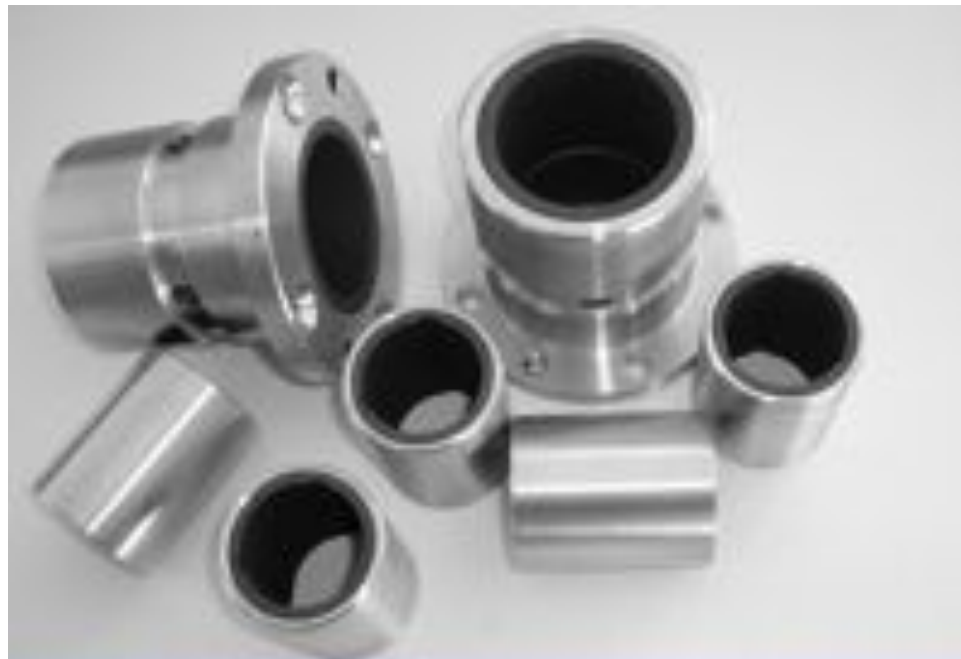


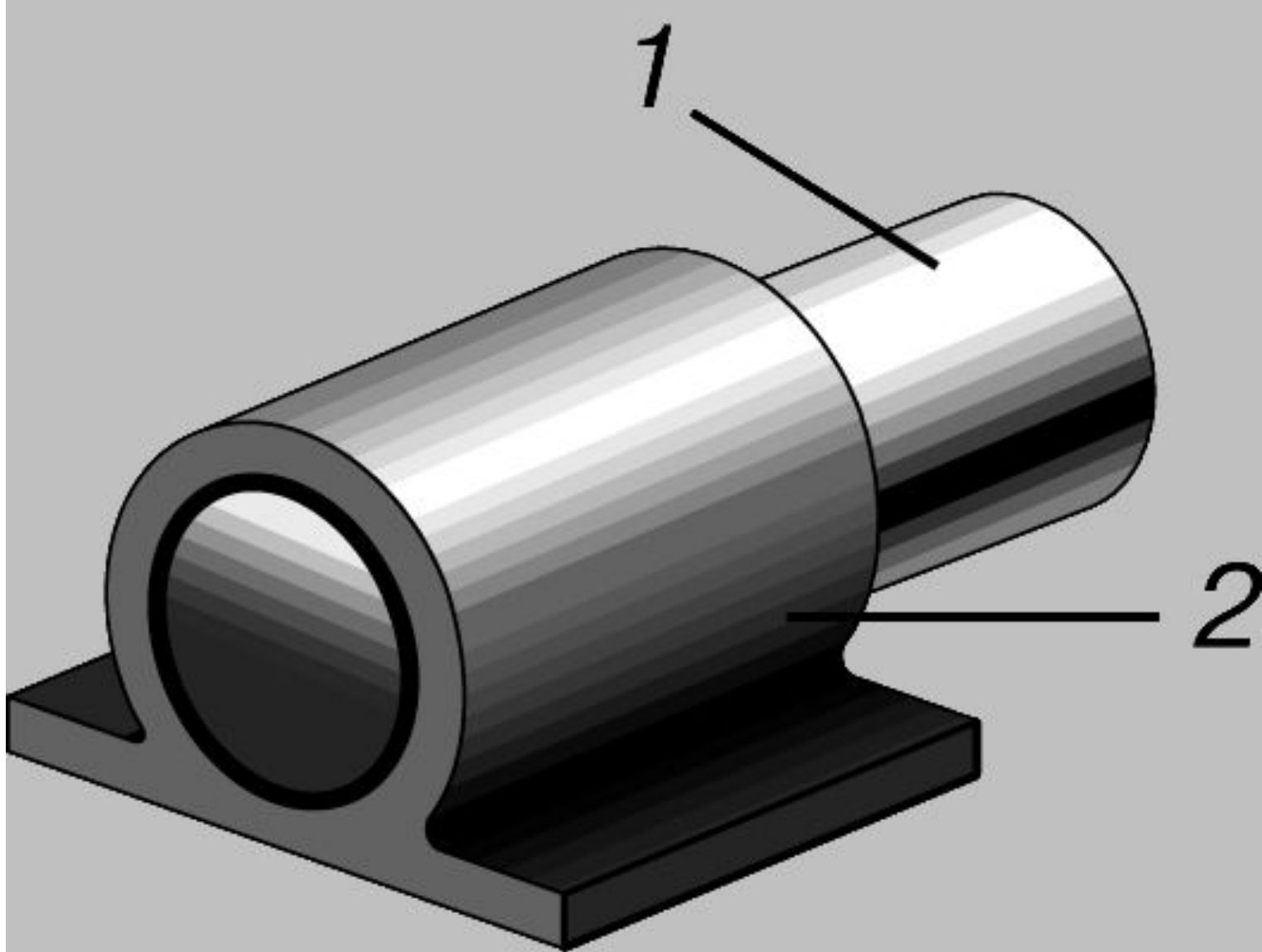
## ЛЕКЦИЯ 6а



**ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Особенности конструкции. Подбор и расчет подшипников.





1 - шейка вала (цапфа); 2 - подшипник.

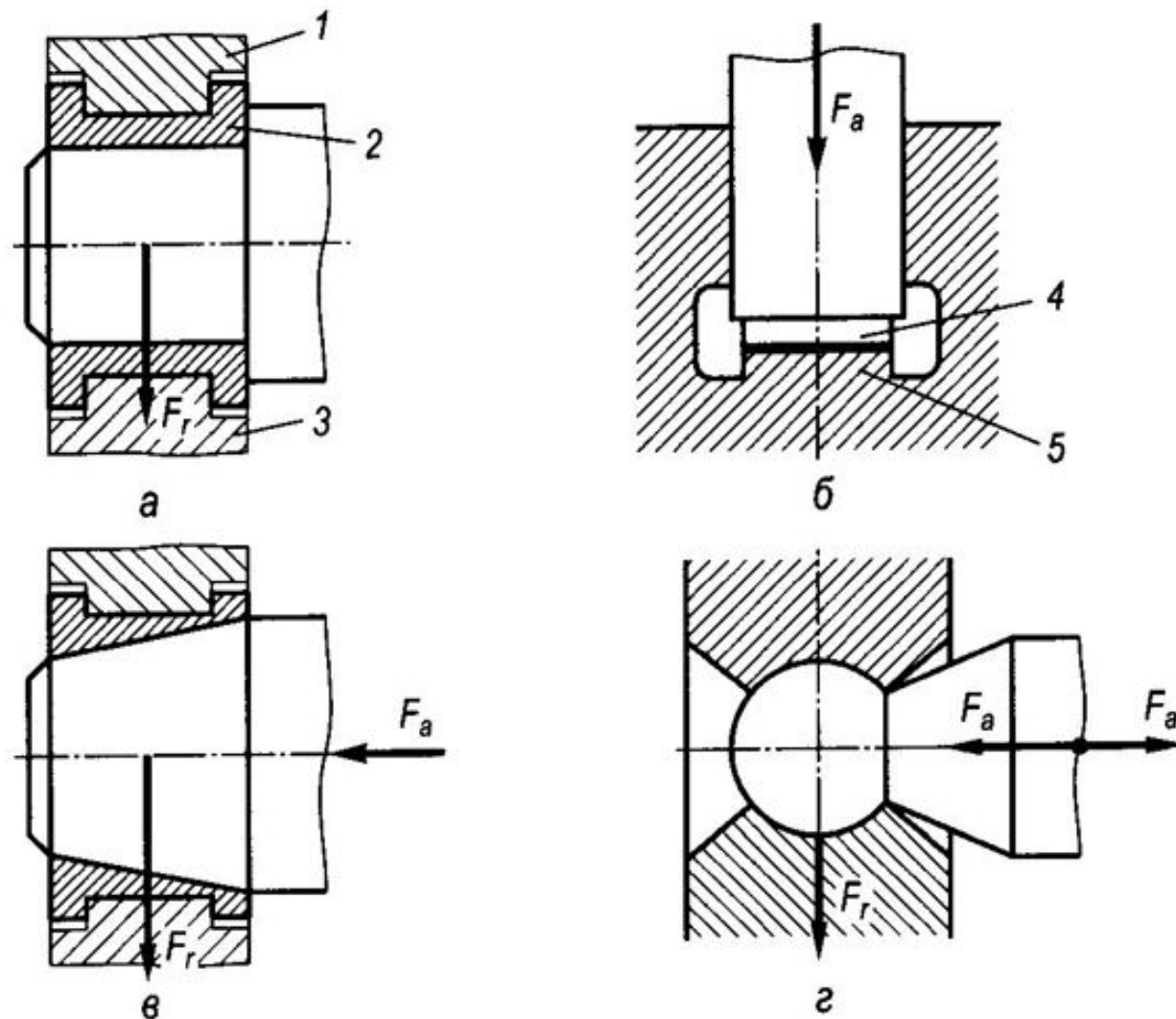
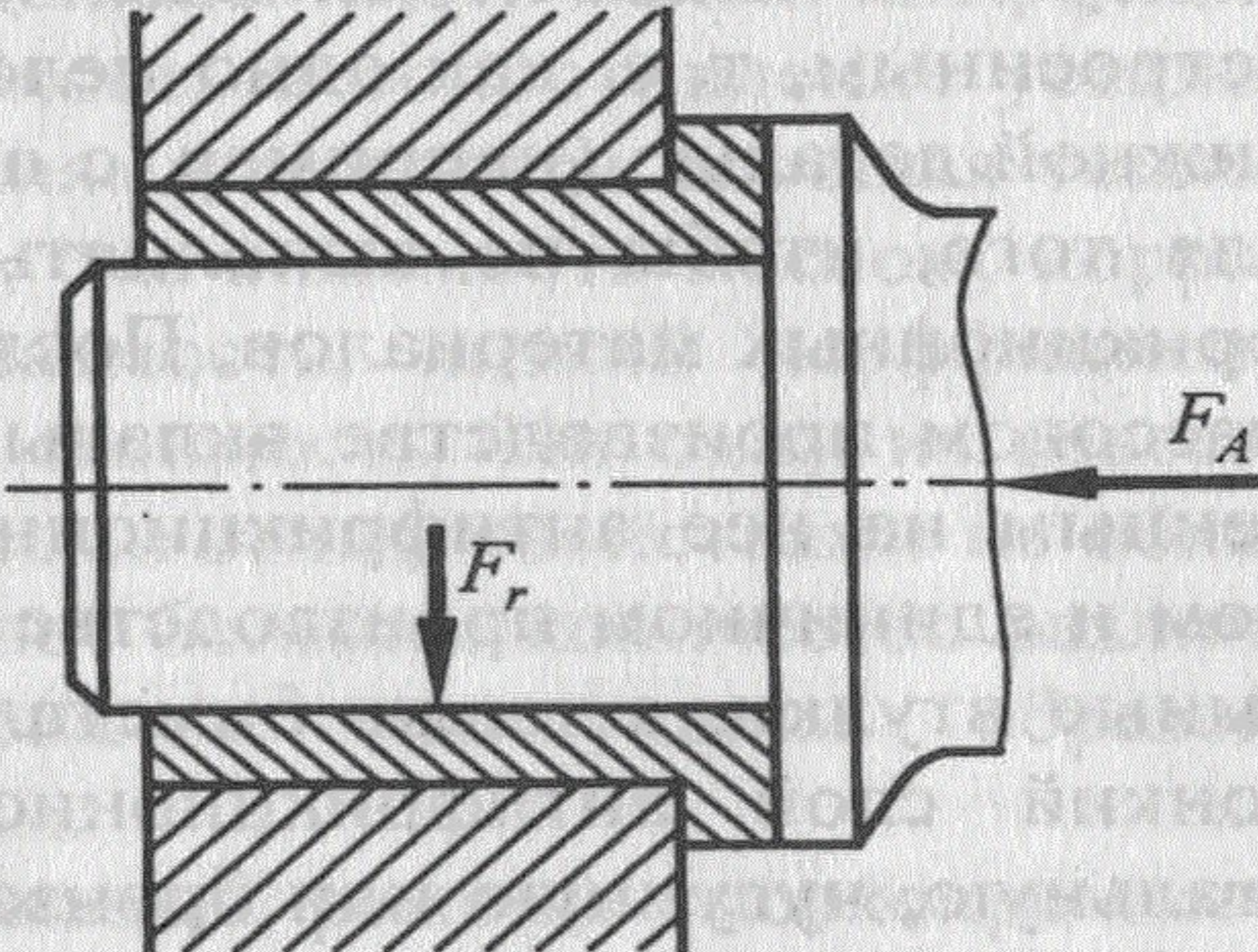
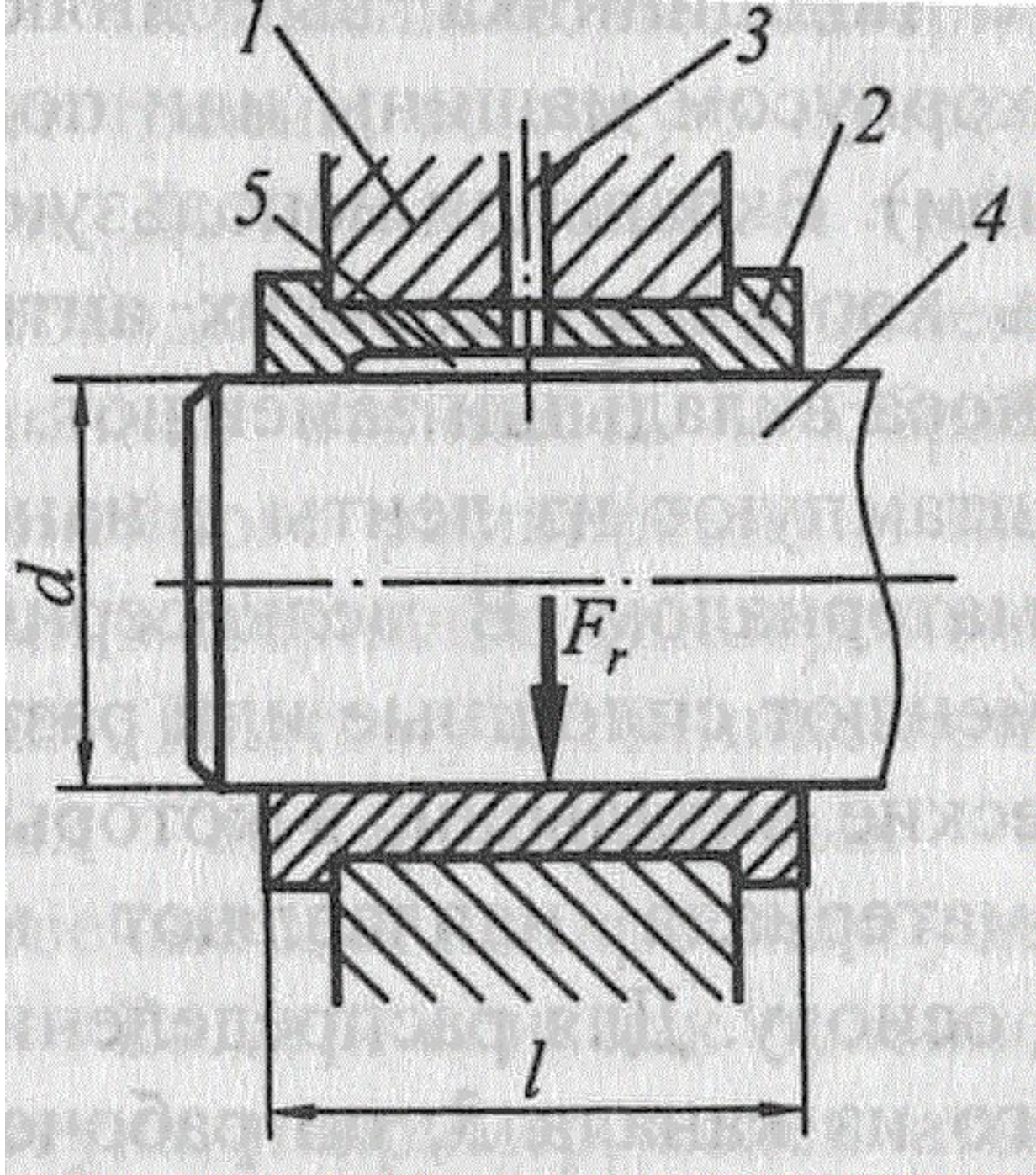
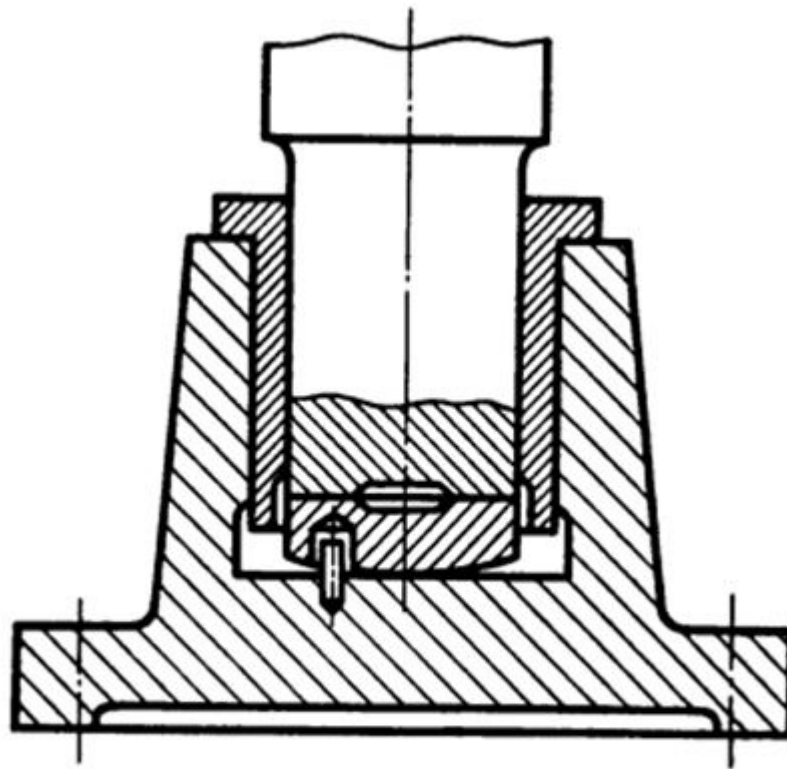


Рис. 19.1.1. Типы подшипников скольжения:  
 а – радиальные; б – упорные (подпятники); в, г – радиально-упорные;  
 1 – крышка; 2 – втулка; 3 – корпус; 4 – пята; 5 – подпятник





Подшипники скольжения, воспринимающие осевую нагрузку, называются подпятники.



Подшипники скольжения по конструктивным признакам делятся на неразъёмные (втулки) и разъёмные (вкладыши).





Вкладыши состоят из двух или более частей для облегчения установки и снятия.

Преимущества неразъемных подшипников – бесшумность работы, низкая цена и простота сборки.

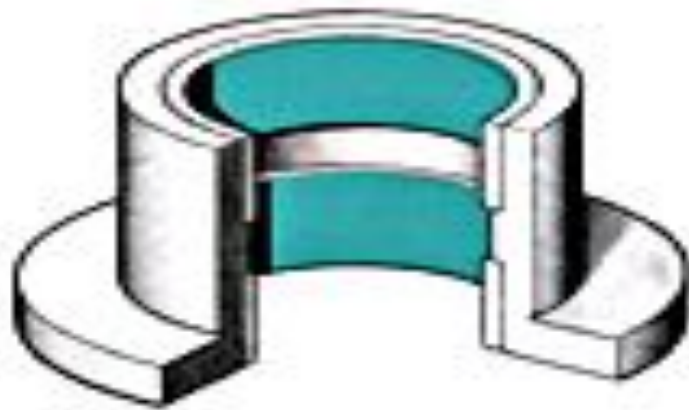
## Преимущества простых (неразъемных) подшипников

- бесшумность работы,
- низкая цена,
- небольшой внешний диаметр по сравнению с подшипниками качения.

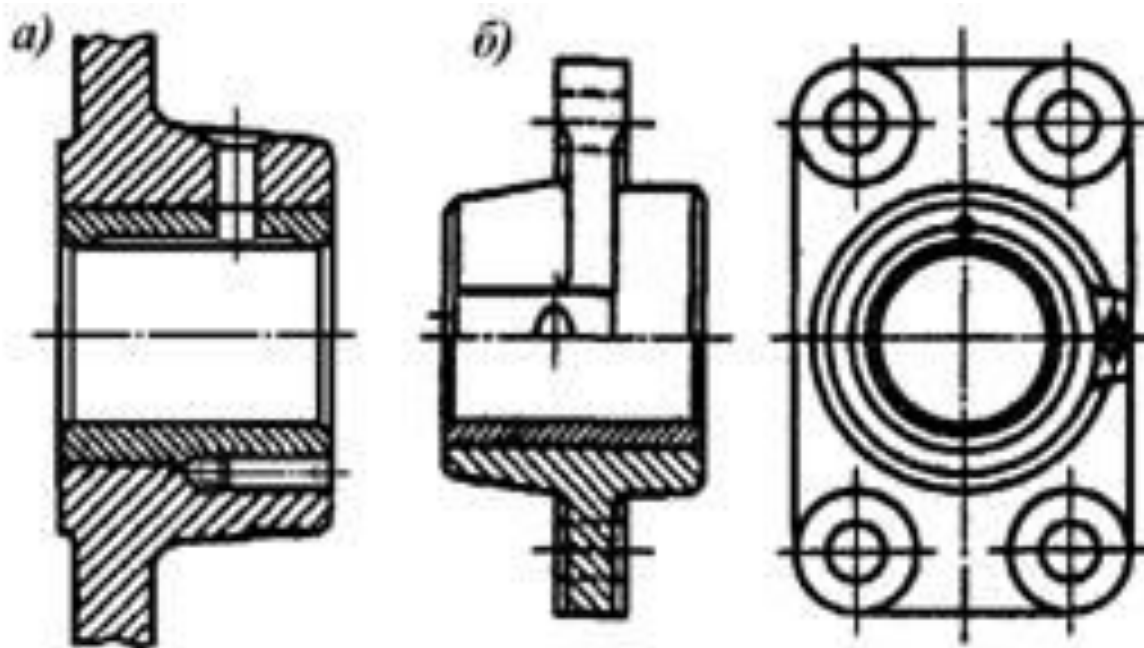
Простые подшипники должны быть как можно короче, чтобы кинематическая пара была гибкой.

Рекомендуемое отношение длина/диаметр находится в диапазоне 0.75 - 1.5

Два коротких подшипника лучше, чем один длинный.

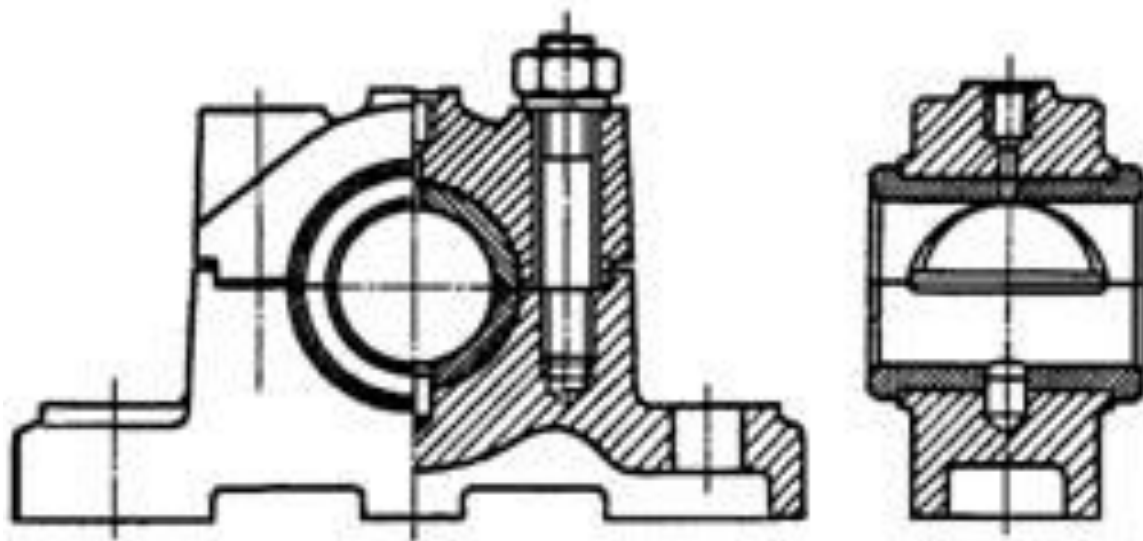


Неразъёмные подшипники скольжения находят широкое применение там, где нагрузки и скорости скольжения невелики ( $V_{ск} \leq 3$  м/с) – в приборах и механизмах управления.



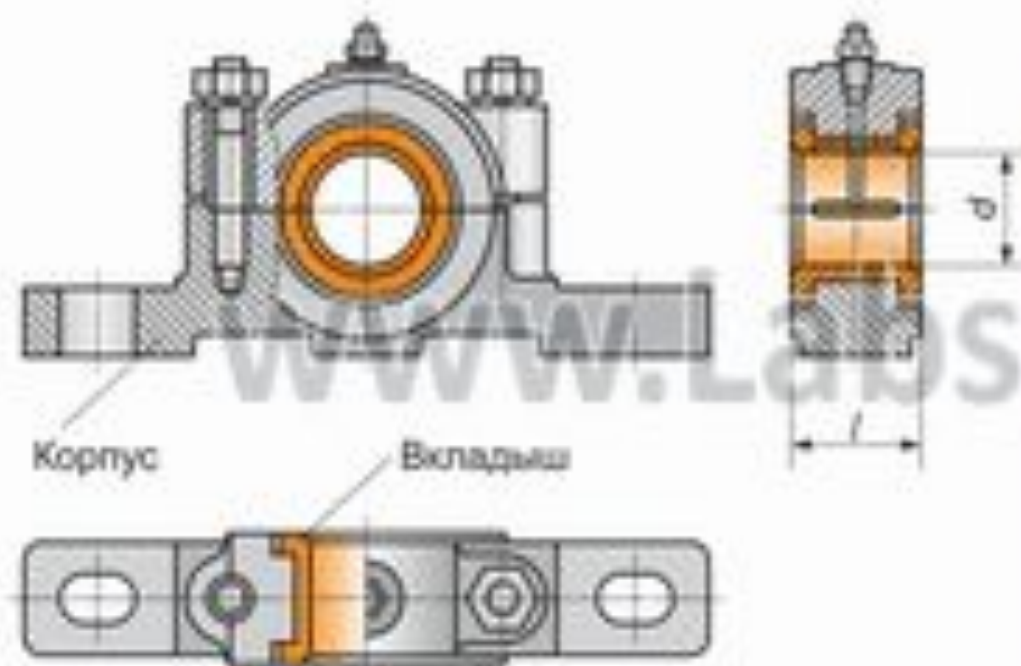
- . Неразъёмные подшипники скольжения (втулки):  
а) встроенный в корпус; б) фланцевый

Разъёмные подшипники основное применение находят там, где невозможна или нежелательна осевая сборка (шатунные шейки коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания), а также в тяжёлом машиностроении для крепления тяжело нагруженных валов.



Разъёмные подшипники скольжения (вкладыши):

## КОНСТРУКЦИЯ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ



### Рекомендуемые геометрические соотношения

$\frac{l}{d}$	Условия работы узла
0,3...0,4	Малонагруженные опоры при ограниченных осевых габаритах
0,4...0,7	Высокоскоростные средненагруженные опоры
0,5...0,9	Высокоскоростные высоконагруженные опоры
0,8...1,2	Тихоходные средне- и высоконагруженные опоры
1,0...1,5	Тихоходные высоконагруженные опоры при жестких валах

# ВКЛАДЫШИ







разделительная поверхность

выемка на рабочей поверхности



толщина стенки

торцевая сторона

смазочное отверстие

кулачок  
справа

кулачок  
слева



ширина  
подшипника

**otv.by**

смазочная канавка внутри

фиксирующее отверстие



выемка на торцевой поверхности

выемка на поверхности разъема буртика



связочная канавка на торцевой поверхности

толщина буртика

серповидная канавка

рабочая поверхность

ширина подшиповки

расстояние между буртиками



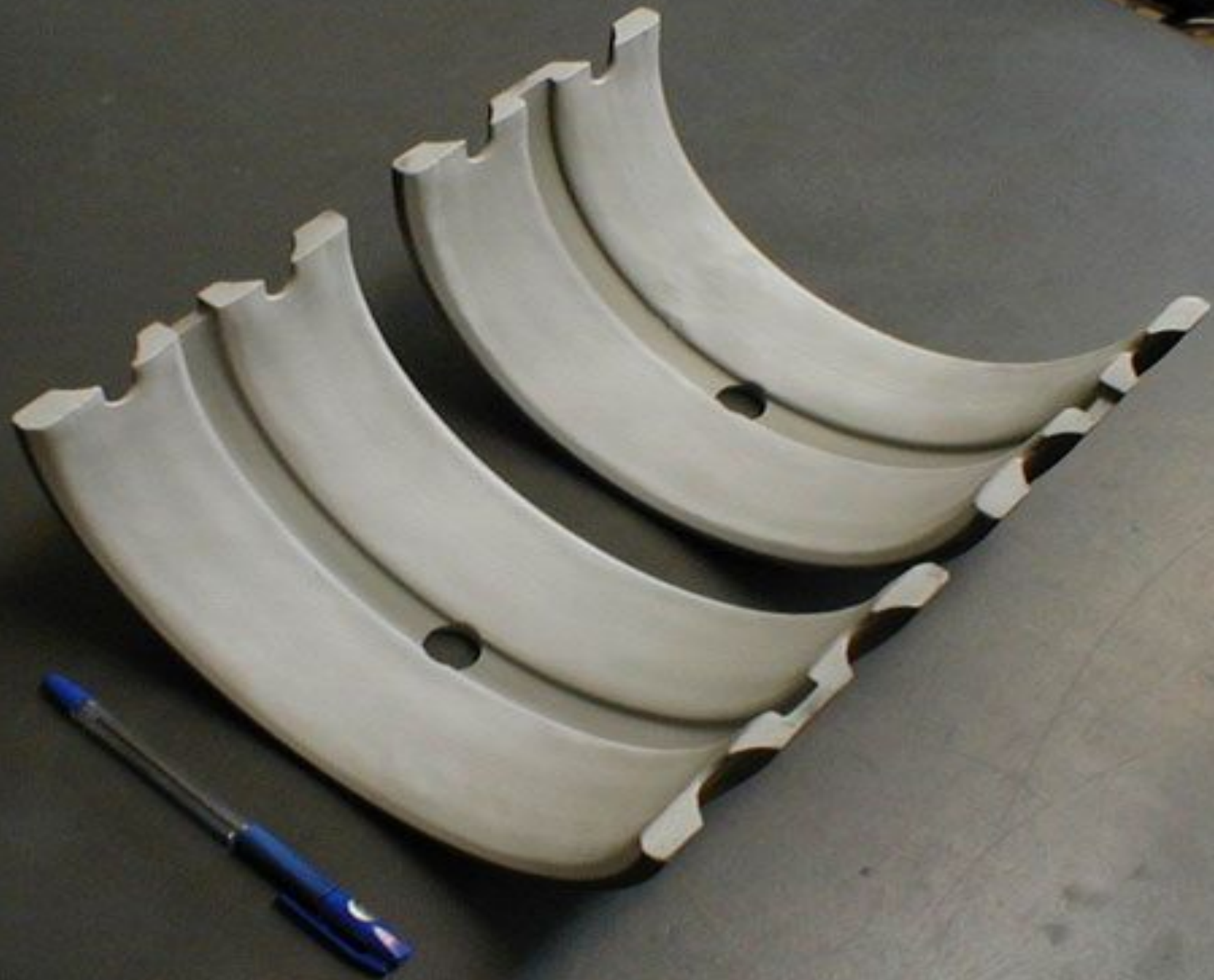
связочный канал

торцевая сторона

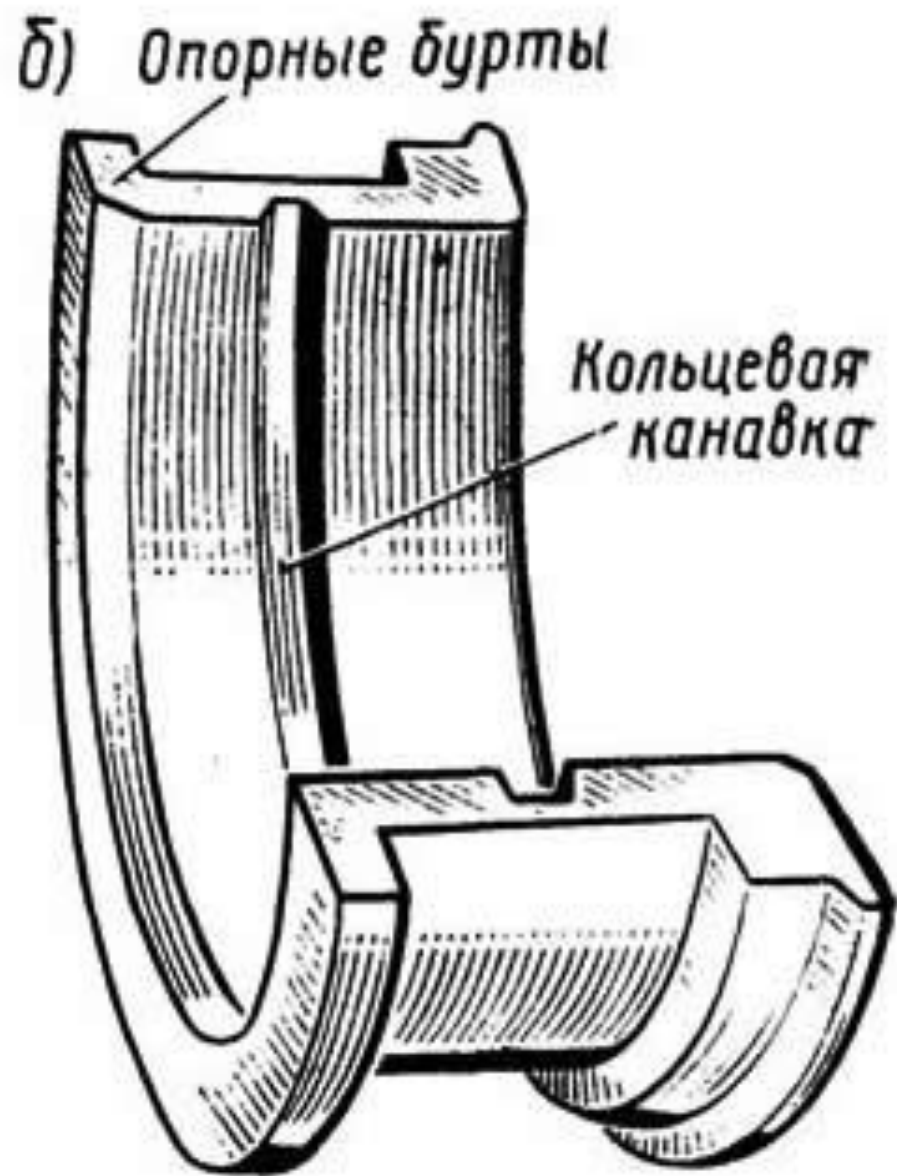
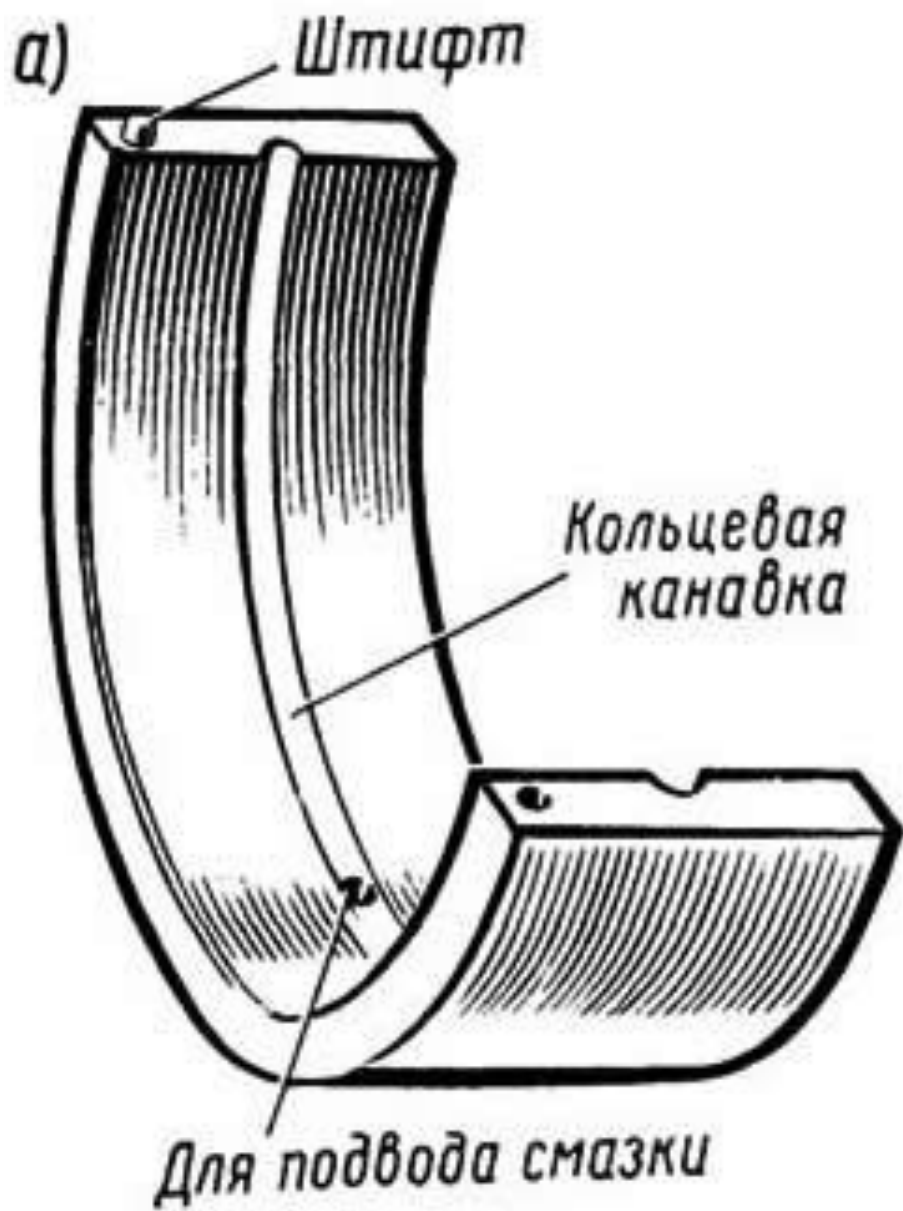




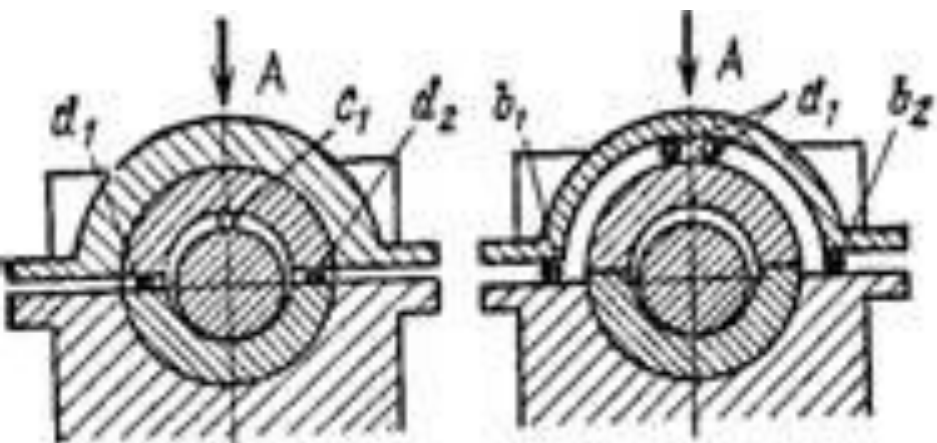






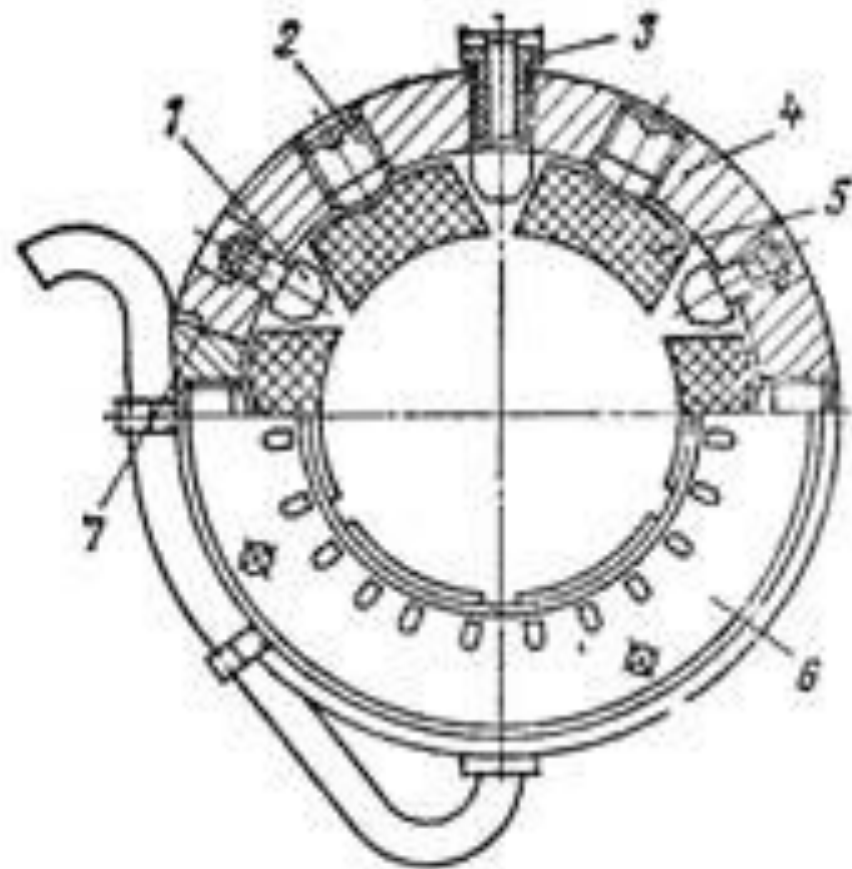
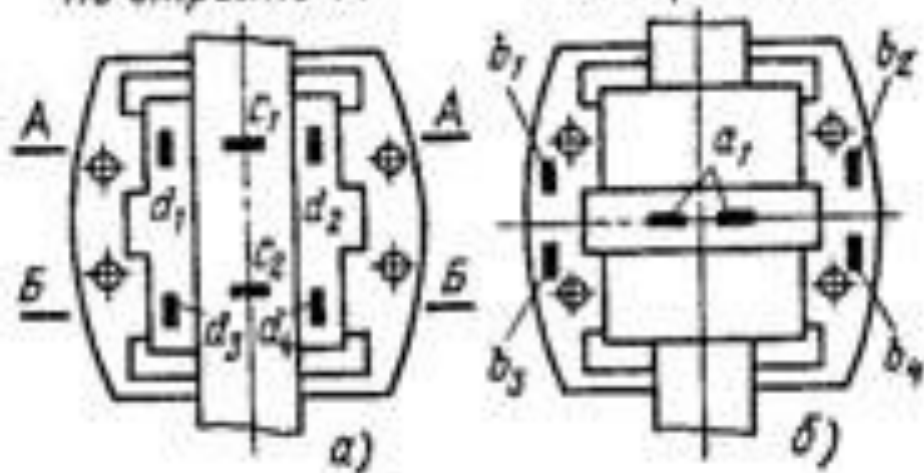


# Подшипник скольжения с сегментными вкладышами



По стрелке А

По стрелке А







**otv.by**

# Принципиальная схема опоры с подшипником скольжения

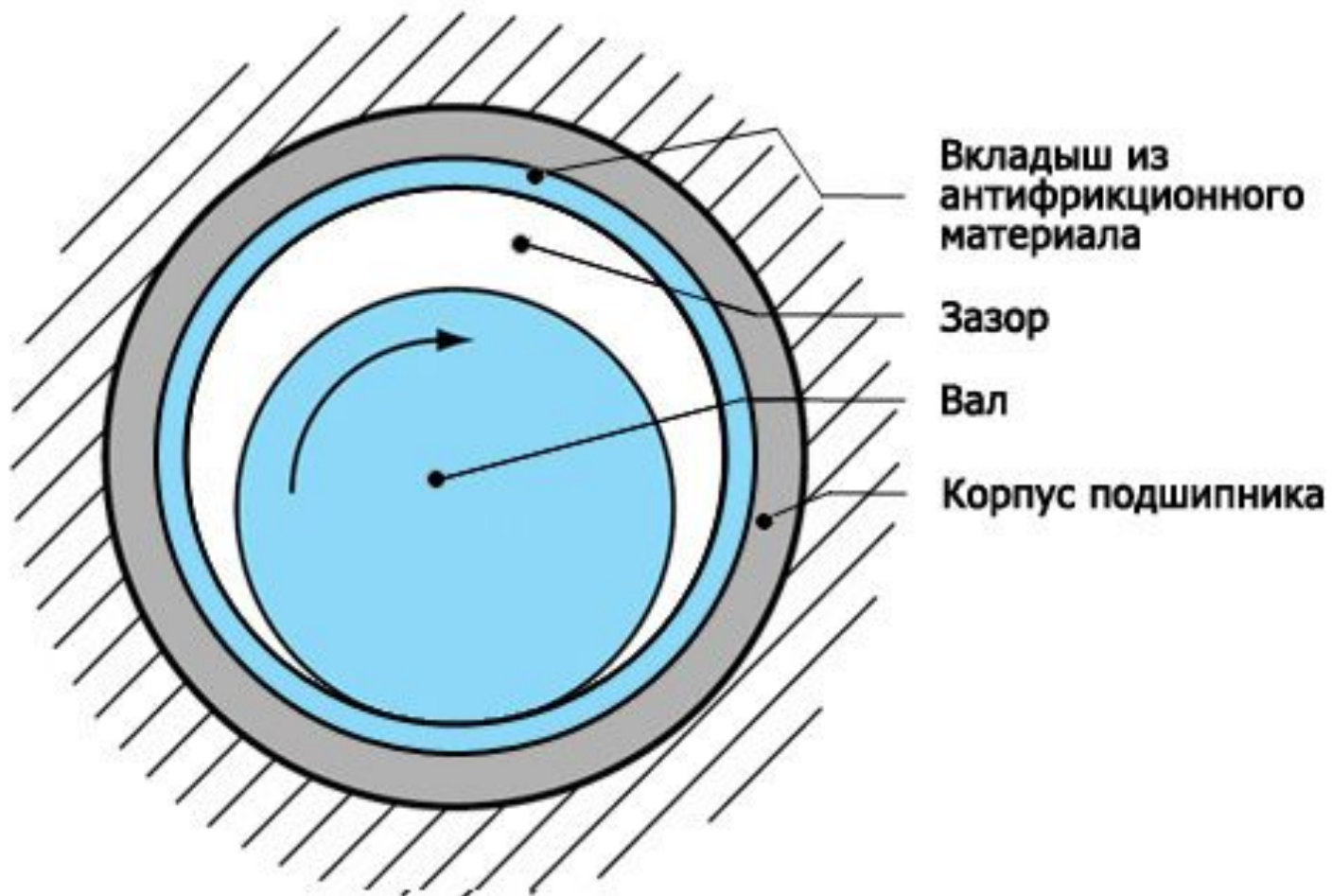
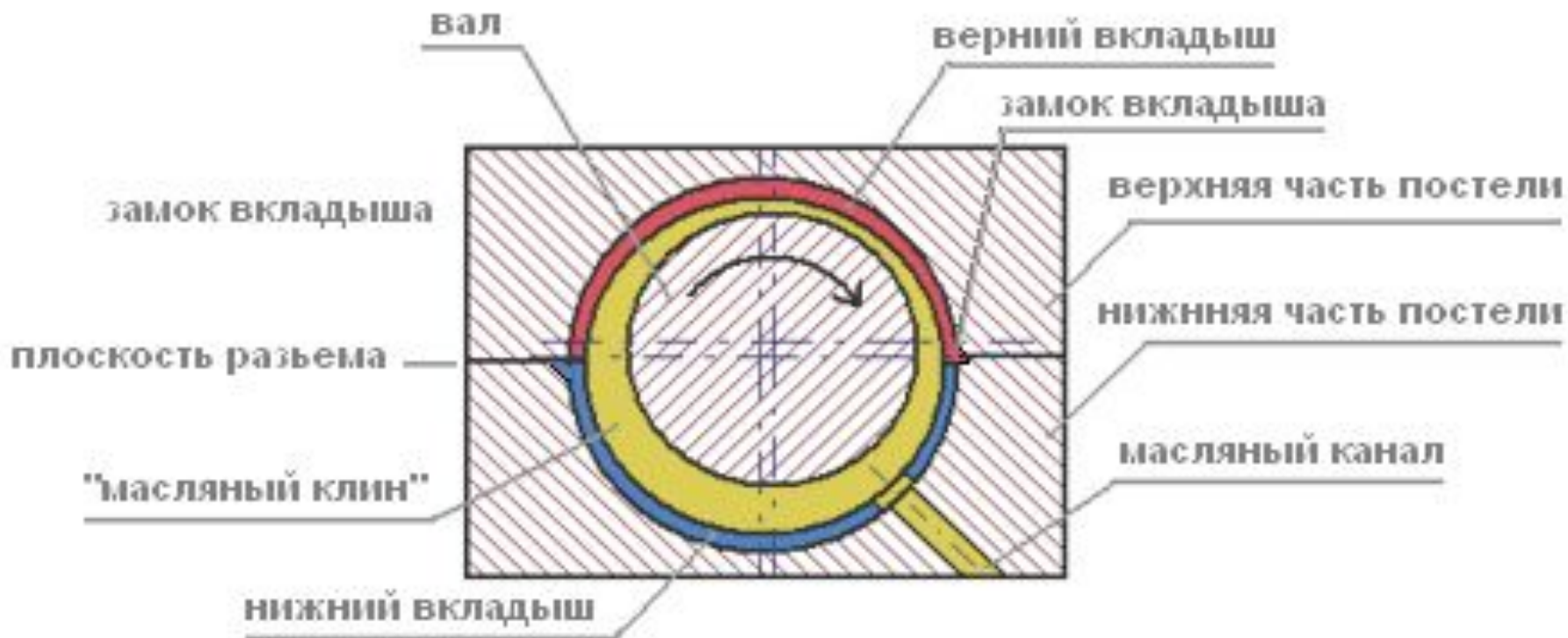
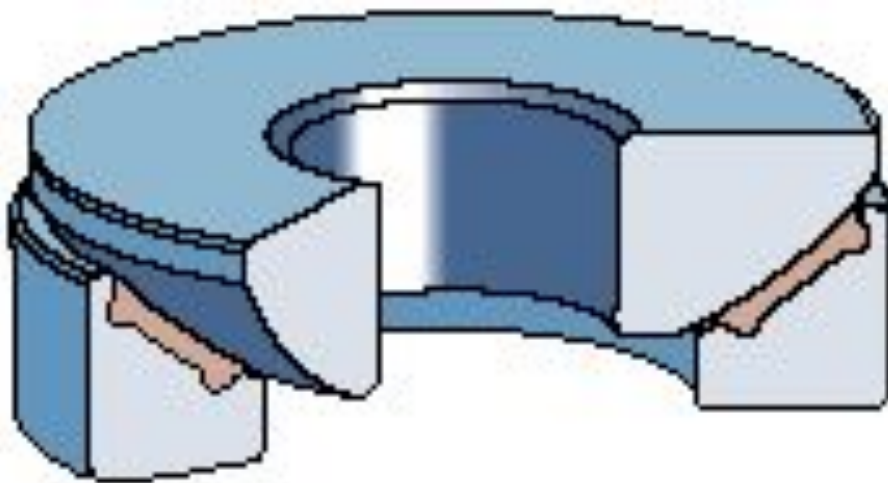


схема работы подшипника скольжения. схема работы вкладыша

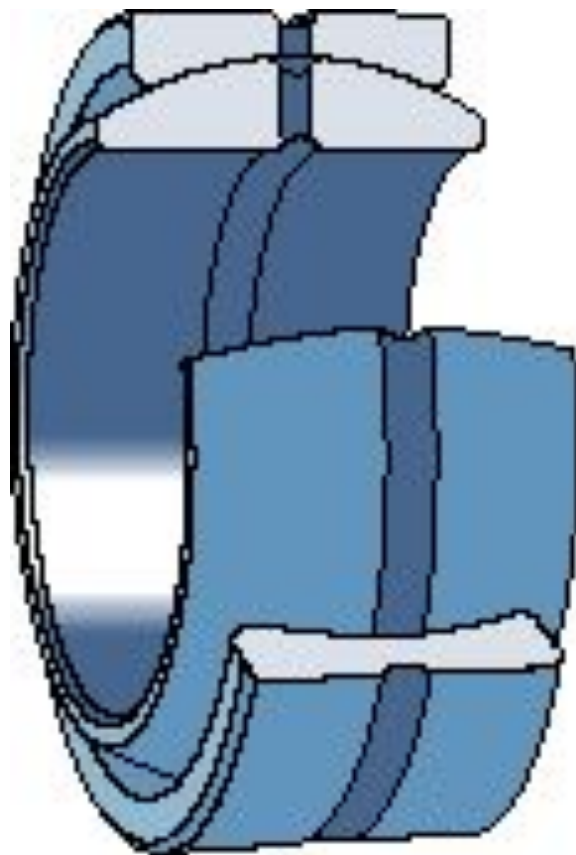








Самоустанавливающиеся подшипники скольжения — это сферические поверхности, которые позволяют осуществлять движение при нарушении соосности







## Достоинства подшипников скольжения:

1. малые габариты в радиальном направлении;
2. хорошая восприимчивость к динамическим (ударным и вибрационным) нагрузкам;
3. высокая точность сопряжения;
4. хорошая прирабатываемость;
5. высокая долговечность в условиях обильной жидкостной смазки;
6. возможность работы в водной, абразивной и коррозионно-активной среде (при соответствующем подборе материалов и изготовлении);
7. возможность сборки (в зависимости от конструкции) как в осевом, так и в радиальном направлении;
8. простота конструкции и низкая стоимость.

## Недостатки подшипников скольжения:

1. большие габариты в осевом направлении;
2. значительный расход смазочного материала;
3. необходимость следить за постоянным поступлением смазочного материала к рабочим поверхностям;
4. высокий пусковой момент и большой износ в период пуска;
5. необходимость использования в подшипнике дорогостоящих антифрикционных материалов.

## 19.5. Примеры применения подшипников скольжения

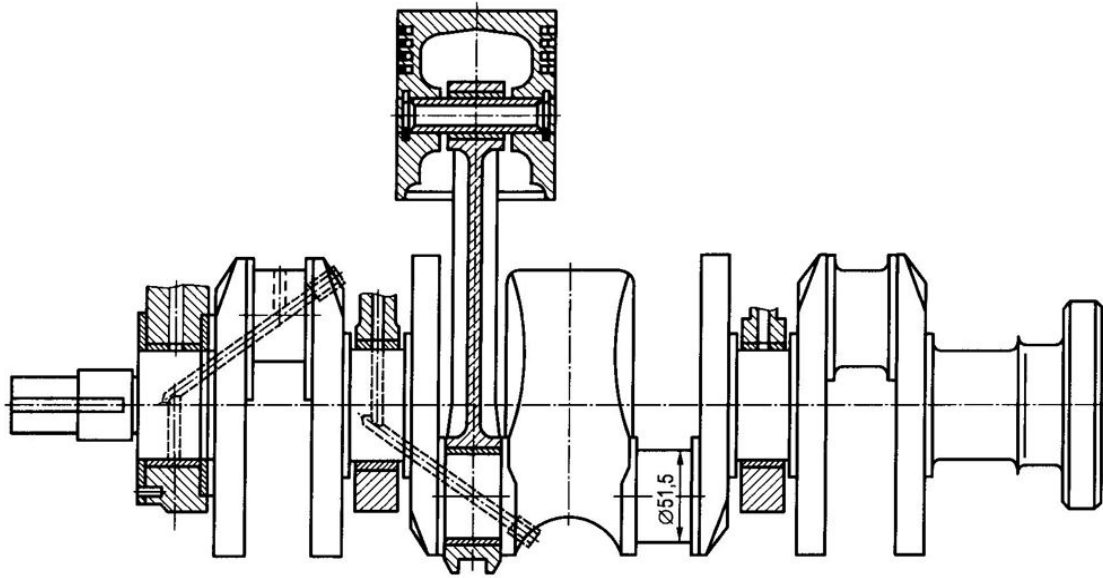
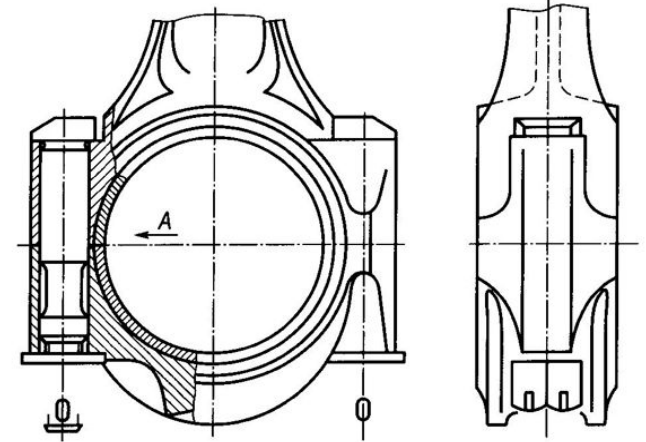


Рис. 19.5.1. Коленчатый вал двигателя внутреннего сго



A

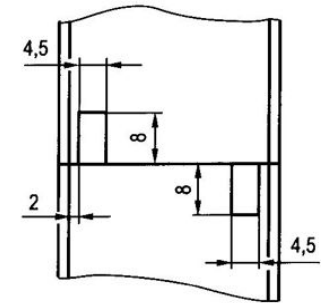


Рис. 19.5.2. Нижняя головка шатуна с вкладышами

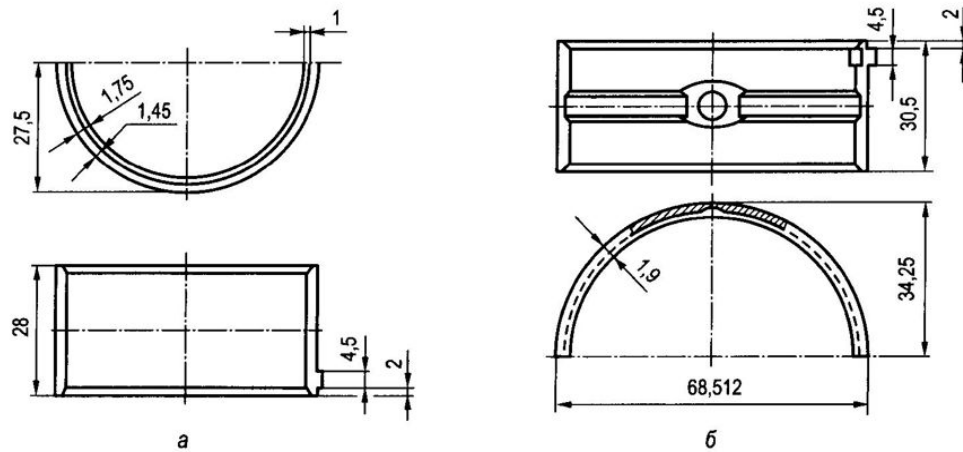


Рис. 19.5.3. Нижний (а) и верхний (б) вкладыши подшипника

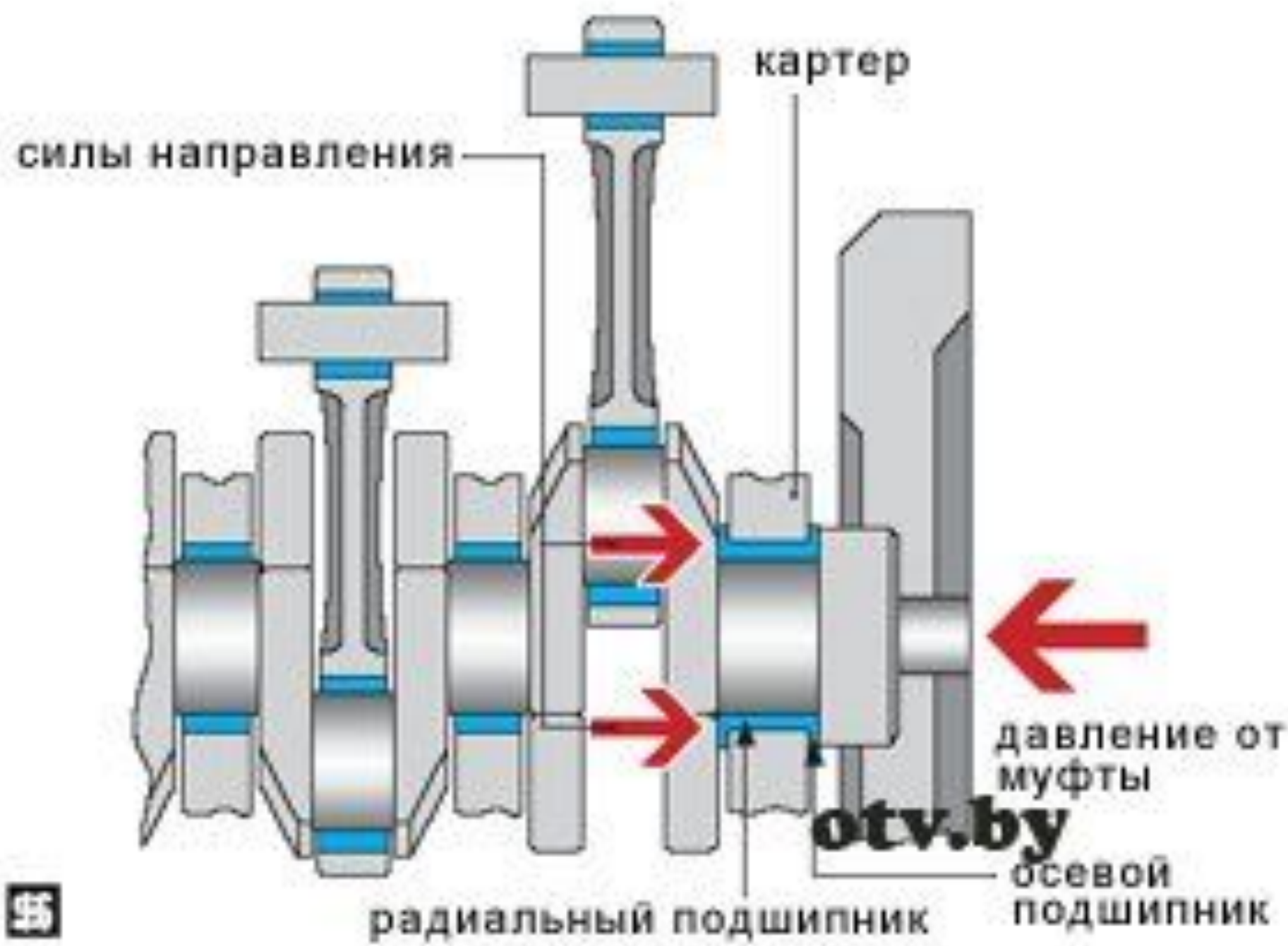


Таблица 19.1.2. Рекомендуемое давление цапфы вала на подшипник

Пара трения	$p$ , МПа
Сталь – чугун	2,0–2,5
Сталь – бронза	4,0–6,0
Закаленная сталь – бронза	7,5–8,0
Закаленная сталь – сталь	12,0–15,0
Закаленная сталь – баббит	5,0–7,0

Таблица 19.1.3. Допустимые режимы работы подшипников

Материал вкладыша	Закаленная шейка вала		Незакаленная шейка вала	
	$[pv]$ , МПа·м/с	$[v]$ , м/с	$[pv]$ , МПа·м/с	$[v]$ , м/с
Бронза оловянно-фосфористая БрО10Ф1	10	8	6	5
Бронзы оловянно-цинко-свинцовые БрО5Ц7С12, БрО6Ц6С3	8	6	5	4
Бронза безоловянная БрА9ЖЗЛ	7,5–15	5	Не рекомендуется	
Бронза безоловянная БрС30	10	10	То же	
Цинковый сплав ЦАМ 10–5	9–10	2,5	4	2,5
Баббиты Б16, БН6	15	10	10	6
Антифрикционный чугун АЧС–1, АЧС–2	1,5–12	1–4	1	2,5

В качестве материала, контактирующего с цапфой вала, в подшипниках скольжения применяются:

1. при спокойной нагрузке, удельном давлении до 20 МПа и малых скоростях скольжения до 5 м/с - антифрикционные чугуны с повышенным содержанием свободного графита

# Режимы работы подшипников из антифрикционных чугунов

Чугун (марка)	НВ, 10Н/мм <sup>2</sup>	Состояние цапфы вала	Удельное давление, р не более, МПа	Скорость скольжения, v не более, м/с	p×v, не более, МПа×м/с
АЧС-1	177-225	Термообработанная	8,8	2	1,8
АЧС-2	186-225	Термообработанная	5,9	3	4,4
АЧС-3	157-186	Сырая	5,9	3	4,4
АЧВ-1	206-255	Термообработанная	11,8	5	11,8
АЧВ-2	164-193	Сырая	-	-	-
АЧК-1	193-213	Термообработанная	11,8	5	11,8
АЧК-2	164-193	Сырая	-	-	-
ЧМ-1,3	183-257	Термообработанная	19,6	1	19,6
ЧМ-1,8	203-257	Термообработанная	0,5	25	12,5



2. бронзы оловянистые (БрОЦС5-5-5; БрОФ10-1 и др.), свинцовистые и оловянисто-свинцовистые (БрС-30; БрО5С25 и др.), безоловянистые (БрА9Ж3Л; БрА10Ж4Н4Л и др.) являются наиболее распространённым подшипниковым материалом при скоростях скольжения до 12 м/с и удельных давлениях до 25 МПа;





3. латуни (медноцинковые сплавы, например, ЛАЖМц52-5-2-1, ЛКС80-3-3 и др.) применяют для изготовления низкоскоростных подшипников при скоростях скольжения до 2 м/с и удельных давлениях до 12 МПа;



4. для изготовления высокоскоростных подшипников в условиях обильной смазки и хорошего теплоотвода при скоростях скольжения до 15 м/с и удельных давлениях до 12 МПа; применяют оловянные, свинцово-оловянные и свинцовые баббиты, например Б89 (89% олова, 9% сурьма, ост. медь), Б16 (16% олова, 16% сурьма, 1,8% медь, ост. свинец);

5. лёгкие сплавы на алюминиевой основе находят широкое применение, для изготовления поверхностей трения подшипников - для неответственных подшипников используют алюминиево-кремниевые сплавы (литейные АЛ3, АЛ4, АЛ5, деформируемые АК4, АК4-1), наиболее высокими антифрикционными качествами обладают алюминиево-оловянные композиты, получаемые спеканием порошковых материалов (например, АО20); по рабочим характеристикам эти материалы приближаются к баббитам при существенно меньшей цене и более высокой износостойкости;

jschangshengbearing.en.alibaba.com



alibaba.com.cn



6. неметаллические материалы (ДСП, текстолит, поликарбонаты, капрон, нейлон, фторопласты, резины) применяют для изготовления подшипников, работающих при скоростях скольжения до 5 м/с и удельных давлениях до 10 МПа, некоторые из этих материалов (ДСП, резины) допускают использование воды в качестве смазки;

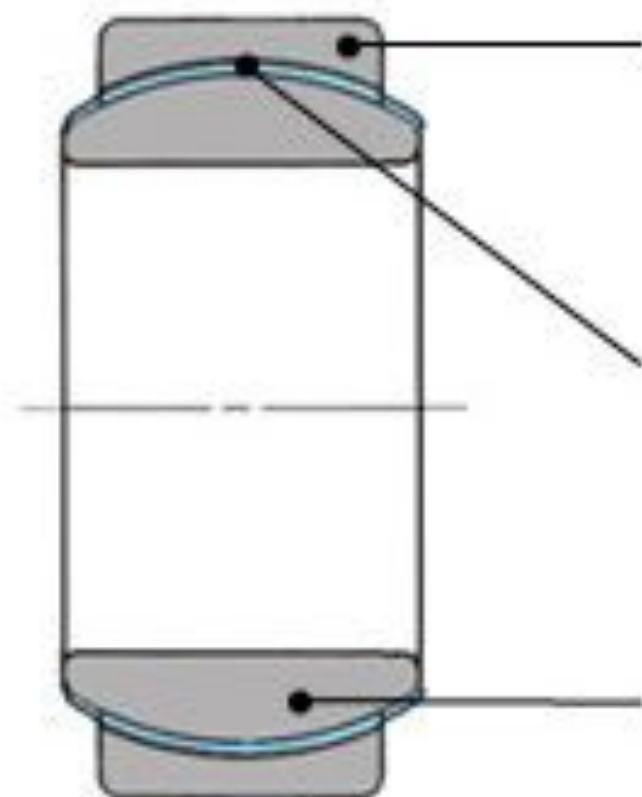
7. металлокерамика (бронзографит, железографит) получается спеканием порошков при высокой температуре и применяется при скоростях скольжения до 3 м/с, удельных давлениях до 6 МПа и недостатке смазки, металлокерамика отличается высокой пористостью (поры занимают до 40% объёма), вследствие чего способна впитывать большие количества масла, этого запаса масла хватает обычно на несколько месяцев работы подшипника без смазки.



Для работы с большинством перечисленных антифрикционных материалов цапфы вала необходимо подвергать термической или химикотермической обработке с целью получения высокой твёрдости рабочей поверхности  $> \text{HRC } 50$ , а в некоторых случаях (железистые бронзы высокой твёрдости, алюминиевые сплавы)  $> \text{HRC } 55$ . При этом точность изготовления диаметральных размеров для большинства подшипников лежит в пределах 6...7 квалитетов ЕСДП (единая система допусков и посадок), а шероховатость поверхности  $Ra - 2,5...0,25 \text{ мкм}$ . Более высокая гладкость поверхности цапфы нежелательна вследствие слабого удержания на ней смазки.

Таблица 19.1.3. Допустимые режимы работы подшипников

Материал вкладыша	Закаленная шейка вала		Незакаленная шейка вала	
	$[pv]$ , МПа·м/с	$[v]$ , м/с	$[pv]$ , МПа·м/с	$[v]$ , м/с
Бронза оловянно-фосфористая БрО10Ф1	10	8	6	5
Бронзы оловянно-цинко-свинцовые БрО5Ц7С12, БрО6Ц6С3	8	6	5	4
Бронза безоловянная БрА9ЖЗЛ	7,5–15	5	Не рекомендуется	
Бронза безоловянная БрС30	10	10	То же	
Цинковый сплав ЦАМ 10–5	9–10	2,5	4	2,5
Баббиты Б16, БН6	15	10	10	6
Антифрикционный чугун АЧС–1, АЧС–2	1,5–12	1–4	1	2,5



Наружное кольцо  
(поверхность  
скольжения  
покрыта  $\text{MoS}_2$ )

Специальное  
антифрикционное  
покрытие (PTFE...)  
армированное нитью  
из цветного металла

Внутреннее кольцо  
(поверхность  
скольжения  
покрыта  $\text{MoS}_2$ )

Подготовлено: [SNR.COM.RU](http://SNR.COM.RU)

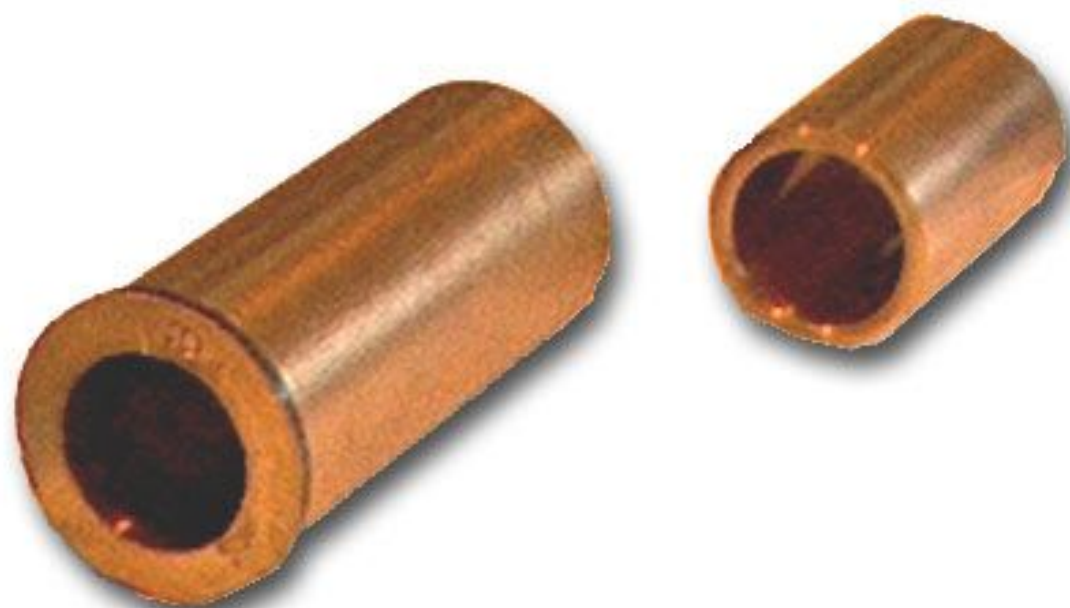
вид подшипников скольжения и бронзовых втулок

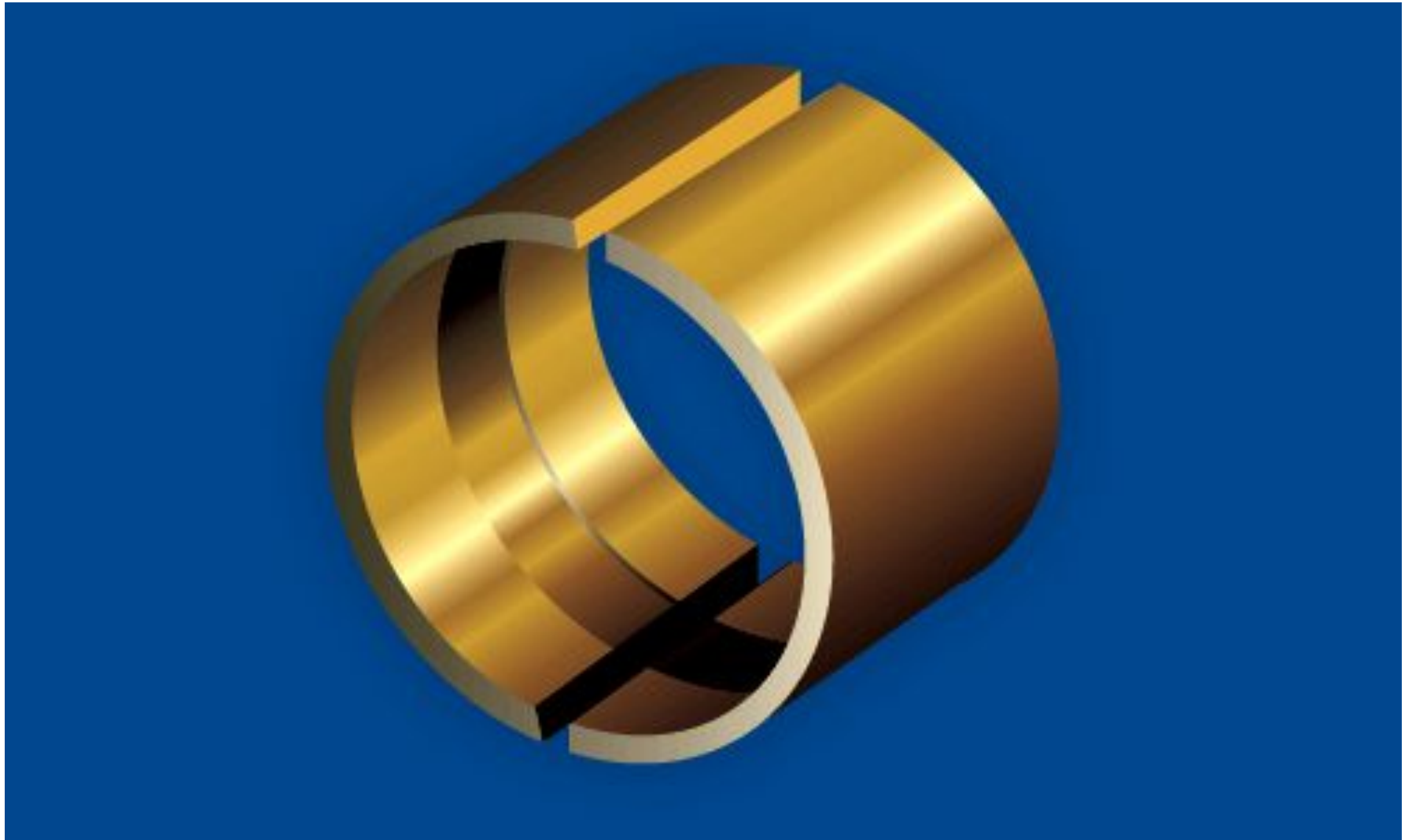


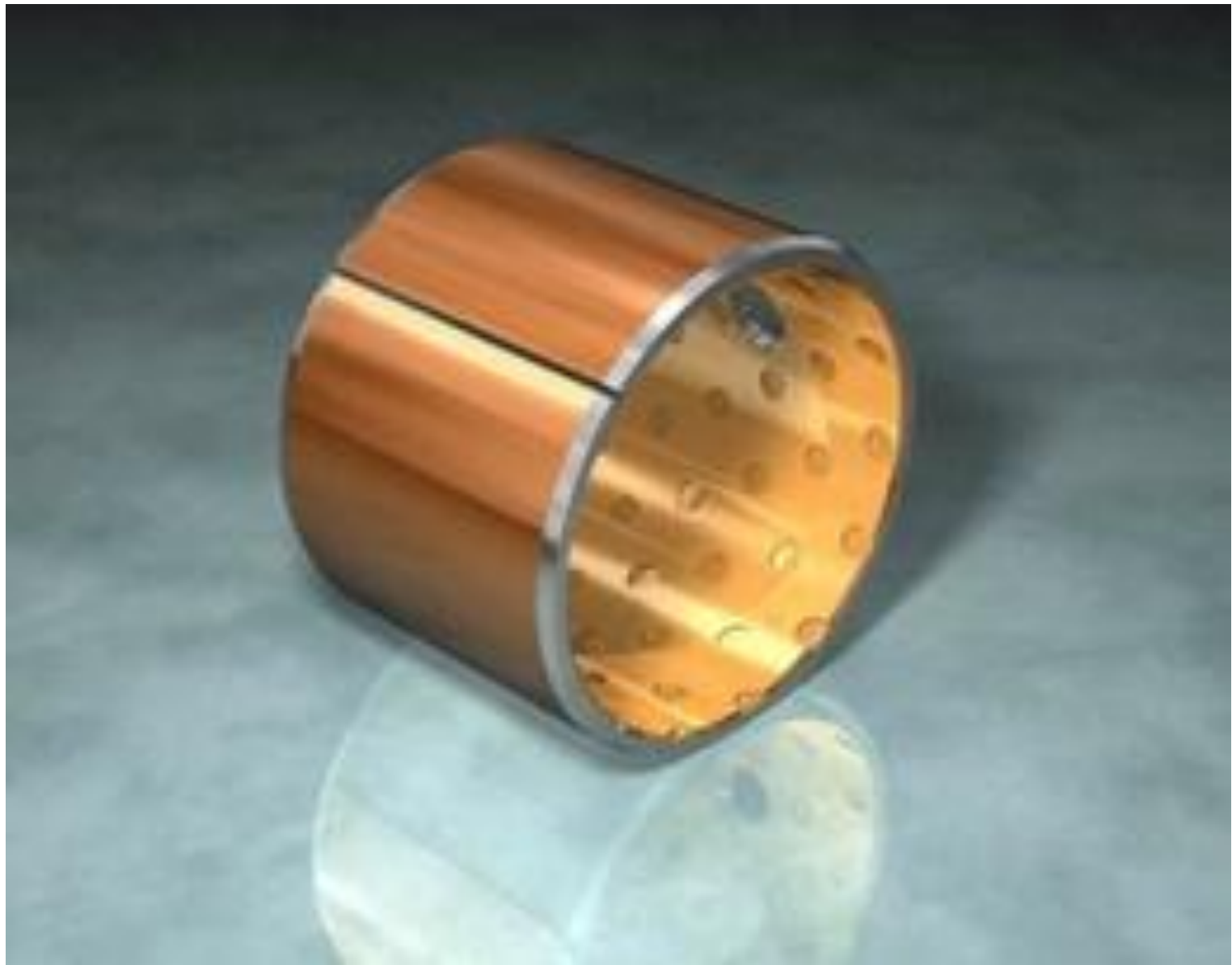
подшипники скольжения из антифрикционных бронз и латуней















## Втулки биметаллические.



Подшипники скольжения с баббитовым вкладышем.



# Графитовые втулки





Подшипники сухого трения (бронза, нейлон, ПТФЕ (политетрафтороэтилен) для очень легких применений) и смазывающиеся подшипники (белый металл для больших подшипников, медные сплавы, алюминиевые сплавы).

Графитовые втулки, кольца  
(подшипники скольжения-самосмазывающиеся)

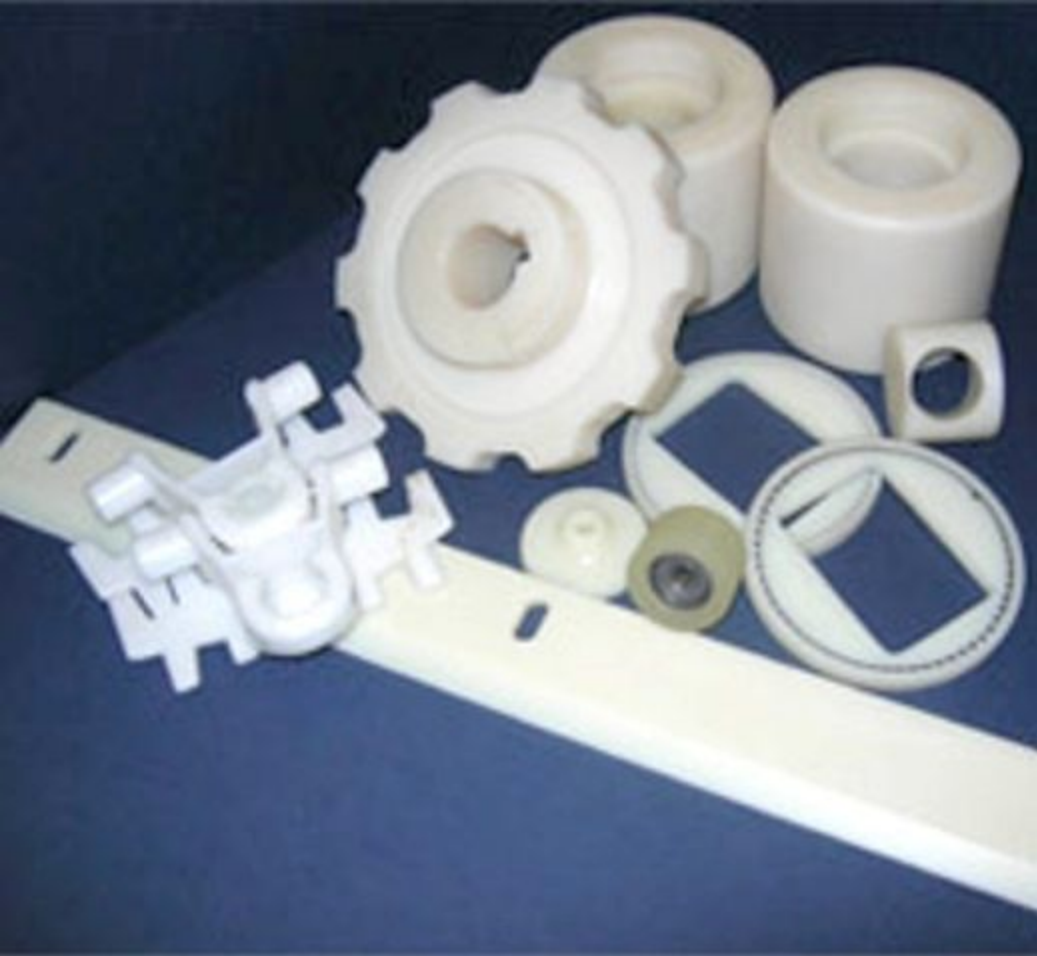




*ГРАФИТОКЕРАМИЧЕСКИЕ -ГКМ, ПОЛИМЕРКЕРАМИЧЕСКИЕ  
-ФКМ АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ "PROMGLEH"*



Самосмазывающиеся подшипники скольжения на основе полимерно композитов ФКМ-С.



Ролики, подшипники скольжения, втулки и вкладыши пластмассовые.



Reklama 

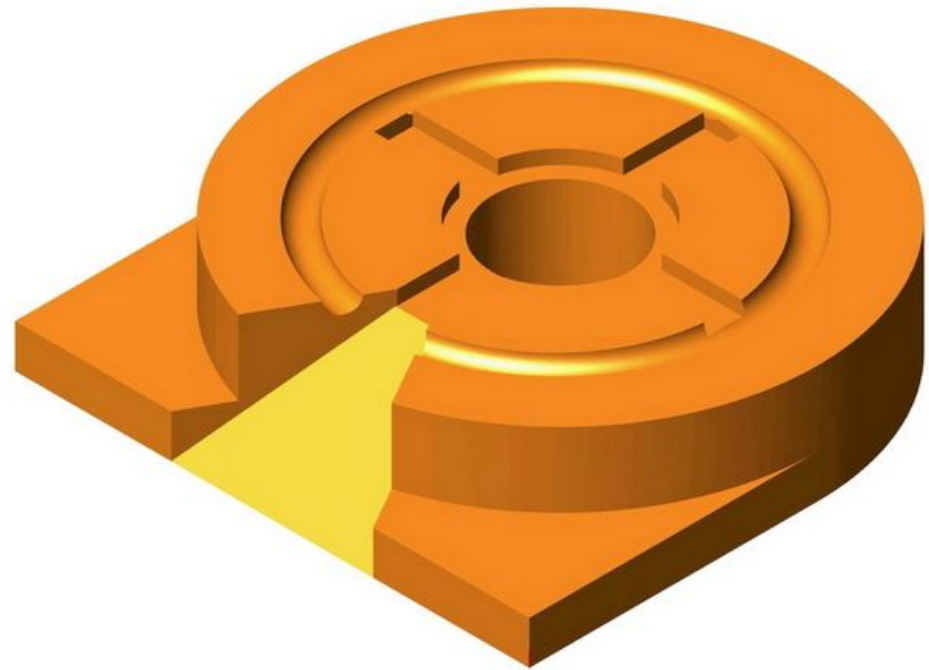
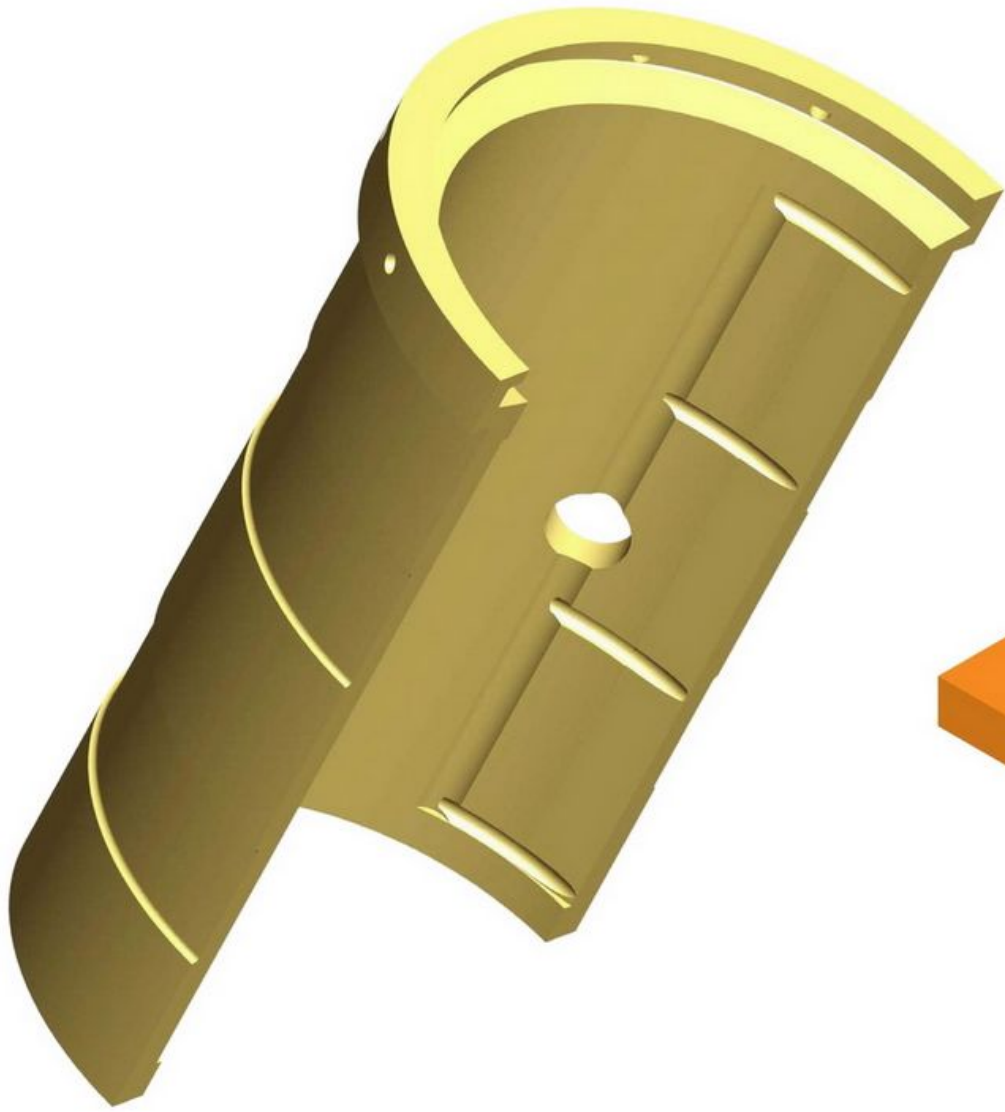
Подшипники ZEDEX могут работать без смазки  
при тяжелых условиях





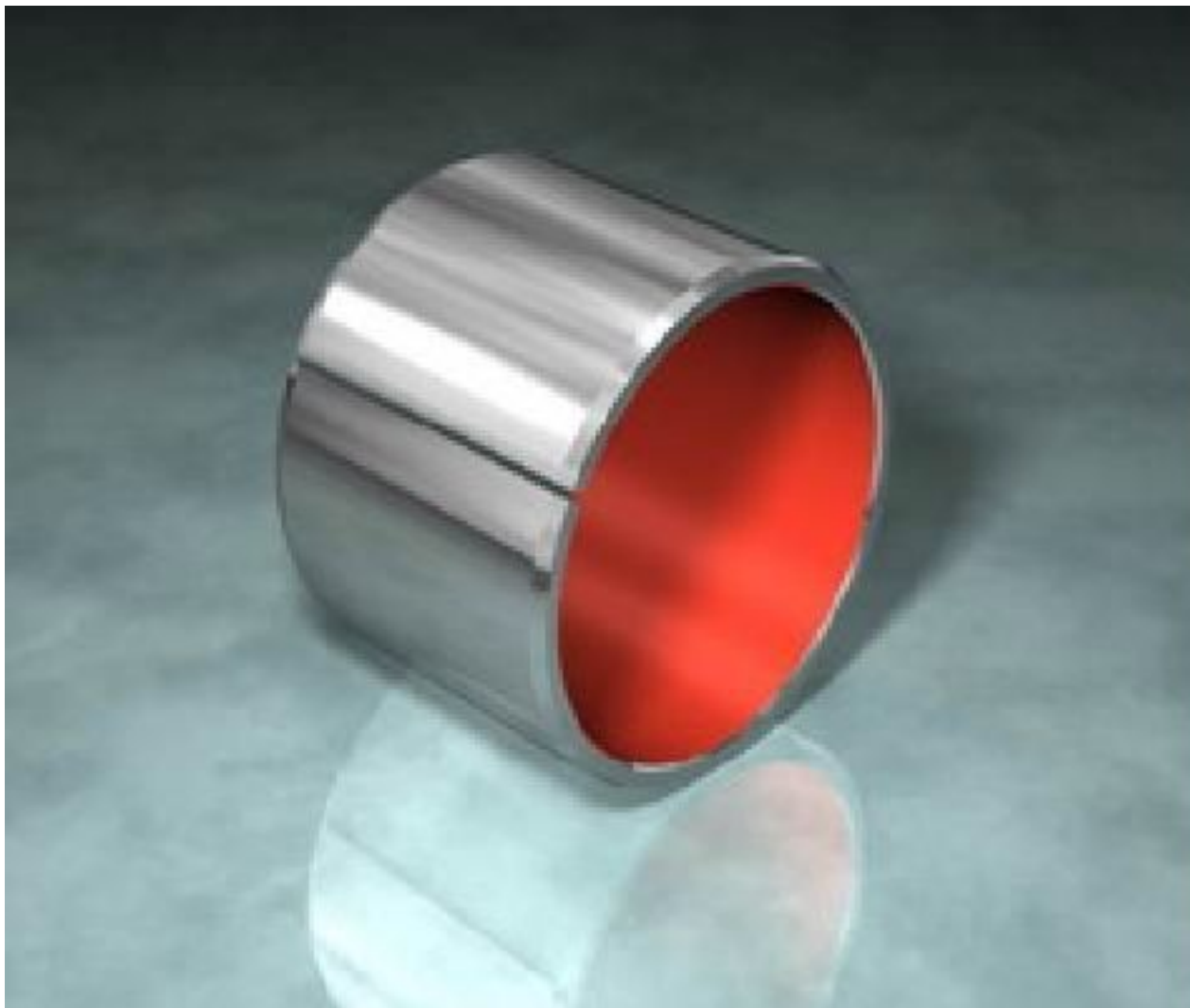








# Металлофторопластовые подшипники скольжения типа "Втулка"



## Подшипники шарнирные

Предназначены для передачи радиальных, осевых, знакопеременных, тяжелых, ударных или статических нагрузок, а так же комбинированных.

Самосмазывающиеся шарнирные подшипники предназначены в первую очередь для восприятия больших нагрузок постоянного направления при небольших скоростях скольжения.







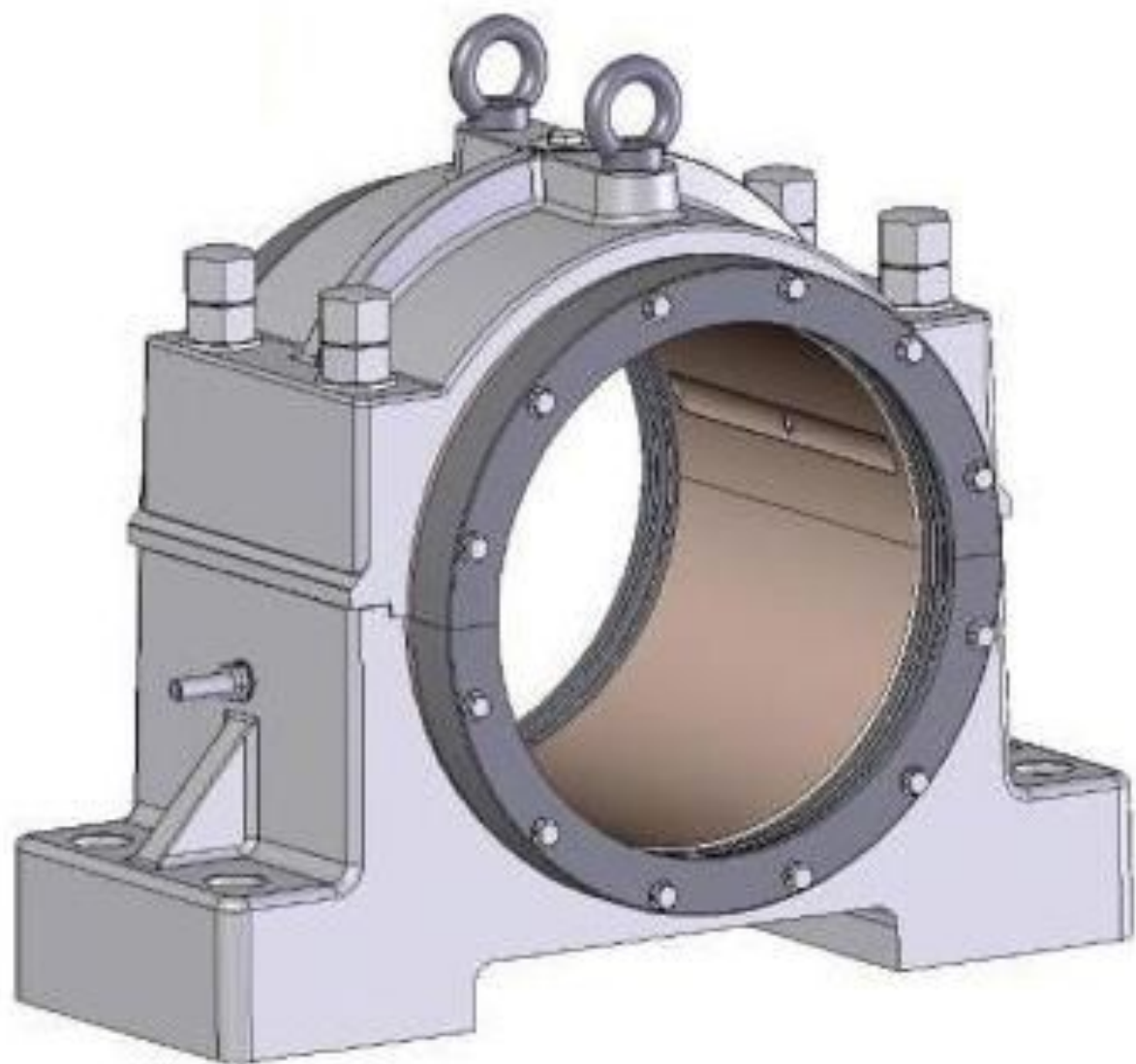












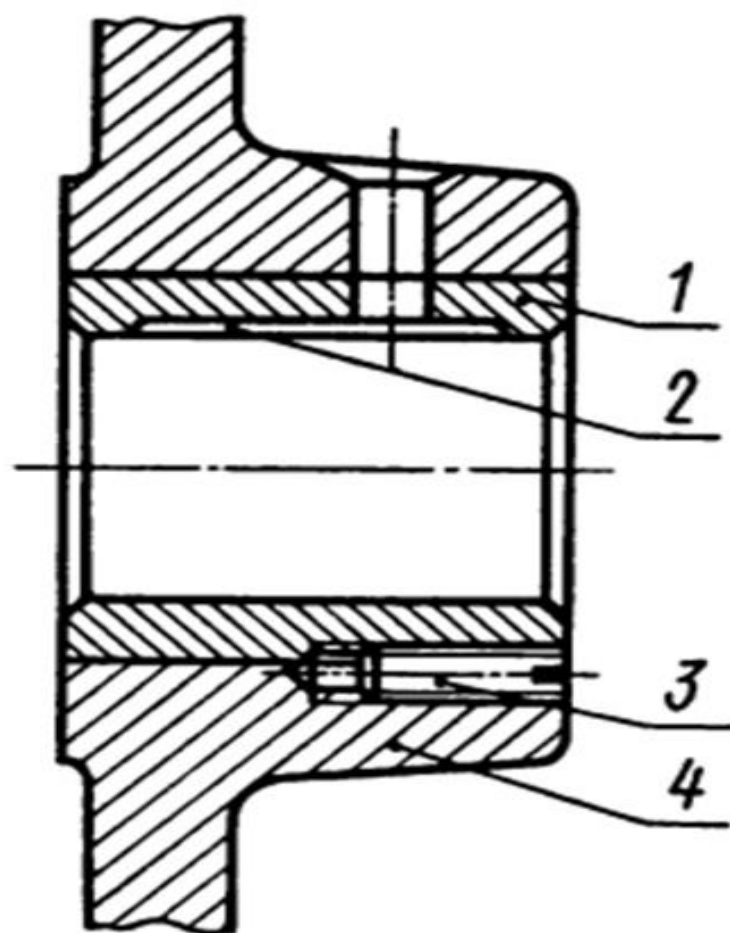


Рис. 23.1. Неразъемный подшипник, встроенный в станину машины:

1 — втулка; 2 — смазочная канавка; 3 — стопорный винт; 4 — станина машины

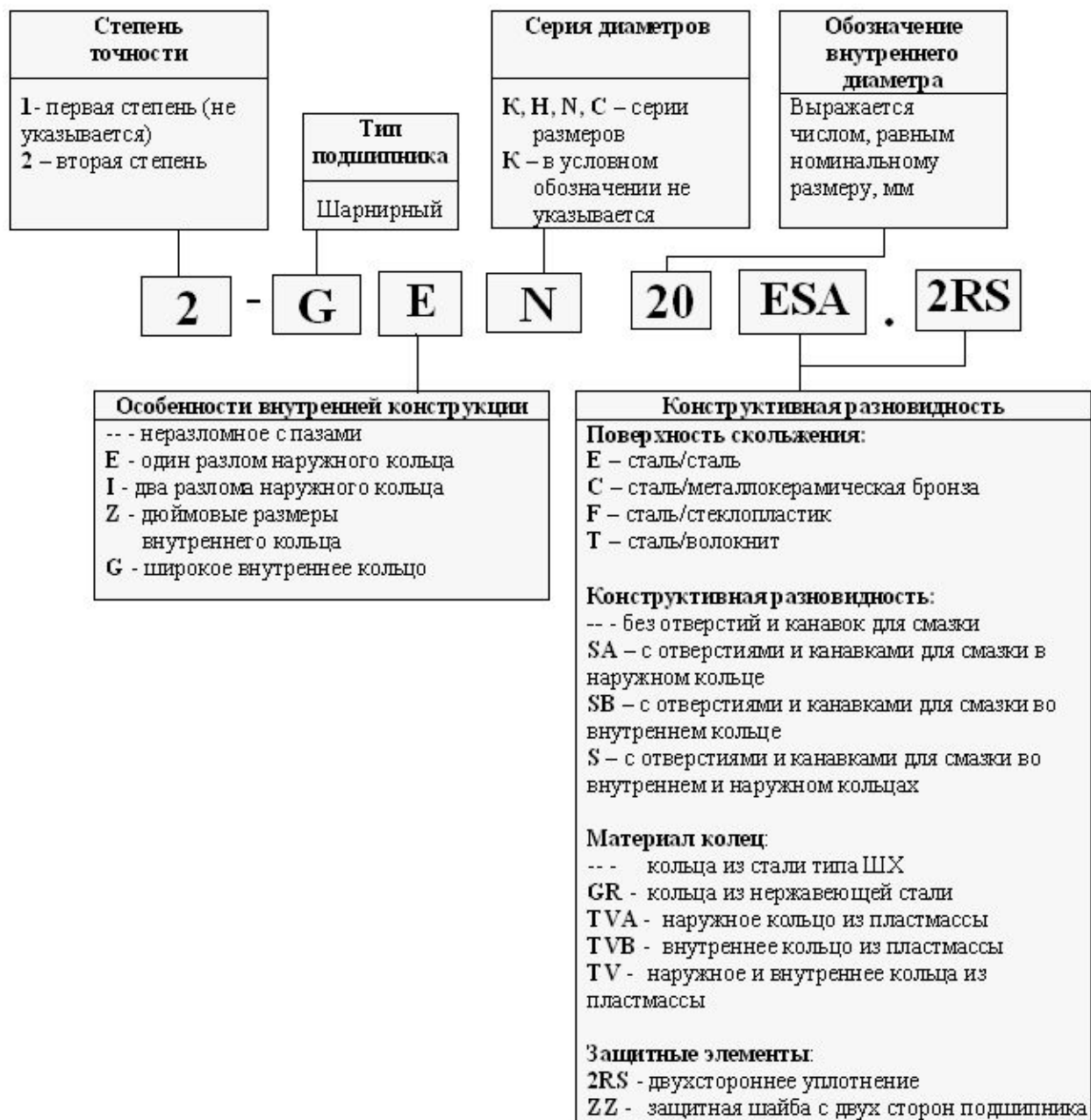


Таблица 19.1.1. Значения коэффициента  $f$  при граничной смазке для стали

Материал вкладыша	$f$
Серый чугун, пластик	0,15–0,20
Антифрикционный чугун, бронза	0,10–0,15
Баббит	0,06–0,10
Резина увлажненная	0,02–0,12



В зависимости от количества смазочного материала в подшипнике скольжения различают следующие виды трения:

1. жидкостное трение обеспечивает полное разделение твёрдых поверхностей цапфы и подшипника слоем смазки (коэффициент трения, а следовательно, и коэффициент потерь энергии в подшипнике при этом виде трения минимальны);

2. полужидкостное трение – основная часть взаимодействующих поверхностей разделена слоем смазочной жидкости, а поверхности подшипника и цапфы контактируют только вершинами микронеровностей;

3. полусухое (граничное) трение – поверхности цапфы вала и подшипника почти постоянно контактируют между собой, однако между ними имеется некоторое количество смазочного материала;

4. сухое трение – в зазоре между поверхностями цапфы вала и подшипника смазочный материал отсутствует полностью, вследствие чего эти поверхности находятся в состоянии непрерывного контакта.

## К ВОПРОСУ О ЖИДКОСТНОМ ТРЕНИИ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

Положение вала во вкладыше

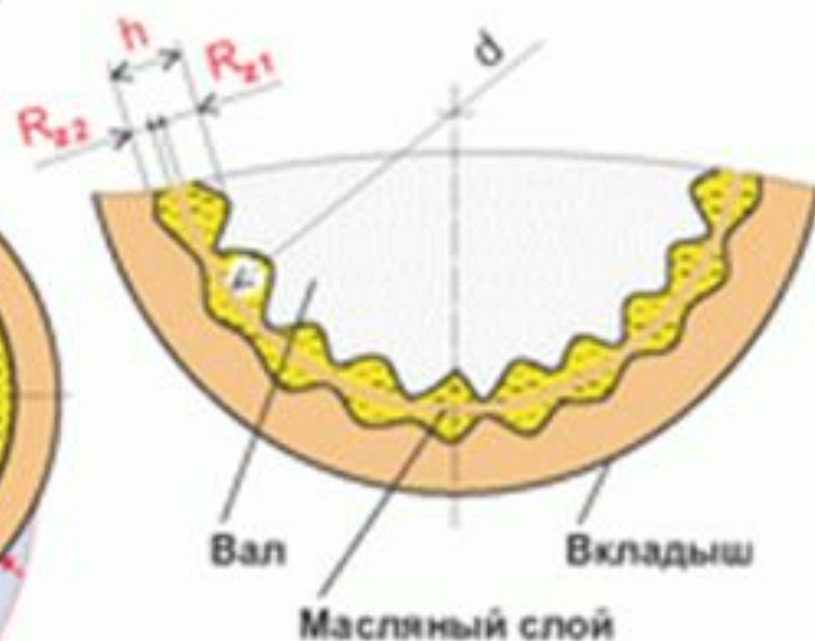
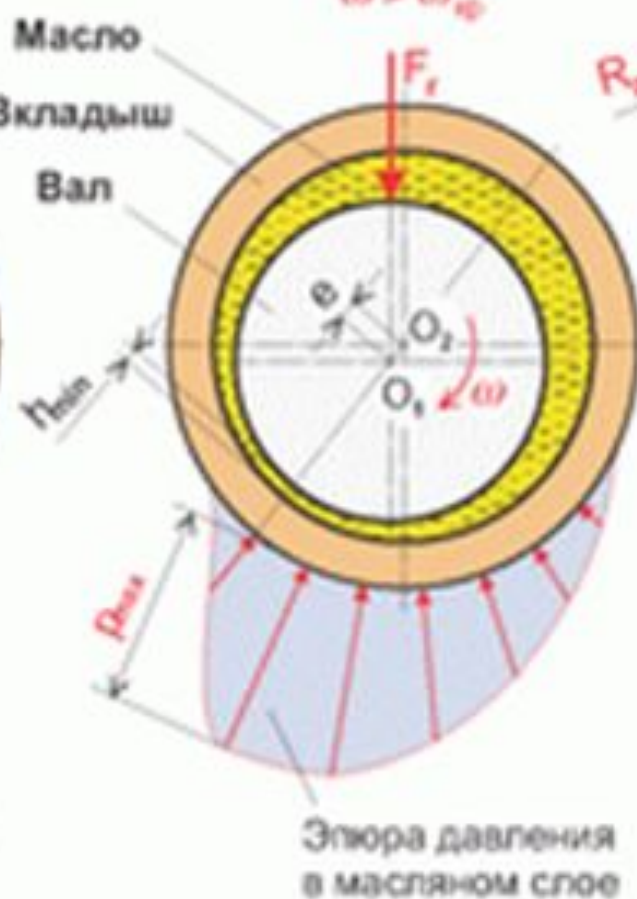
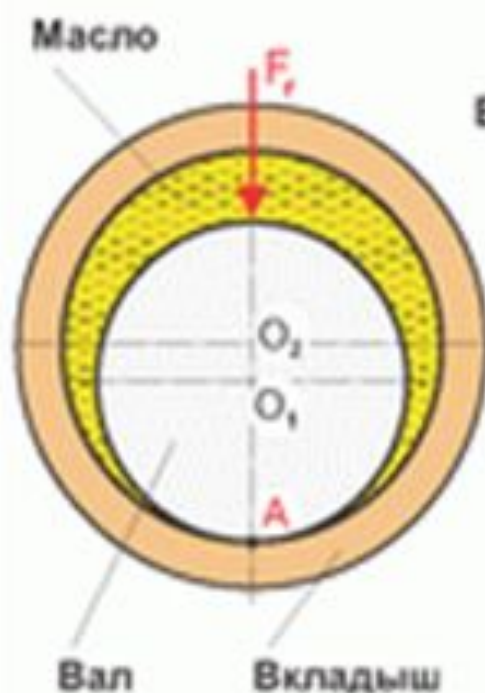
при угловой скорости

$$\omega = 0$$

при угловой скорости  
больше критической

$$\omega > \omega_{кр}$$

Микрогеометрия вала и вкладыша

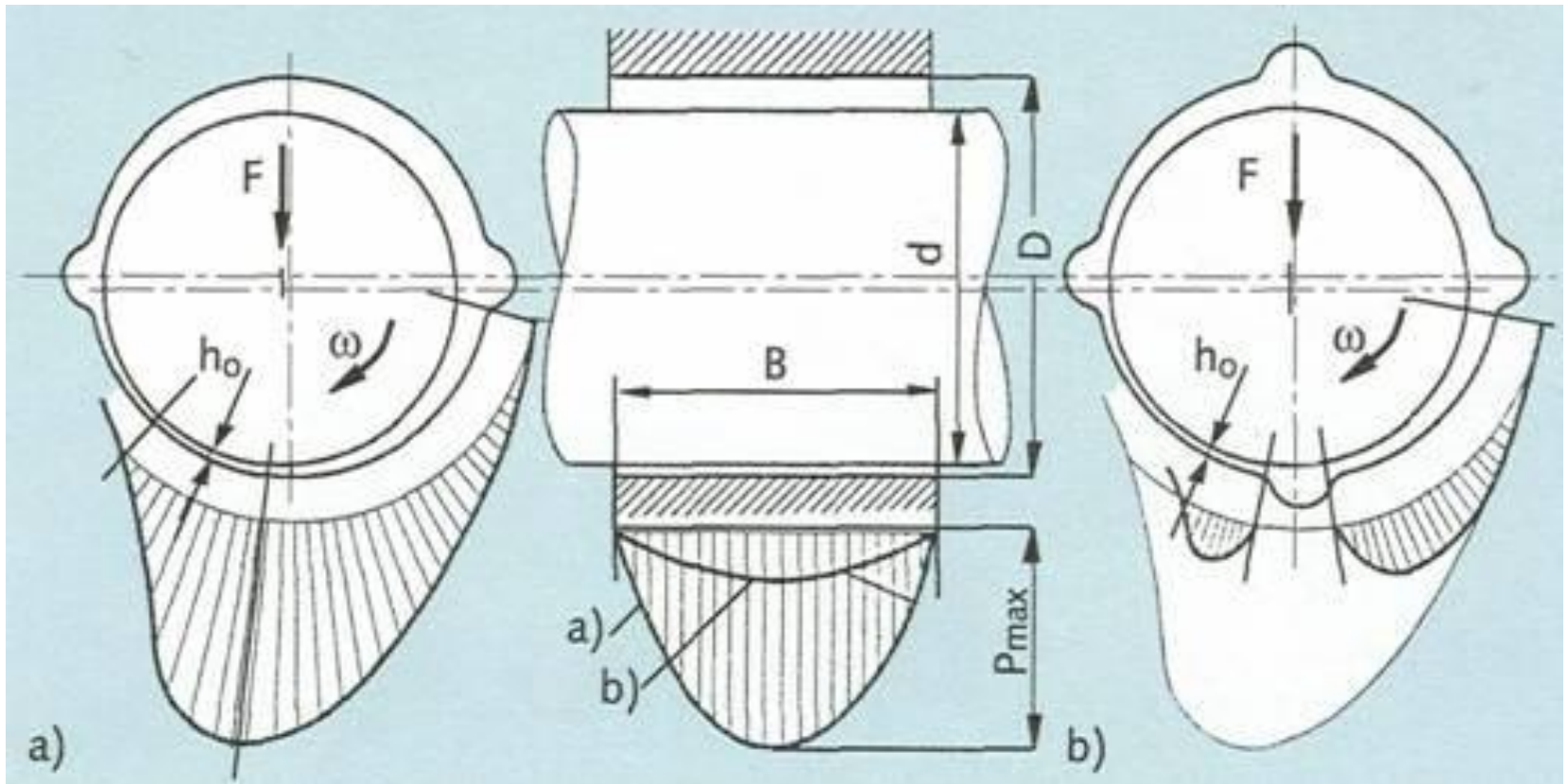


При жидкостном трении толщина  
масляного слоя  $h$  между валом  
и вкладышем:

$$h > R_{z1} + R_{z2}$$

Смазка формирует тонкую жидкую пленку между валом и вкладышем. Когда вал достигает достаточной скорости, то его центр перемещается в сторону вращения, потому что смазка создает клиновидный зазор в области контакта вала и вкладыша. Основные функции смазки это снижение трения, уменьшение нагревания и изнашивания.

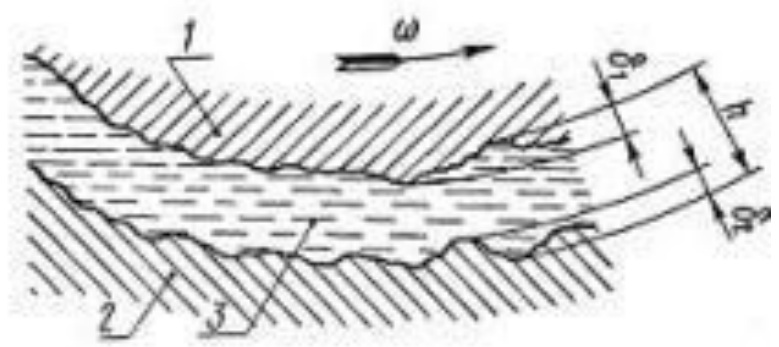
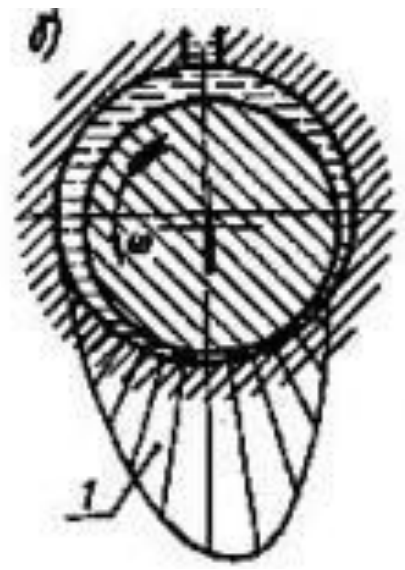
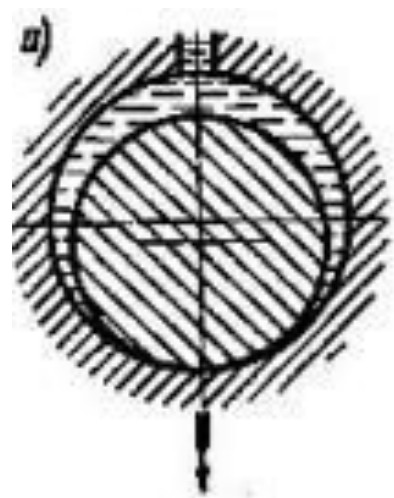
Специальные добавки (детергенты) в масле нейтрализуют коррозионные кислоты и снижают поверхностную коррозию подшипников.

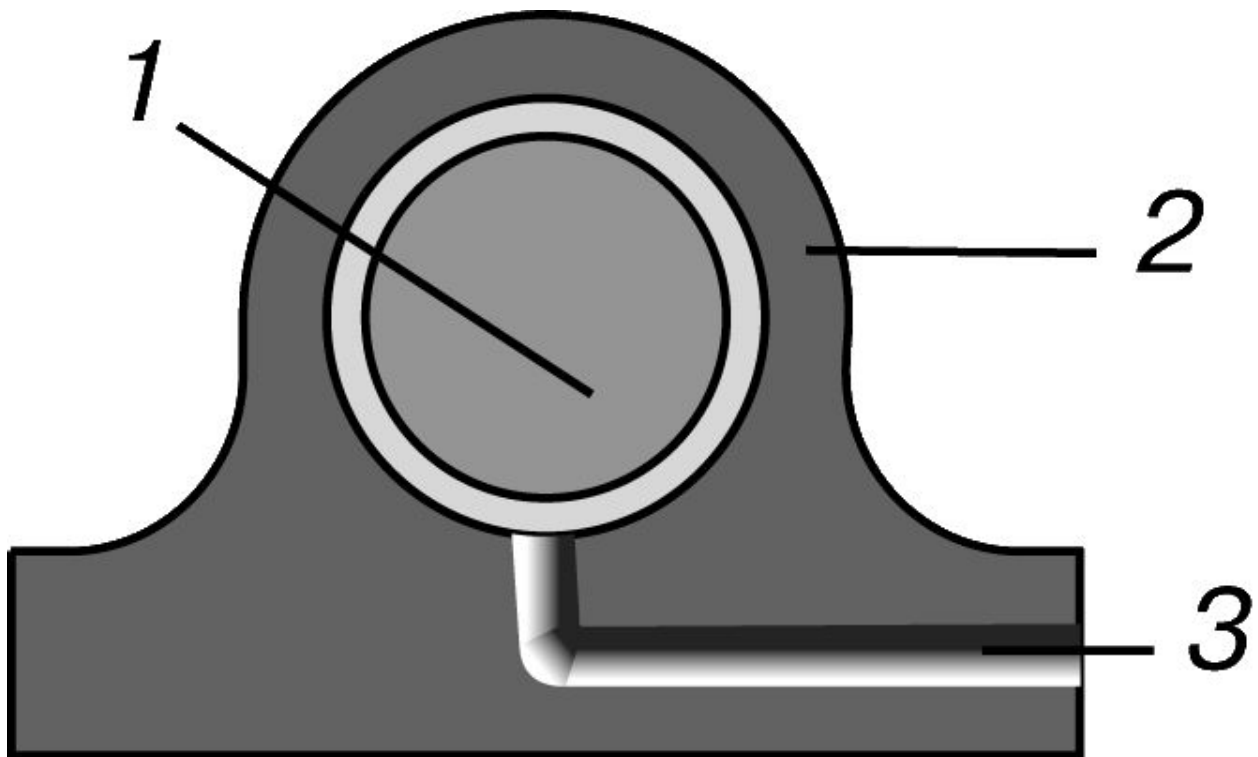


Триботехническая разработка подшипников со  
скользящим контактом

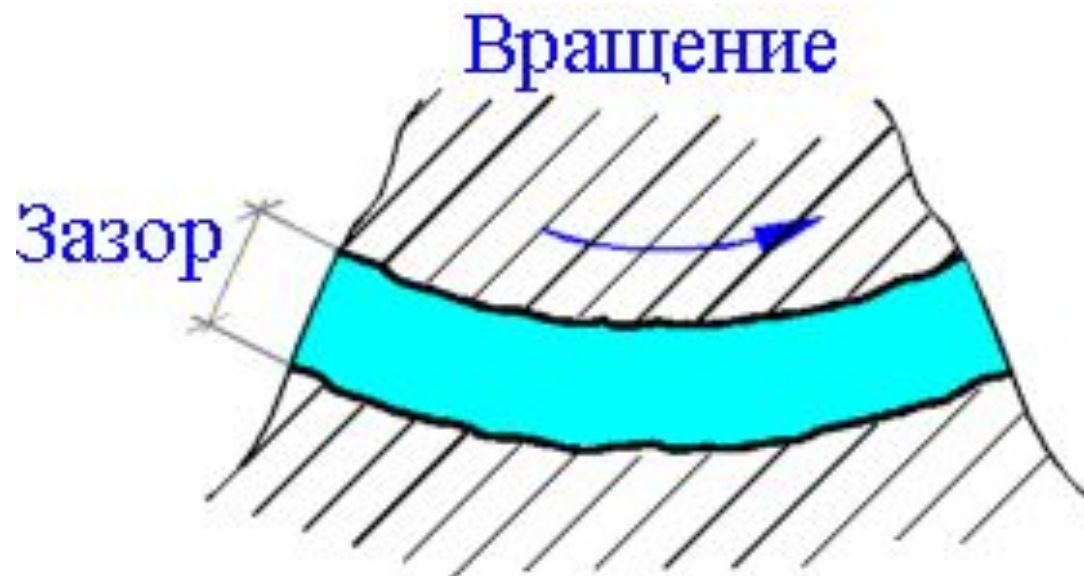


Поддержание смазочной пленки между поверхностями, которые перемещаются относительно друг друга, снижает трение. Коэффициент трения определяется как отношение силы, которая перемещает поверхности относительно друг друга к силе действующей между частями. Коэффициент трения является постоянной величиной для любой пары поверхностей. Для обычной хорошо смазанной системы коэффициент трения приблизительно равен 0.005.





При работе машины трение увеличивает температуру смазки. В свою очередь увеличение температуры вызывает уменьшение вязкости масла, что снижает трение. Этот эффект имеет место до тех пор пока есть тонкая смазочная пленка.





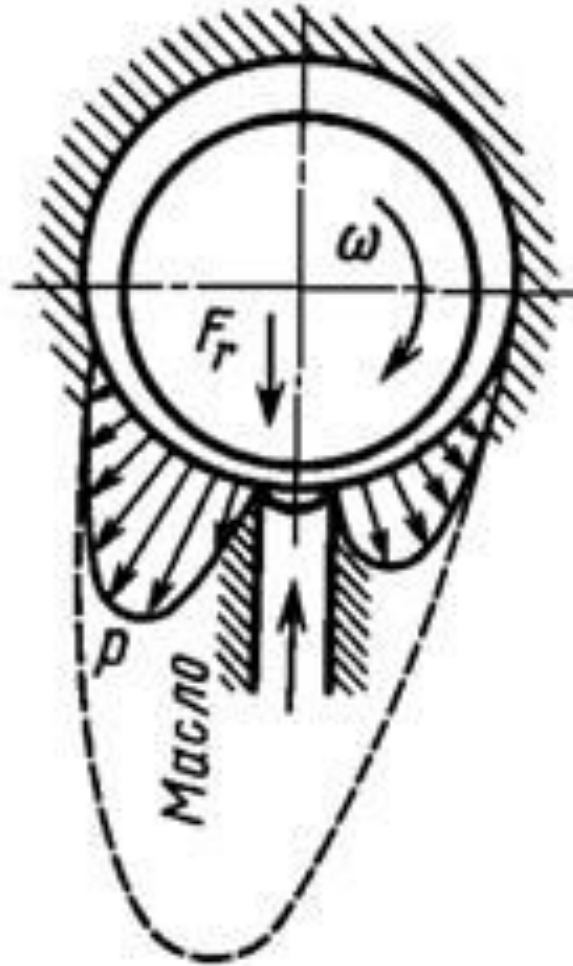
Для смазывания подшипников скольжения применяются самые разнообразные материалы, которые по степени консистентности (по густоте, по твёрдости) можно условно разделить на твёрдую - графит, дисульфид молибдена, некоторые обволакивающие металлы, например, индий; пластичную (консистентную, то есть не обладающую свойством каплепадения) – солидол, консталин, литол, некоторые смазки ЦИАТИМ;

жидкую – органические и минеральные масла, иногда вода и другие жидкости, и газообразные – воздух, азот, инертные газы, в первую очередь аргон. Чем выше вязкость смазочного материала, тем труднее он выдавливается из рабочего зазора подшипника и, следовательно, тем более толстым может быть его слой между цапфой и поверхностью подшипника в процессе их совместной работы. Наибольшее распространение в промышленных условиях получили жидкая и консистентная смазки.

При использовании жидкостной смазки в зависимости от способа подачи смазки в рабочий зазор подшипника и разделения твёрдых поверхностей слоем жидкой смазки различают гидростатический и гидродинамический способы смазывания.

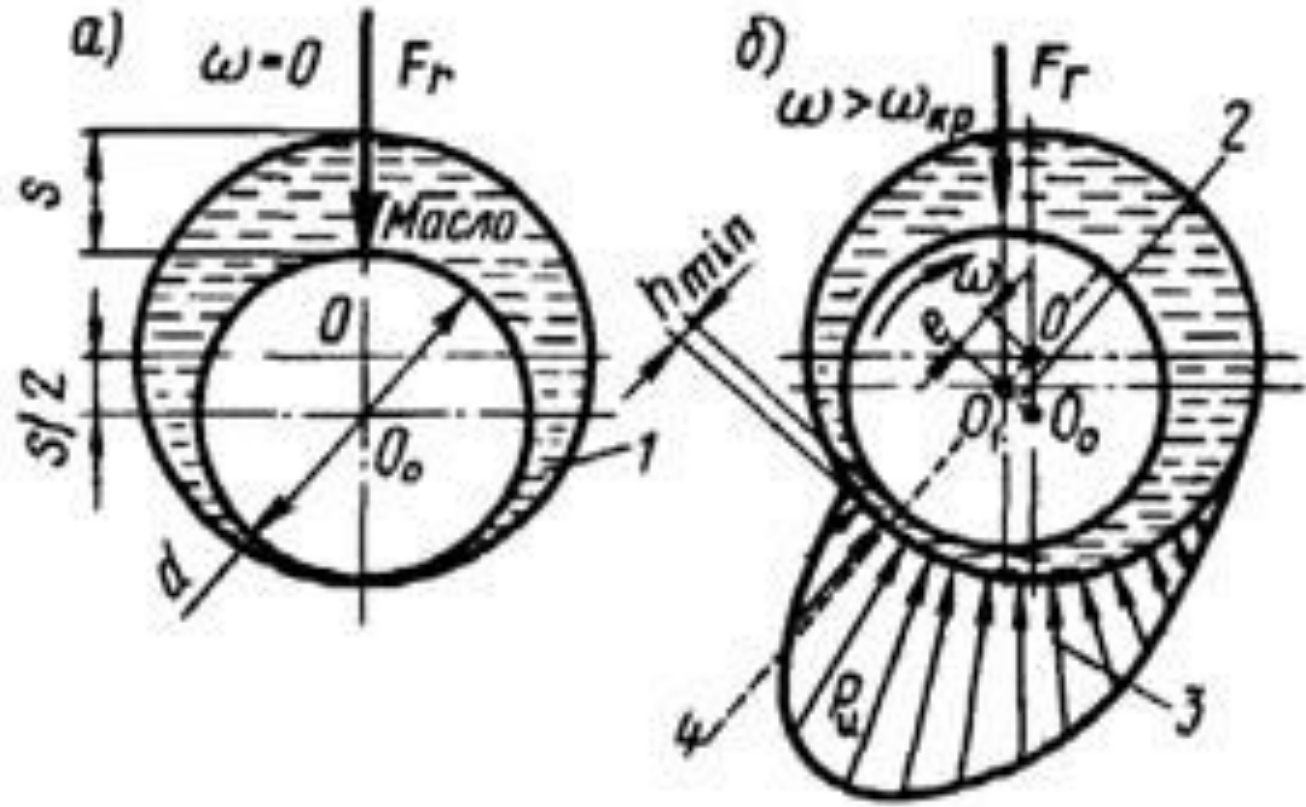


Гидростатический способ основан на разделении трущихся поверхностей за счёт статического напора подводимой к подшипнику смазочной жидкости, то есть за счёт давления, создаваемого внешним источником (насосом).



Гидростатическая смазка подшипника скольжения

Гидродинамическое смазывание реализуется только в процессе вращения цапфы в подшипнике после достижения определённой (критической) скорости вращения



Гидродинамическая смазка подшипника скольжения

Первоначально цапфа неподвижного вала лежит на поверхности подшипника и потому начальный период вращения вала характеризуется режимом граничного трения. По мере увеличения угловой скорости цапфы частицы смазочного масла за счёт налипания на её поверхность втягиваются в клиновой зазор между поверхностями цапфы и подшипника. Давление масла в этом зазоре повышается и при достижении критической скорости вращения цапфа вала, всплывая, оторвётся от поверхности подшипника, произойдёт полное разделение трущихся поверхностей. Среднее давление, развивающееся в клиновом зазоре, прямо пропорционально динамической вязкости масла, частоте вращения вала и обратно пропорционально толщине масляного слоя.

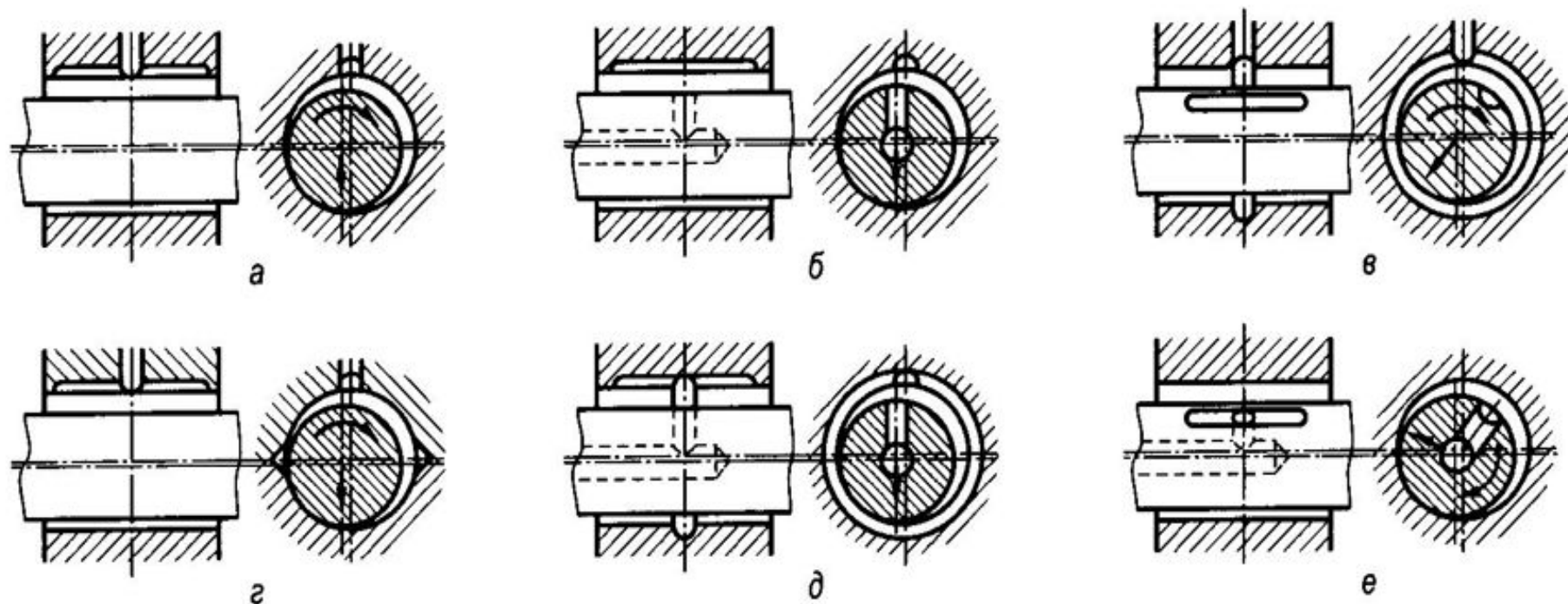


Рис. 19.1.2. Способы подачи СМ в горизонтальный подшипник через неразъемный корпус и втулку (а, в), через вал (б, д, е) и через разъемный корпус и вкладыш (z):  
 а, б, z, д – направление нагрузки постоянное или изменяется в диапазоне  $\pm 90^\circ$ ;  
 в, е – нагрузка вращается вместе с валом

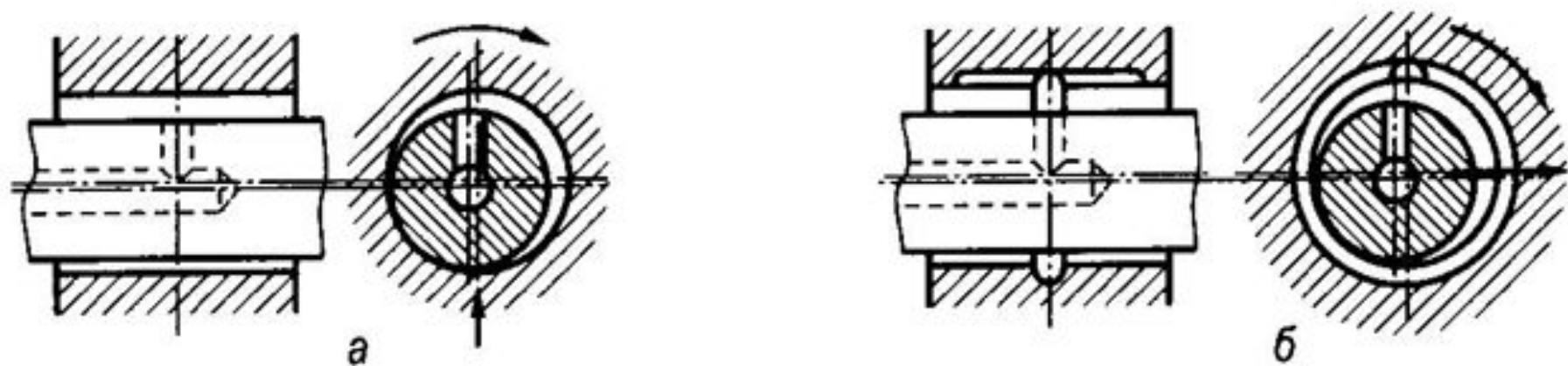


Рис. 19.1.3. Способы подачи СМ в подшипник при его вращении:

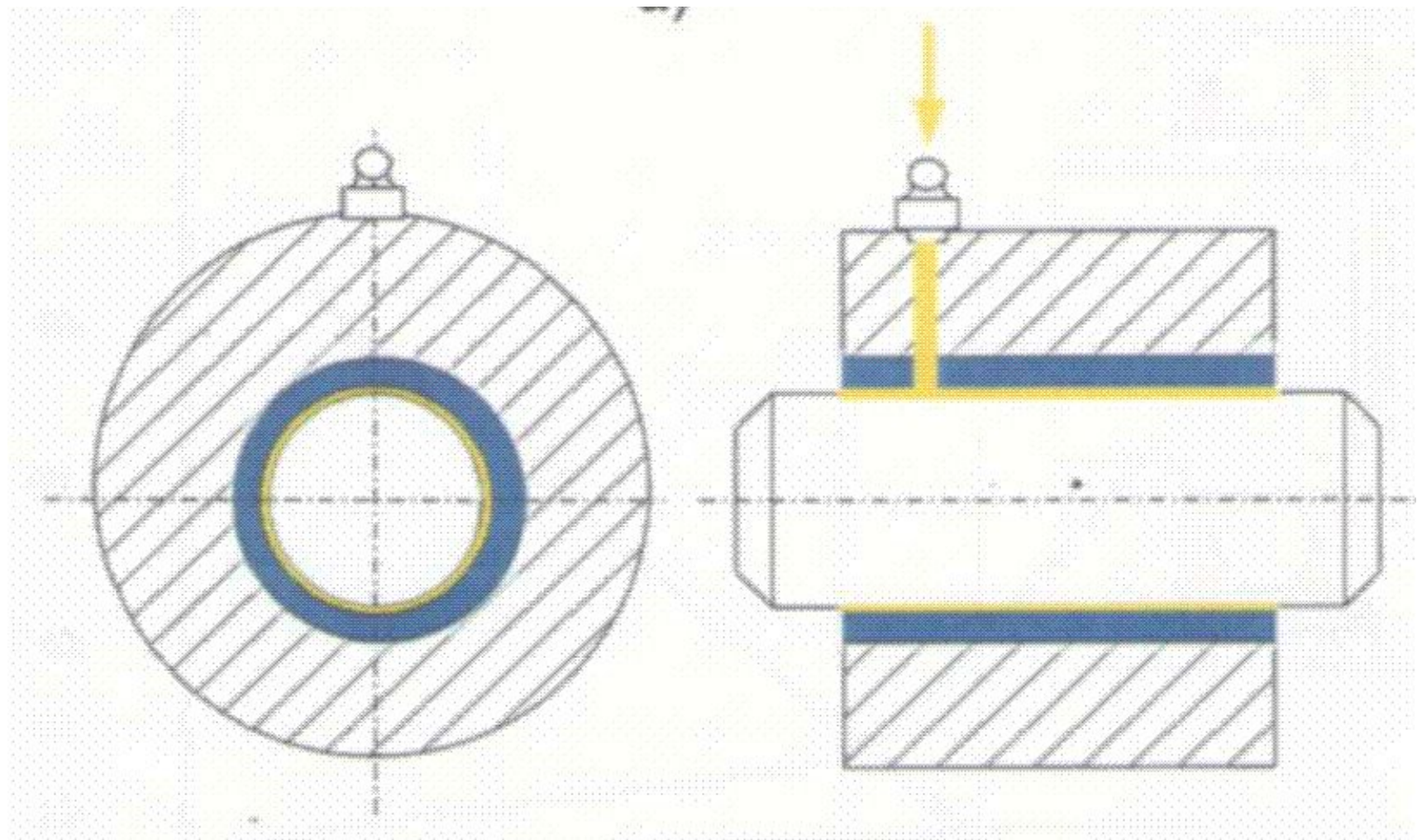
а – направление нагрузки постоянное или изменяется в диапазоне  $\pm 90^\circ$ ;

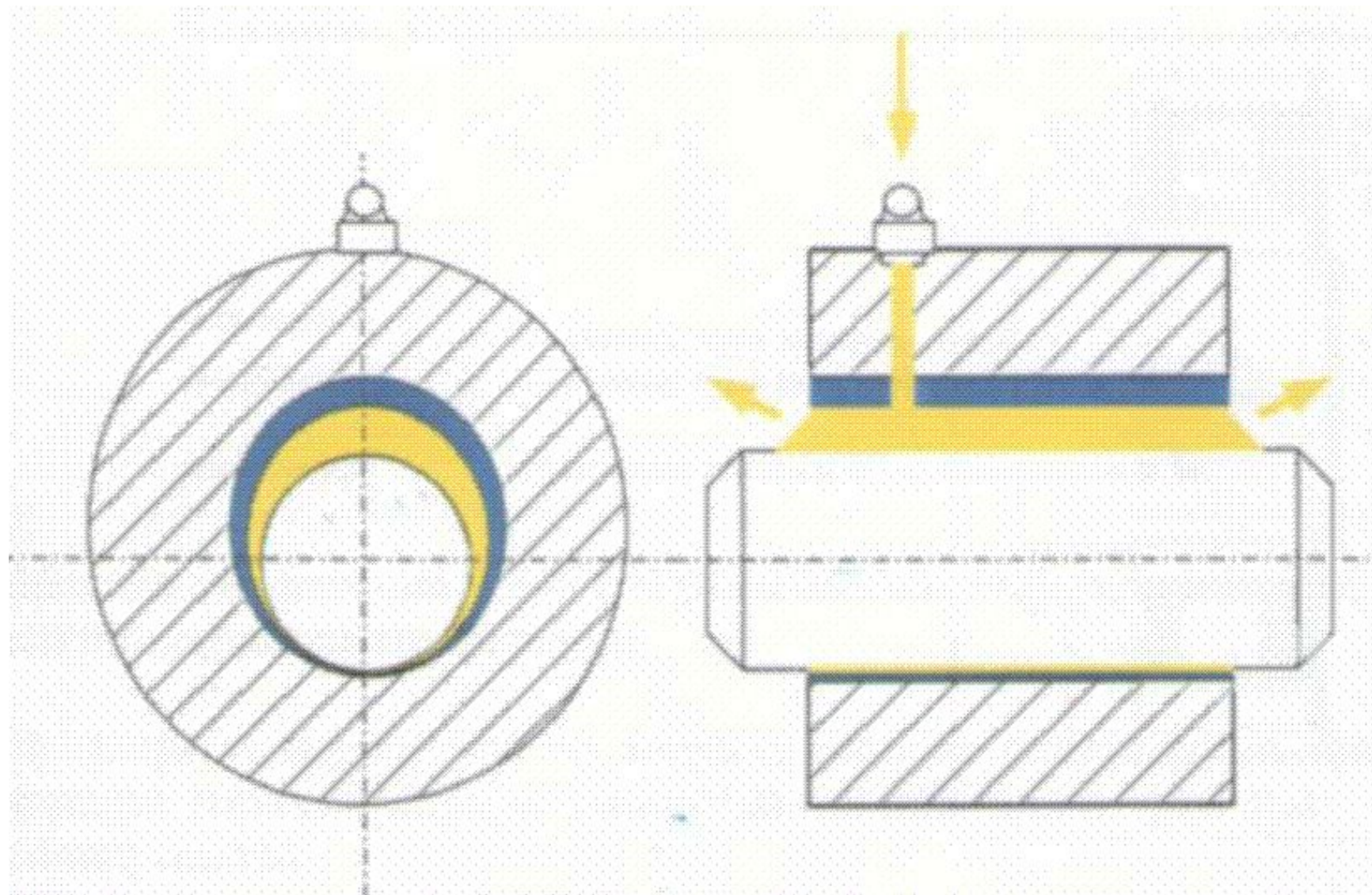
б – нагрузка вращается вместе с подшипником

Существуют три метода гидродинамической смазки подшипника: ручная подача масла, автоматическая подача (устройства подачи через фитиль или под действием силы тяжести) и кольцевая смазка подшипника (масло захватывается смазочным кольцом из резервуара находящегося под подшипником). В ненагруженной зоне (в верхней половине подшипника) спроектированы канавки для распределения смазки.



# Принцип ручного смазывания подшипника скольжения.









Из изложенного ясно, что максимальный износ подшипников в нормальных условиях работы механизмов должен происходить при граничном трении, то есть в периоды их разгона (в периоды запуска механизмов). Однако интенсивное изнашивание во многих случаях наблюдается и вследствие многих других причин (тяжёлые условия работы, небрежное обслуживание и т.п.).

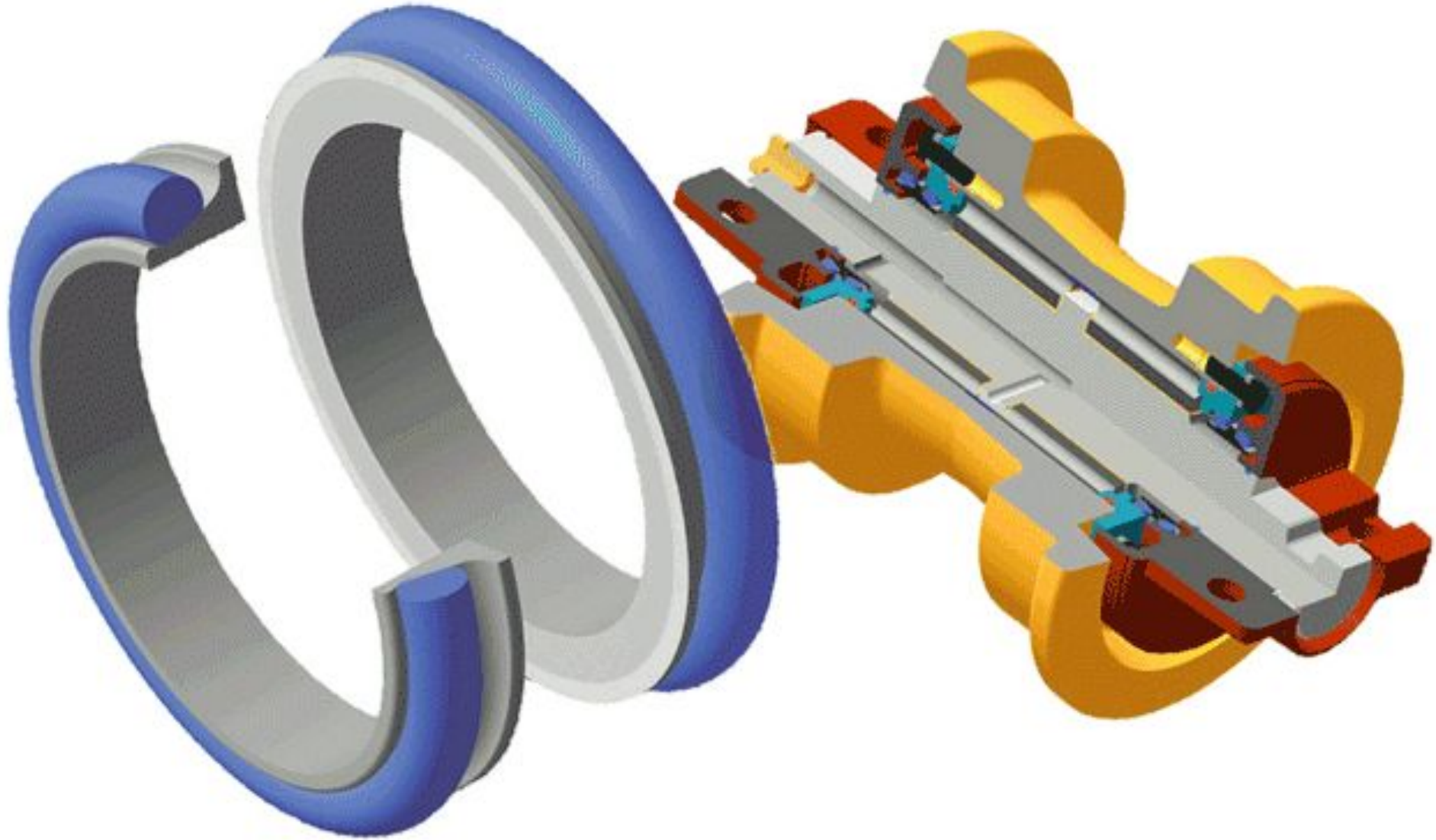
В практике эксплуатации подшипников скольжения можно наблюдать следующие виды их изнашивания:

1) абразивное (происходит при попадании твёрдых частиц в рабочий зазор подшипника);

2) усталостное выкрашивание при действии пульсирующих нагрузок;

3) перегрев, являющийся следствием сухого трения и приводящий в конечном итоге к заеданию цапфы в подшипнике, появлению задиров или к выплавлению антифрикционного слоя материала.

Таким образом, основным критерием работоспособности подшипника, работающего на принципе трения скольжения, следует считать износоустойчивость трущейся пары.





## Манжеты армированные (сальники)



Манжеты предназначены для уплотнения зазора между цилиндрами и поршнем (плунжером и штоком) в гидравлических устройствах работающих в условиях возвратно-поступательного движения со скоростью относительного перемещения не более 0,5 м/с при давлении от 0,1 до 50 Мпа, температуре от -60°С до +200°С, ходе до 10 м и частоте срабатывания до 0,5 Гц.

Манжеты в зависимости от конструкции и значения действующего давления изготавливают трех типов:

1 тип - для давлений 1,0-50 МПа (1,0-500 кгс/см<sup>2</sup>);

2 тип - для давлений 0,25-32 МПа (2,5-320 кгс/см<sup>2</sup>);

3 тип - для давлений 1,0-50 МПа (1,0-500 кгс/см<sup>2</sup>).

Манжеты резиновые армированные с пружиной для уплотнения валов, работающие в минеральных маслах, воде, дизельном топливе при избыточном давлении до 0.05 МПа и скорости вращения до 20 м/с. Изготавливаются из резины группы 1 (7-ИРП-1068-3с, 7-ИРП-1068-24, 51-1455). Работоспособны при  $t^{\circ}$  от  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .



1.1



2.1



1.2



2.2

Обозначение типоразмера: 1.2-d×D, где:

1 – тип манжеты (1 – без пыльника, 2 – с пыльником)

2 – исполнение манжеты (1 – с рабочей кромкой, полученной механической обработкой; 2 – с формованной рабочей кромкой)

d – диаметр вала (мм)

D – наружный диаметр манжеты (мм)

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**