



Temperature



# Смазывание

<b>Основные задачи смазывания</b> . . . . .	<b>240</b>	<b>Процедуры повторного смазывания</b> . . . . .	<b>258</b>
Коэффициент вязкости к . . . . .	241	Пополнение пластичной смазки . . . . .	258
<b>Смазывание пластичной смазкой</b> . . . . .	<b>242</b>	Замена пластичной смазки . . . . .	260
<b>Пластичные смазки</b> . . . . .	<b>244</b>	Непрерывное смазывание . . . . .	261
Диапазон температур — принцип		<b>Смазывание маслом</b> . . . . .	<b>262</b>
светофора SKF . . . . .	244	Методы смазывания маслом . . . . .	262
Температурные диапазоны . . . . .	246	Смазывание масляной ванной . . . . .	262
Консистенция . . . . .	246	Смазывание с использованием	
Вязкость базового масла . . . . .	246	маслоподающего кольца . . . . .	263
Вращение наружного кольца . . . . .	248	Смазывание циркуляцией масла . . . . .	263
Защита от коррозии . . . . .	248	Смазывание впрыском масла . . . . .	264
Грузоподъёмность . . . . .	248	Масловоздушное смазывание . . . . .	264
Антизадирные присадки . . . . .	248	Смазочные масла . . . . .	265
Антиизносные присадки . . . . .	249	Выбор смазочного масла . . . . .	266
Смешиваемость . . . . .	249	Замена масла . . . . .	267
<b>Пластичные смазки SKF</b> . . . . .	<b>252</b>		
<b>Повторное смазывание</b> . . . . .	<b>252</b>		
Периодичность замены смазки . . . . .	252		
Изменение интервалов смазывания в			
зависимости от рабочих условий и типа			
подшипника . . . . .	253		
Рабочая температура . . . . .	253		
Вертикальные валы . . . . .	253		
Вибрация . . . . .	253		
Загрязнённость . . . . .	253		
Очень низкие частоты вращения . . . . .	254		
Высокие частоты вращения . . . . .	254		
Тяжёлые и очень тяжёлые нагрузки . . . . .	254		
Очень малые нагрузки . . . . .	254		
Перекок . . . . .	254		
Крупногабаритные подшипники . . . . .	254		
Цилиндрические роликоподшипники . . . . .	254		
Рекомендации . . . . .	255		



## Основные задачи смазывания

Подшипники качения требуют смазывания, которое обеспечивает достижение расчётного ресурса, препятствует непосредственному контакту поверхностей тел качения с дорожками качения, сепараторами и другими компонентами системы подшипникового узла. Смазочный материал препятствует износу и защищает поверхности подшипника от коррозии. Оптимальный выбор смазочного материала и способа смазывания для определённых рабочих условий не менее важен, чем соблюдение процедур правильного технического обслуживания.

Для смазывания подшипников качения предлагается широкий выбор пластичных смазок, масел и других смазочных материалов, например, веществ на основе графита. Выбор смазочного материала и способа смазывания зависит главным образом от рабочих условий и таких показателей как требуемая частота вращения и допустимая рабочая температура. На выбор смазочного материала также влияют и другие факторы, такие как вибрация и нагрузки.

Как правило, наиболее благоприятные температурные рабочие условия достигаются, когда для надёжного смазывания подшипника используется минимально необходимое количество смазочного материала. Однако, когда смазочный материал выполняет дополнительные функции, такие как уплотнение или отвод тепла, может потребоваться его дополнительное количество.

Свойства смазочного материала постепенно ухудшаются из-за совершаемой механической работы, старения смазочного материала и его загрязнения. Поэтому необходимо регулярно пополнять или заменять пластичную смазку, а также фильтровать и заменять смазочное масло.

Информация и рекомендации, представленные в данном разделе, относятся к подшипникам без встроенных уплотнений или защитных шайб. Подшипники и подшипниковые узлы SKF со встроенными уплотнениями и/или защитными шайбами поставляются с пластичной смазкой, заложенной на весь срок службы подшипника. Информация об используемых SKF стандартных пластичных смазках с

кратким описанием их характеристик приведена в соответствующих разделах каталога.

В нормальных рабочих условиях срок службы пластичной смазки в уплотнённых подшипниках превышает срок службы самого подшипника, поэтому, за некоторым исключением, повторное смазывание таких подшипников не требуется.

Для рассмотрения работы подшипников под нормальными рабочими условиями подразумевается следующее:

- нагрузки постоянны по величине и направлению
- нагрузки равны или превышают рекомендуемую минимальную нагрузку, что составляет как минимум:
  - 0,01 С для шарикоподшипников
  - 0,02 С для роликоподшипников
- постоянная частота вращения, не превышающая допустимую

### Сепараторы с центрированием по одному из колец

Подшипники с сепараторами, центрируемыми по одному из колец, как правило смазываются маслом. Смазывание пластичной смазкой может использоваться при работе со средними частотами вращения. Необходимую информацию о конструкциях сепараторов и технических требованиях можно найти в соответствующих разделах каталога.

### Характеристики смазочных материалов

Смазочные свойства на первый взгляд идентичных смазочных материалов, в особенности пластичных смазок, изготовленных на различных заводах-изготовителях, могут в значительной степени различаться. В связи с этим SKF не может взять на себя ответственность за качество и свойства любых смазочных материалов. Поэтому рекомендуется подробно сформулировать требования к смазочному материалу и выбрать наиболее подходящий смазочный материал для конкретной области применения.

- соответствующий рабочий зазор
- для смазывания пластичной смазкой:
  - работа только в установившемся режиме (после нескольких часов работы)
  - пластичная смазка с загустителем на основе литиевого мыла с минеральным маслом
  - заполнение свободного пространства внутри подшипника приблизительно на 30 %
  - минимальная температура окружающей среды 20 °C (70 °F)
- для смазывания маслом:
  - смазывание масляной ванной, впрыском масла или масловоздушное смазывание
  - диапазон вязкости от 2 до 500 мм<sup>2</sup>/с

### Коэффициент вязкости $k$

Значение вязкости масла для образования гидродинамической плёнки, разделяющей контактные поверхности подшипника, рассматривается в разделе «Условия смазывания — коэффициент вязкости  $k$ » (→ стр. 71). Эта информация в равной степени относится к вязкости базового масла пластичных смазок и смазочных масел.

Состояние смазочного материала описывается коэффициентом вязкости  $k$ , который является отношением фактической вязкости  $\nu$  к номинальной вязкости  $\nu_1$ , требуемой для достаточного смазывания. При этом обе эти величины рассматриваются при нормальной рабочей температуре смазочного материала.

$$k = \frac{\nu}{\nu_1}$$

где

$k$  = коэффициент вязкости

$\nu$  = фактическая вязкость смазочного материала [мм<sup>2</sup>/с]

$\nu_1$  = номинальная вязкость смазочного материала в зависимости от среднего диаметра подшипника и частоты вращения [мм<sup>2</sup>/с]

Для разделения контактных поверхностей подшипника требуется коэффициент вязкости  $k = 1$ . При  $k \geq 4$  достигаются условия образования полноценной гидродинамической плёнки для правильного смазывания. Тем не менее, SKF рекомендует ограничить коэффициент  $k$

величиной 4, в противном случае тепловыделение из-за трения снизит рабочую вязкость.

При  $k < 1$  формирование достаточной гидродинамической плёнки невозможно, вследствие чего может возникнуть контакт металлических поверхностей. Использование смазочных материалов, содержащих антизадирующие и антиизносные присадки (→ «Грузоподъёмность», стр. 248), может увеличить срок службы подшипника.

В условиях смазывания с коэффициентом вязкости  $k < 0,4$  необходимо использовать масла с антизадирующими (EP) присадками.

При  $k < 1$  следует рассмотреть возможность использования гибридных подшипников (→ «Гибридные подшипники», стр. 1205).

Даже в условиях неправильного смазывания риск появления задиров на стальных дорожках качения вследствие контакта с телами качения из нитрида кремния очень мал.

## Смазывание пластичной смазкой

Большинство подшипников качения смазывается пластичной смазкой. По сравнению с маслом значительным преимуществом пластичной смазки является то, что она лучше удерживается в подшипниковом узле, особенно в случае монтажа на наклонных или вертикальных валах. Пластичная смазка также может способствовать защите подшипникового узла от проникновения твёрдых и жидких загрязняющих веществ, а также предохраняет от конденсирования влаги.

Данные по диапазонам частот вращения, интервалам температур, а так же по уровням рабочих нагрузок могут отличаться от данных для подшипников. Типичные значения для подшипников, которые обычно работают с пластичной смазкой, приведены в следующих таблицах:

- **таблица 1:** диапазоны частот вращения для радиальных подшипников, смазываемых пластичной смазкой
- **таблица 2:** температура пластичной смазки
- **таблица 3:** диапазоны нагрузок для пластичных смазок

Количество используемой пластичной смазки зависит от условий работы. Недостаточное количество смазки приводит к возникновению контакта металлических поверхностей и преждевременному выходу подшипника из строя. Избыточное количество пластичной смазки вызывает быстрое повышение рабочей температуры подшипника, особенно при больших частотах вращения. Подшипники SKF с уплотнениями или защитными шайбами (уплотнённые подшипники) при изготовлении заполняются пластичной смазкой в объёме, который обеспечивает продолжительный срок службы подшипника.

В зависимости от диапазона частот вращения (→ **таблица 1**), SKF рекомендует следующее процентное заполнение подшипника пластичной смазкой:

- 100 % для низких частот вращения
- 30–50 % для средних и высоких частот вращения

Свободное пространство в корпусе подшипникового узла необходимо частично заполнить пластичной смазкой. Перед началом эксплуатации подшипника на полной скорости необходимо дать возможность излишкам смазки осесть или вытечь из подшипника в процессе приработки. В конце периода приработки рабочая температура значительно снижается, указывая на то, что пластичная смазка распределилась в полости подшипникового узла.

В тех случаях, когда подшипник работает с очень малой частотой вращения и требуется надёжная защита от загрязнений и коррозии, SKF рекомендует заполнять полость корпуса пластичной смазкой до 90 %.

Таблица 1

## Диапазоны частот вращения для радиальных подшипников, смазываемых пластичной смазкой

Диапазон частот вращения	Параметр быстроходности Шарикоподшипники	Игольчатые, сферические, конические роликоподшипники и тороидальные роликоподшипники CARB		Цилиндрические роликоподшипники
		$A = n \cdot d_m$		
		мм·об/мин		
<b>VL</b>	Очень низкие	–	< 30 000	< 30 000
<b>L</b>	Низкие	< 100 000	< 75 000	< 75 000
<b>M</b>	Средние	< 300 000	< 210 000	< 270 000
<b>H</b>	Высокие	< 500 000	≥ 210 000	≥ 270 000
<b>VH</b>	Очень высокие	< 700 000	–	–
<b>EH</b>	Экстремально высокие	≥ 700 000	–	–

$n$  = частота вращения [об/мин]  
 $d_m$  = средний диаметр подшипника [мм]  
 $= 0,5 (d + D)$

Срок службы пластичной смазки можно рассчитать только с учётом диапазонов частот вращения, перечисленных в таблице.

Таблица 2

## Температурные диапазоны для пластичных смазок

Диапазон температур		Диапазон	
		°C	°F
–			
<b>L</b>	Низкие	< 50	< 120
<b>M</b>	Средние	от 50 до 100	от 120 до 210
<b>H</b>	Высокие	от 100 до 150	от 210 до 300
<b>VH</b>	Очень высокие	> 150	> 300

Таблица 3

## Диапазоны нагрузок для пластичных смазок

Диапазон нагрузки		Соотношение нагрузки
		C/P
<b>L</b>	Низкие	> 15
<b>M</b>	Средние	> 8
<b>H</b>	Высокие	< 4
<b>VH</b>	Очень высокие	< 2

## Пластичные смазки

Пластичные смазки состоят из минерального или синтетического масла и загустителя. В качестве загустителя обычно используется металлическое мыло. Однако для определённых условий работы, например, высоких температур, в качестве загустителей могут использоваться другие вещества, такие как полимочевина. Кроме того, в состав пластичной смазки включаются различные присадки, улучшающие характеристики смазки. Консистенция пластичной смазки во многом зависит от типа и концентрации используемого загустителя и рабочей температуры подшипникового узла. При выборе пластичной смазки необходимо учитывать следующие факторы:

- диапазон рабочих температур
- консистенция
- вязкость базового масла
- антикоррозийная защита
- несущая способность масляной плёнки
- смешиваемость с другими маслами и жидкостями

## Диапазон температур — принцип светофора SKF

Диапазон температур, в котором может работать пластичная смазка, в основном зависит от типа базового масла и загустителя, а также присадок. Соответствующие диапазоны температур схематично показаны на **диаграмме 1** в виде «двух светофоров».

«Светофоры» показывают границы диапазона температур — нижний и верхний пределы.

- Нижний температурный предел (LTL), то есть самая низкая температура, при которой пластичная смазка позволяет подшипнику вращаться без затруднения, во многом определяется типом базового масла и его вязкостью.
- Верхний температурный предел (HTL) определяется типом загустителя и температурой каплепадения. Точка каплепадения обозначает температуру, при которой пластичная смазка теряет свою консистенцию и превращается в жидкость.

SKF не рекомендует использовать смазки для подшипников при температурах ниже нижнего температурного предела и выше верхнего температурного предела (красные зоны на **диаграмме 1**). Несмотря на то, что в спецификациях производители пластичных смазок указывают конкретные значения нижнего и верхнего пределов температур, наибольшую важность для надёжной работы подшипника имеют следующие температурные параметры:

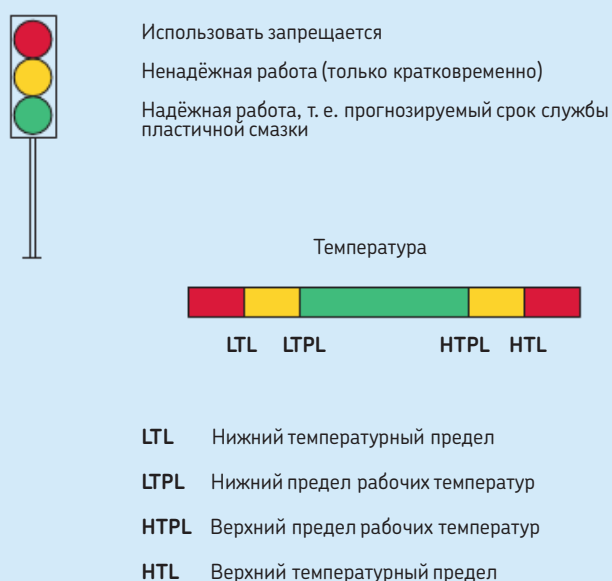
- нижний предел рабочих температур (LTPL)
- верхний предел рабочих температур (HTPL)

В этих двух пределах, т. е. в зелёной зоне на **диаграмме 1**, обеспечивается надёжная работа пластичной смазки и возможность точного определения интервала повторного смазывания или срока службы смазки. Поскольку определение верхнего предела рабочих температур для смазок не регламентировано в международных стандартах, необходимо проявлять осторожность при интерпретации рекомендаций, приводимых поставщиками смазочных материалов.

При температурах, превышающих верхний предел рабочих температур (HTPL), ухудшение свойств пластичной смазки происходит с

Диаграмма 1

## Принцип светофора SKF



возрастающей быстротой, а побочные продукты окисления оказывают разрушающее воздействие на смазку. Поэтому эксплуатация подшипников при температурах в жёлтой зоне между верхним пределом рабочих температур (HTPL) и верхним температурным пределом (HTL) допускается только на довольно короткое время — не более нескольких часов.

Также существует жёлтая зона для низких температур. По мере понижения температуры консистенция пластичной смазки возрастает, а тенденция к маслоотделению снижается. Это приводит к недостаточной подаче смазочного материала на контактные поверхности тел и дорожек качения. На **диаграмме 1** этот температурный предел обозначен как нижний предел рабочих температур (LTPL). Значения нижнего предела рабочей температуры для ролико- и шарикоподшипников различны. Поскольку шарикоподшипники легче смазывать, чем роликоподшипники, для них значение LTPL имеет меньшее значение. В то же время, постоянная работа роликоподшипников в условиях температур ниже этого предела может привести к их серьёзному повреждению. Короткие периоды работы в этой зоне, например, в процессе холодного запуска, допустимы, так как тепло, выделяемое при тре-

нии, повышает температуру подшипника, и она быстро устанавливается в пределах зелёной зоны.

### Температурные диапазоны

Температурные диапазоны для различных смазок различаются между собой и определяются только путём испытаний при работе подшипников.

Стандартные температурные зоны для широко распространённых пластичных смазок класса консистенции NLGI 2 без антизадирных присадок, обычно используемых для смазывания подшипников качения, показаны на **диаграмме 2**. Поскольку характеристики, приведённые для каждого типа пластичной смазки, являются суммарными данными смазок более или менее аналогичного состава, границы цветов на диаграммах меняются не резко, а при помощи плавных переходов одного цвета в другой.

Температурные зоны для пластичных смазок SKF показаны на **диаграмме 3**. Данные зоны определены в результате продолжительных испытаний, проведённых в лабораториях SKF.

Значения, указанные на **диаграммах 2 и 3**, относятся к измерениям температуры на кольце, которое является неподвижным в процессе работы.

### Консистенция

Согласно классификации Национального института пластичных смазок (NLGI) существует несколько классов консистенции пластичных смазок. Консистенция пластичной смазки не должна резко изменяться при работе в пределах установленного интервала температур. Пластичные смазки, которые размягчаются при повышенных температурах, могут вытекать из полости подшипникового узла. Смазки, которые затвердевают при низких температурах, могут затруднять вращение подшипника или ограничивать маслоотделение.

Пластичные смазки с загустителем из металлосодержащего мыла с классами консистенции 1, 2 или 3 по шкале NLGI обычно пригодны для использования с подшипниками качения. Наиболее распространённые пластичные смазки имеют класс консистенции NLGI 2. Пластичные смазки, имеющие более жидкую консистенцию, предпочтительны в условиях низких температур или в тех случаях, когда требуется повышенная прокачиваемость смазки. Пластичные смазки класса консистенции 3 рекомендуются для подшипниковых узлов, работающих на вертикальных валах, где

отражательная пластина для удержания смазки внутри подшипника расположена под подшипником.

Когда подшипник работает в условиях вибрации, пластичная смазка подвергается интенсивной выработке, так как под воздействием вибрации она постоянно отбрасывается в полость подшипника. В данном случае целесообразно применять пластичные смазки, консистенция которых не изменяется в процессе работы.

Пластичные смазки с загустителем из полимочевины могут размягчаться или затвердевать в зависимости от скорости сдвига слоев смазки в конкретных условиях работы. Поэтому при вертикальном расположении вала в отдельных случаях существует опасность вытекания смазок на основе полимочевины вне зависимости от рабочей температуры.

### Вязкость базового масла

Вязкость базового масла пластичных смазок, которые обычно используются для смазывания подшипников качения, находится в пределах от 15 до 500 мм<sup>2</sup>/с при 40 °C (105 °F). Отделение масла в пластичных смазках с базовым маслом вязкостью свыше 500 мм<sup>2</sup>/с при 40 °C (105 °F) происходит настолько медленно, что адекватное смазывание подшипника не обеспечивается. Поэтому необходимо проявлять особую осторожность в случаях, когда требуется вязкость более 500 мм<sup>2</sup>/с при 40 °C (105 °F) вследствие малых частот вращения, а также работы подшипников в условиях экстремально высоких или низких температур. В таких случаях следует обратиться в техническую службу SKF за консультацией.

От вязкости базового масла также зависит максимальная рекомендуемая частота вращения подшипника. Кроме того, допустимая частота вращения для пластичной смазки зависит от сопротивления смазки сдвигу, которое определяется загустителем. Для выражения скоростных характеристик пластичных смазок их производители нередко используют параметр быстроходности, который рассчитывается по формуле

$$A = n d_m$$

Диаграмма 2

Принцип светофора SKF — стандартные пластичные смазки

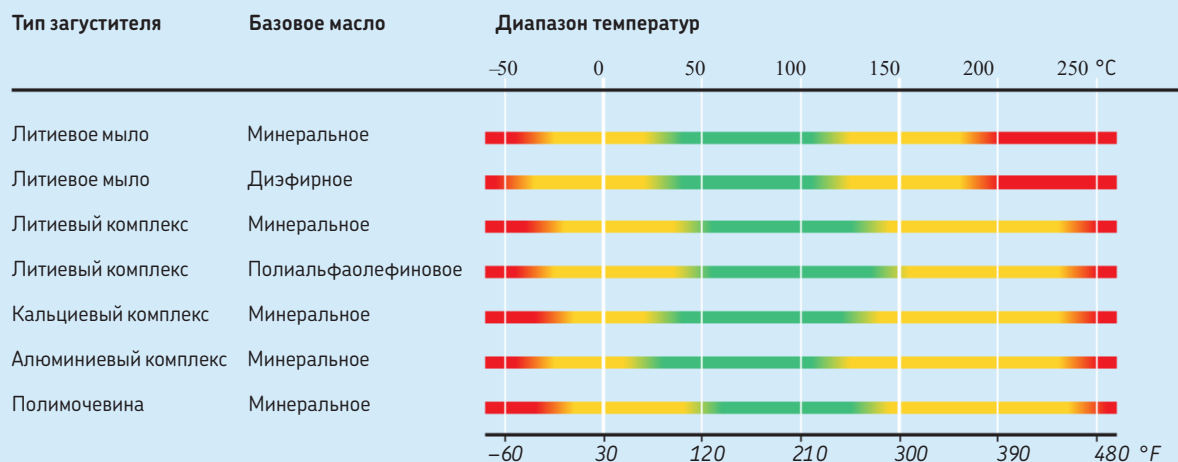
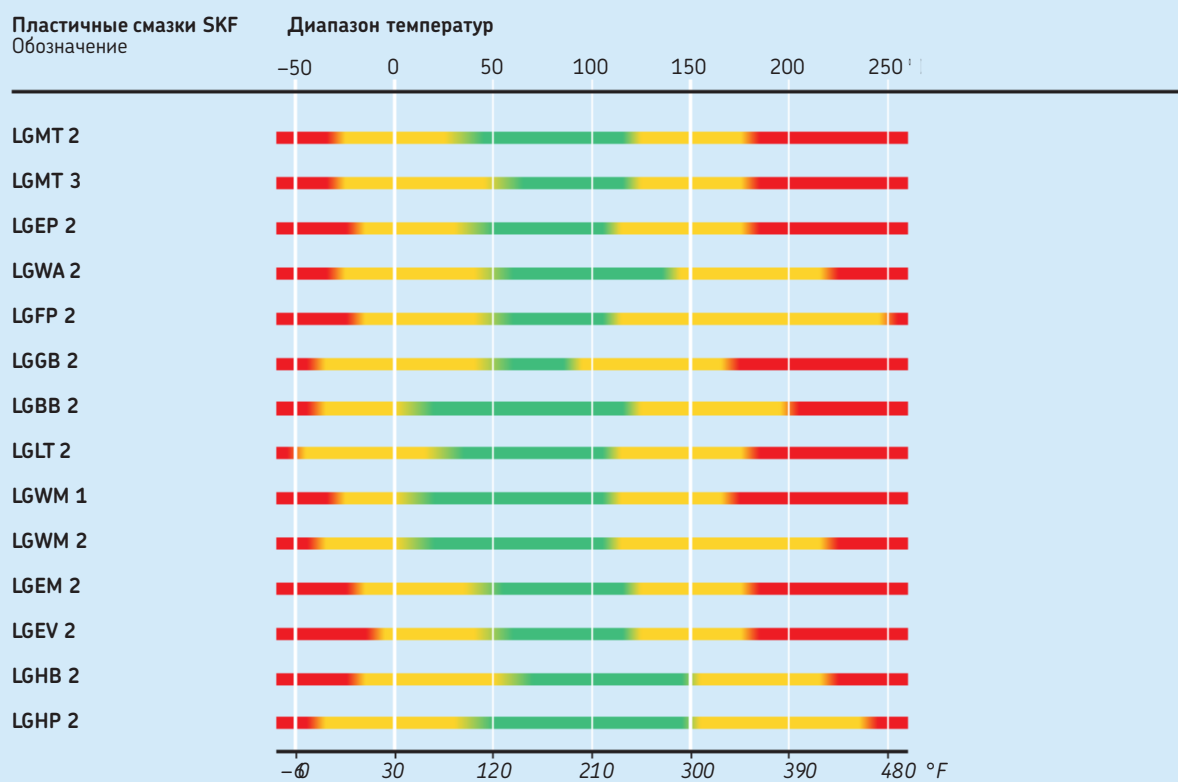


Диаграмма 3

Принцип светофора SKF — пластичные смазки SKF



При рабочих температурах, превышающих > 150 °C (300 °F), SKF рекомендует использовать пластичную смазку SKF LGEM 2.



где

$A$  = параметр быстроходности [мм·об/мин]

$d_m$  = средний диаметр подшипника [мм]  
 $= 0,5 (d + D)$

$n$  = частота вращения [об/мин]

Если параметр быстроходности  $A$  превышает 70 % величины рекомендованного предела (→ **таблица 5, стр. 257**), следует определить влияние выбранного смазочного материала на предельные частоты вращения, указанные в разделе «*Частоты вращения*» (→ **стр. 117**), и убедиться в соответствии частоты вращения имеющимся рекомендациям.

При необходимости выбора смазки для подшипников, работающих при очень большой частоте вращения, обращайтесь в техническую службу SKF.

### Вращение наружного кольца

При вращении наружного кольца расчёт параметра быстроходности  $A$  производится иначе. В этом случае вместо  $d_m$  используется наружный диаметр подшипника  $D$ . Чтобы избежать утечки смазки, необходимо использовать качественные уплотнения.

В условиях работы при высоких частотах вращения наружного кольца (т. е. > 40 % номинальной частоты вращения, указанной в таблицах подшипников) следует выбирать пластичные смазки, имеющие пониженную тенденцию к маслоотделению.

Для сферических упорных роликоподшипников с вращающимся свободным кольцом рекомендуется использовать смазывание маслом.

### Защита от коррозии

Пластичная смазка также должна защищать подшипник от коррозии и не должна вымываться из полости подшипника в случае попадания воды. Тип загустителя определяет способность пластичной смазки противостоять вымыванию водой. Наиболее устойчивыми к вымыванию водой являются пластичные смазки на основе таких загустителей, как литиевые и кальциевый комплексы, а также полимочевина. Антикоррозийные свойства пластичных смазок определяются характеристиками используемого в них ингибитора коррозии.

В условиях работы при низких частотах вращения для защиты от коррозии и предот-

вращения проникновения воды рекомендуется заполнение полости корпуса пластичной смазкой до 90 %.

### Грузоподъёмность

Если толщина гидродинамической смазочной плёнки недостаточна для предотвращения контакта металлических поверхностей, срок службы подшипника может быть значительно увеличен путём использования антизадирных (EP) или антиизносных (AW) присадок.

SKF, как правило, не рекомендует использовать антизадирные или антиизносные присадки, если коэффициент  $k > 1$  (→ «*Коэффициент вязкости  $k$* », **стр. 241**). Однако, в некоторых случаях применение таких присадок может оказаться полезным, например, при чрезмерном проскальзывании между телами и дорожками качения.

### Антизадирные присадки

Использование антизадирных присадок является одним из способов удаления неровностей на стальных контактных поверхностях. Повышенные температуры, возникающие в местах повышенных контактных напряжений на неровностях, активируют эти присадки, в результате чего обеспечивается умеренный износ поверхности в точках контакта. Таким образом, антизадирные присадки сглаживают поверхности, уменьшают локальное увеличение контактных напряжений и увеличивают ресурс подшипника.

Некоторые современные антизадирные присадки производятся на основе серы и фосфора, которые могут стать химически активными даже без контакта неровностей. В таких случаях высокие рабочие температуры и/или контактные напряжения выступают в роли катализатора. Возникающая в результате химическая активность может не ограничиваться зонами контакта неровностей, также оказывая негативное воздействие на прочность подшипниковой стали. Это может активизировать механизмы коррозии/диффузии в зонах контакта и ускорить выход подшипника из строя, который обычно начинается с точечного выкрашивания.

Поэтому, SKF рекомендует использовать антизадирные присадки, которые наименее активны при рабочих температурах от 80 °C (175 °F) до 100 °C (210 °F). Для усиления ан-

тизадирного эффекта на очень малых частотах вращения можно использовать твёрдые смазочные добавки, такие как графит и дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ). Такие присадки должны иметь высокую химическую чистоту и очень мелкие частицы. В противном случае возможно сокращение срока службы подшипника из-за дефектов, образуемых в результате давления твёрдых частиц, присутствующих в смазке.

Более подробную информацию об антизадирных присадках можно получить в технической службе SKF.

### Антиизносные присадки

Антиизносные (AW) присадки, так же как и антизадирные, предотвращают контакт металлических поверхностей. Однако, они имеют разные механизмы действия. Основное отличие состоит в том, что антиизносные присадки создают защитный слой, который прилипает к поверхности. Это обеспечивает проскальзывание неровностей друг по другу без контакта сталь/сталь. При этом микронеровности не устраняются путём износа, как в случае с антизадирными присадками. Аналогично антизадирным присадкам антиизносные присадки могут содержать элементы, способные ослабить структуру поверхностного слоя подшипниковой стали.

Некоторые загустители (например, комплекс сульфоната кальция) также обладают антизадирным или антиизносным эффектом, не оказывая при этом химического воздействия, которое может привести к усталостному разрушению подшипника. Температурные диапазоны данных загустителей соответствуют рабочим режимам большинства пластичных смазок и масел.

Более подробную информацию об антиизносных (AW) присадках можно получить в технической службе SKF.

### Смешиваемость

При необходимости перехода от одного типа пластичной смазки к другому следует принять во внимание возможность смешивания пластичных смазок без негативных последствий. При смешивании несовместимых пластичных смазок их совместная консистенция может так сильно измениться, что это приведёт к

### ВНИМАНИЕ

Воздействие на PTFE открытого огня или его использование при температурах свыше  $300\text{ }^\circ\text{C}$  ( $570\text{ }^\circ\text{F}$ ) создаёт опасность для здоровья и окружающей среды! Данный материал остаётся опасным для использования даже после его охлаждения.

Внимательно прочитайте и соблюдайте меры предосторожности, описанные в разделе «Материалы уплотнений» (→ стр. 155).

выходу подшипника из строя, например, в результате утечки смазки.

Пластичные смазки, имеющие один и тот же загуститель и одно и то же базовое масло, как правило, могут смешиваться без каких-либо значительных последствий. Например, пластичную смазку на основе литиевого мыла / минерального масла обычно можно смешивать с другой пластичной смазкой на основе литиевого мыла / минерального масла. Также могут смешиваться друг с другом некоторые пластичные смазки на основе разных загустителей, например, пластичные смазки на основе кальциевого и литиевого комплексов.

В тех случаях, когда смена пластичной смазки может привести к снижению её консистенции и утечке из подшипникового узла, рекомендуется предварительно очистить полость подшипникового узла и смазочные каналы от остатков старой пластичной смазки (→ «Повторное смазывание», стр. 252).

Консервационный состав, используемый для подшипников SKF, совместим с большинством типов пластичных смазок, за возможным исключением пластичных смазок на основе полимочевины. Пластичные смазки на основе PTFE, например, SKF LGET 2, не совместимы со стандартными консервантами и перед их использованием консервант должен быть удалён.

За дополнительной информацией обращайтесь в техническую службу SKF.

Пластичные смазки SKF — технические спецификации и характеристики

Обозначение	Описание	Температура	Частота вращения	Нагрузка	Класс NLGI	Температурный диапазон <sup>1)</sup>		Вязкость базового масла при	
						LTL	HTPL	40 °C (105 °F)	100 °C (210 °F)
–	–	–	–	–	–	°C/°F		мм <sup>2</sup> /с	
LGMT 2	Многоцелевая промышленная и автомобильная	M	M	L–M	2	–30 –20	120 250	110	11
LGMT 3	Многоцелевая промышленная и автомобильная	M	M	L–M	3	–30 –20	120 250	120	12
LGEP 2	Антизадирная, для тяжёлых нагрузок	M	L–M	H	2	–20 –5	110 230	200	16
LGWA 2	Для широкого диапазона температур <sup>3)</sup> , антизадирная	M–H	L–M	L–H	2	–30 –20	140 285	185	15
LGFP 2	Совместимая с пищевыми продуктами	M	M	L–M	2	–20 –5	110 230	130	7,3
LGGB 2	Биоразлагаемая, низкая токсичность	L–M	L–M	M–H	2	–40 –40	90 <sup>2)</sup> 195	110	13
LGBB 2	Для подшипников лопастей винтов и поворотных механизмов ветряных турбин	L–M	VL	M–H	2	–40 –40	120 250	68	10
LGLT 2	Низкотемпературная, для очень высоких частот вращения	L–M	M–EH	L	2	–50 –60	110 230	18	4,5
LGWM 1	Низкотемпературная антизадирная пластичная смазка	L–M	L–M	H	1	–30 –20	110 230	200	16
LGWM 2	Для тяжёлых нагрузок, широкий диапазон температур	L–M	L–M	M–H	2	–40 –40	110 230	80	8,6
LGEM 2	Высоковязкая с твёрдыми смазочными добавками	M	VL	H–VH	2	–20 –5	120 250	500	32
LGEV 2	Особо высоковязкая с твёрдыми смазочными добавками	M	VL	H–VH	2	–10 –15	120 250	1020	58
LGHV 2	Антизадирная, высоковязкая, высокотемпературная <sup>4)</sup>	M–H	VL–M	L–VH	2	–20 –5	150 300	400	26,5
LGHP 2	Высокоэффективная, на основе полимочевины	M–H	M–H	L–M	2	–40 –40	150 300	96	10,5
LGTE 2	Для экстремальных температур	VH	L–M	H–VH	2	–40 –40	260 500	400	38

<sup>1)</sup> LTL: нижний температурный предел HTPL: верхний предел рабочих температур

<sup>2)</sup> LGGB 2 может выдерживать температуру с пиковым значением 120 °C (250 °F)

<sup>3)</sup> LGWA 2 может выдерживать температуру с пиковым значением 220 °C (430 °F)

<sup>4)</sup> LGHV 2 может выдерживать температуру с пиковым значением 200 °C (390 °F)

Таблица 4

Обозначение	Установка на вертикальных валах	Быстрое вращение наружного кольца	Колебательные движения	Сильные вибрации	Ударная нагрузка или частые пуски	Низкий уровень шума	Низкое трение	Антикоррозийные свойства
—								
LGMT 2	○	—	—	+	—	—	○	+
LGMT 3	+	○	—	+	—	—	○	○
LGEP 2	○	—	○	+	+	—	○	+
LGWA 2	○	○	○	○	+	—	○	+
LGFP 2	○	—	—	—	—	—	○	+
LGGB 2	○	—	+	+	+	—	—	○
LGBB 2	—	—	+	+	+	—	—	+
LGLT 2	○	—	—	—	○	+	+	○
LGWM 1	—	—	+	—	+	—	—	+
LGWM 2	○	○	+	+	+	—	—	+
LGEM 2	○	—	+	+	+	—	—	+
LGEV 2	○	—	+	+	+	—	—	+
LGHB 2	○	+	+	+	+	—	—	+
LGHP 2	+	—	—	○	○	+	○	+
LGET 2	○	+	+	○	○	—	—	○

Обозначения: + Рекомендуется  
○ Допустима  
— Не подходит

G

## Пластичные смазки SKF

Ассортимент пластичных смазок SKF для подшипников качения охватывает практически все области применения подшипников. Данные пластичные смазки были разработаны на основе последних достижений в области подшипниковых смазочных материалов. Компания SKF контролирует качество своих пластичных смазок, перед тем как выпускать их в продажу или давать разрешение на использование.

Наиболее важные технические характеристики пластичных смазок SKF, а также руководство по их выбору представлены в **таблице 4 (→ стр. 250)**. Диапазоны температур, в пределах которых могут эксплуатироваться пластичные смазки SKF, схематично показаны на **диаграмме 3 (→ стр. 247)** по принципу светофора SKF.

Дополнительную информацию о пластичных смазках SKF можно найти в каталоге «*Изделия SKF для технического обслуживания и смазочные материалы*» или на сайте skf.ru.

Более детальный выбор пластичной смазки для конкретного типа подшипника и конкретного случая его применения можно сделать с использованием инструмента для выбора пластичной смазки SKF LubeSelect, доступного на странице skf.ru/lubrication.

## Повторное смазывание

Если срок службы пластичной смазки меньше расчётного ресурса подшипника, подшипники качения должны повторно смазываться. Повторное смазывание необходимо выполнять до ухудшения свойств используемого смазочного материала.

Периодичность смазывания зависит от целого ряда взаимосвязанных факторов. Они включают:

- тип и размер подшипника
- частота вращения
- рабочая температура
- тип пластичной смазки
- пространство вокруг подшипника
- рабочая среда подшипника

Возможные рекомендации могут быть основаны лишь на статистике. Интервал смазывания

SKF определяется как период времени, по истечении которого для 99 % подшипников всё ещё обеспечивается правильное смазывание. Он выражается величиной  $L_1$ , которая обозначает срок службы пластичной смазки.

Наряду с указанными расчётными интервалами смазывания, SKF рекомендует использовать опытные данные, основанные на результатах реальной эксплуатации и испытаний.

Во многих областях применения существует предел применения пластичной смазки, когда температура нагрева кольца подшипника превышает  $100\text{ °C}$  ( $210\text{ °F}$ ). В таких температурных условиях должны использоваться специальные пластичные смазки. Кроме того должны быть учтены предельные рабочие температуры подшипника и сопряжённых деталей оборудования, таких как внешние уплотнения.

За дополнительной информацией по эксплуатации подшипников в высокотемпературных условиях следует обращаться в техническую службу SKF.

## Периодичность замены смазки

Интервалы повторного смазывания  $t_f$  подшипников с вращающимся внутренним кольцом, установленных на горизонтальных валах и работающих в нормальных рабочих условиях и в чистой среде, можно определить по **диаграмме 4 (→ стр. 256)** в виде следующей функции:

- параметр быстроходности  $A$ , умноженный на соответствующий коэффициент ресурса подшипника  $b_f$ ,

где

$$A = n d_m \text{ [мм об/мин]}$$

$b_f$  = коэффициент ресурса подшипника, зависящий от его типа и условий нагружения (→ **таблица 5, стр. 257**)

$d_m$  = средний диаметр подшипника  
=  $0,5 (d + D)$

$n$  = частота вращения [об/мин]

- отношение нагрузки  $C/P$

Интервал повторного смазывания  $t_f$  — это расчётная величина, равная количеству рабочих часов, в течение которых высококачественная пластичная смазка на основе литиевого загустителя и минерального масла обеспечивает надёжную работу при температуре  $70\text{ °C}$

(160 °F). При других рабочих условиях величины интервалов повторного смазывания (→ **диаграмма 4, стр. 256**) должны быть скорректированы (→ «Изменение интервалов повторного смазывания в зависимости от рабочих условий и типа подшипника»).

Если параметр быстроходности А превышает 70 % величины рекомендованного предела (→ **таблица 5, стр. 257**), следует определить влияние выбранного смазочного материала на предельные частоты вращения, указанные в разделе «Частоты вращения» (→ **стр. 117**), и убедиться в соответствии частоты вращения имеющимся рекомендациям.

При использовании высококачественных пластичных смазок интервалы смазывания и замены пластичной смазки могут быть увеличены.

Срок службы пластичной смазки для уплотнённых подшипников указан в соответствующих разделах каталога.

За дополнительной информацией обращайтесь в техническую службу SKF.

### Изменение интервалов смазывания в зависимости от рабочих условий и типа подшипника

#### Рабочая температура

Для корректировки интервалов смазывания с учётом ускоренного старения пластичной смазки по мере повышения температуры SKF рекомендует вдвое уменьшать величину полученного интервала (→ **диаграмма 4, стр. 256**) на каждые 15 °C (27 °F) повышения рабочей температуры свыше 70 °C (160 °F). При этом верхний предел рабочих температур (HTPL) пластичной смазки (→ **диаграмма 1, стр. 245**) не должен быть превышен.

Интервал повторного смазывания  $t_f$  может быть увеличен при температуре ниже 70 °C (160 °F), если эта температура не приближается к нижнему пределу рабочих температур LTPL (→ **диаграмма 1, стр. 245**). SKF не рекомендует увеличивать интервал повторного смазывания  $t_f$  больше, чем в два раза.

Для бессепараторных подшипников или упорных роликоподшипников интервал  $t_f$  (→ **диаграмма 4, стр. 256**) не должен превышать. Кроме того, не рекомендуется, чтобы интервал смазывания превышал 30 000 часов.

#### Вертикальные валы

Для подшипников, установленных на вертикальных валах, интервал смазывания, полученный из **диаграммы 4 (→ стр. 256)**, должен быть уменьшен в два раза.

Использование качественного уплотнения, защитных шайб или удерживающего кольца является обязательным условием предотвращения утечки пластичной смазки из полости подшипникового узла.

#### Вибрация

Умеренная вибрация не оказывает негативно-го влияния на срок службы пластичной смазки. Однако, сильная вибрация и ударные нагрузки, которым подвергаются подшипники, работающие, например, в виброситах, оказывают повышенное механическое воздействие на смазку. В таких случаях интервалы между повторным смазыванием должны быть сокращены. В случае слишком сильного размягчения пластичной смазки в процессе работы следует использовать пластичную смазку, обладающую более высокой механической стабильностью, например, смазку SKF LGHB 2 или более вязкую пластичную смазку с консистенцией класса NLGI 3.

#### Загрязнённость

При высокой вероятности попадания твёрдых загрязняющих частиц требуется более частое повторное смазывание. Более частые интервалы смазывания позволяют снизить уровень загрязнений и способствует уменьшению количества повреждений, вызываемых перекачиванием посторонних частиц. Наличие жидких загрязняющих веществ в рабочей среде, таких как вода и/или технологические жидкости, также предполагает сокращение интервала повторного смазывания. В случае сильной загрязнённости следует рассмотреть возможность использования режима непрерывного смазывания.

### Очень низкие частоты вращения

Правильный выбор типа пластичной смазки и степень заполнения подшипникового узла имеют большое значение для подшипников, работающих при малой частоте вращения. Для подшипников, работающих с очень низкой частотой вращения в условиях лёгкой нагрузки, требуются пластичные смазки низкой консистенции. Подшипники, работающие с низкой частотой вращения в условиях тяжёлой нагрузки, требуют использования пластичных смазок высокой вязкости с антизадирными присадками.

Твёрдые добавки, такие как графит и дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ), могут использоваться в тех случаях, когда параметр быстроходности  $A < 20\,000$  мм·об/мин.

### Высокие частоты вращения

Интервалы смазывания подшипников в условиях частот вращения, превышающих рекомендованные значения параметра быстроходности  $A$  (→ **таблица 5, стр. 257**), действительны лишь в случае использования специальных пластичных смазок или подшипников особых исполнений, например, гибридных подшипников. В этих случаях вместо смазывания пластичной смазкой эффективнее применять методы непрерывного смазывания маслом, например, циркуляционное или масловоздушное смазывание.

### Тяжёлые и очень тяжёлые нагрузки

Для подшипников, работающих при параметре быстроходности  $A > 20\,000$  мм·об/мин и коэффициенте нагрузки  $C/P < 4$ , требуется значительное сокращение интервалов повторного смазывания. В этом случае SKF рекомендует применять непрерывное смазывание пластичной смазкой или смазывание масляной ванной.

При показателях параметра быстроходности  $A < 20\,000$  мм·об/мин и коэффициента нагрузки  $C/P =$  от 1 до 2 обратитесь к информации подраздела «*Очень низкие частоты вращения*».

В условиях тяжёлых нагрузок и высоких частот вращения SKF рекомендует применять систему циркуляционного смазывания с дополнительным охлаждением.

### Очень малые нагрузки

В условиях лёгких нагрузок ( $C/P =$  от 30 до 50) интервалы повторного смазывания, во многих случаях, могут быть увеличены. Чтобы добиться удовлетворительной работы подшипников, на них должна действовать минимальная нагрузка, как указано в соответствующих главах каталога.

### Перекок

Статический перекок, величина которого находится в допустимых пределах, не влияет на срок службы пластичной смазки, используемой в сферических роликоподшипниках, самоустанавливающихся шарикоподшипниках или тороидальных роликоподшипниках CARB.

### Крупногабаритные подшипники

При использовании в технологическом оборудовании крупногабаритных роликоподшипников с диаметром  $d > 300$  мм требуется использование проактивного техобслуживания. Для крупногабаритных подшипников SKF рекомендует строго соблюдать объёмы пополнения смазки при сокращённых интервалах повторного смазывания.

Перед тем как приступить к повторному смазыванию следует проверить пластичную смазку на наличие как твёрдых, так и жидких загрязняющих включений. Также необходимо произвести полную проверку уплотнений на отсутствие износа, повреждений и протечек. Если по прошествии некоторого времени работы подшипникового узла состояние пластичной смазки и сопряжённых деталей будет признано удовлетворительным, интервалы повторного смазывания могут быть постепенно увеличены.

SKF рекомендует применять аналогичный метод для упорных сферических роликоподшипников, опытных образцов оборудования и машин с повышенной мощностью, а также в случаях недостаточного опыта эксплуатации оборудования.

### Цилиндрические роликоподшипники

Интервалы повторного смазывания (→ **диаграмма 4, стр. 256**) действительны для цилиндрических роликоподшипников, оснащённых следующими компонентами:

- сепаратор из стеклонеполненного полиамида PA66, центрируемый по роликам, суффикс обозначения Р
- механически обработанный латунный сепаратор, центрируемый по роликам, суффикс обозначения М

Для цилиндрических роликоподшипников, которые оснащены указанными ниже компонентами, полученные интервалы повторного смазывания (→ **диаграмма 4, стр. 256**) должны быть уменьшены вдвое, а также требуется использование пластичной смазки с хорошим маслоотделением. Эти компоненты включают:

- штампованный стальной сепаратор, центрируемый по роликам, без суффикса обозначения или с суффиксом J
- механически обработанный латунный сепаратор, центрируемый по наружному или внутреннему кольцу, суффиксы обозначения МА, МВ, МН, МL или МР
- штампованный стальной сепаратор, центрируемый по наружному или внутреннему кольцу, суффикс обозначения JA или JB

### Рекомендации

Если в ходе испытания было выявлено, что определённый интервал смазывания  $t_f$  является слишком коротким для конкретных условий, SKF рекомендует выполнить следующие действия:

- Проверьте рабочую температуру подшипника.
- Проверьте пластичную смазку на наличие твёрдых или жидких загрязняющих включений.
- Проверьте рабочие условия эксплуатации, такие как нагрузка или наличие перекоса.
- Рассмотрите целесообразность использования более подходящей смазки.

Интервалы повторного смазывания при рабочей температуре 70 °C (160 °F)

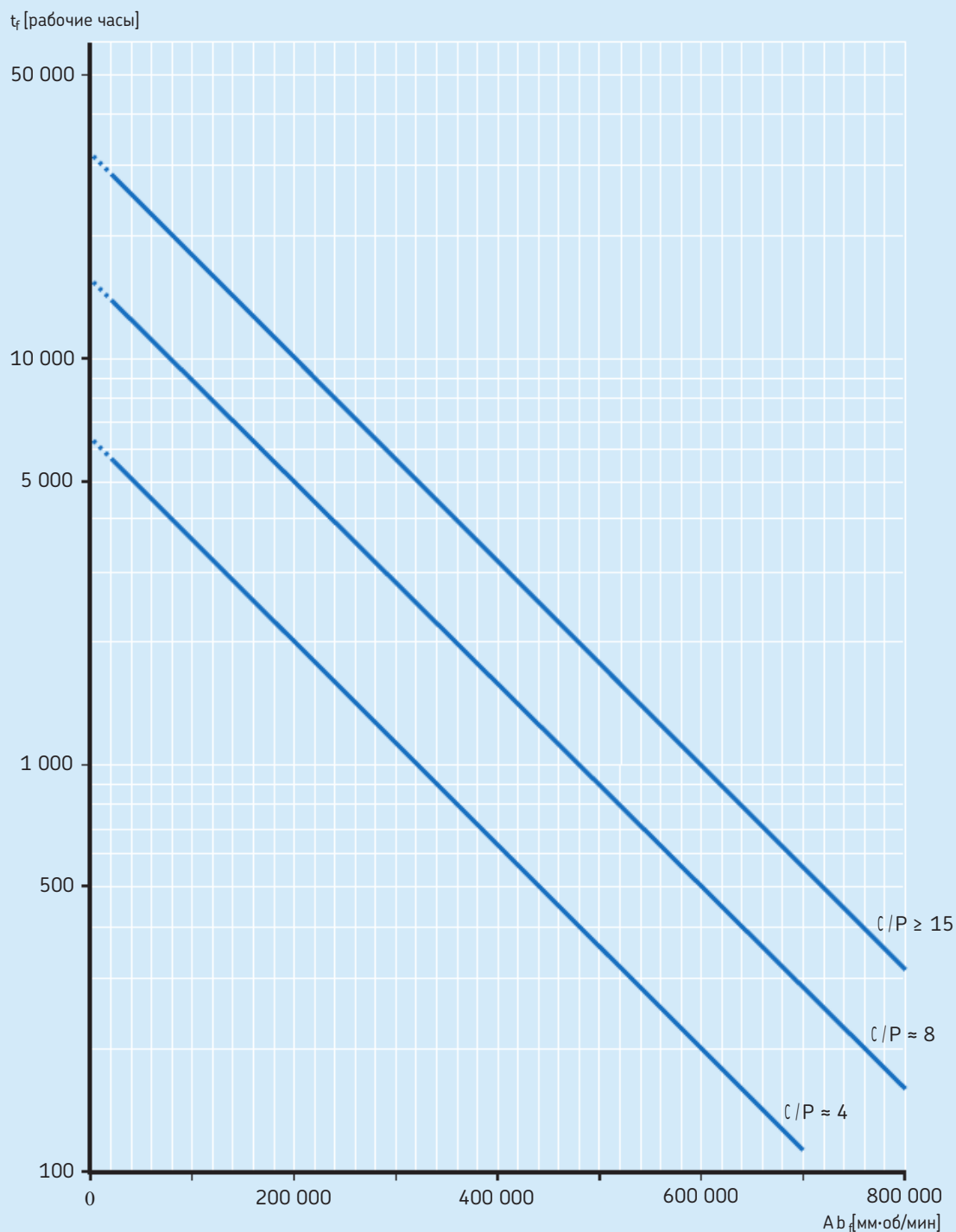


Таблица 5

## Коэффициенты подшипника и рекомендуемые пределы для параметра быстроходности A

Тип подшипника <sup>1)</sup>	Коэффициент подшипника $b_f$	Рекомендуемые диапазоны для параметра быстроходности A для нагрузки		
		$C/P \geq 15$	$C/P \approx 8$	$C/P \approx 4$
–	–	мм·об/мин		
<b>Радиальные шарикоподшипники</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Подшипники типа Y</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Радиально-упорные шарикоподшипники</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Самоустанавливающиеся шарикоподшипники</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Цилиндрические роликоподшипники</b>				
– плавающий подшипник	1,5	450 000	300 000	150 000
– фиксирующий подшипник, без внешнего осевого нагружения или с лёгкими, но переменными осевыми нагрузками	2	300 000	200 000	100 000
– фиксирующий подшипник с постоянным лёгким осевым нагружением	4	200 000	120 000	60 000
– бессепараторные <sup>2)</sup>	4	Неприменимо <sup>3)</sup>	Неприменимо <sup>3)</sup>	20 000
<b>Игольчатые роликоподшипники</b>				
– с сепаратором	3	350 000	200 000	100 000
– бессепараторные	Обращайтесь в техническую службу SKF.			
<b>Конические роликоподшипники</b>	2	350 000	300 000	200 000
<b>Сферические роликоподшипники</b>				
– при коэффициенте нагрузки $F_a/F_r \leq e$ и $d_m \leq 800$ мм				
серии 213, 222, 238, 239	2	350 000	200 000	100 000
серии 223, 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	250 000	150 000	80 000
серия 241	2	150 000	80 000	50 000
– при коэффициенте нагрузки $F_a/F_r \leq e$ и $d_m > 800$ мм				
серии 238, 239	2	230 000	130 000	65 000
серии 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	170 000	100 000	50 000
серия 241	2	100 000	50 000	30 000
– при коэффициенте нагрузки $F_a/F_r > e$ все серии	6	150 000	50 000	30 000
<b>Тороидальные роликоподшипники CARB</b>				
– с сепаратором	2	350 000	200 000	100 000
– бессепараторные <sup>2)</sup>	4	Неприменимо <sup>3)</sup>	Неприменимо <sup>3)</sup>	20 000
<b>Упорные шарикоподшипники</b>	2	200 000	150 000	100 000
<b>Упорные цилиндрические роликоподшипники</b>	10	100 000	60 000	30 000
<b>Упорные игольчатые роликоподшипники</b>	10	100 000	60 000	30 000
<b>Упорные сферические роликоподшипники</b>				
– вращающееся тугое кольцо	4	200 000	120 000	60 000
<b>Подшипники-опорные ролики</b>	Обращайтесь в техническую службу SKF.			

<sup>1)</sup> Значения коэффициентов подшипников и рекомендуемых пределов для параметра быстроходности A относятся к подшипникам со стандартной внутренней геометрией и стандартным исполнением сепараторов. Информацию о вариантах внутренней конструкции подшипников и специальных типах сепараторов можно узнать в технической службе SKF.

<sup>2)</sup> Значение  $t_f$  полученное из **диаграммы 4**, нужно уменьшить в 10 раз.

<sup>3)</sup> Неприменимо, поскольку для данных величин  $C/P$  рекомендуется использовать подшипники с сепаратором.

## Процедуры повторного смазывания

Обычно выбор метода повторного смазывания зависит от конкретной сферы применения подшипника и выбранного интервала смазывания  $t_r$ . SKF рекомендует применять одну из следующих процедур:

- Пополнение смазки — удобный и часто применяемый метод, если интервал смазывания составляет менее шести месяцев. Он обеспечивает непрерывность работы и более низкую температуру подшипника в установившемся режиме по сравнению с режимом непрерывного смазывания.
- Замену пластичной смазки можно рекомендовать в тех случаях, когда интервал смазывания превышает шесть месяцев. Данная процедура часто включается в список регламентных работ по техническому обслуживанию подшипников.
- Непрерывное пополнение смазки используется в тех случаях, когда повторное смазывание должно производиться часто вследствие негативного воздействия загрязнений, а также если использование других методов нецелесообразно по причине затруднённого доступа к подшипнику. SKF не рекомендует использовать режим непрерывного пополнения смазки при работе подшипника на высоких частотах вращения, поскольку это приводит к повышению рабочих температур и разрушению структуры пластичной смазки.

При использовании разных типов подшипников в одном и том же подшипниковом узле, применяют наименьший расчётный интервал повторного смазывания для всех подшипников узла. Ниже приведены рекомендации по использованию трёх разных методов повторного смазывания и пополнения пластичной смазки.

### Пополнение пластичной смазки

Как указано во вступительной статье к разделу «Смазывание», при монтаже полость подшипника заполняется пластичной смазкой полностью, в то время как свободное пространство в полости корпуса — частично. В зависимости от используемого способа пополнения SKF рекомендует следующее процент-

ное заполнение свободного пространства корпуса:

- 40 %, когда пополнение осуществляется со стороны боковой плоскости подшипника (→ **рис. 1**).
- 20 %, когда пополнение осуществляется через смазочные отверстия в наружном или внутреннем кольце подшипника (→ **рис. 2**).

Требуемое количество пластичной смазки при пополнении со стороны боковой плоскости подшипника можно определить по формуле:

$$G_p = 0,005 D B$$

Рис. 1

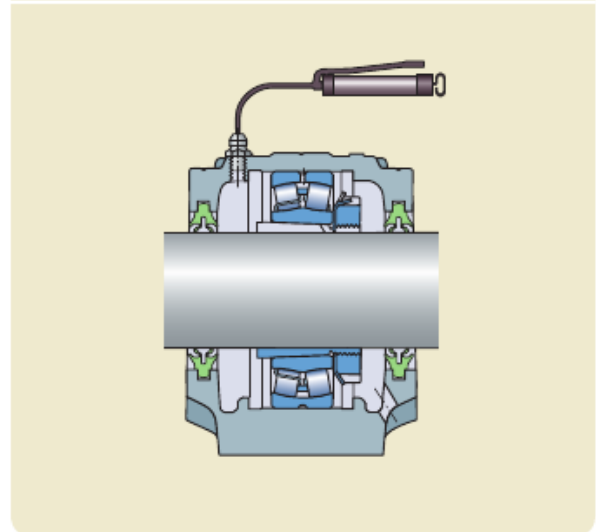
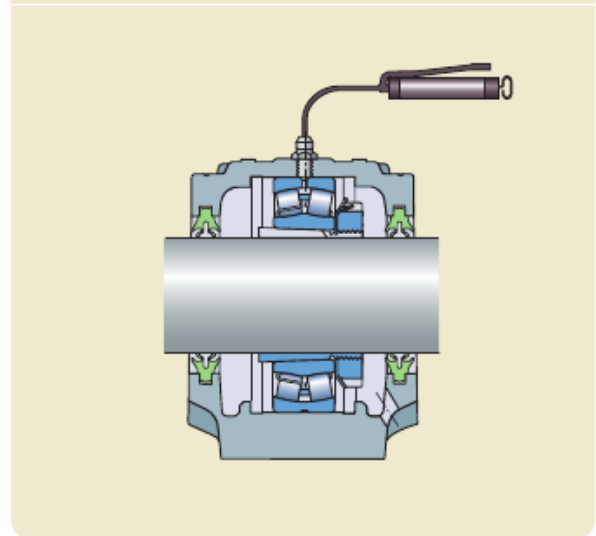


Рис. 2



а при пополнении через наружное или внутреннее кольцо подшипника по формуле:

$$G_p = 0,002 D B$$

где

$G_p$  = количество пополняемой пластичной смазки [г]

$B$  = общая ширина подшипника [мм] (для конических роликоподшипников используется  $T$ , для упорных подшипников используется высота  $H$ )

$D$  = наружный диаметр подшипника [мм]

Для подачи пластичной смазки с помощью шприца необходимо предусмотреть в корпусе подшипника пресс-маслёнку. При использовании контактных уплотнений в корпусе также должно быть предусмотрено дренажное отверстие для удаления излишков пластичной смазки, которые могут скапливаться в полости корпуса подшипника (→ рис. 1 и 2). В противном случае могут возникнуть условия постоянного перегрева подшипника. На это дренажное отверстие должна устанавливаться заглушка, когда очистка корпуса подшипника производится струёй воды.

Скопление излишков смазки в полости корпуса подшипника вызывает сильный нагрев подшипника и может оказывать негативное воздействие как на пластичную смазку, так и на сам подшипник. Опасность перегрева от скопления излишков смазки наиболее явно выражена при работе подшипников на высоких частотах вращения. В таких случаях SKF рекомендует использовать маслоотражательное кольцо в сочетании с выпускным отверстием. Это позволит избавиться от излишней смазки и производить смазывание в процессе работы оборудования. Маслоотражательное кольцо состоит из диска, который вращается вместе с валом и образует узкую щель с поверхностью торцевой крышки корпуса (→ рис. 3). Избыточная и отработанная смазка выталкивается в кольцевую полость и выходит из корпуса через отверстие в нижней части торцевой крышки.

Для получения дополнительной информации о конструкции и размерах маслоотражательных колец SKF обратитесь в техническую службу SKF.

Чтобы быть уверенным в том, что свежая пластичная смазка действительно попадает в

Рис. 3

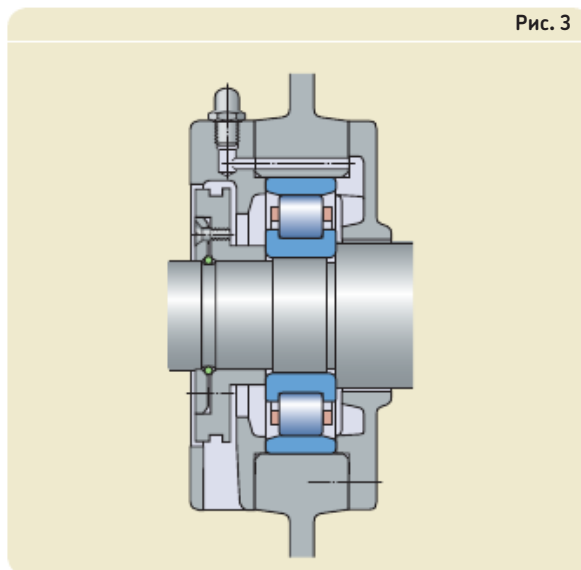


Рис. 4

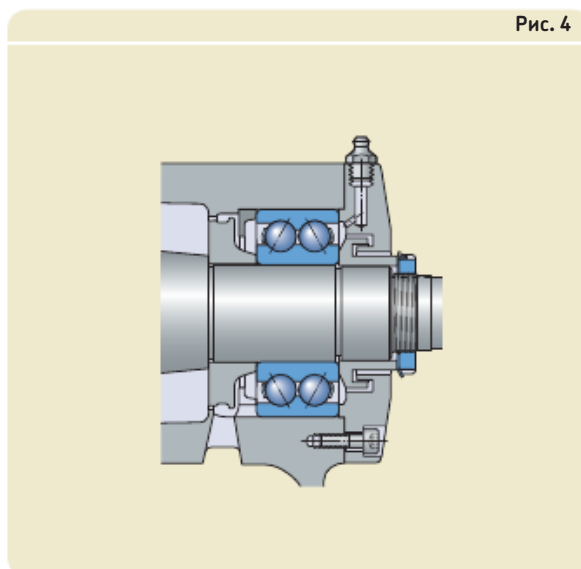
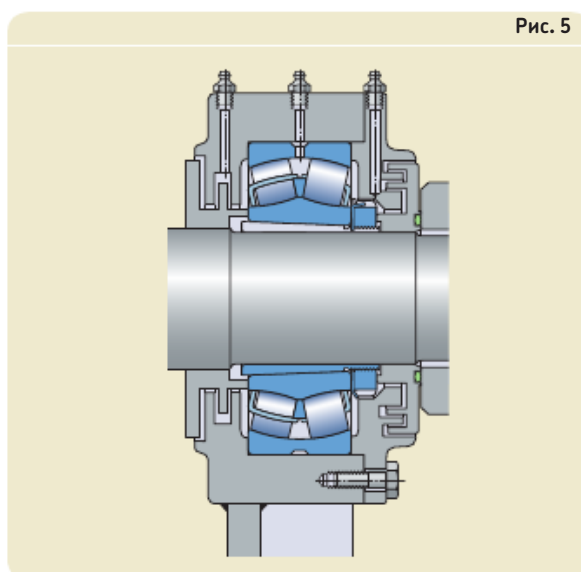


Рис. 5



подшипник и заменяет отработавшую, находящуюся в смазочном канале корпуса смазку, необходимо подавать смазку на боковую поверхность наружного кольца (→ **рис. 1 и 4**) или, что предпочтительно, в саму полость подшипника. Для смазывания подшипников некоторых типов, например, сферических роликоподшипников, в наружном или внутреннем кольцах предусмотрена кольцевая смазочная канавка и/или как минимум одно смазочное отверстие (→ **рис. 2 и 5**).

Для эффективной замены отработанной смазки важно производить её пополнение в процессе работы. При неработающей машине необходимо прокручивать подшипник в процессе пополнения. При непосредственном заполнении через отверстие во внутреннем или наружном кольце свежая смазка подается напрямую в полость подшипника. Таким образом, количество подаваемой смазки меньше, чем при заполнении с боковой стороны подшипника. Предполагается, что смазочные каналы уже заполнены пластичной смазкой в процессе монтажа. В противном случае для первого пополнения потребуется большее количество смазки, поскольку часть её уйдёт на заполнение смазочных каналов.

При использовании длинных смазочных каналов необходимо убедиться в том, что при существующей температуре окружающей среды закачивается достаточное количество смазки.

Считается, что пластичная смазка заменена полностью, если заполнено примерно 75 % полости корпуса. Если смазывание производится с торца подшипника, и начальное заполнение корпуса составляет 40 %, для полной замены пластичной смазки потребуется примерно пять периодических пополнений смазки. Вследствие более низкой начальной наполняемости полости корпуса и меньшего расхода пластичной смазки при смазывании подшипника непосредственно через внутреннее или наружное кольцо, полная замена пластичной смазки требуется лишь в исключительных случаях.

### Замена пластичной смазки

При замене пластичной смазки с расчётной периодичностью или после определённого количества пополнений отработанная смазка должна быть полностью удалена из корпуса и подшипника. Отработанная смазка подлежит утилизации с соблюдением норм по охране окружающей среды.

Заполнение полости подшипника и корпуса пластичной смазкой должно осуществляться в соответствии с рекомендациями раздела «Пополнение пластичной смазки» (→ **стр. 258**).

Для замены пластичной смазки должен быть обеспечен лёгкий доступ к корпусу подшипника, и его крышки должны легко открываться. Чтобы получить доступ к полости корпуса, обычно достаточно снять крышку разъёмного или неразъёмного корпуса. После удаления отработанной пластичной смазки, прежде всего, необходимо заложить смазку в промежутки между телами качения. Необходимо принять меры по предотвращению проникновения загрязнений в полость подшипника, в корпус или в контейнер для смазки. Во избежание возникновения аллергических кожных реакций SKF рекомендует использовать защитные маслостойкие перчатки.

Если доступ к корпусам подшипников затруднён, но они оборудованы пресс-маслёнками и дренажными отверстиями, можно произвести полную замену пластичной смазки путём нескольких повторных закачек смазки до поступления свежей смазки из корпуса. Такая процедура требует большего расхода пластичной смазки, чем её ручная замена при разборке узла. Кроме того, данный метод имеет ограничения по частоте вращения. При вращении с высокой частотой может произойти повышение температуры по причине вспенивания смазки.

## Непрерывное смазывание

Режим непрерывного смазывания используется, когда расчётная периодичность смазывания очень коротка, например, вследствие негативного влияния загрязнений, а также если использование других методов нецелесообразно по причине затруднённого доступа к подшипнику. Ввиду чрезмерного перемешивания пластичной смазки, которое может привести к повышению температуры подшипника, режим непрерывного смазывания можно рекомендовать лишь для относительно невысоких частот вращения, т. е. когда параметр быстроходности имеет следующую величину:

- $A < 150\,000$  мм·об/мин для шарикоподшипников
- $A < 75\,000$  мм·об/мин для роликоподшипников

В таких случаях первоначальное заполнение полости корпуса может составлять 90 %, а требуемое количество смазки за единицу времени определяется по формулам для  $G_p$  (→ «Пополнение пластичной смазки», стр. 258) путём распределения соответствующего количества по интервалам повторного смазывания.

При использовании режима непрерывного смазывания необходимо следить за тем, чтобы достаточное количество пластичной смазки прокачивалось через смазочные каналы при существующей температуре окружающей среды.

Для непрерывного смазывания можно использовать одноточечные и многоточечные автоматические лубрикатеры, например, SKF SYSTEM 24 или SKF MultiPoint.

За дополнительной информацией обращайтесь в техническую службу SKF.

Централизованные системы смазывания, такие как SKF Monoflex, SKF ProFlex, SKF Duoflex и SKF Multiflex, могут обеспечивать широкий диапазон закачиваемых объёмов пластичной смазки. Дополнительная информация о системах смазывания SKF приведена на сайте [skf.ru](http://skf.ru).

## Смазывание маслом

Как правило, смазывание подшипников качения маслом применяется в следующих случаях:

- использование пластичной смазки нецелесообразно из-за высоких частот вращения или рабочих температур
- необходимо обеспечить отвод тепла от подшипника
- сопряжённые детали (зубчатые колёса и т. д.) смазываются маслом

Для увеличения ресурса подшипника предпочтительнее использовать методы смазывания, предусматривающие использование очищенного масла. Они включают:

- смазывание циркуляцией масла
- смазывание впрыском масла
- масловоздушное смазывание

При использовании смазывания циркуляцией масла или масловоздушного смазывания необходимо предусмотреть подходящее сечение маслоотводящих каналов для отвода масла из подшипникового узла.

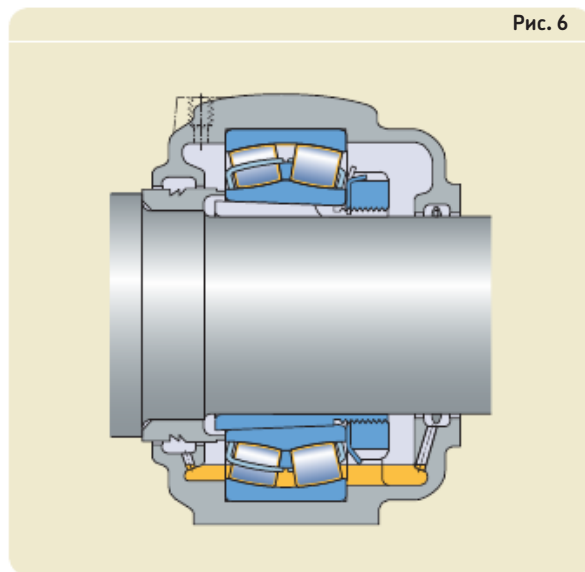
### Методы смазывания маслом

#### Смазывание масляной ванной

Простейший способ смазывания маслом — использование масляной ванны (→ **рис. 6**). Масло, увлекаемое вращающимися деталями подшипника, распределяется внутри подшипника, а затем стекает обратно в маслосборник корпуса. Обычно уровень масла должен доходить до центра самого нижнего тела качения подшипника в неподвижном состоянии. Для поддержания необходимого уровня масла SKF рекомендует использовать специальные устройства, например, SKF LAHD 500.

При работе подшипника с высокой частотой вращения уровень масла может значительно понизиться, а корпус подшипника окажется переполненным маслом в результате неправильной работы регулятора уровня масла. В таких случаях следует обращаться в техническую службу SKF за консультацией.

Рис. 6



### Смазывание с использованием маслоподающего кольца

В случаях, когда смазывание маслом обусловлено высокими частотами вращения и рабочими температурами, а также требуется высокая надёжность подачи масла, рекомендуется использовать смазывание с использованием маслоподающего кольца (→ **рис. 7**). Данное кольцо свободно установлено на втулке вала с одной стороны подшипника и погружено в маслосборник, находящийся в нижней части корпуса. Кольцо, приводимое в движение вращающимся валом, переносит масло из маслосборника на вал и далее в зону смазывания. Масло, пройдя через подшипник, стекает обратно в маслосборник. Стационарные корпуса SKF SONL специально предназначены для смазывания с использованием маслоподающего кольца.

За дополнительной информацией обращайтесь в техническую службу SKF.

### Смазывание циркуляцией масла

Работа при высоких частотах вращения повышает тепловыделение из-за трения, рабочую температуру и ускоряет старение масла. Чтобы снизить рабочие температуры и сократить интервалы замены масла, обычно предпочтителен способ смазывания циркуляцией масла (→ **рис. 8**). Циркуляция масла обычно осуществляется посредством насоса. После прохождения через подшипник масло попадает в масляный резервуар, где оно фильтруется и охлаждается перед возвратом в подшипник. Правильная фильтрация позволяет снизить уровень загрязнения масла и увеличить срок службы подшипника (→ «Номинальный ресурс SKF», стр. 64). Охлаждение масла также может значительно снизить рабочие температуры подшипника.

Дополнительная информация о системе SKF CircOil и устройствах мониторинга расхода SKF приведена в соответствующих разделах по продукции на сайте [skf.ru](http://skf.ru).

Рис. 7

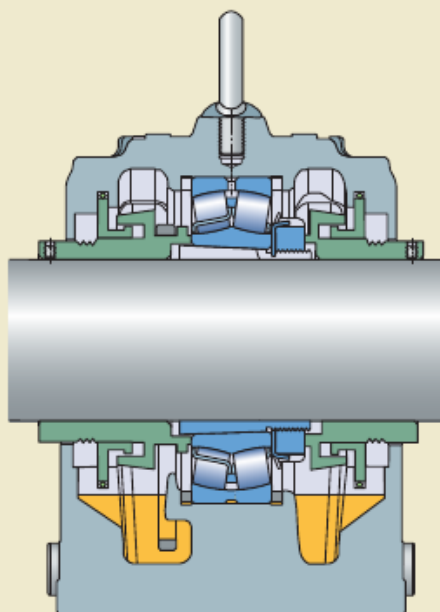
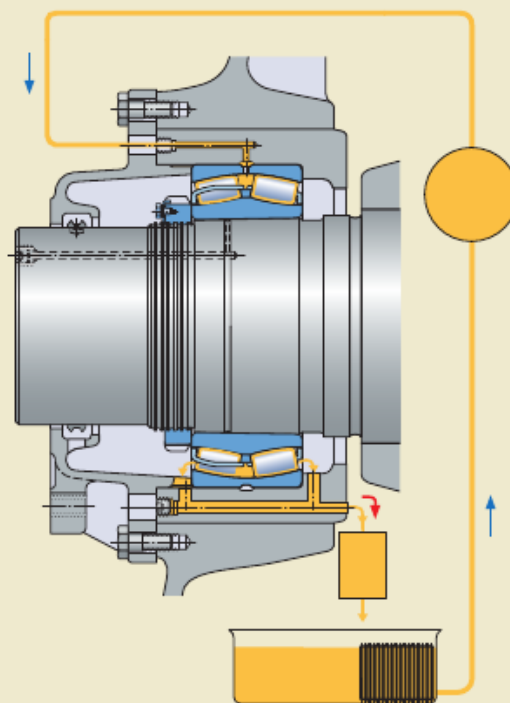


Рис. 8



G

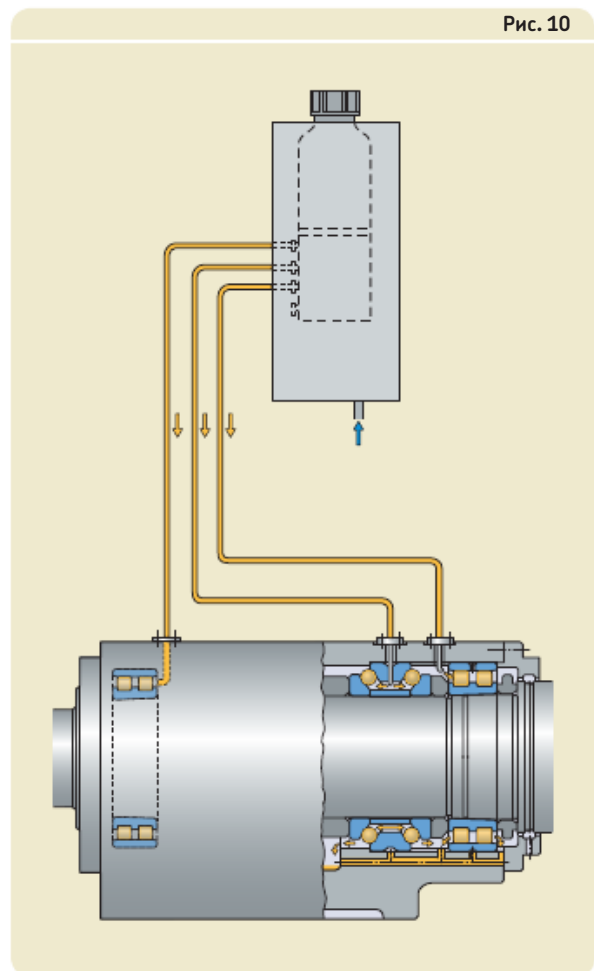
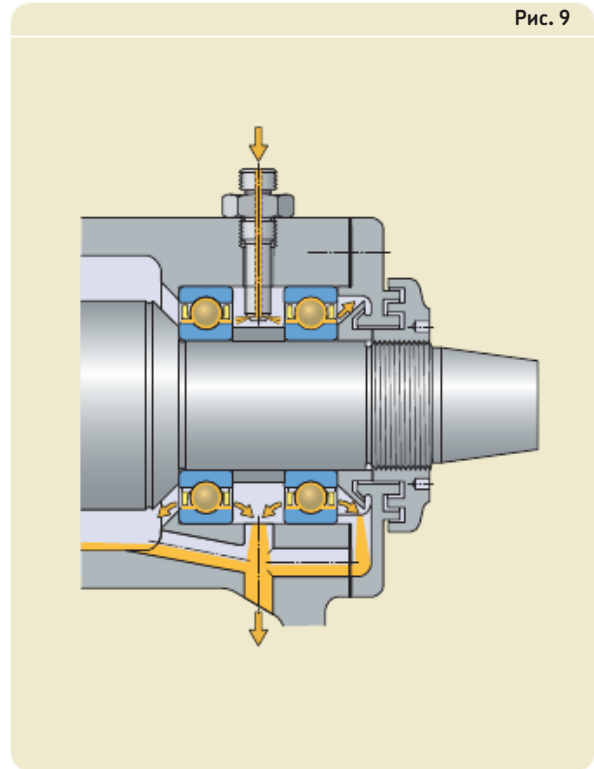
### Смазывание впрыском масла

Способ смазывания впрыском масла (→ рис. 9) дополняет методы циркуляционного смазывания. Струя масла под высоким давлением направляется на боковую сторону подшипника. Скорость струи масла должна быть достаточно высокой ( $\geq 15$  м/с) для преодоления воздушных завихрений, возникающих вокруг вращающегося подшипника. Смазывание впрыском масла используется на очень высоких рабочих скоростях, когда в подшипник требуется направлять дозированное количество масла, чтобы избежать увеличения рабочей температуры.

### Масловоздушное смазывание

При масловоздушном смазывании (→ рис. 10) используется сжатый воздух, который перемещает в виде капель небольшое и точно дозированное количество масла по трубопроводам к форсунке, через которую оно подаётся в подшипник. Этот метод смазывания минимальным количеством масла обеспечивает работу подшипников с относительно низкой рабочей температурой на очень высоких частотах вращения. Сжатый воздух используется для охлаждения подшипника и создания избыточного давления в корпусе подшипника, препятствующего проникновению загрязняющих веществ.

Дополнительная информация о конструкции систем масловоздушного смазывания приведена на сайте [skf.ru](http://skf.ru).



## Смазочные масла

Для смазывания подшипников качения, как правило, лучше всего подходят чистые минеральные масла. Масла, содержащие антизадирные (EP), антиизносные (AW) и другие присадки, служащие для улучшения смазочных характеристик, используются только в особых случаях. Информация по использованию антизадирных и антиизносных присадок в пластичных смазках, приведённая в разделе (→ «Грузоподъёмность», стр. 248), также относится к использованию этих добавок в маслах.

Существуют синтетические варианты многих популярных классов смазочных масел. Как правило, возможность использования синтетических масел рассматривается только в исключительных случаях, например, при очень низких или очень высоких рабочих температурах. Термин «синтетические масла» охватывает широкий спектр разных базовых компонентов. Главными из них являются полиальфаолефины (PAO), сложные эфиры и полиалкиленгликоли (PAG). Свойства этих синтетических масел отличаются от минеральных масел (→ таблица 6).

Толщина гидродинамической смазочной плёнки, предотвращающей контакт металлических поверхностей, является ключевым фактором усталостного ресурса подшипника. Толщина гидродинамической плёнки частично определяется индексом вязкости (VI) и коэффициентом зависимости вязкости от давления. Большинство смазочных масел на минеральной основе имеют близкие по значе-

нию коэффициенты зависимости вязкости от давления. Можно использовать общие величины этого коэффициента, указанные в специальной литературе. Однако в синтетических маслах изменение вязкости вследствие повышения давления определяется химической структурой используемых базовых компонентов. Поэтому коэффициент зависимости вязкости от давления у разных типов синтетических масел может изменяться в широких пределах. Ввиду разницы значений индекса вязкости и коэффициента зависимости вязкости от давления следует помнить, что процесс образования гидродинамической смазочной плёнки при использовании синтетического масла может отличаться от аналогичного процесса при использовании минерального масла той же вязкости. Дополнительную информацию о синтетических маслах можно получить у поставщика смазочного материала.

Кроме того, в образовании гидродинамической плёнки определённую роль играют присадки. Поскольку растворимость базовых компонентов синтетических и минеральных масел различна, следует использовать только те типы присадок, которые предназначены для соответствующего типа масла.

Таблица 6

### Свойства смазочных масел различных типов

Свойства	Тип базового масла			
	Минеральное	PAO	Эфирное	PAG
Температура застывания	[°C] -30 .. 0 [°F] -20 .. 30	-50 .. -40 -60 .. -40	-60 .. -40 -75 .. -40	прибл. -30 прибл. -20
Индекс вязкости	низкий	средний	высокий	высокий
Коэффициент зависимости вязкости от давления	высокий	средний	низкий-средний	средний

G

## Выбор смазочного масла

Выбор масла главным образом зависит от вязкости, которая требуется для обеспечения достаточной толщины гидродинамической плёнки при рабочей температуре. Вязкость масла зависит от его температуры и снижается по мере роста температуры. Зависимость вязкости от температуры выражается индексом вязкости VI. Для смазывания подшипников качения рекомендуется использовать масла, имеющие индекс вязкости не менее 95.

Для образования достаточной смазочной плёнки в точке контакта тел качения с дорожками качения масло должно сохранять минимальную вязкость при рабочей температуре. Номинальную вязкость  $v_1$  используемого минерального масла, которая требуется для обеспечения достаточного смазывания при рабочей температуре, можно определить по **диаграмме 5** (→ стр. 268). Если рабочая температура известна или её можно измерить, то соответствующую вязкость при установленной международными стандартами эталонной температуре 40 °C (105 °F), т. е. класс вязкости ISO VG, можно определить по **диаграмме 6** (→ стр. 269), которая составлена для индекса вязкости 95.

Некоторые типы подшипников, например, сферические роликоподшипники, тороидальные роликоподшипники, конические роликоподшипники и упорные сферические роликоподшипники, как правило, имеют более высокую рабочую температуру по сравнению с радиальными шарикоподшипниками и цилиндрическими роликоподшипниками в одинаковых рабочих условиях.

При выборе масла необходимо учитывать следующее:

- Ресурс подшипника можно увеличить за счёт выбора масла, вязкость  $v$  которого при рабочей температуре выше определённой вязкости  $v_1$  (→ **диаграмма 5**, стр. 268). Условие  $v > v_1$  может быть выполнено за счёт выбора минерального масла более высокого класса вязкости ISO VG или путём применения масла с более высоким индексом вязкости при одинаковом коэффициенте зависимости вязкости от давления. Поскольку с увеличением вязкости повышается рабочая температура подшипника, существует практический предел улучшения

смазывания, которого можно добиться таким способом.

- Если коэффициент вязкости  $k < 1$  (→ «Коэффициент вязкости  $k$ », стр. 241), SKF рекомендует использовать масло с антизадирными присадками. Если  $k < 0,4$ , должно использоваться масло с антизадирными присадками. Масла, содержащие антизадирные присадки, могут также повышать эксплуатационную надёжность крупно- и среднегабаритных подшипников в случаях, когда  $k > 1$ . Следует помнить, что некоторые антизадирные присадки могут оказывать негативное воздействие.
- Если предполагается эксплуатация подшипников на исключительно низких или высоких частотах вращения, в условиях критических нагрузок или в специфических условиях смазывания, следует обратиться за консультацией к специалистам технической службы SKF.

### Пример

Подшипник с диаметром посадочного отверстия  $d = 340$  мм и наружным диаметром  $D = 420$  мм работает с частотой вращения  $n = 500$  об/мин. Какова требуемая вязкость  $v$  при номинальной температуре 40 °C (105 °F)?

Согласно **диаграмме 5** (→ стр. 268) при  $d_m = 0,5 (340 + 420) = 380$  мм и  $n = 500$  об/мин, номинальная вязкость  $v_1$ , требуемая для правильного смазывания при рабочей температуре, равна около 11 мм<sup>2</sup>/с. Согласно **диаграмме 6** (→ стр. 269), если предположить, что рабочая температура подшипника составляет 70 °C (160 °F), требуется смазочное масло класса вязкости ISO VG 32 с фактической вязкостью  $v \geq 32$  мм<sup>2</sup>/с при номинальной температуре 40 °C (105 °F).

## Замена масла

Периодичность замены масла зависит в основном от условий эксплуатации и количества масла.

При смазывании масляной ванной, как правило, достаточно заменять масло один раз в год при условии, что рабочая температура не превышает 50 °C (120 °F), и практически отсутствует опасность загрязнения масла. Эксплуатация в условиях более высоких температур требует более частой замены масла.

Например, при эксплуатации в условиях рабочих температур порядка 100 °C (210 °F) замена масла должна производиться каждые три месяца. Частая замена масла также требуется при эксплуатации подшипников в тяжёлых условиях.

При использовании циркуляционных систем смазывания периодичность замены масла зависит от частоты циркуляции общего объёма масла и от того, используется ли охлаждение масла. Определить приемлемую периодичность замены масла можно лишь с помощью испытаний или посредством регулярной проверки состояния масла на предмет отсутствия загрязнений и признаков сильного окисления. Эти рекомендации также относятся к методу смазывания впрыском масла. При использовании масловоздушного метода смазывания масло лишь один раз проходит через подшипник и повторно не используется.

Оценка номинальной вязкости  $\nu_1$  при рабочей температуре

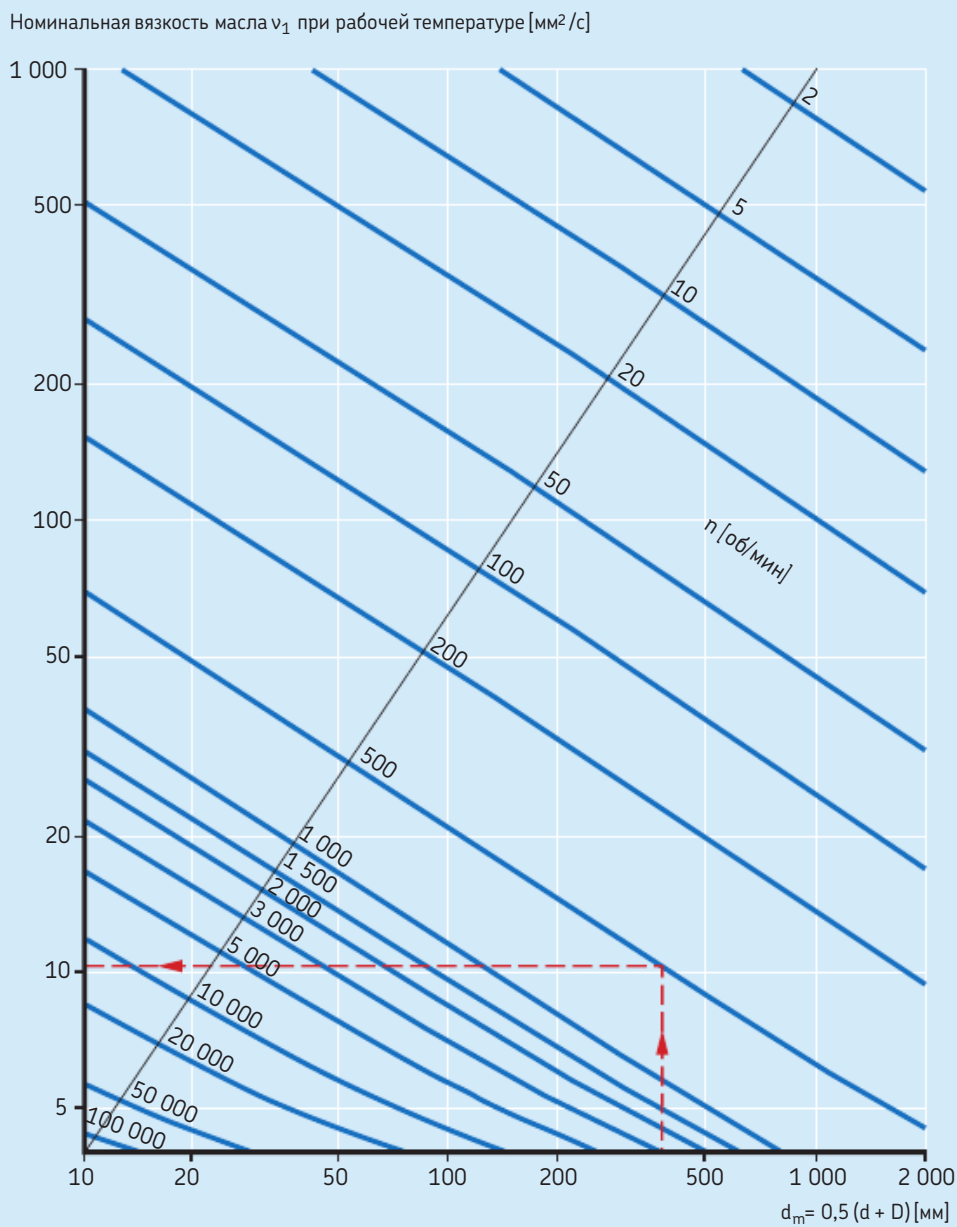
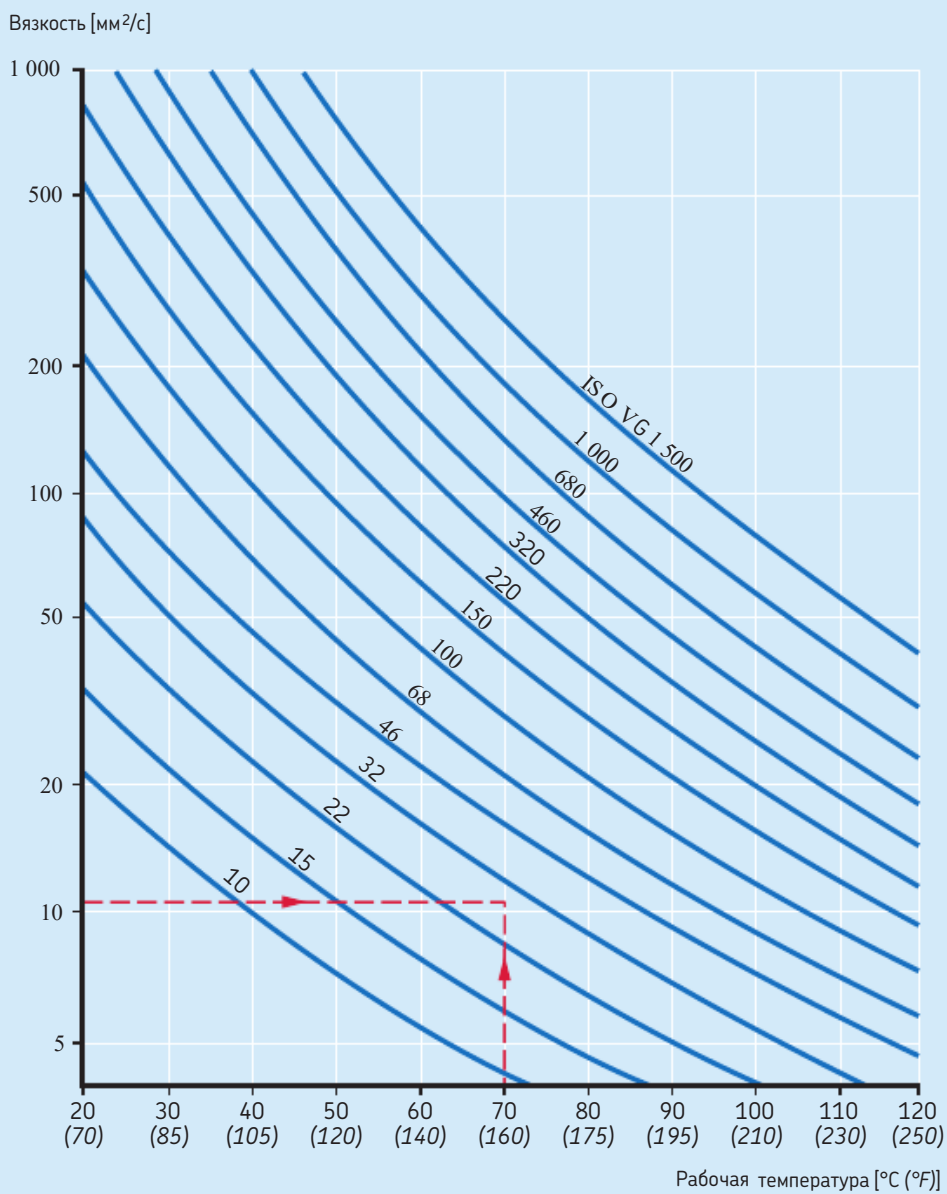


Диаграмма 6

Диаграмма зависимости вязкости от температуры для классов вязкости по стандарту ISO  
(Минеральные масла, индекс вязкости 95)



G