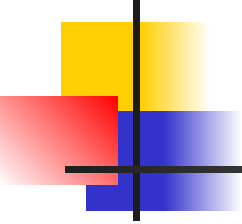



НАПРАВЛЯЮЩИЕ **Механизмов машин и** **приборов**



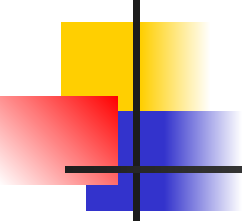
Направляющие – это устройства, обеспечивающие движение деталей или узлов в определённом направлении с требуемой точностью.

В зависимости от вида движения различают направляющие вращательного движения и направляющие поступательного движения



По виду трения в направляющих различают: направляющие с трением скольжения, направляющие с трением качения, направляющие с трением упругости, направляющие с воздушным и жидкостным трением.

В литературе направляющие для вращательного движения называют также **опорами**.

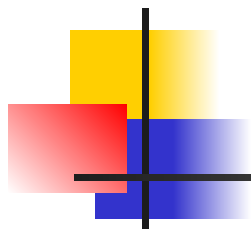


В направляющих необходимо обеспечивать постоянный контакт (замыкание) между подвижной и неподвижной деталями.

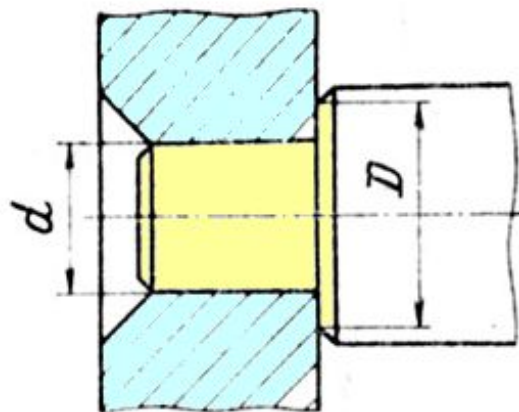
В зависимости от способа замыкания различают **открытые и закрытые направляющие**.

В **открытых направляющих** замыкание обеспечивается внешней силой, например, силой тяжести или усилием пружины.

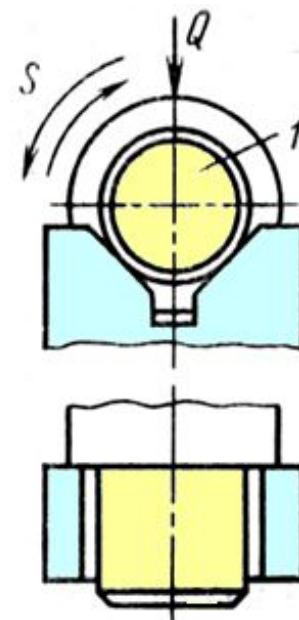
В **закрытых направляющих** деталь имеет свободу перемещения только в заданном направлении независимо от направления действующих сил за счет геометрической формы подвижной и неподвижной деталей.



Закрытого
типа

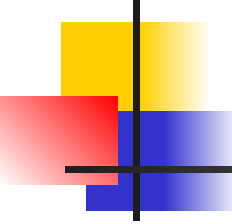


Открытого
типа





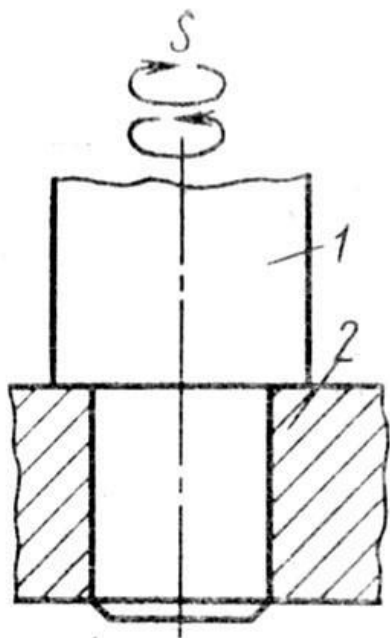
НАПРАВЛЯЮЩИЕ
ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ
С ТРЕНИЕМ СКОЛЬЖЕНИЯ



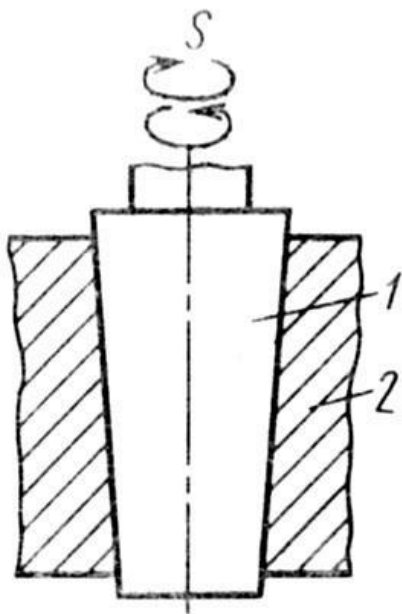
В зависимости от конструктивного исполнения различают следующие виды направляющих вращательного движения с трением скольжения:

- цилиндрические;
- конические;
- сферические;
- на центрах;
- на кернах.

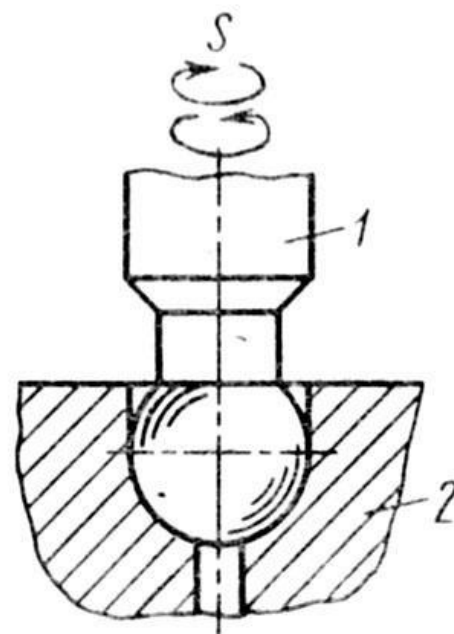
Направляющие с трением скольжения



Цилиндрическая

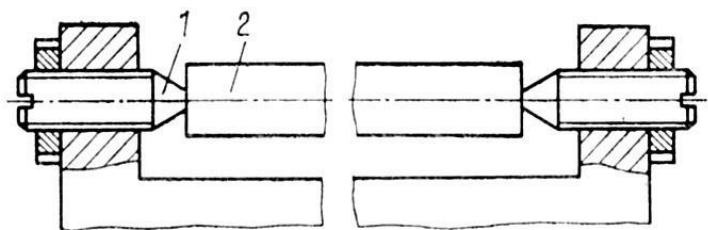


Коническая

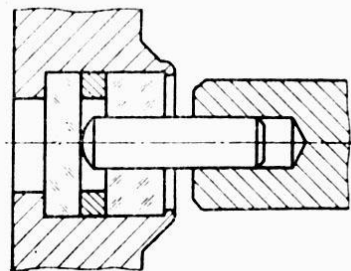


Шаровая

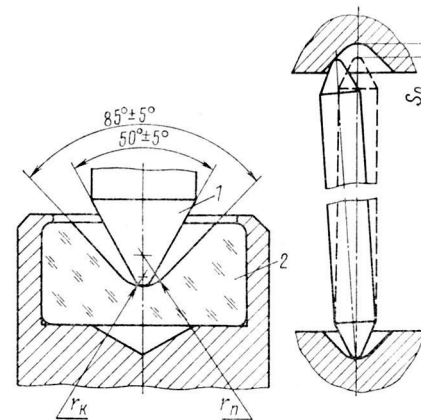
Направляющие с трением скольжения



На центрах

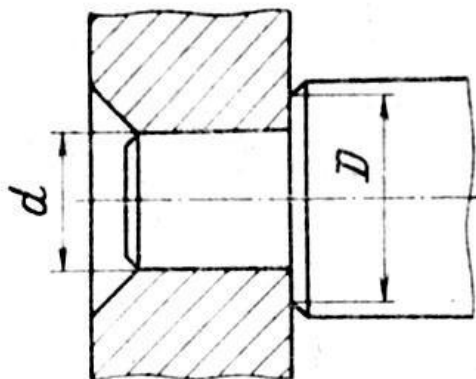


На камнях

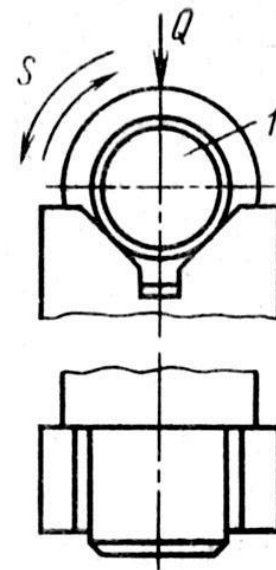


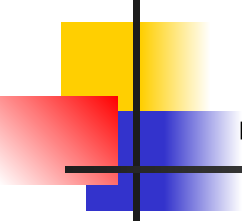
На кернях

Закрытого
типа



Открытого
типа





К направляющим предъявляются следующие требования:

- малый момент трения;
- требуемая точность вращения;
- износостойчивость в соответствующих условиях эксплуатации и требуемый ресурс работы;
- малые габариты;
- невысокая стоимость.



Цилиндрические направляющие

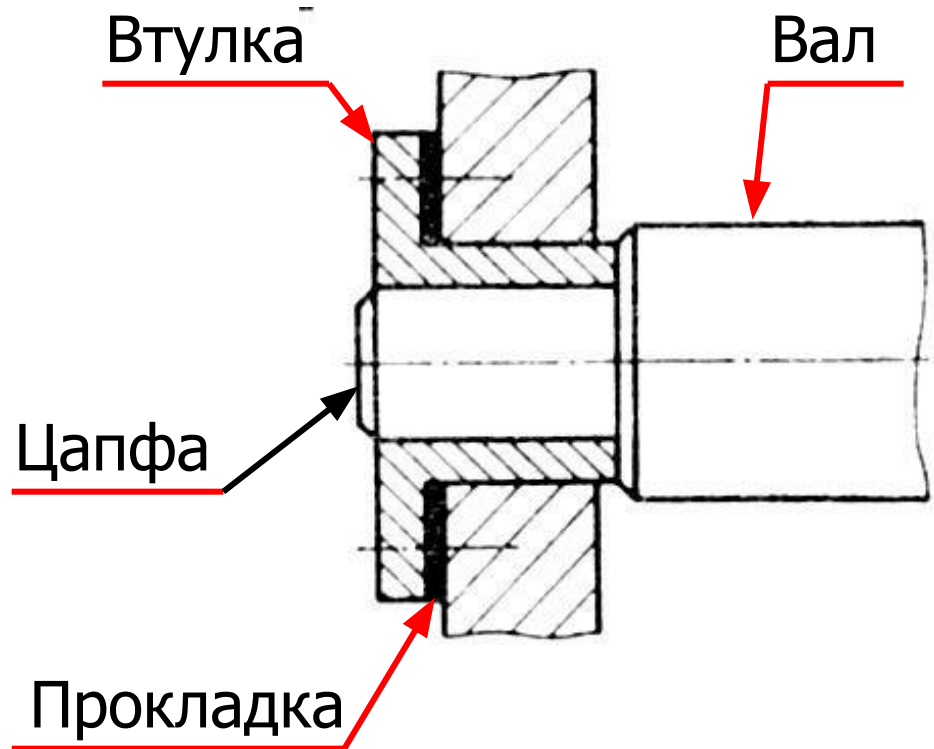
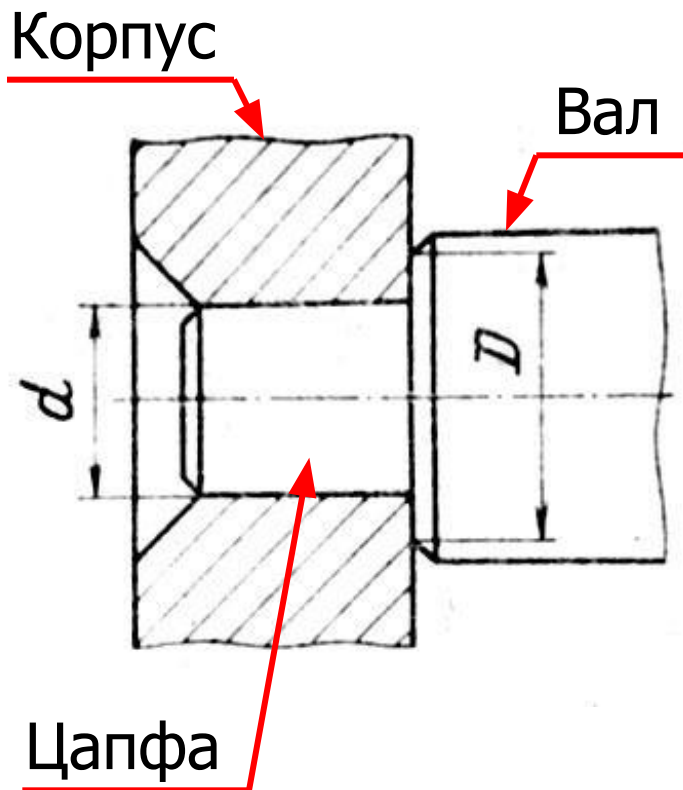
Это наиболее распространённый вид направляющих с трением скольжения.

Достоинства:

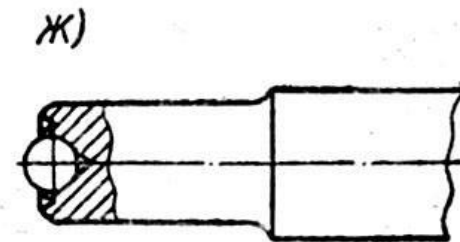
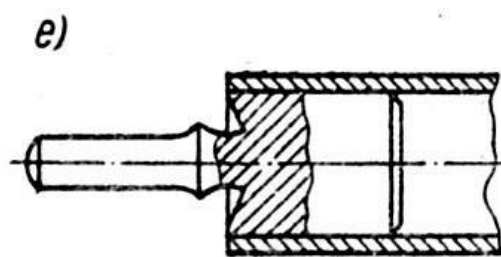
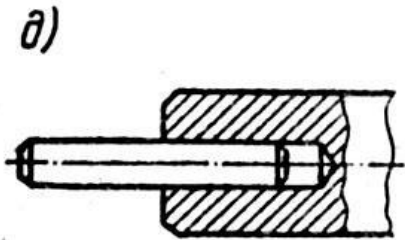
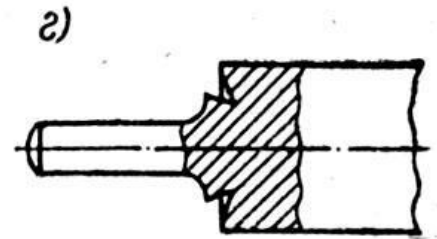
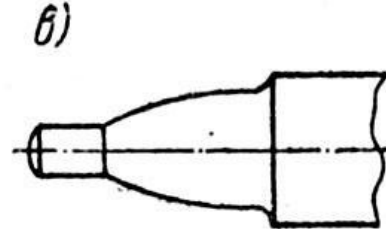
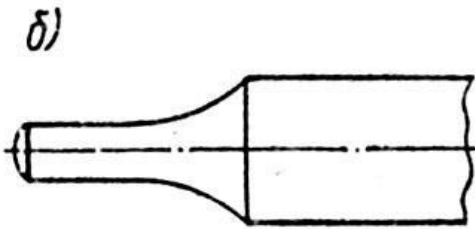
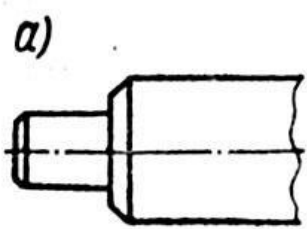
- простота конструкции;
- технологичность;
- прочность, возможность работы при больших силовых нагрузках;
- относительно высокая износостойкость;
- надёжность в условиях тряски и вибраций

Недостатки:

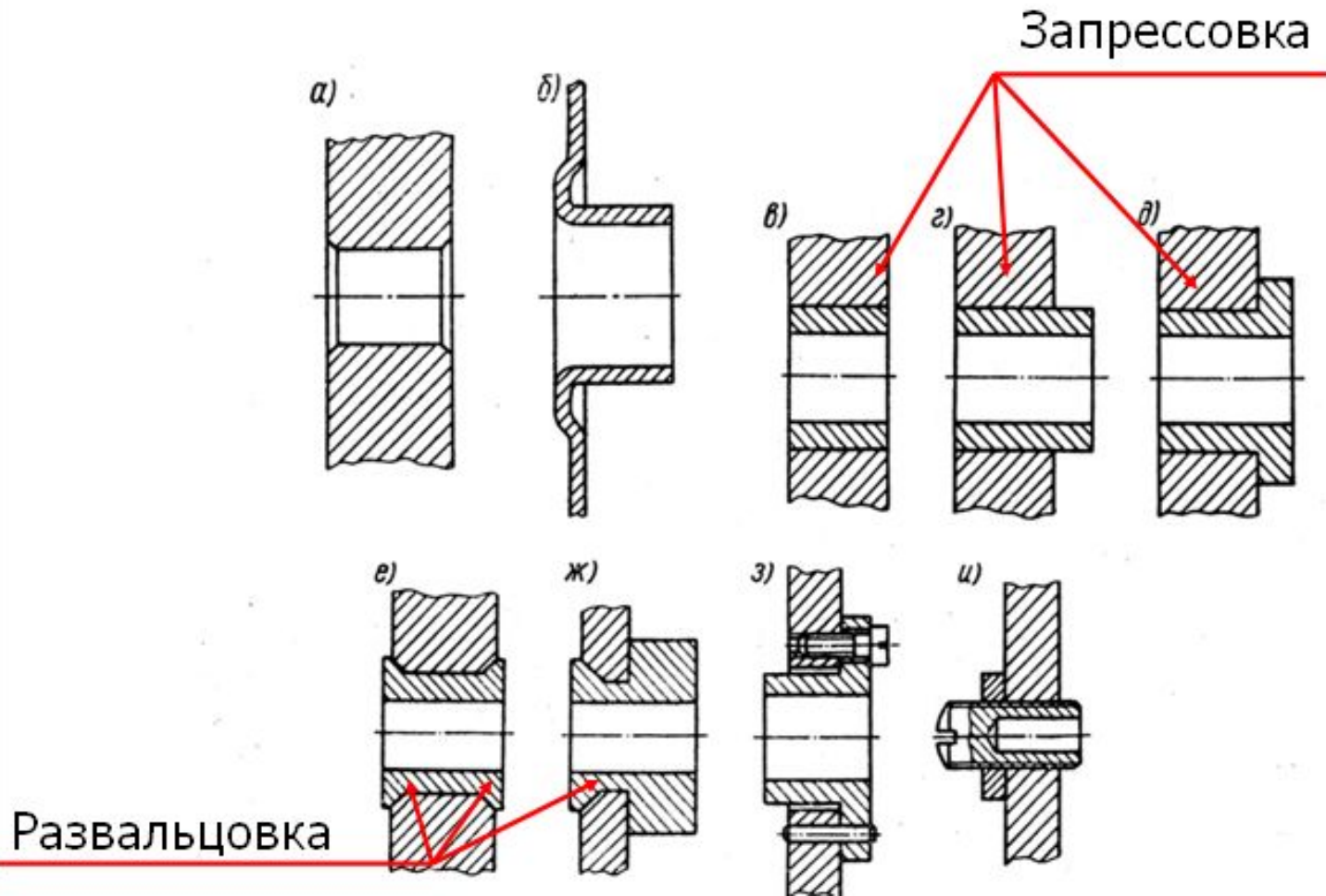
- большой момент трения;
- сравнительно невысокая точность работы;
- невозможность регулирования радиального зазора.



Конструкции цапф



Конструкции втулок






Момент трения цилиндрической направляющей при радиальной нагрузке

$$M = \frac{\pi}{4} Q d f$$

Q – радиальная нагрузка на цапфу (Н);
 D – диаметр цапфы (см); f – коэффициент трения скольжения.



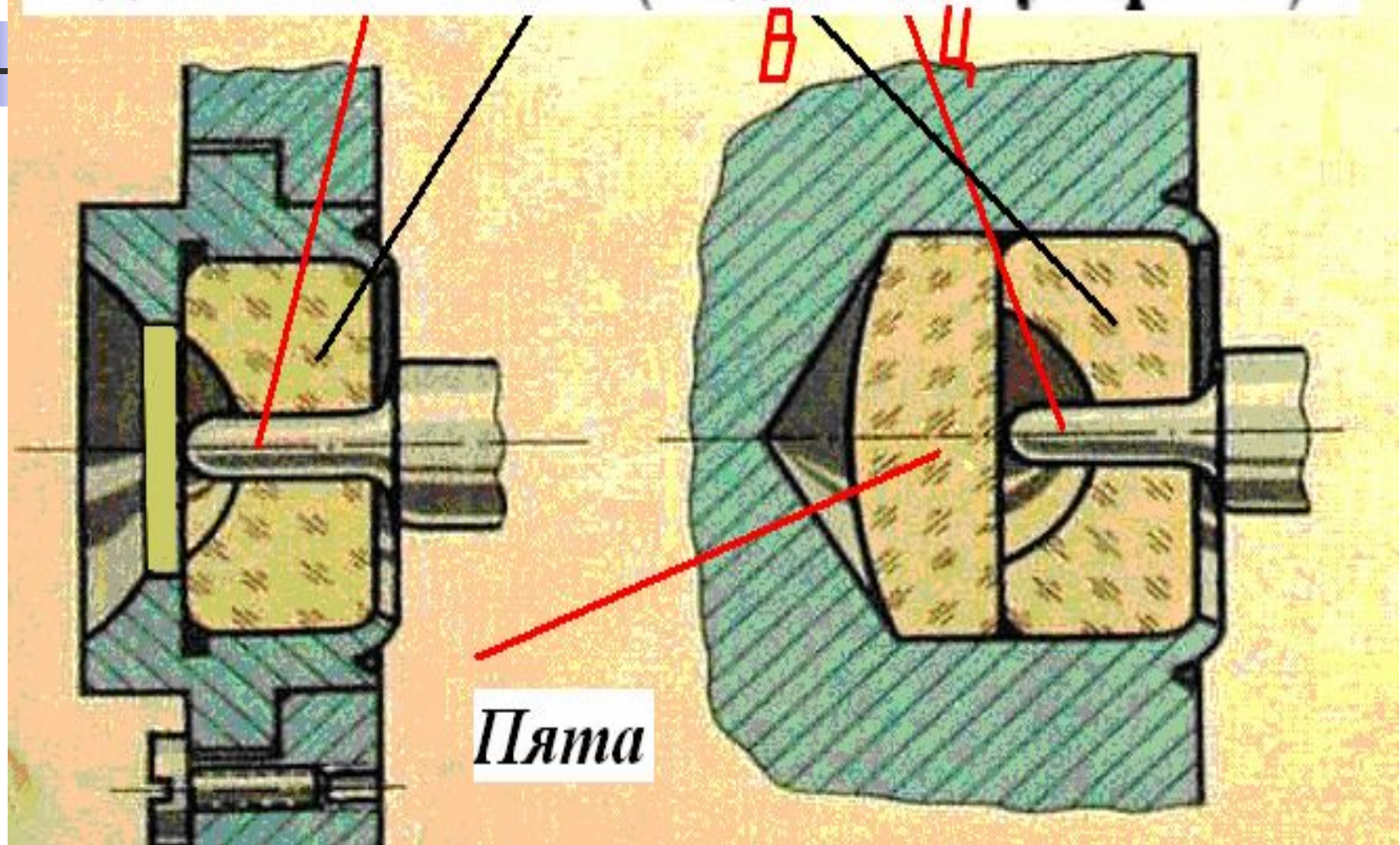
Момент трения цилиндрической
направляющей при комбинированной
нагрузке

$$M = 0,64 Q d f + \frac{1}{3} P \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} f$$

Q – радиальная нагрузка на цапфу (Н);

P – осевая нагрузка (Н); D – диаметр
заплечика цапфы (см).

Радиально-осевые (Радиально-упорные)



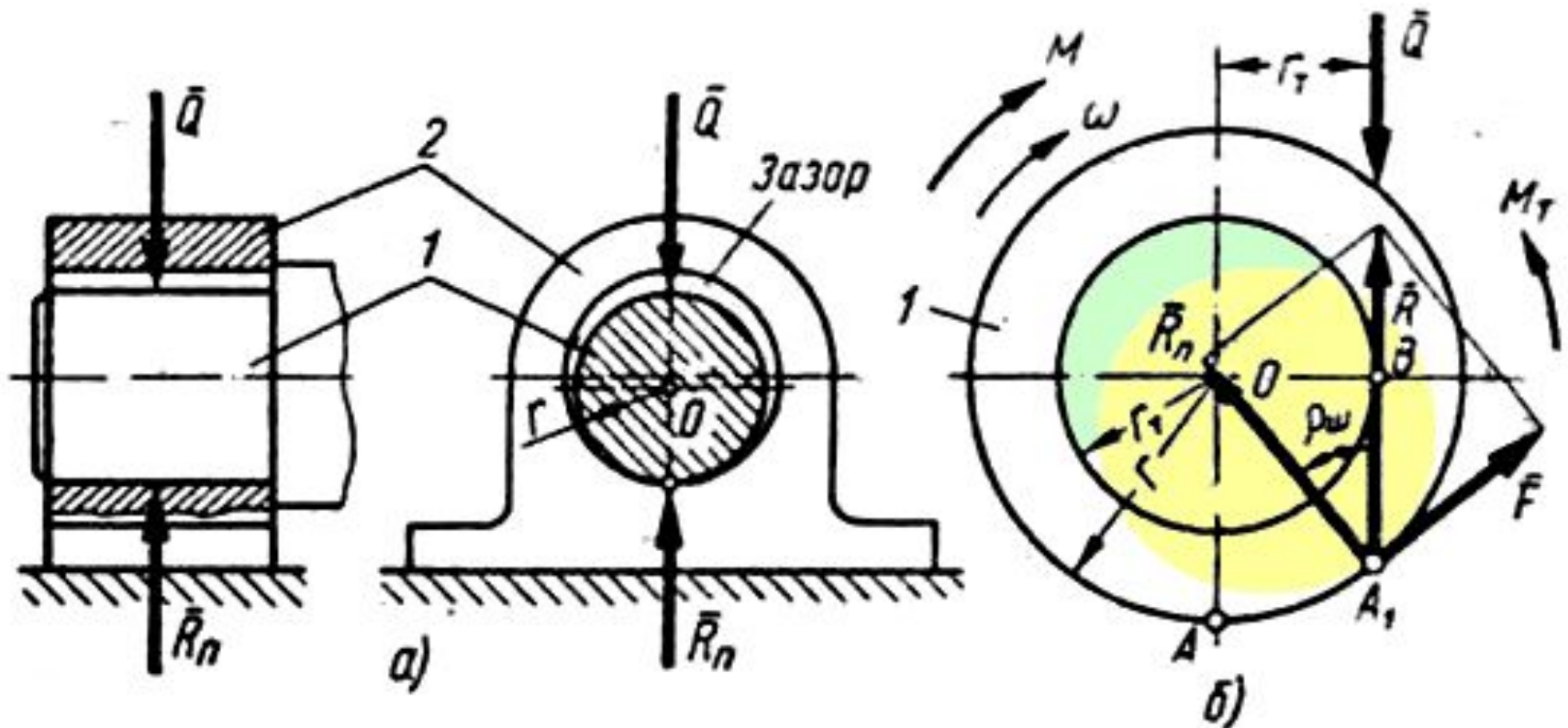
Момент трения в радиально-упорной опоре

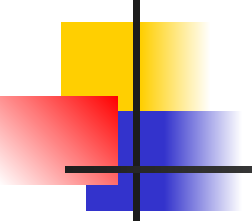
$$M_{тр} = \frac{3}{16} \pi \mu r A,$$

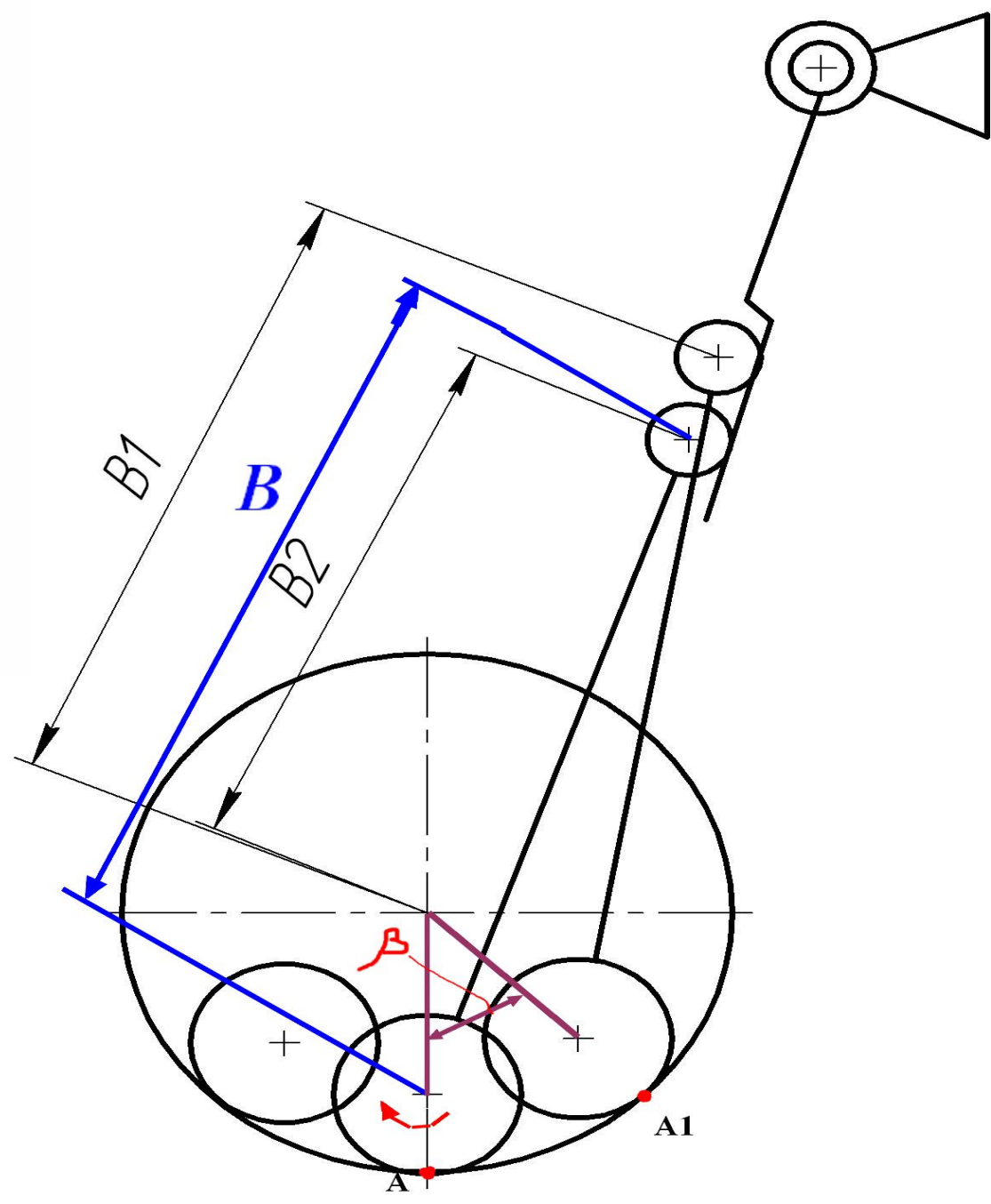
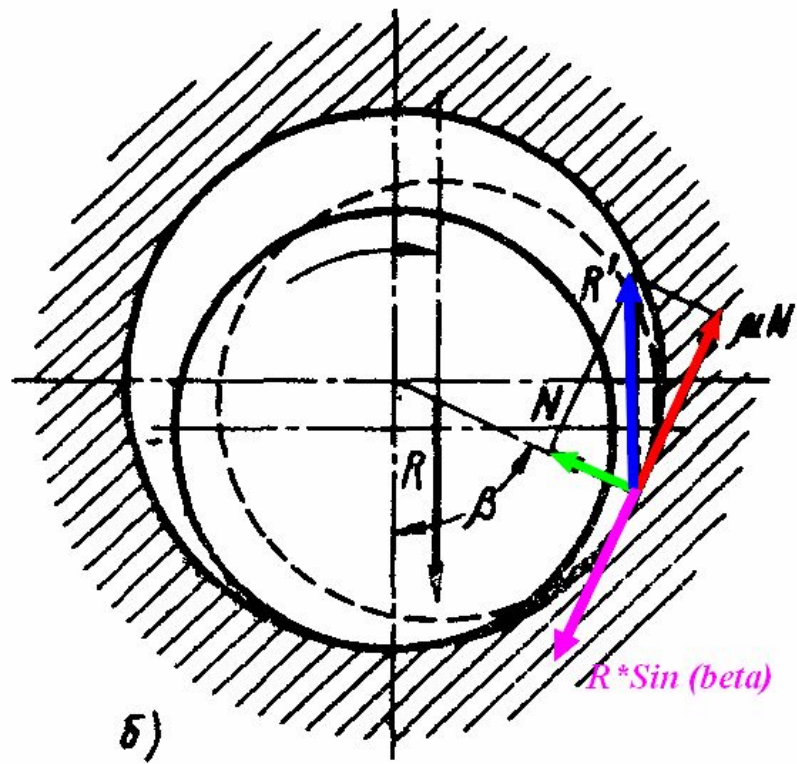
где $\rho = 0,88 \sqrt{A \left(\frac{1}{E_u} + \frac{1}{E_n} \right) r}$

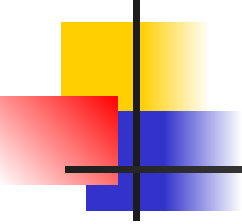
— радиус площадки соприкосновения сферического конца цапфы с опорной поверхностью; E_u и E_n — модуль упругости материала цапфы и материала опорной поверхности; r — радиус сферического конца цапфы.


ВСКАТЫВАНИЕ ЦАПФЫ В ПОДШИПНИКЕ



- 
- При вращении цапфы по часовой стрелке под действием силы трения $F_{тр}$ точка ее касания с подшипником A сместится в точку $A1$. Это явление называют ***вскатыванием цапфы в подшипнике.*** (б)
 - В точке $A1$ на цапфу действуют три силы: нормальная реакция R_n , сила трения F и внешняя вертикальная сила Q . При равномерном вращении в точке $A1$ наступает равновесие. Угол вскатывания β численно равен углу трения $\rho_{ц} = \arctg f = f$ (рад), f - коэф. трения скольжения в опоре.



- 
- Вскатывание цапфы приводит к изменению мгновенных действующих размеров длин рычагов, радиусов зубчатых колес и т.п. и в целом является источником погрешности передачи движения в механизмах. Особенно велико влияние указанных явлений при переменных направлениях движения звеньев механизма.
 - ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ применяют АРРЕТИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА. В этом случае при подходе к измеряемому положению все механизмы будут вращаться каждый раз только в одном направлении.



Для уменьшения трения в направляющих скольжения целесообразно применять разнообразные материалы, а также материалы с антифрикционными свойствами.

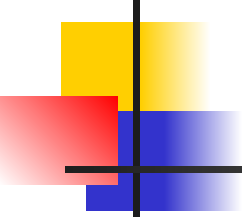
Цапфы, как правило, изготавливают из сталей (закалённые стали 45, 50, У8 и др.)

Втулки выполняют из бронзы (БрО6,5Ф0,15; БрО5Ц5С5; БрА9Ж4; БрБ2), латуни (ЛМцС 58-2-2; ЛКС 80-3-3; ЛС 59-1), металлокерамики, пластмасс (фторопласт, капрон, тефлон, текстолит, полиэтилен и др.)

Коэффициенты трения скольжения различных пар материалов

Условия трения	Коэффициент трения скольжения f					
	Сталь— бронза	Сталь— латунь	Сталь— чугун	Сталь— фторо- пласт-4	Сталь— тексто- лит	Сталь— полиэти- лен НД
Без смазки	0,10—0,15	0,14—0,19	0,15—0,19	0,02— 0,10	0,22	0,03— 0,04
Со смазкой	0,09—0,13	0,13—0,15	0,05—0,15	—	—	—

Для уменьшения износа цапф их закаливают до HRC 55...60 ед., а затем шлифуют.

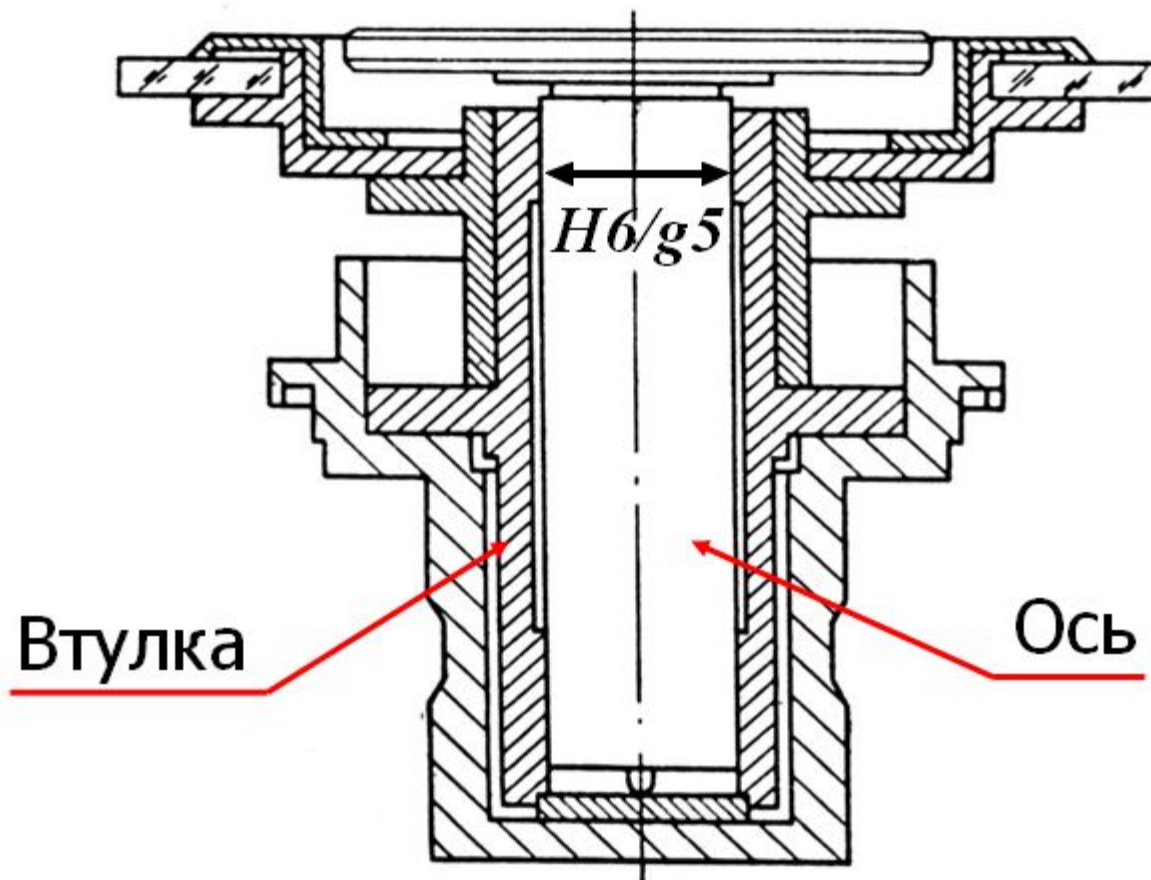


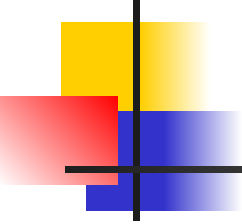
Точность обработки и посадки сопряжения цапфы и втулки определяется требуемой точностью работы направляющей.

Обычно сопряжения выполняются по посадкам *H 7/f 7* или *H 9/e 9*. При повышенной точности – *H 7/g 6* или *H 6/g 5*.

Шероховатость рабочих поверхностей назначают в пределах $R_a = 0,04...1,25\text{мкм}$

Цилиндрическая вертикальная радиально-осевая система

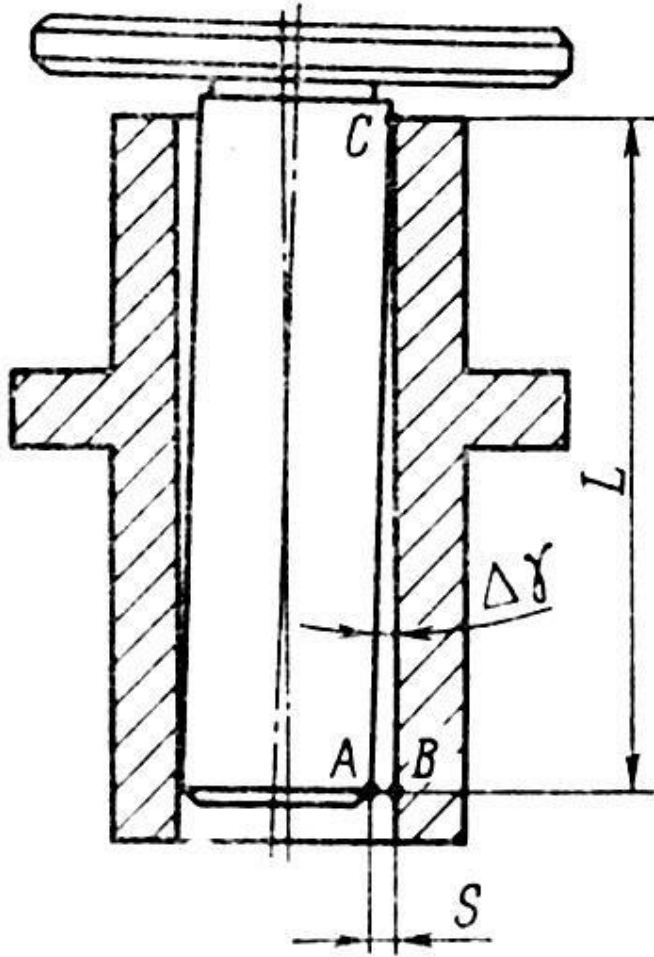




Точность изготовления деталей осевых систем определяется допустимыми значениями колебаний оси, а также точностью геометрической формы рабочих поверхностей оси и втулки.

При этом исходная точность изготовления, как правило, выше 5-го качества с последующей притиркой

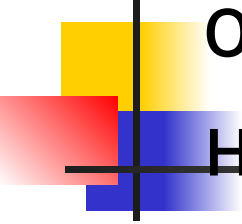
Колебания цапфы из-за зазора S :



$$\Delta \gamma'' = \frac{S}{L} \rho''$$

Откуда:

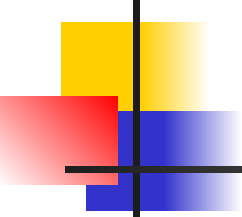
$$S = \frac{\Delta \gamma'' L}{\rho''}$$



На практике зазоры в осевых системах оказываются несколько больше расчётных.

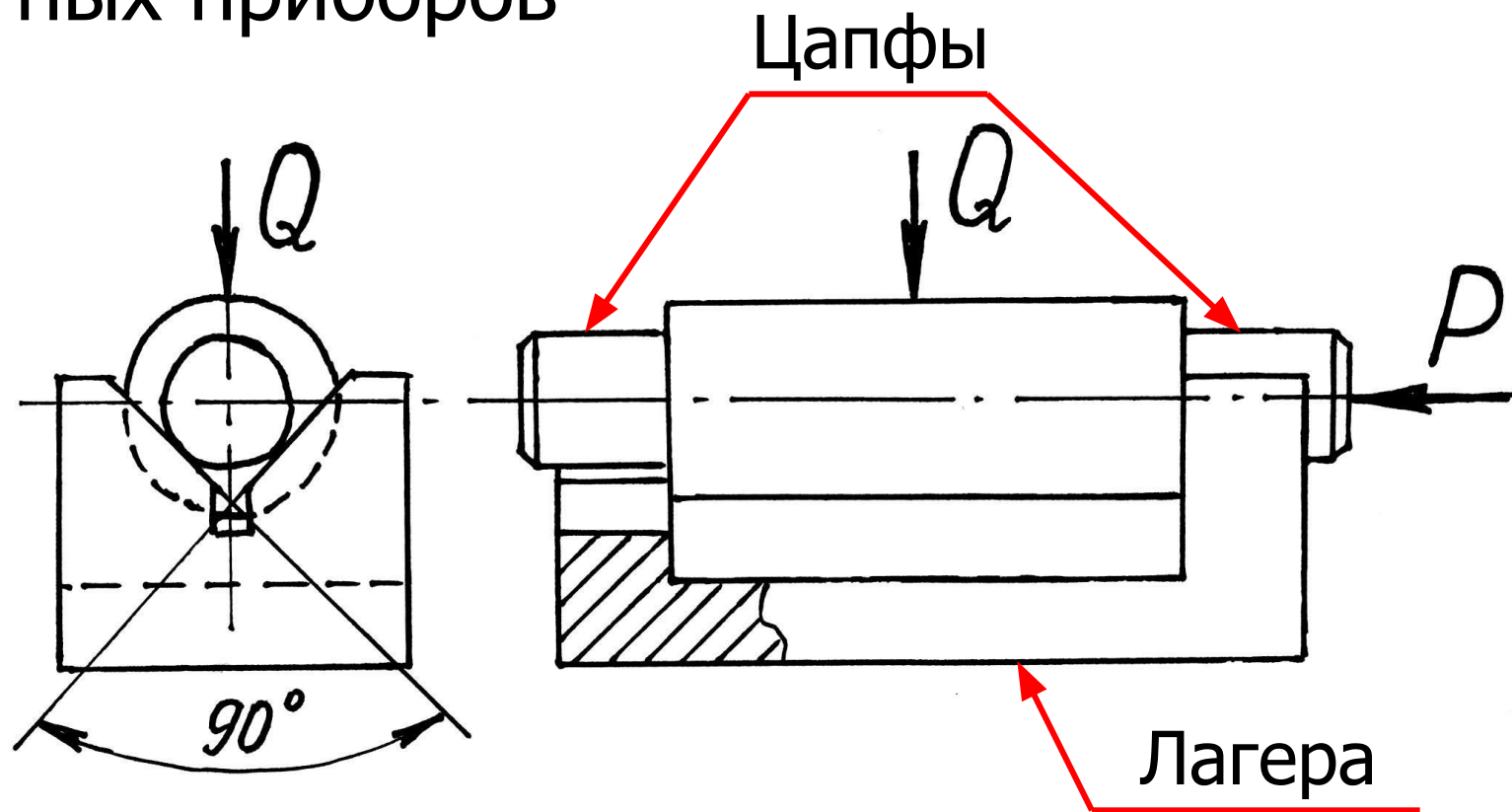
Это связано с наличием слоя смазки и отклонениями цапфы и втулки от идеальной цилиндрической формы.

Поэтому окончательная обработка оси и втулки выполняется притиркой, что исключает взаимозаменяемость деталей.

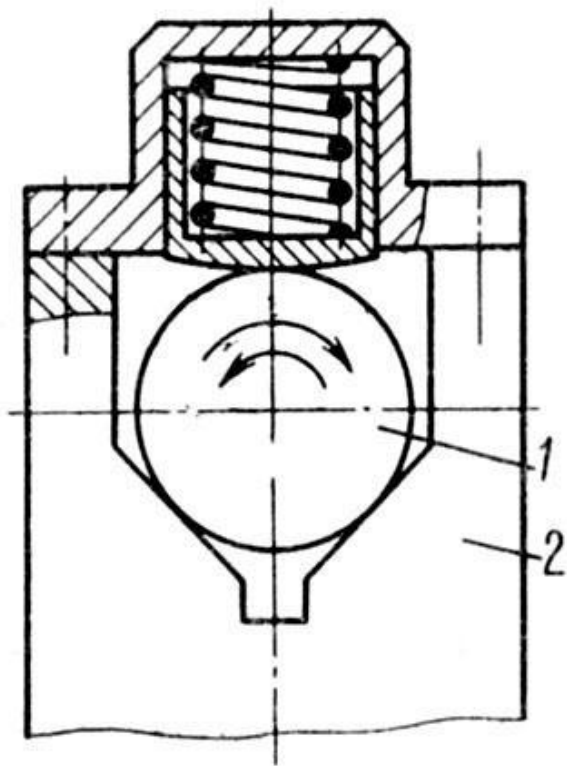


для исключения температурного заклинивания при изготовлении обеих деталей направляющей - Цапфы и втулки - используются одинаковые материалы – высокопрочные стали марок ШХ15, ХВГ и др.

Цилиндрические направляющие открытого типа применяются в качестве горизонтальных осей высокоточных угломерных приборов



Опора на призмах



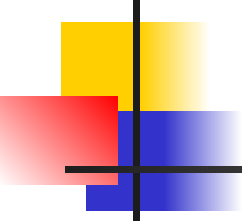
Опора с
принудительным
замыканием

Достоинства:

- отсутствие зазоров;
 - технологичность;
 - малое трение.
-

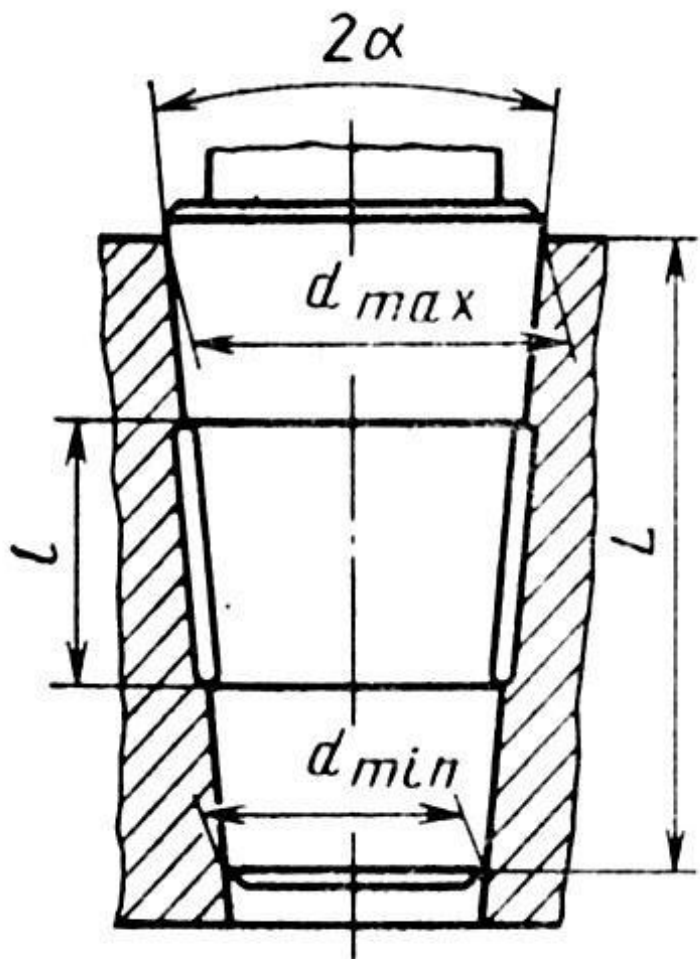
Точность работы определяется допусками на точность выполнения формы цапф.

Конические направляющие (опоры)



Конические направляющие можно разделить на два основных типа:

- направляющие с конической рабочей поверхностью;
- направляющие на центрах.



Достоинства:

- высокая точность;
 - возможность регулировки зазора.
-

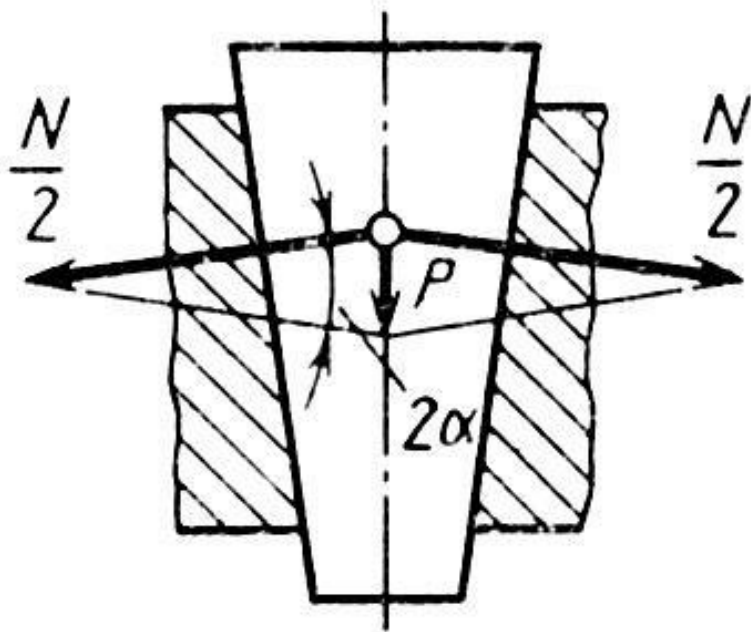
Недостатки:

- значительное трение;
- низкая технологичность.



Основные параметры конических опор:

- угол конуса 2α ;;
- минимальный диаметр d_{\min} ;
- длина рабочей части L ;
- длина проточки l .

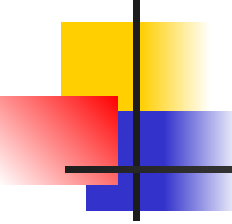


Сила
нормального
давления:

$$N = P / \sin \alpha$$

Обычно $2\alpha = 2^\circ \dots 8^\circ$.
Чем меньше α , тем
выше точность работы
направляющей и тем
больше трение.

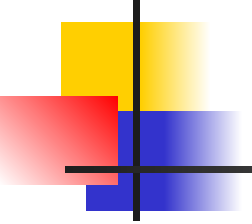
При этом соединение
может стать самотормо-
зящимся.



Минимальный диаметр d_{\min} назначается в зависимости от массы прибора, силовых нагрузок (особенно радиальных), сочетания коэффициентов линейного расширения материалов, температурного диапазона работы.

$$d_{\max} = d_{\min} + 2L \operatorname{tg} \alpha$$

Длина рабочей части:


$$L = (2 \dots 3) \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}$$

Длина проточки / для уменьшения момента трения, размещения запаса смазки и уменьшения точно обрабатываемой поверхности конусов составляет 0,3...0,5 L

Давление, возникающее на рабочей конической поверхности при действии осевой P и радиальной Q сил:

$$q = \frac{2}{L(d_{\max} + d_{\min})} \left(\frac{P}{\pi \operatorname{tg} \alpha} + Q \right)$$

Давление не должно превышать допустимой величины q_{\max} .

Для пары материалов «бронза-сталь»^{max}

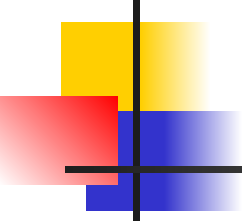
$q_{\max} = 6$ МПа, для пары «чугун-сталь»

$q_{\max} = 2,5$ МПа.



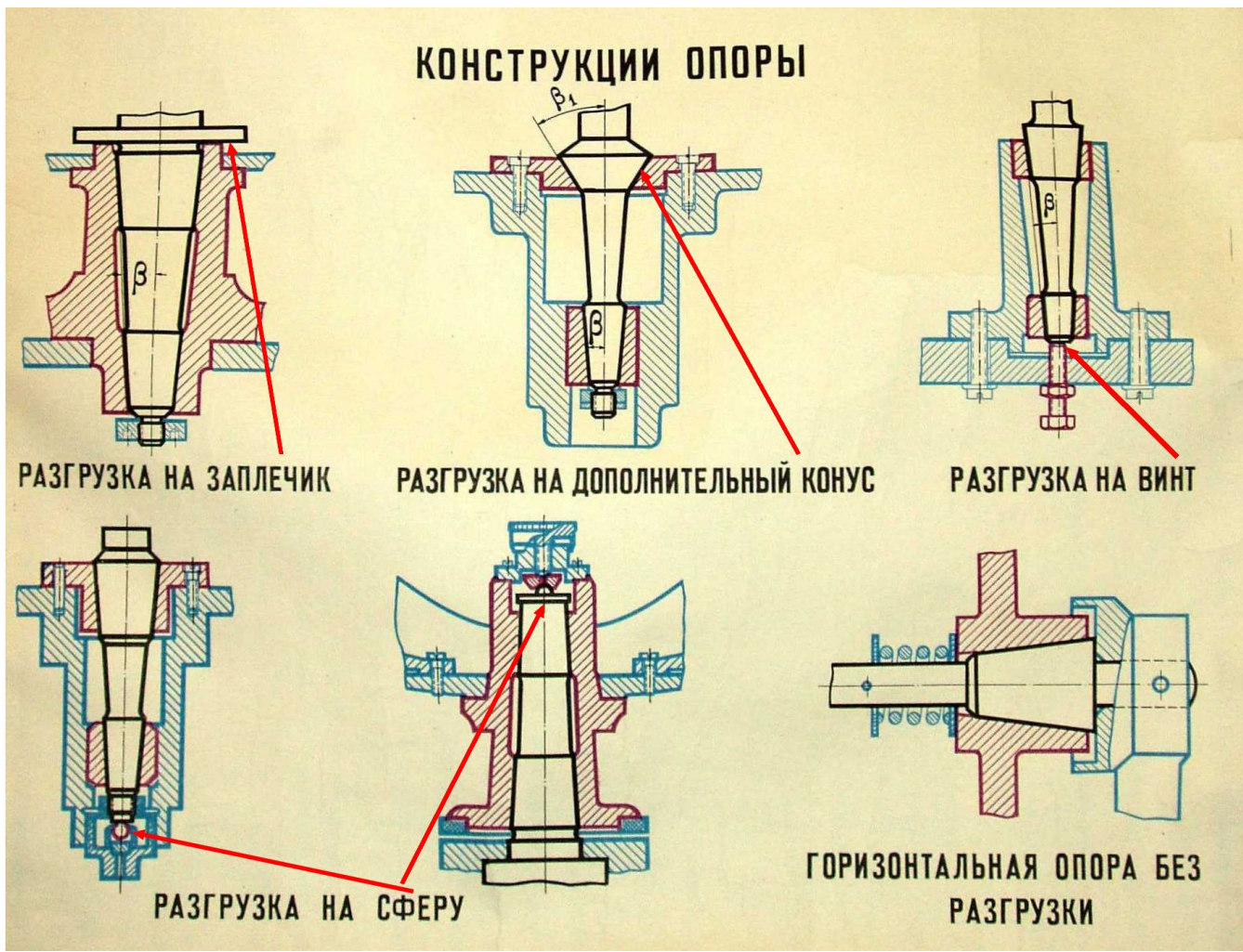
Момент трения в направляющей:

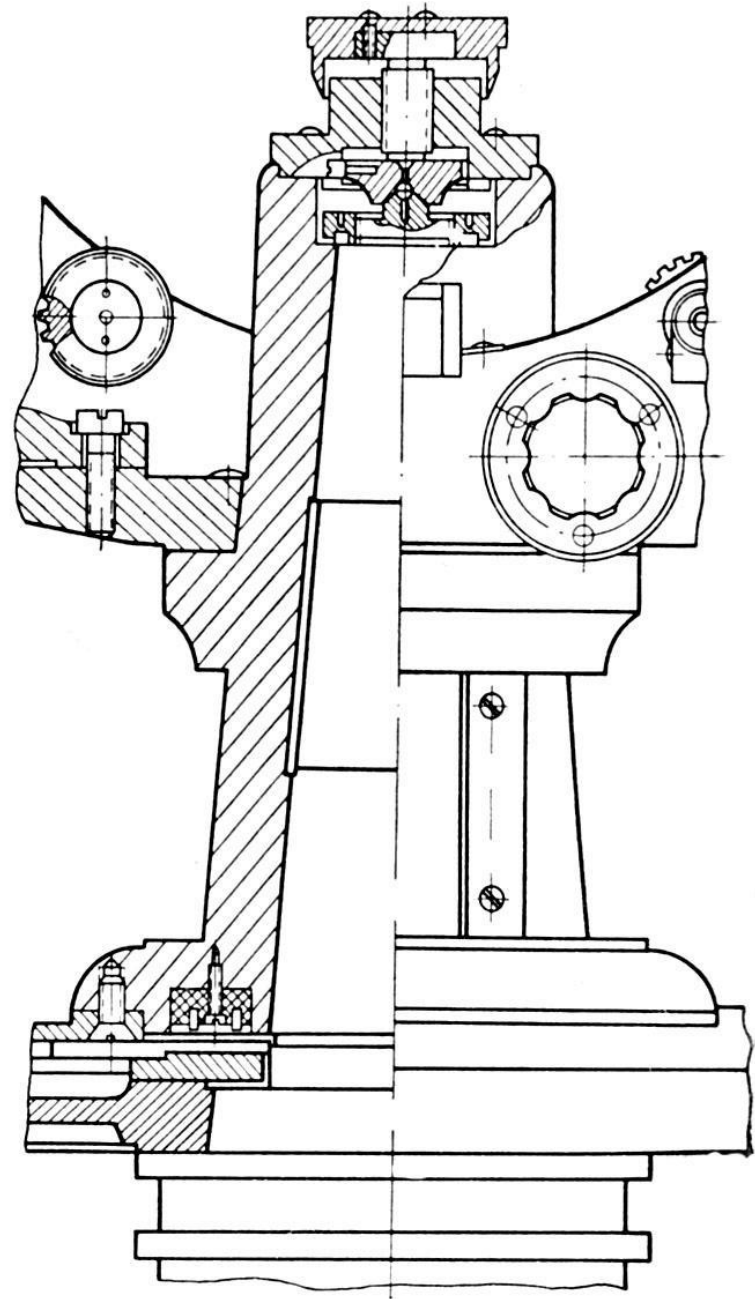
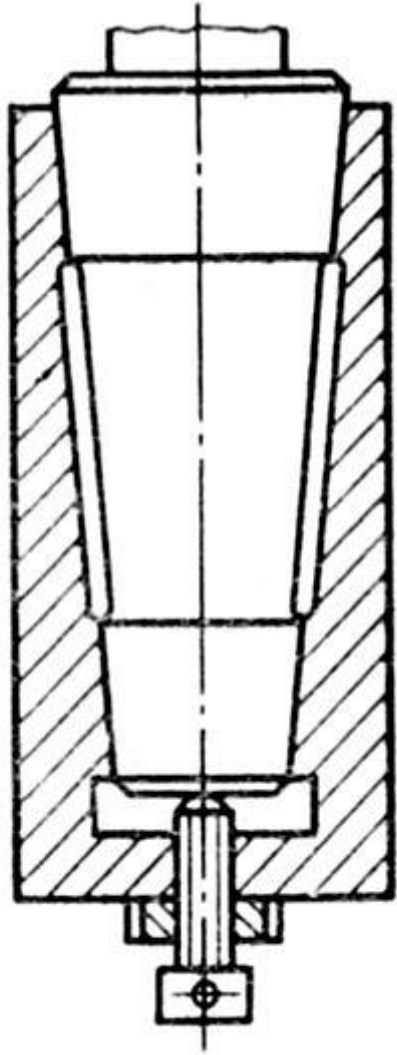
$$M = 0,25 \frac{P(d_{\max} + d_{\min})f}{\sin \alpha} +$$
$$+ 0,32 \frac{Q(d_{\max} + d_{\min})f}{\cos \alpha}$$

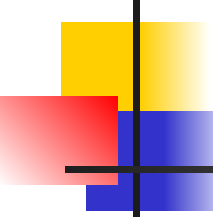


Для уменьшения давления и, соответственно, момента трения в конических осевых системах применяют разгрузочные устройства, позволяющие регулировать диаметральный зазор и снизить износ рабочих поверхностей.

Регулирование радиального зазора при сборке и в процессе эксплуатации (регулирование осуществляется небольшим осевым смещением цапфы или подшипника)







При выборе материалов необходимо учитывать их антифрикционные и термические свойства во избежание заклинивания.

Температурные коэффициенты линейного расширения должны быть равными или близкими.

Для изготовления цапф применяют стали У8А, У10А, ШХ15 (*HRC* 50...60 ед.); бронзу БрО6,5Ф0,15; латуни ЛАЖ 60-1-1Л, ЛКС 80-3-3.

Для втулок используют перлитовый чугун, бронзу БрОФ и латунь ЛС 59-1.



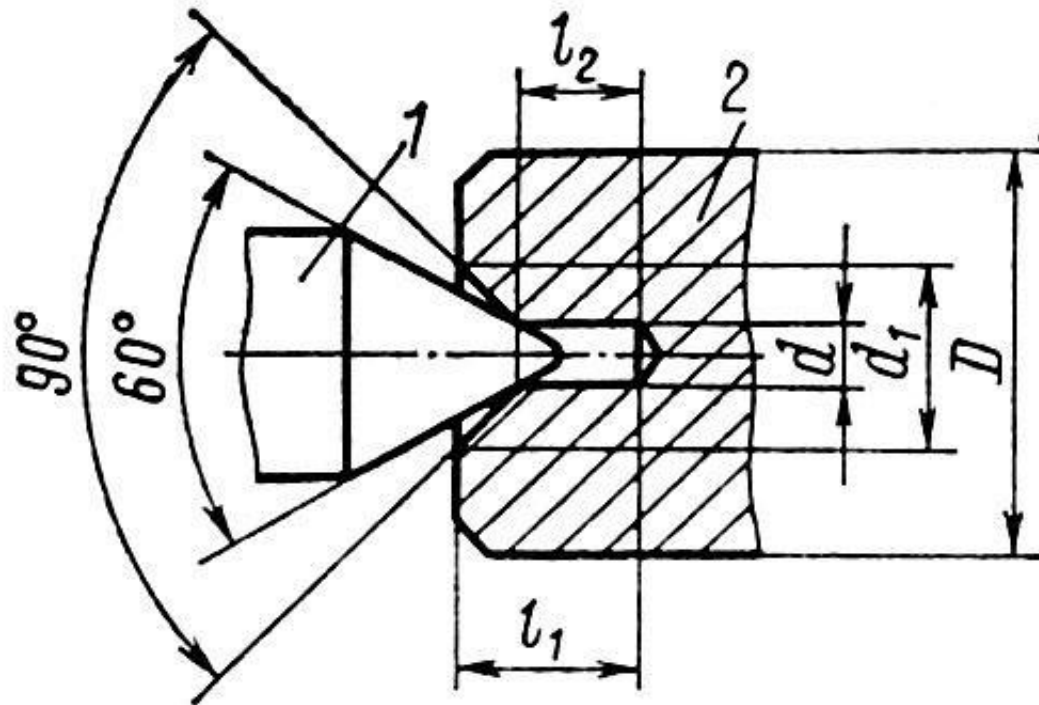
Шероховатость рабочих поверхностей:

цапф – $R_a = 0,16 \dots 0,32$ мкм,


втулок – $R_a = 0,32 \dots 0,63$ мкм.

Необходимой степени точности конических направляющих с трением скольжения добиваются притиркой цапфы и втулки с использованием абразивных порошков и паст с контролем «на краску»

Направляющие на центрах



1 – центр (керн); 2 – втулка (подшипник)

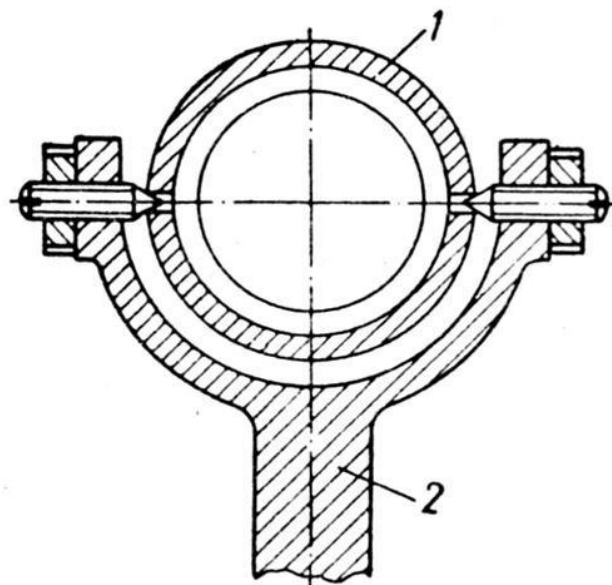
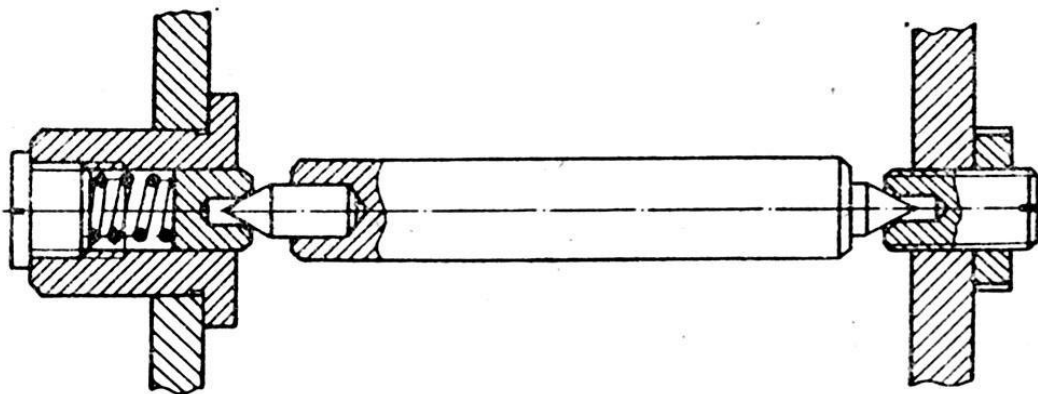
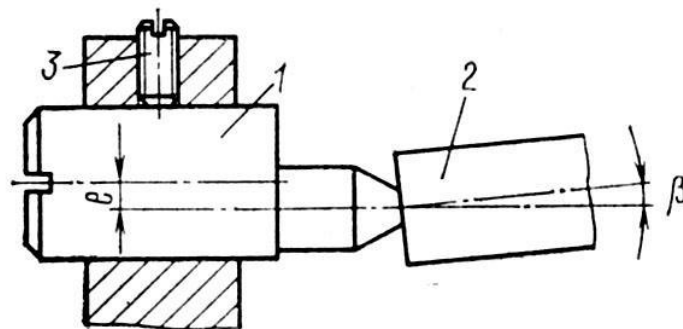
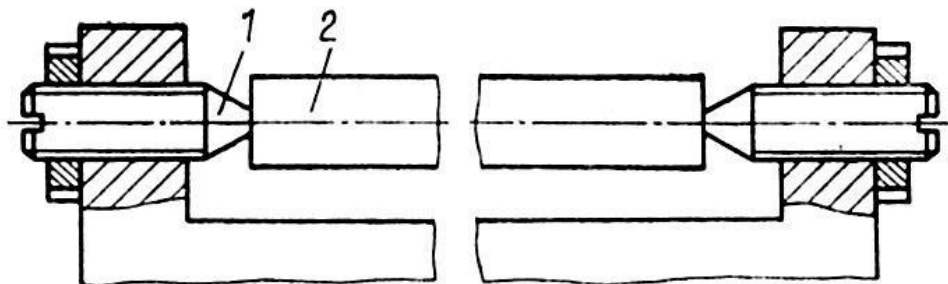


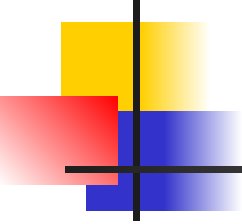
При $D > 3$ мм конический участок опоры не выполняют.

Линейные размеры нормализованы и зависят от диаметра D

Диаметр подшипника D в мм	Угол конуса центра 2α в град	Угол конуса подшипника 2β в град	Диаметр отверстия d в мм	Глубина сверления L в мм	Минимальная длина цилиндрической части l в мм
1,5—2,5	60	90	0,5	1,2	0,8
2,5—5	60	60	0,75	2,5	1
5—10	60	60	1	3	1,2
10—20	60	60	1,5	4,5	1,8

Примеры конструктивного исполнения направляющих на центрах





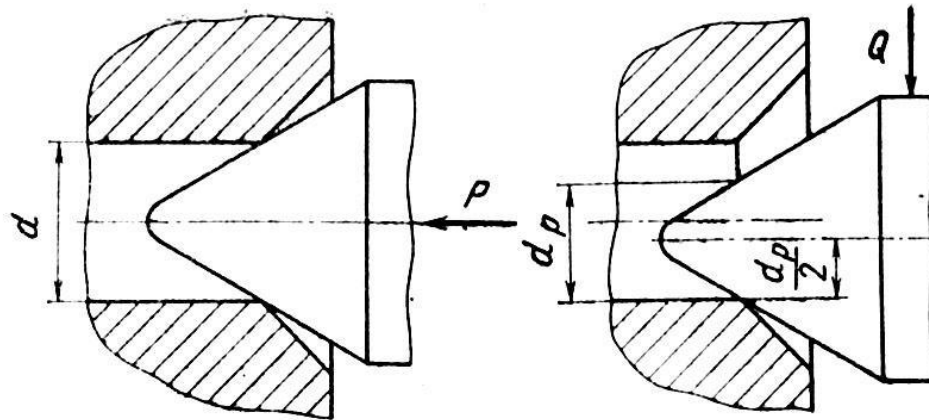
При тщательном изготовлении элементов направляющих может быть достигнута погрешность вращения до 2 мкм.

Из-за малой поверхности трения в направляющих допускаются небольшие перекосы β оси центра относительно оси втулки (до нескольких градусов).

В направляющих возможна регулировка диаметральных зазоров за счёт осевого перемещения / :

$$\Delta S = 2l \operatorname{tg} 30^\circ$$

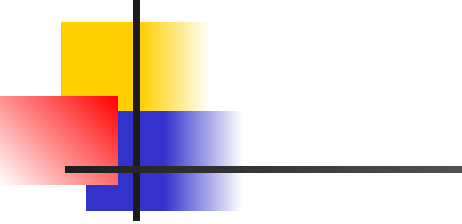
Направляющие на центрах характеризуются малым моментом трения



При действии только осевой нагрузки P :

$$M_1 = \frac{Pd}{2 \sin \alpha} f$$

При действии только радиальной нагрузки Q :

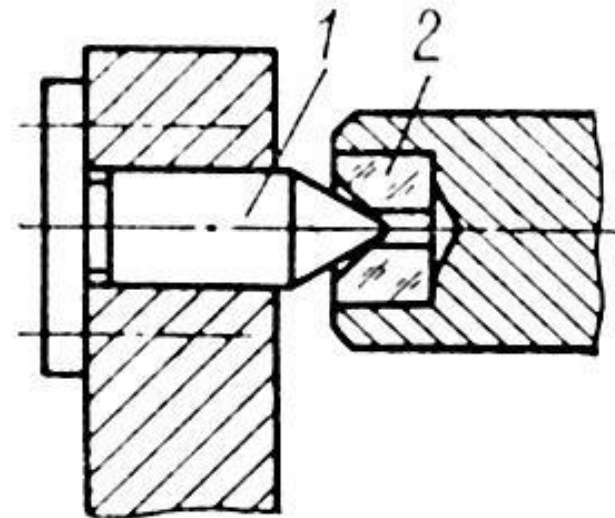

$$M_2 = \frac{\pi Q d_p}{4 \cos \alpha} f$$

При одновременном действии сил P и Q :

$$M = \frac{d}{2} \left(\frac{Q}{\cos \alpha} + \frac{P}{\sin \alpha} \right) f$$

Обычно центры и втулки изготавливают из сталей У10А, У12А, 40, 50 с закалкой до *HRC* 50...56 ед.

Иногда втулки делают из агата, а центр из стали.



Шероховатость трущихся поверхностей назначают в пределах $R_a = 0,16 \dots 0,32$ мкм



Достоинства направляющих:

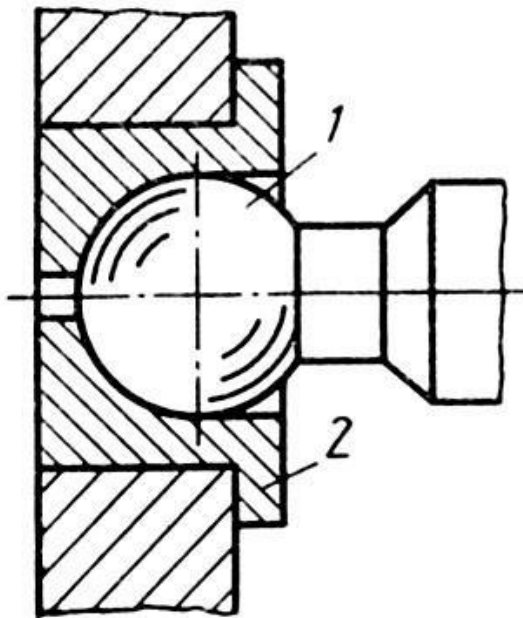
- простота конструкции, надёжность;
- малые моменты трения;
- возможность работы при перекосах;
- возможность регулировки в поперечном и продольном направлениях;
- относительно высокая точность работы;
- высокая технологичность и низкая стоимость.



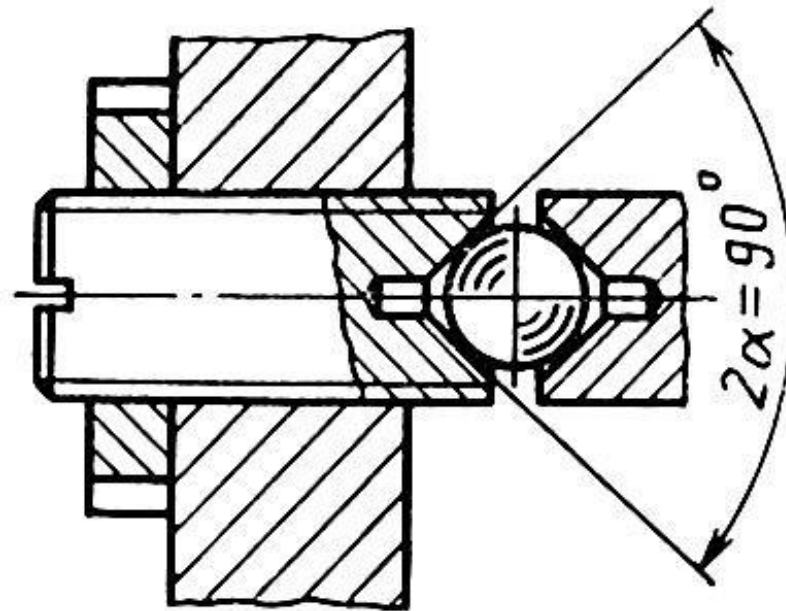
Недостатки направляющих:

- невысокая нагрузочная способность ($F \leq 20 \text{ Н}$);
- невысокая частота вращения;
- низкая износостойкость.

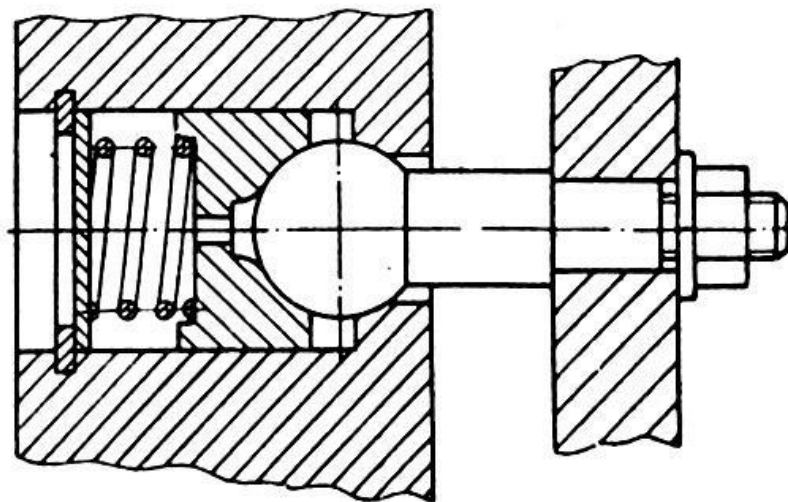
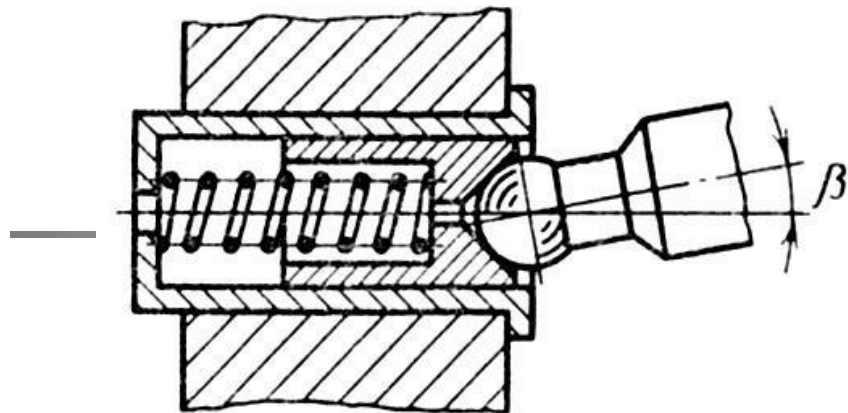
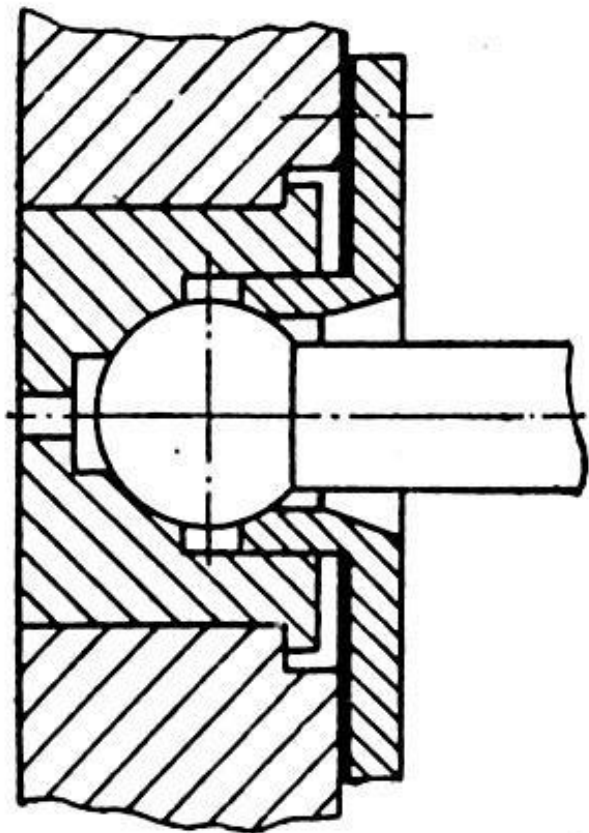
Шаровые (сферические) направляющие

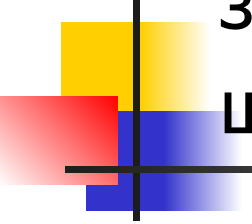


Не регулируемая



Регулируемая



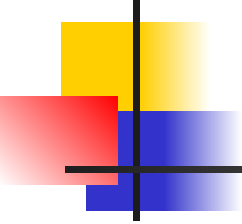


Шаровые направляющие могут работать при значительных силовых нагрузках из-за большой поверхности контакта.

По этой причине они имеют значительное трение.

Направляющие могут регулироваться за счёт осевых перемещений одного и или обоих подшипников.

Направляющие качественно работают при значительных перекосах осей цапф и подшипников.



Шаровые цапфы обычно изготавливают из сталей У10А, У12А, 40, 50 и др.

Вставные шарики выполняют из стали ШХ.

Подшипники делают из бронзы, латуни и стали 30.

Шероховатость трущихся частей выбирают в пределах $R_a = 0,08 \dots 0,32$ мкм.



Достоинства направляющих:

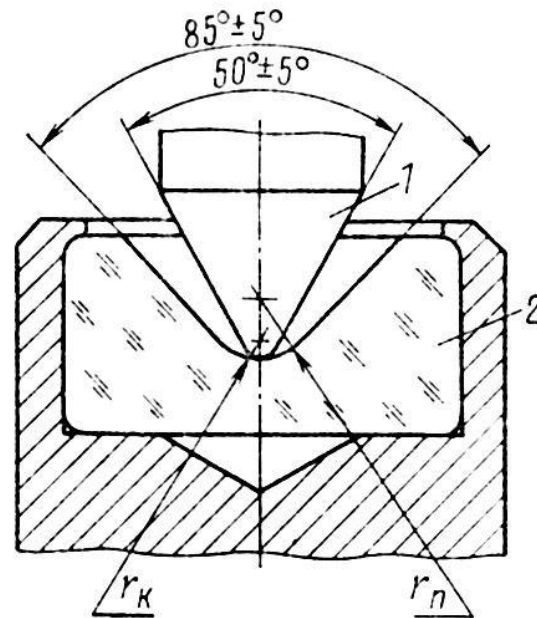
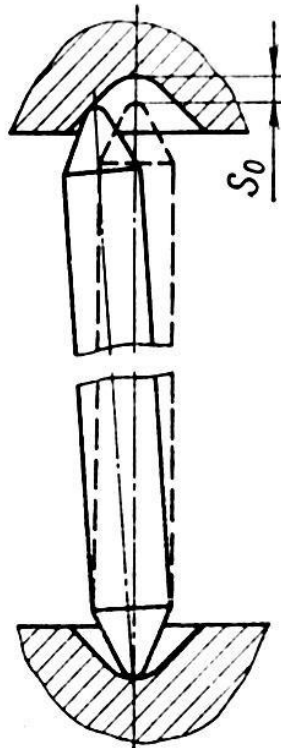
- высокие силовые возможности;
- качественная работа при значительных перекосах осей;
- возможность регулировки.

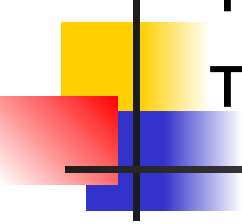
Недостатки направляющих:

- значительное трение;
- сложность точного изготовления сферических поверхностей.

Направляющие на кернях

Направляющие на кернях являются разновидностью сферических направляющих и используются в малогабаритных и миниатюрных приборах.





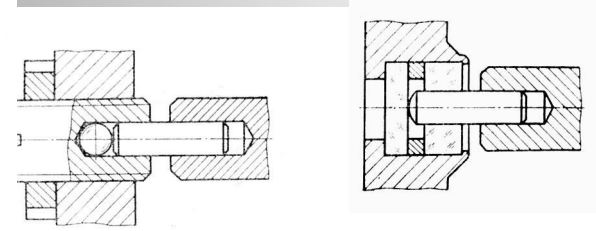
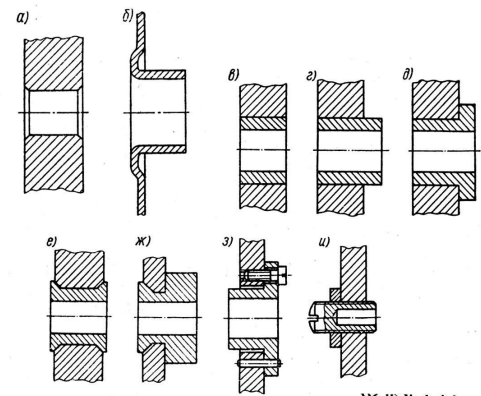
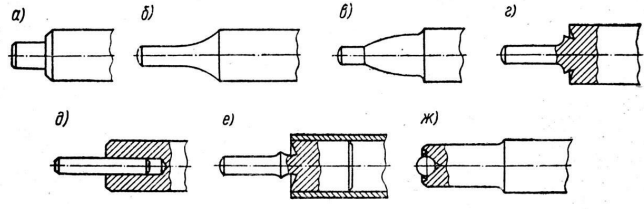
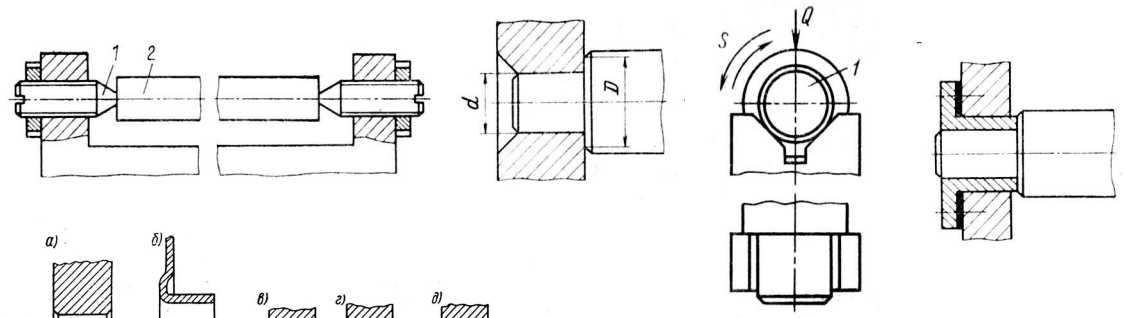
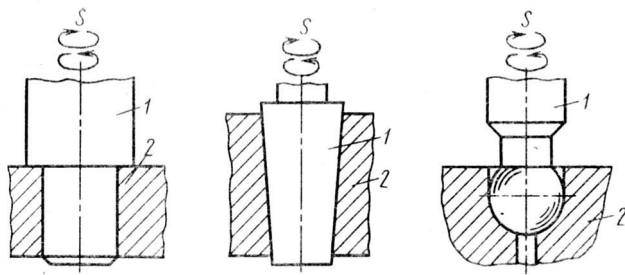
В направляющих создаётся точечный контакт, вследствие чего трение в них незначительно.

По этой же причине силовые нагрузки малы.

Для снижения износа подшипники часто выполняются из синтетических сапфира, рубина, корунда, агата.

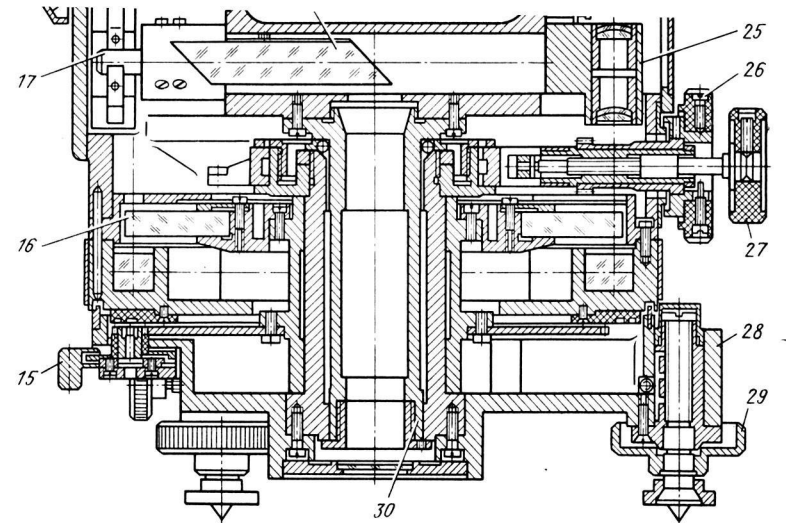
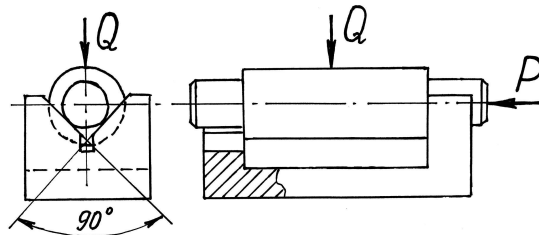
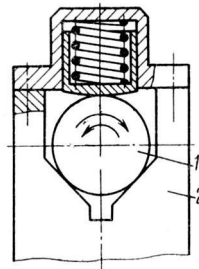
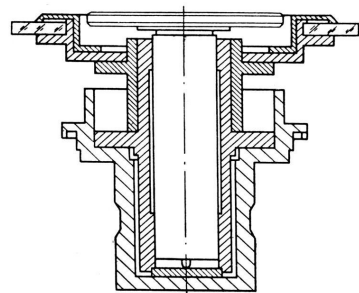
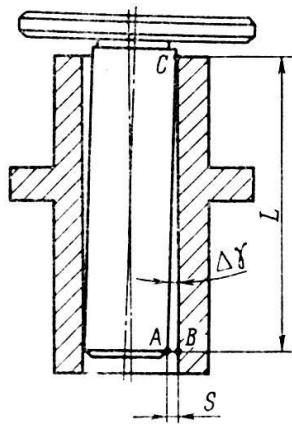
Керны выполняют из сталей с закалкой до $HRC = 56...62$ ед.

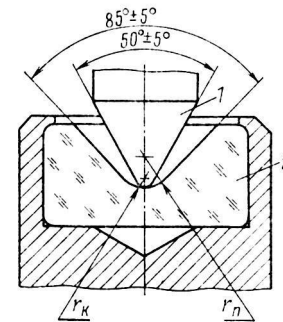
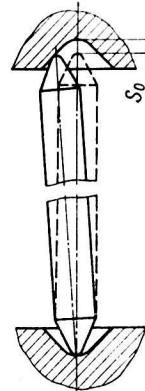
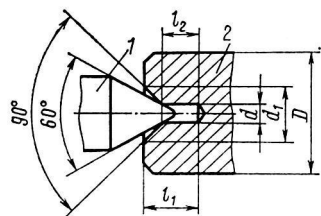
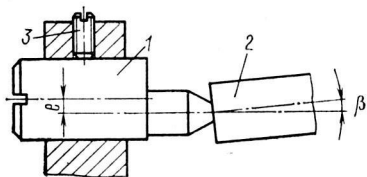
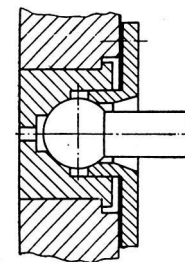
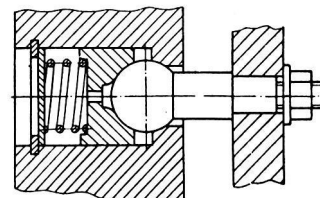
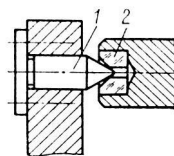
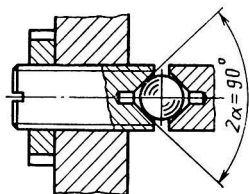
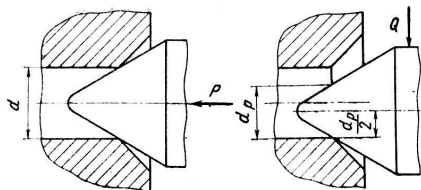
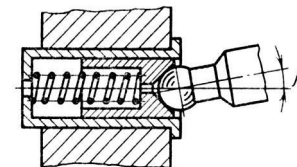
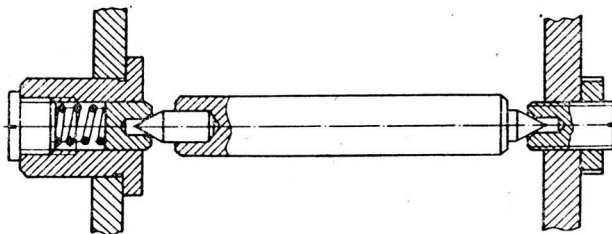
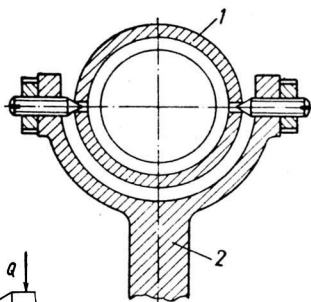
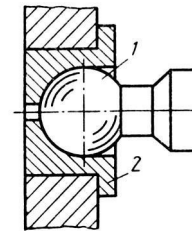
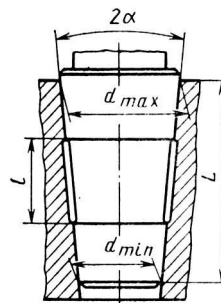
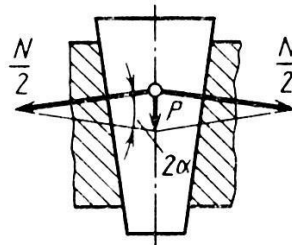
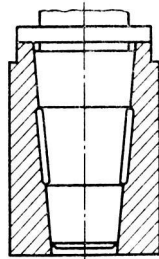
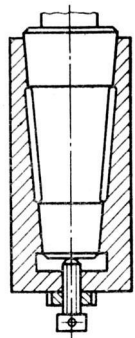
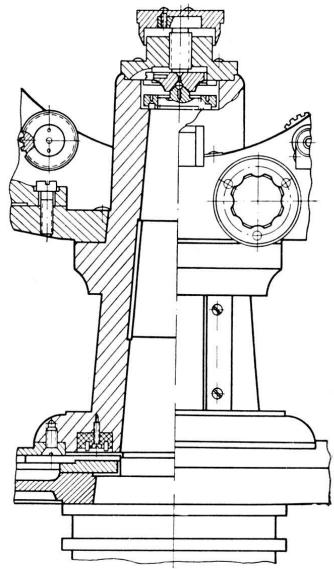
Рабочие поверхности керна обрабатываются до $R_a = 0,02...0,04$ мкм, а подпятника до $R_a = 0,04...0,08$ мкм.



Коэффициенты трения скольжения различных пар материалов

Условия трения	Коэффициент трения скольжения f					
	Сталь— бронза	Сталь— латунь	Сталь— чугун	Сталь— фторо- пласт-4	Сталь— высоко- угит	Сталь— полиэти- лен НД
Без смазки	0,10—0,15	0,14—0,19	0,15—0,19	0,02— 0,10	0,22	0,03— 0,04
Со смазкой	0,09—0,13	0,13—0,15	0,05—0,15	—	—	—





Диаметр подшипника D в мм	Угол конуса центра 2α в град	Угол конуса подшипника 2β в град	Диаметр отверстия d в мм	Глубина сверления L в мм	Минимальная длина цилиндрической части l в мм
1,5—2,5	60	90	0,5	1,2	0,8
2,5—5	60	60	0,75	2,5	1
5—10	60	60	1	3	1,2
10—20	60	60	1,5	4,5	1,8