тугой посадкой. Предварительное нагружение должно быть установлено между наружными кольцами подшипников при помощи упругих элементов, например, трехточечной гофрированной шайбы (см. эскиз).



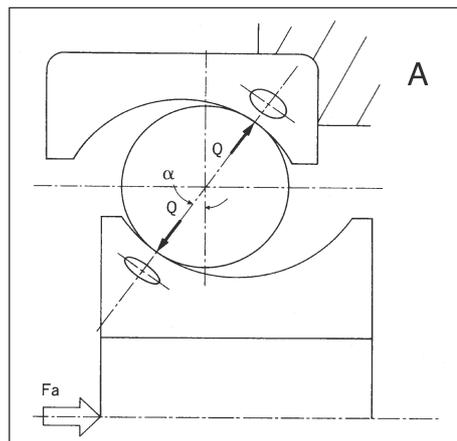
Предварительный натяг

Оптимальный предварительный натяг

В большинстве случаев применения шариковых подшипников, преднамеренно устанавливается осевая нагрузка. Это делается по двум причинам:

При наличии внутреннего зазора в подшипнике, будут возникать вибрации и шум, а также возможно дополнительное колебание подшипника. Сила, прикладываемая в осевом направлении, называется предварительным натягом. Оптимальный предварительный натяг должен быть рассчитан для каждого типоразмера подшипника. При установке избыточного предварительного натяга, долговечность подшипника будет небольшой, а момент трогания будет высоким. При недостаточном предварительном натяге может возникать фреттинг-коррозия. Она возникает как результат вибрации, вызванной резонированием шариков по дорожке качения. Следовательно, очень важно правильное применение предварительного натяга. Оптимальный преднатяг рекомендуется выбирать после подсчета оптимальных рабочих поверхностных напряжений на контактном эллипсе.

Контактный эллипс – это область контакта между шариком и дорожкой качения, которая возникает как результат пластической деформации обеих частей под нагрузкой. Рабочие поверхностные напряжения принимаются как Q/S , где Q – нагрузка на шарик или нагрузка на дорожку качения (перпендикулярно точке контакта), S – область поверхности контактного эллипса (см. рисунок А).



Метод вычисления поверхностных натяжений

$$\text{Большая полуось } a = e_a \sqrt[3]{\frac{Q}{\sum \rho}}$$

$$\text{Малая полуось } b = e_b \sqrt[3]{\frac{Q}{\sum \rho}}$$

Область пов-ти контактного эллипса $S = \pi ab$

Нагрузка на шарик $Q = Fa / Z \sin \alpha$

Поверхностные натяжения $P = Q/S$

Оптимальный преднатяг $Fa = P \times S \times Z \sin \alpha$

В зависимости от требований долговечности подшипника и условий его применения, могут применяться следующие правила. Если требуемая долговечность свыше 10000 часов (например, подшипник для жесткого диска), преднатяг может быть вычислен при условии, что оптимальные поверхностные контактные напряжения не превышают 80 кгс/мм^2 .

Для условий применения с требуемой долговечностью от 5000 до 10000 часов, оптимальный преднатяг может быть вычислен при условии воздействия напряжений контактного эллипса, которые не превышают 100 кгс/мм^2 (общие случаи применения).

При требуемой долговечности подшипника менее 5000 часов, поверхностные напряжения принимаются менее 150 кгс/мм^2 (как правило, используется в случаях применения, где требуется жесткость).

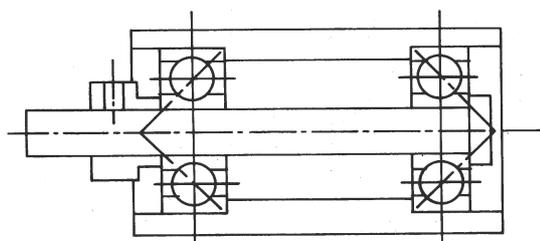
Если поверхностные напряжения свыше 270 кгс/мм^2 возникают в подшипнике из высокоуглеродистой хромированной стали, они могут вызывать деформацию шариков и дорожек качения. Возможно, что напряжения менее 270 кгс/мм^2 не будут приводить к деформации шариков и дорожек качения, но тем не менее, мы рекомендуем применять максимально безопасные напряжения в 160 кгс/мм^2 . Пожалуйста, свяжитесь с инженерно-техническим отделом NMB Minebea для получения дальнейшей информации по этому вопросу.

Предварительный натяг и жесткость

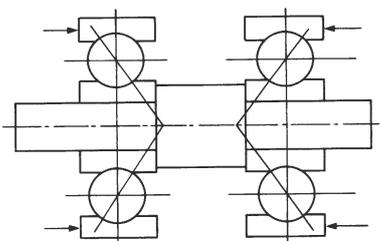
Существует два основных способа создания предварительного натяга: жесткий преднатяг и упругий преднатяг.

Жесткий предварительный натяг может быть достигнут при механическом фиксировании всех колец под осевой нагрузкой. Преимущества данного типа конструкции в том, что компоненты просты и обеспечивается высокая жесткость. Недостаток способа – большие изменения значений предварительного натяга при изменениях рабочей температуры. Преднатяг может уменьшать величину износа.

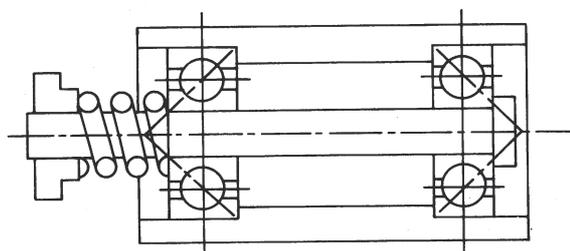
Предварительный натяг под постоянным давлением (или упругий преднатяг), может быть выполнен при использовании пружинной шайбы. Преимущество данного способа преднатяга в том, что он позволяет выдерживать плотный преднатяг при изменениях температуры. Недостаток способа в том, что конструкция более сложная и обычно имеет меньшую жесткость. Преднатяг может быть выполнен в двух направлениях, DB и DF (DB – дуплекс «задний к заднему торцу», DF – дуплекс «передний к переднему торцу»). При расчете жесткости, дуплекс DB используется более часто, поскольку он жестче при мгновенных нагрузках.



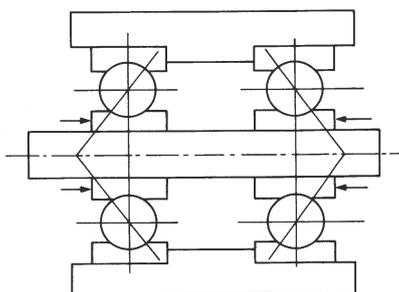
Жесткий предварительный натяг



Преднатяг «передний к переднему торцу» (DF)



Упругий предварительный натяг



Преднатяг «задний к заднему торцу» (DB)

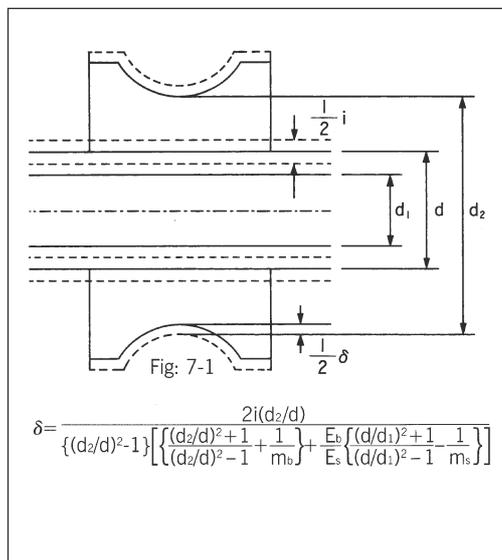


Посадка подшипников

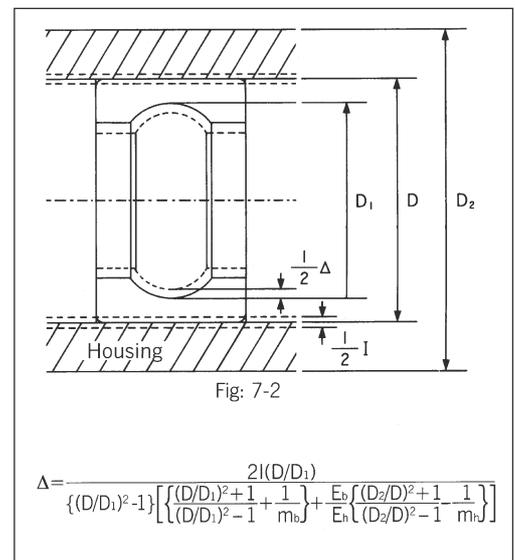
Шариковый подшипник обычно сажается на вал или в корпус тугой посадкой, или приклеивается. Посадка очень сильно влияет на работоспособность подшипника, поскольку вследствие неверной посадки может возникнуть уменьшение радиального зазора, которое возникает в результате напряжений, приложенных к внутреннему/наружному кольцу, которые, соответственно, вызывают расширение/сужение соответствующего кольца. При тугой посадке геометрия вала/корпуса влияет на форму внутреннего/наружного кольца. Клей также порождает подобные эффекты. Это происходит в результате ускоренного расширения клея на определенном участке в процессе затвердевания. Эти факторы влияют на долговечность подшипника, момент, стабильность вращения, переменное радиальное проскальзывание и шум.

Расширение внутреннего кольца может быть вычислено следующим методом:

Посадка шарикового подшипника на вал



Посадка шарикового подшипника в корпус



Расширение внутреннего кольца Δ , вызванное тугой посадкой шарикового подшипника на вал эквивалентно уменьшению радиального зазора шарикового подшипника.

δ = расширение внутреннего кольца, вызванное тугой посадкой

d = диаметр отверстия

d_1 = диаметр отверстия вала (если вал сплошной, значение принимается равным 0)

l = посадка

E_b = модуль упругости Юнга (для внутреннего кольца)

E_s = модуль упругости Юнга (для вала)

m_b = коэффициент Пуассона (для внутреннего кольца)

m_s = коэффициент Пуассона (для вала)

Уменьшение наружного кольца, вызванное тугой посадкой шарикового подшипника в корпус, эквивалентно уменьшению радиального зазора шарикового подшипника.

Δ = сжатие наружного кольца, вызванное тугой посадкой

D_1 = диаметр дорожки качения наружного кольца

D = наружный диаметр наружного кольца

D_2 = наружный диаметр корпуса

l = посадка

E_n = модуль упругости Юнга (для корпуса)

m_n = коэффициент Пуассона (для корпуса)



Отклонения подшипников, коэффициент деформации и внутренние колебания подшипников

Прикладываемая внешняя нагрузка на шариковый подшипник вызывает деформацию дорожек качения и шариков (выработка), вызывая отклонения подшипника. Количество отклонений очень важно при вычислении коэффициента деформации и внутренних колебаний подшипника.

Радиальное отклонение

Рисунок ниже показывает усилие F , возникающее в результате действия максимальной нагрузки Q в однорядном шариковом подшипнике.

Значение Q между двумя шариками вычисляется следующим образом:

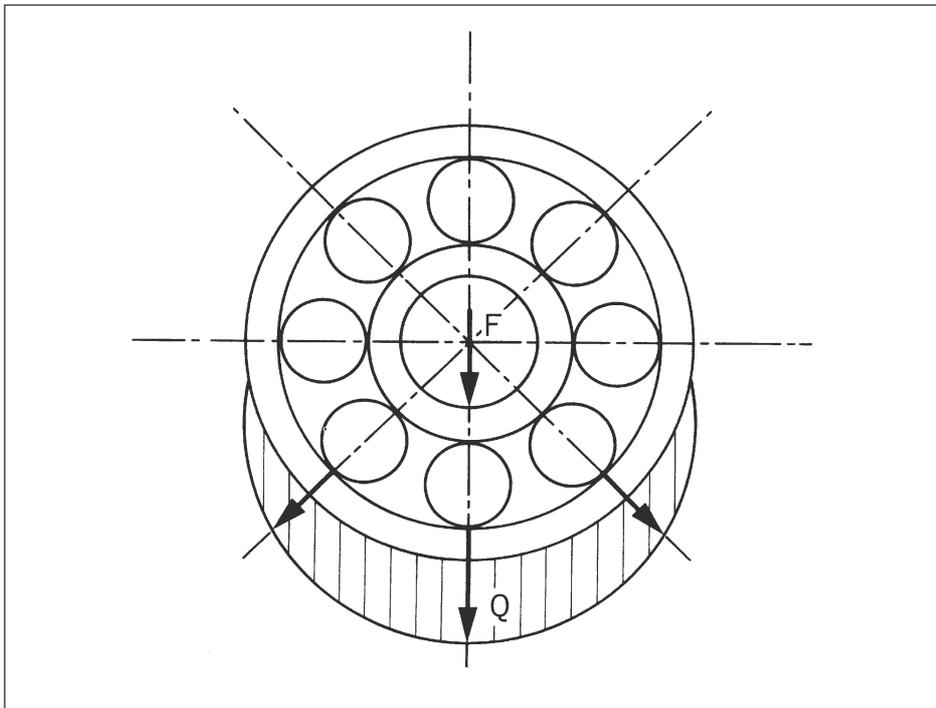
$$Q = \frac{5}{Z} F$$

Количество отклонений в контактной точке вычисляется следующим образом:

$$\delta = e \delta_{\sqrt[3]{(\sum \rho) Q^2}}$$

Отклонения возникают на внутреннем и наружном кольце и могут быть вычислены следующим образом:

$\delta_i = \delta_i \delta_e$ $t =$ общее, $i =$ внутреннее кольцо, $e =$ наружное кольцо



Отклонения подшипников, коэффициент деформации и внутренние колебания подшипников

Осевое отклонение

В случае, когда на шариковый подшипник прикладывается осевая нагрузка, осевое отклонение может быть вычислено следующим образом:

Нагруженный угол контакта $\alpha_0 = \frac{1}{\cos} \left(1 - \frac{G_r}{2 \cdot (r_i + r_e - D_w)} \right)$

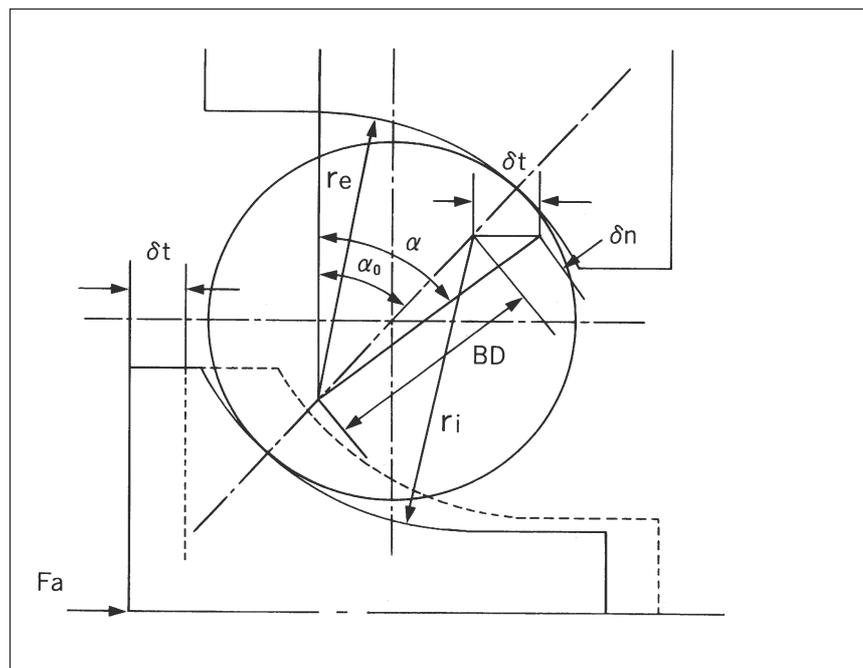
Отношение между свободным и нагруженным углом контакта $\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} = 1 + \frac{c \cdot D_w}{(r_i + r_e - D_w)} \cdot \left(\frac{F_a}{Z \cdot D_w^2 \cdot \sin \alpha} \right)^{\frac{2}{3}}$

Согласно приведенным выше вычислениям, осевое отклонение может быть вычислено следующим образом:

$$\delta_t = (r_i + r_e - D_w) \cdot (\sin \alpha - \sin \alpha_0) + c \cdot \left(\frac{F_a}{Z} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\sin \alpha}{D_w} \right)^{\frac{1}{3}}$$

c_r = радиальный зазор

c = модуль упругости

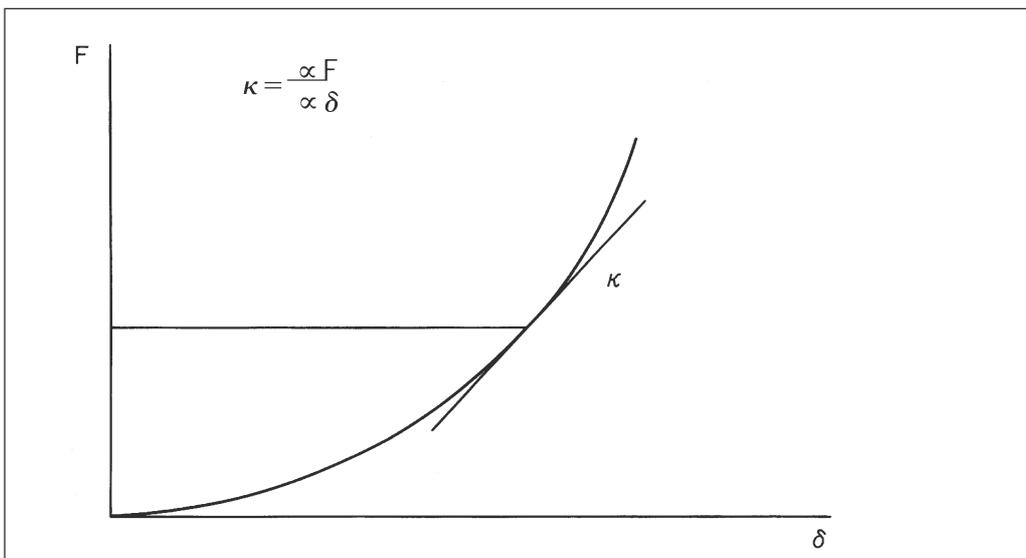




Отклонения подшипников, коэффициент деформации и внутренние колебания подшипников

Производительность

В случае, когда внешняя нагрузка прикладывается на шариковый подшипник, шарик может приниматься как пружина. Производительность может быть изображена как на рисунке ниже, в соответствии с вычислениями на страницах 37 и 38. При построении графика отклонений подшипника в зависимости от нагрузки, касательная линия может быть изображена в определенном интервале нагрузок для получения заданного коэффициента деформации.



Внутренние колебания

Внутренние колебания, действующие на шариковые подшипники, становятся все более значимыми при существующей тенденции уменьшения размеров моторов. Эффекты вибраций, получающиеся в результате резонанса внутренних колебаний шариковых подшипников, означают то, что факторы шумности становятся критичными на этапе выбора шарикового подшипника.

Внутренние колебания в осевом направлении $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{kg}{W}}$

Переменные, влияющие на внутренние колебания в шариковых подшипниках:

W = масса наружного кольца

g = сила тяжести

K = коэффициент деформации

Шумность подшипника

Условия применения шарикового подшипника очень часто требуют пониженных шумовых характеристик, например, при применении в проигрывателях, офисном оборудовании, вентиляторах, моторах ит.д.

Очень трудно установить характеристики шумности шарикового подшипника простым проведением метрологических измерений. Поэтому необходимо проводить динамические или рабочие испытания на шумность.

Вибрации при вращении

Основная функция шарикового подшипника – это тихое и плавное вращение при генерации минимальной вибрации. Однако, когда вращательные и/или внешние частоты вибраций совпадают с внутренними частотами компонентов подшипника, происходит резонанс, который приводит к повышенному шуму и вибрации.

Вибрация при внутренних колебаниях шарикового подшипника меняется при изменении скорости вращения. Вибрация имеет три направления: осевое, радиальное и циркулярное. Направление вибрации может быть критичным в зависимости от условий применения. Три направления вибрации могут производить дополнительную энергию внутри компонентов подшипника, вызывая резонанс. Компания NMB заработала отличную репутацию за высокую точность и хорошее качество шариковых подшипников с низкими характеристиками вибраций.

Вычисление частот вибраций

Применение при вращении внутреннего кольца @ f_r [Гц]

f_a = Орбитальная частота шарика (вращение вокруг оси вращения подшипника)

$$f_a = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{D_w}{D_{pw}} \cos \alpha_0 \right) f_r$$

f_b = Частота сепаратора (равна f_a , сепаратор и шарики вращаются с одинаковой скоростью)

$$f_b = f_a$$

f_c = Частота вращения шарика (вращение вокруг своей собственной оси)

$$f_c = \frac{1}{2} \left(\frac{D_{pw}}{D_w} - \frac{D_w}{D_{pw}} \cos^2 \alpha_0 \right) f_r$$

f_d = Вибрации, вызванные частотой проскальзывания шарика

f_{dt} = (частота пробега шарика по наружной дорожке качения/дефект наружной дорожки качения)

$$f_{dt} = Z f_a$$

f_{dr} = (частота пробега шарика по внутренней дорожке качения/дефект внутренней дорожки качения)

$$f_{dr} = Z (f_c - f_a)$$

Применение при вращении наружного кольца @ F_r [Гц]

F_a = Орбитальная частота шарика (вращение вокруг оси вращения подшипника)

$$F_a = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{D_w}{D_{pw}} \cos \alpha_0 \right) F_r$$

F_b = Частота сепаратора (равна F_a , сепаратор и шарики вращаются с одинаковой скоростью)

$$F_b = F_a$$

F_c = Частота вращения шарика (вращение вокруг своей собственной оси)

$$F_c = \frac{1}{2} \left(\frac{D_{pw}}{D_w} - \frac{D_w}{D_{pw}} \cos^2 \alpha_0 \right) F_r$$

F_d = Вибрации, вызванные частотой проскальзывания шарика

F_{dt} = (частота пробега шарика по наружной дорожке качения/дефект наружной дорожки качения)

$$F_{dt} = Z F_a$$

F_{dr} = (частота пробега шарика по внутренней дорожке качения/дефект внутренней дорожки качения)

$$F_{dr} = Z (F_c - F_a)$$

Используемые переменные:

D_w = диаметр шарика; D_{pw} = диаметр делительной окружности; α_0 = номинальный угол контакта;

Z = количество шариков; n = целое число;

f_r = скорость вращения внутреннего кольца (Гц); F_r = скорость вращения наружного кольца (Гц);

$\cos \alpha_0 \approx 1$ (может использоваться в данных вычислениях).