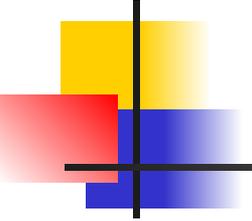




---

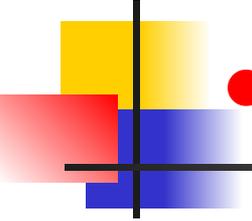
НАПРАВЛЯЮЩИЕ  
ПРЯМОЛИНЕЙНОГО  
ДВИЖЕНИЯ  
С ТРЕНИЕМ КАЧЕНИЯ



Основными недостатками НПД с трением скольжения являются существенное трение и чувствительность к изменениям температуры.

От указанных недостатков практически свободны НПД с трением скольжения.

В этих направляющих между рабочими поверхностями помещают тела вращения - шарики, ролики, шарикоподшипники.



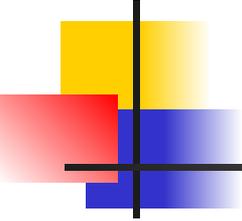
## Достоинства НПД с трением качения:

- малые потери на трение (коэффициент трения качения существенно ниже коэффициента трения скольжения, особенно при трогании с места);
- небольшие натяги при сборке не приводят к заклиниванию;
- малая чувствительность к изменениям температуры;
- практическое отсутствие явлений гистерезиса.



## Недостатки НПД с трением качения:

- увеличенные габаритные размеры;
- усложнение конструкции;
- снижение точности работы за счет включения в конструкцию дополнительных элементов – тел вращения;
- более высокая стоимость изготовления.



---

Применение НПД с трением качения **целесообразно** в приборах со сложной кинематической схемой, так как значительное количество трущихся частей приводит к увеличению энергетических затрат, возрастанию упругих мёртвых ходов, снижению точности работы кинематических звеньев прибора.

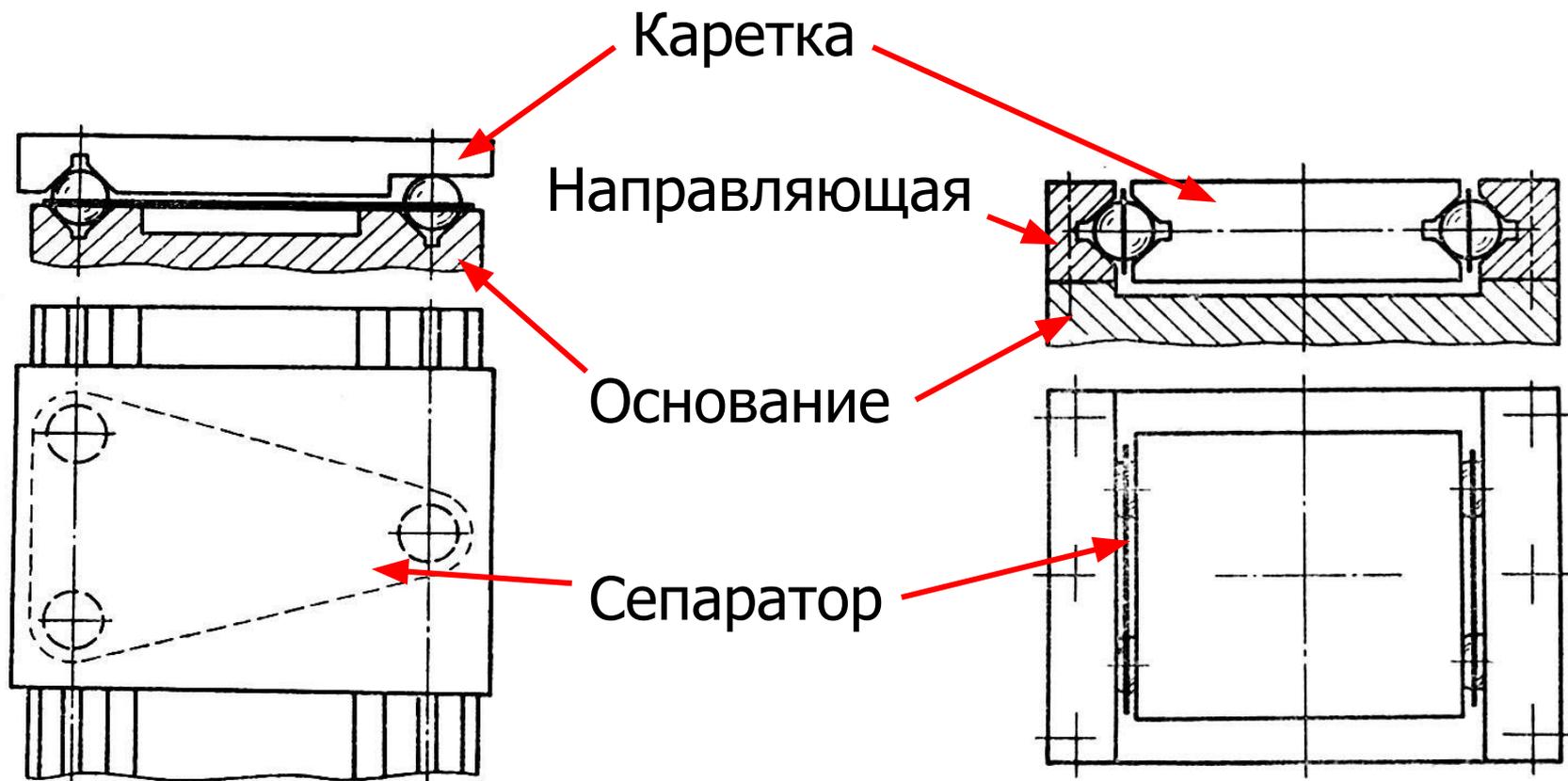
# Классификация НПЛ с трением качения

- по форме тел качения:
  - на шариках;
  - на роликах;
- по форме рабочих поверхностей:
  - цилиндрические;
  - призматические;
- по виду силового замыкания:
  - открытые;
  - закрытые.

# Призматические НПД на шариках:

открытого типа

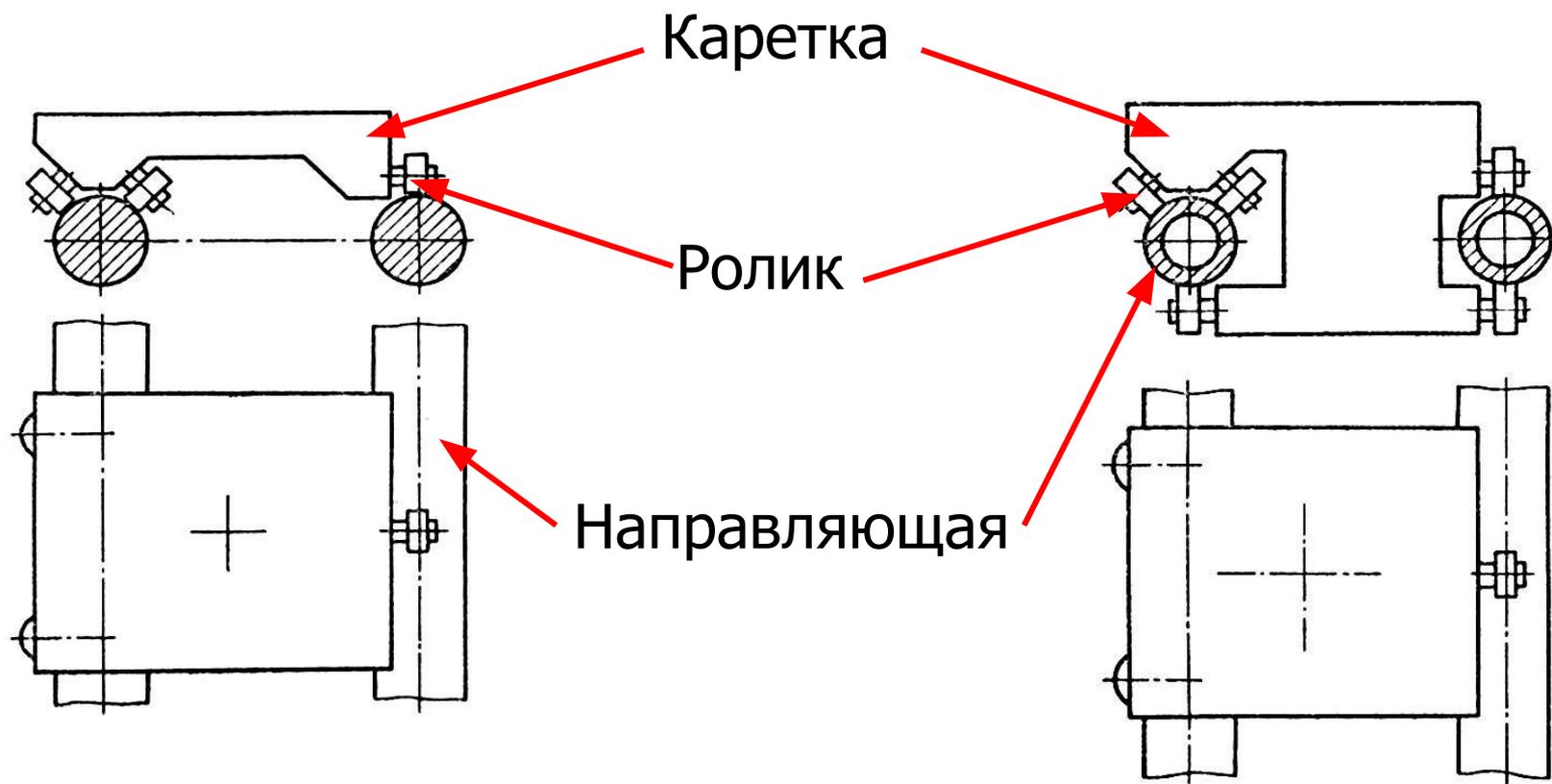
закрытого типа

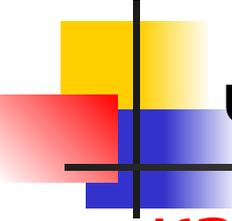


# Цилиндрические НПД на роликах:

открытого типа

закрытого типа

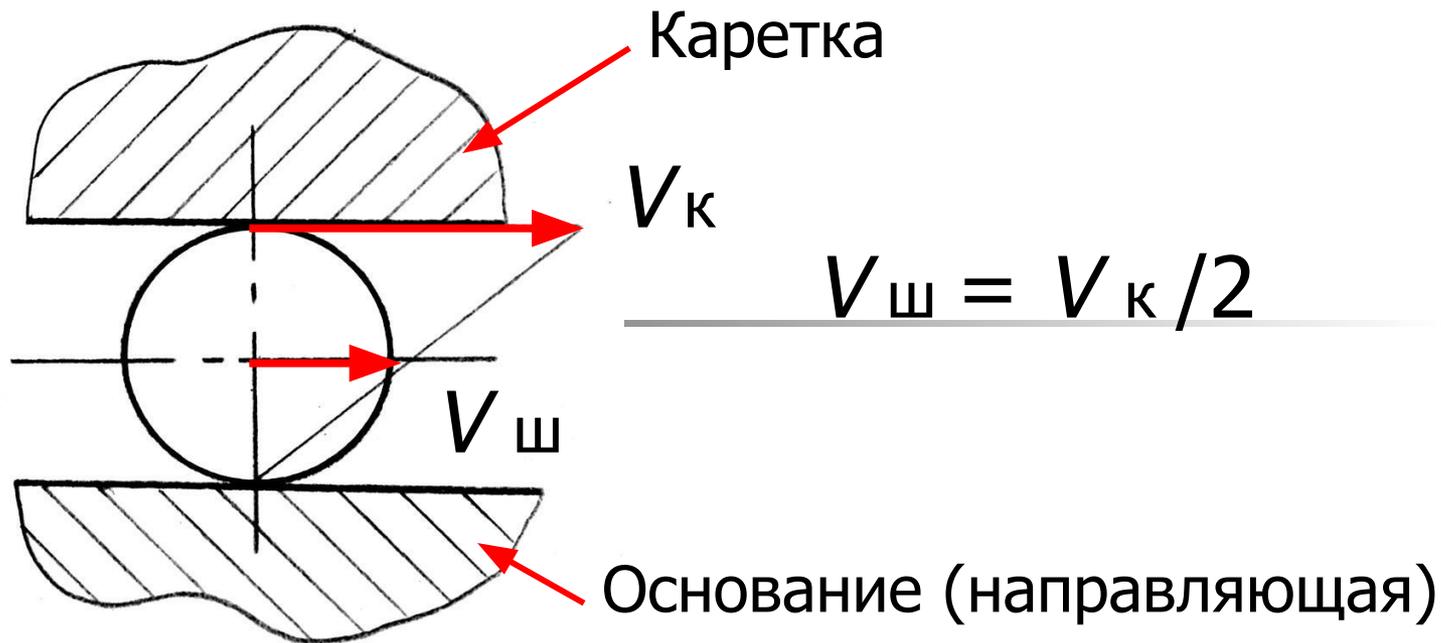
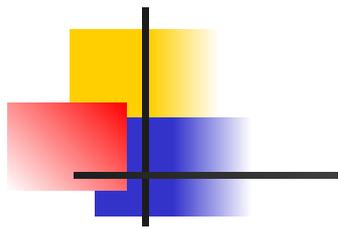




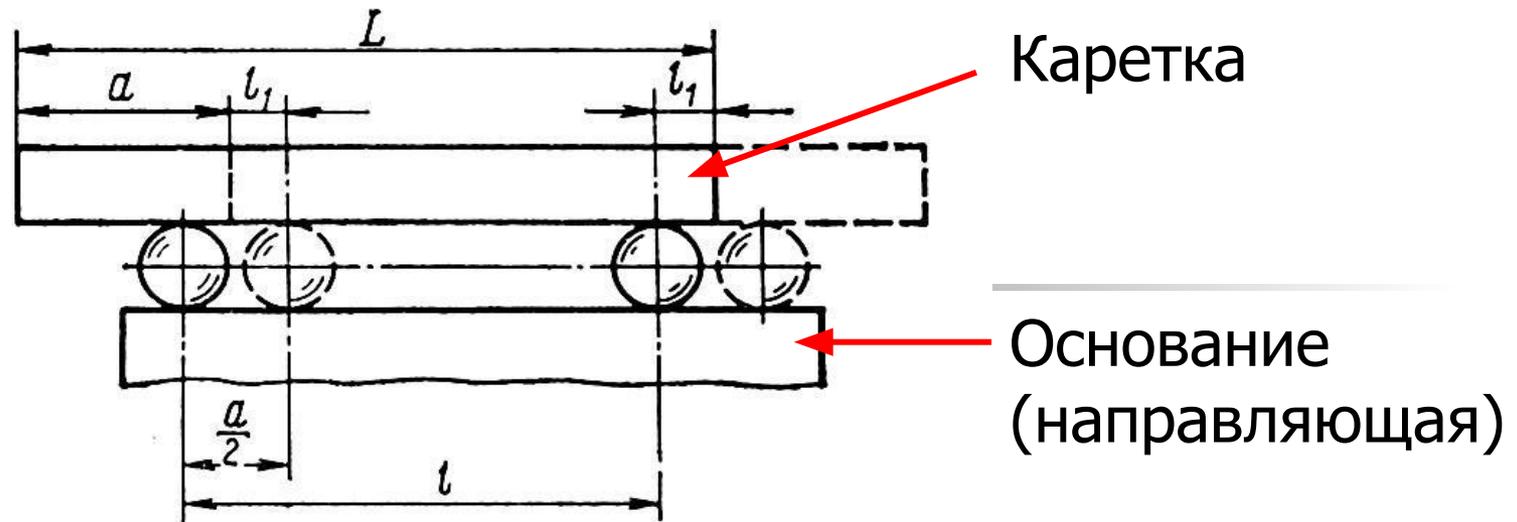
Чаще всего применяются **НПД на шариках**, отличающиеся компактностью, технологичностью, возможностью регулировки и достаточно лёгким ходом.

Недостатком этих НПД является повышенный износ, т.к. кроме трения качения в них присутствует трение верчения.

Это приводит к снижению точности в процессе эксплуатации.



Вследствие этого явления шарики перекатываются по направляющей на величину равную половине перемещения каретки.

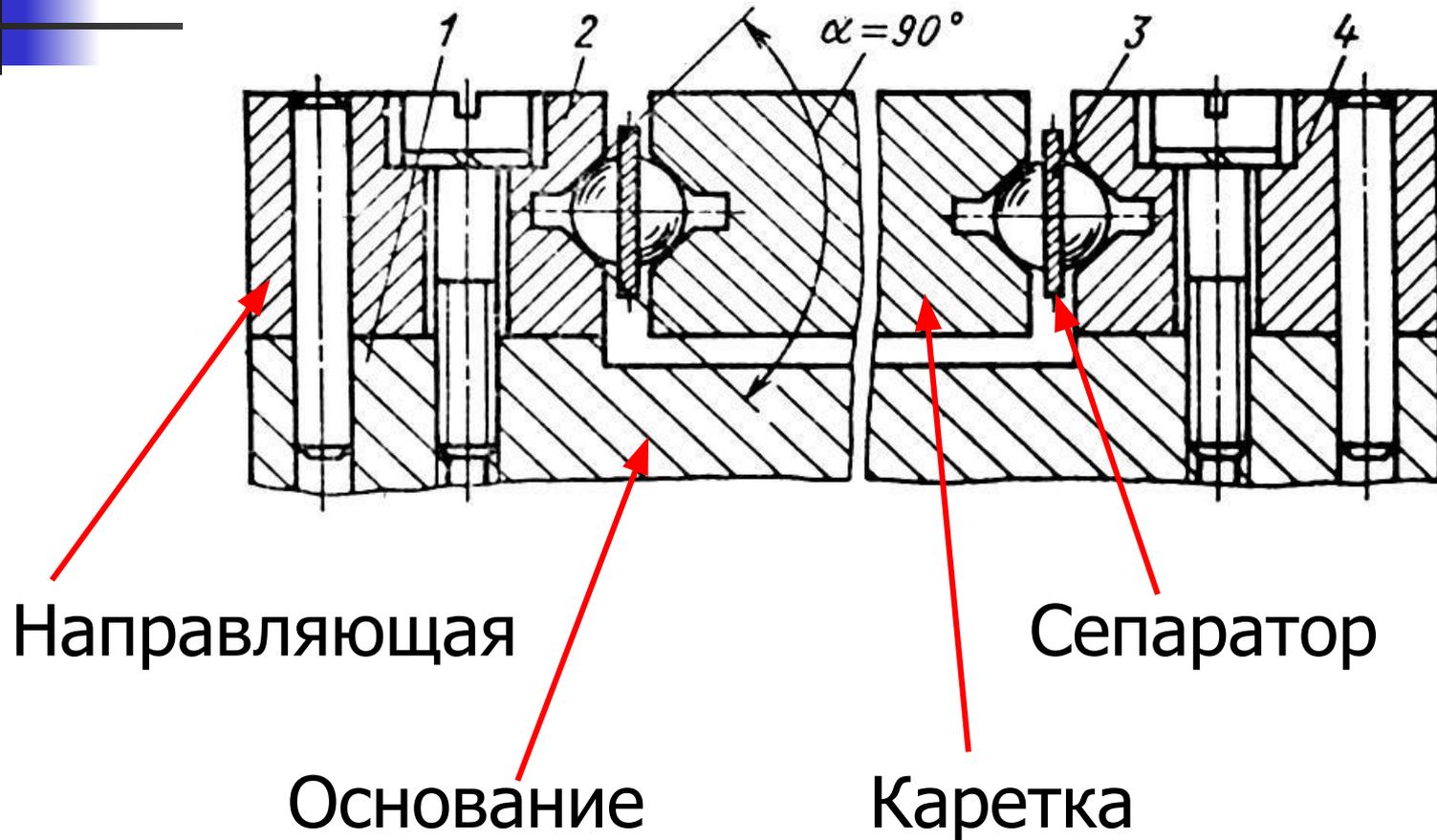


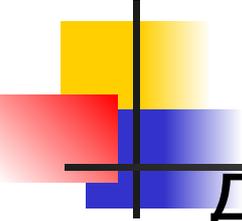
Рабочая длина направляющей:

$$L = l + a / 2 + 2l_1 ,$$

где:  $a$  – ход каретки;  $l$  – расстояние между крайними шариками (база);  $l_1$  – запас длины с каждой стороны направляющей.

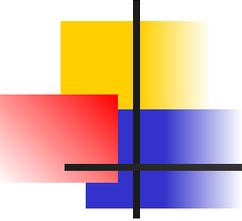
# Классическая конструкция призматических НПД на шариках имеет вид:





В направляющих данного типа вполне достаточно иметь три шарика, но обычно используют четыре шарика для симметрии конструкции.

При больших нагрузках иногда применяют по три шарика с каждой стороны, но это ведёт к увеличению базы и снижению точности хода.

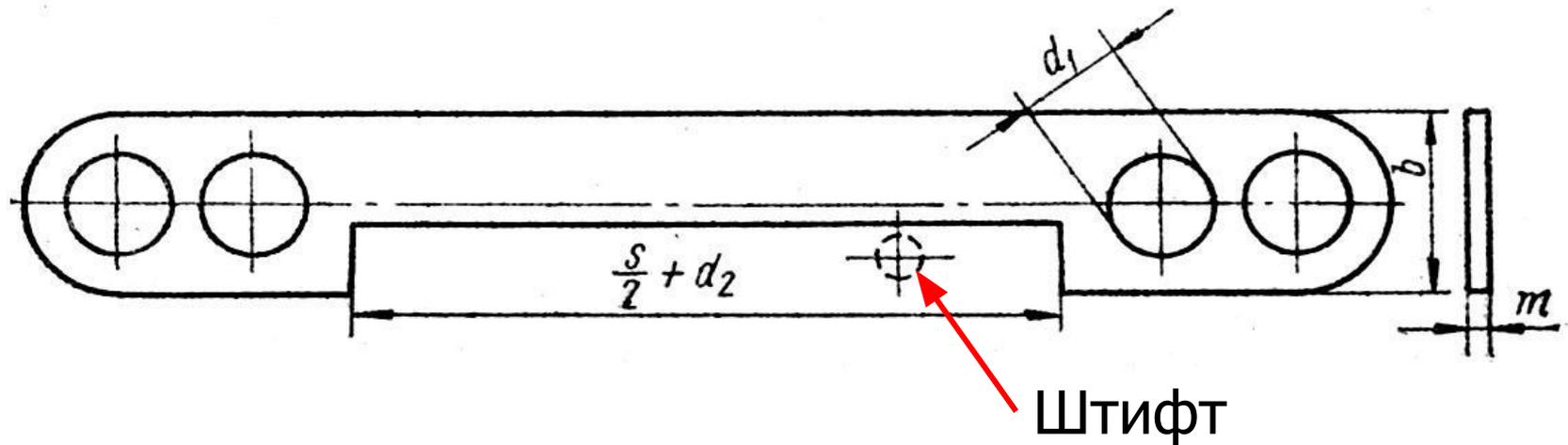


---

Для устранения непроизвольного перемещения шариков в НПД вводятся сепараторы.

Различают свободные сепараторы и сепараторы принудительного движения.

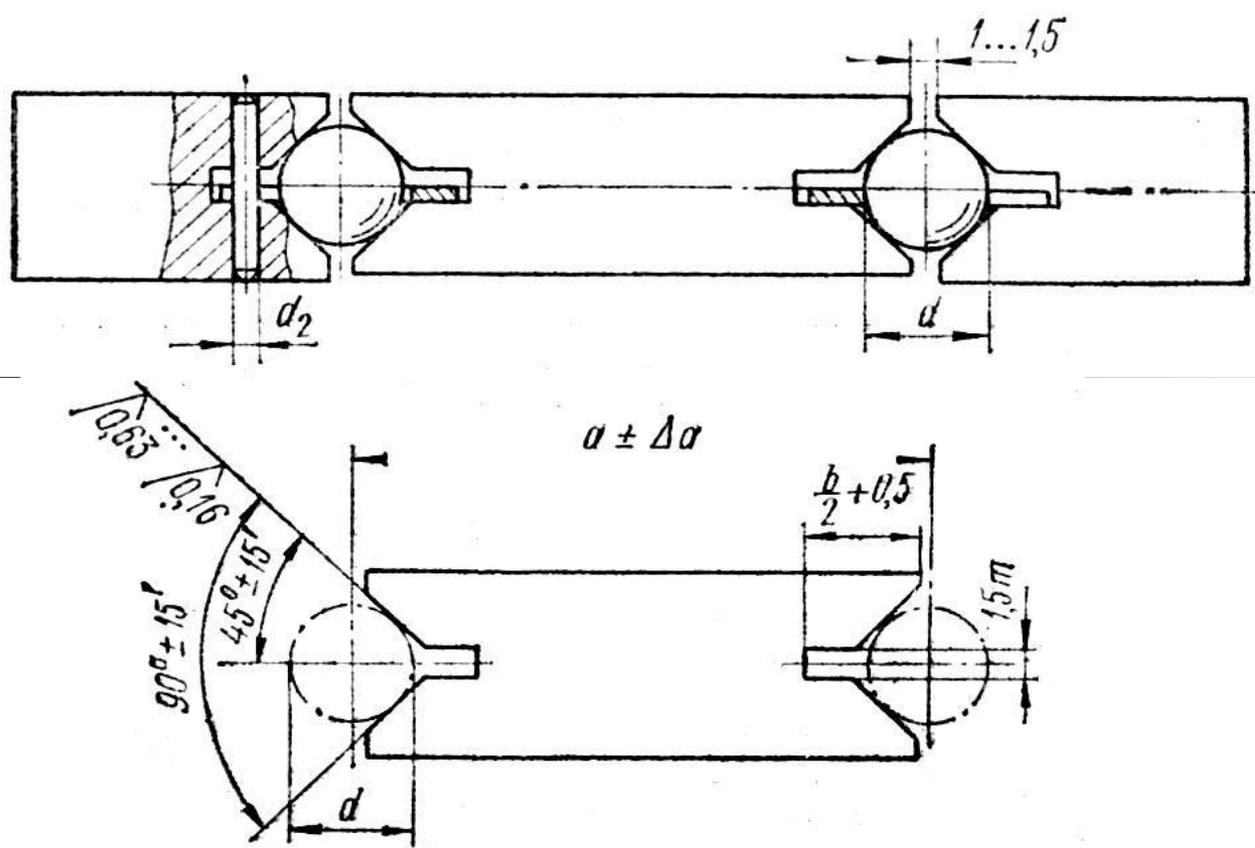
Свободные сепараторы можно применять только в горизонтальных направляющих.



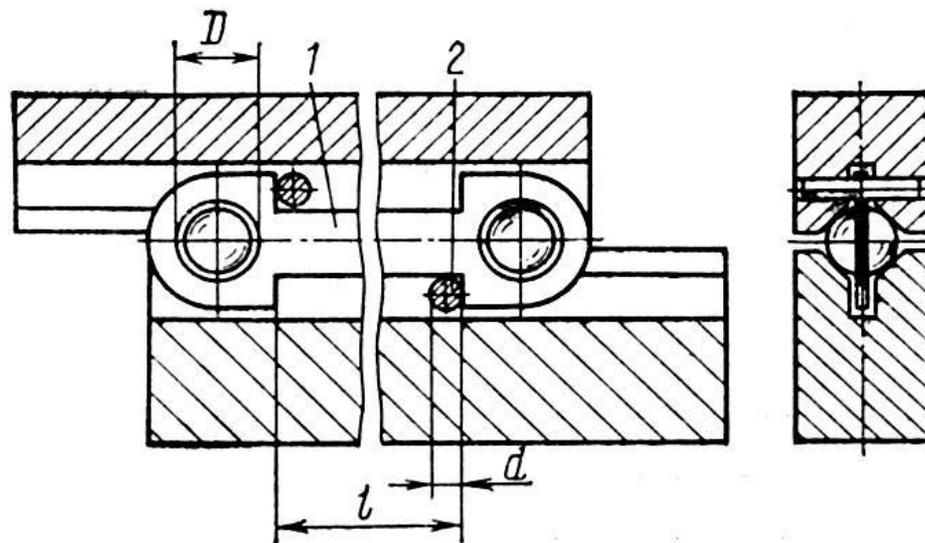
Длина прорези сепаратора:

$$l = s / 2 + d_2 ,$$

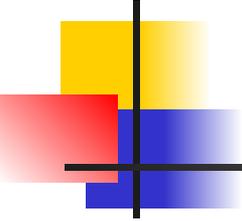
где:  $S$  – ход каретки;  $d_2$  – диаметр штифта, размеры  $m$ ,  $b$  и  $d_1$  выбираются из конструктивных соображений.



Размеры канавок для выхода кромки инструмента для их изготовления определяются рекомендациями, указанными выше.



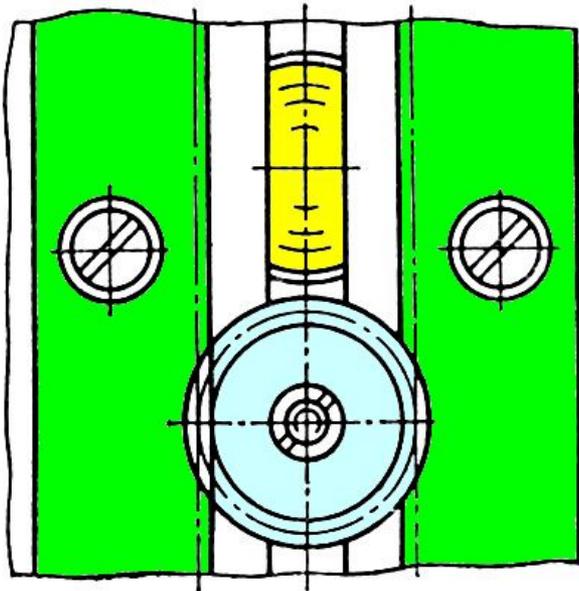
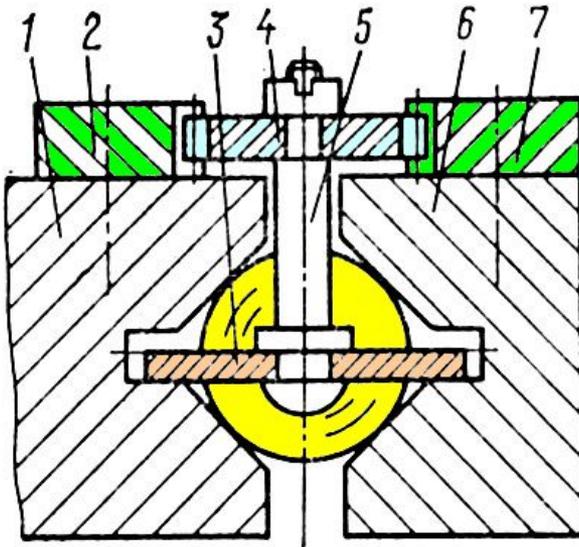
Для бóльшей надёжности ограничительные штифты могут устанавливаться как в направляющую, так и в каретку.



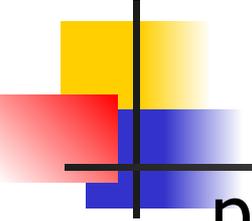
---

Сепараторы принудительного движения обеспечивают не только требуемое взаимное положение шариков, но и их положение относительно каретки.

Применяются они, в основном, при вертикальном положении направляющих, а также при наличии вибраций и тряски.



- 
- 1 - каретка;
  - 2, 7 – зубчатые рейки;
  - 3 – сепаратор;
  - 4 – зубчатое колесо;
  - 5 – ось;
  - 6 – направляющая.

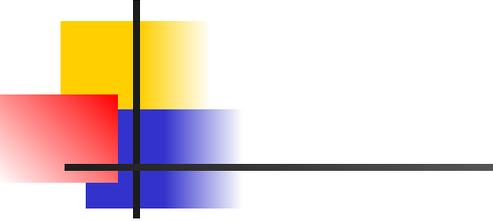


При расчёте усилий по перемещению каретки в НПД с шариками необходимо иметь в виду, что в реальности контакт между шариками и направляющими не точечный.

Вследствие упругости контактирующих материалов имеет место некоторая площадка контакта – площадка соприкосновения.

Поэтому при качении шарика возникает дополнительное трение скольжения – трение верчения.

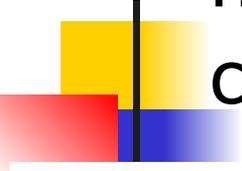
Радиус площадки соприкосновения:


$$r = 0,88 \sqrt[3]{\frac{P d}{E}}$$

где:  $P$  - сжимающая сила,  $E$  – модуль упругости материала,  $d$  – диаметр шарика.

Для призматических направляющих сопротивление движению каретки:

$$R = R_1 + R_2$$

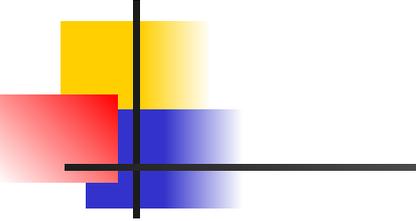


где:  $R_1$  - сопротивление, создаваемое трением качения шариков,  $R_2$  - сопротивление, создаваемое трением верчения шариков.

$$R = \frac{2k}{d \cos 45^\circ} (2Fz + Q) + \frac{M_B}{d \cos 45^\circ}$$

Здесь:  $d$  – диаметр шариков, м;  $E$  – модуль упругости, Па;  $F$  – сила натяга при сборке, Н, ( $F = 10 \dots 30$  Н);  $k$  – коэффициент трения качения, м;  $Q$  – нагрузка на каретку, Н;  $z$  – число шариков;  $M_B$  – момент трения верчения шариков, Н·м.

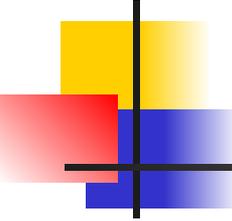
Момент трения верчения:


$$M_B = \frac{0,5 f Q}{\cos^2 45^\circ} \sqrt[3]{\frac{Q d}{4 E \cos 45^\circ}}$$

где:  $f$  - коэффициент трения скольжения.

Угол  $45^\circ$  соответствует половине угла профиля направляющих, который обычно составляет  $90^\circ$ .

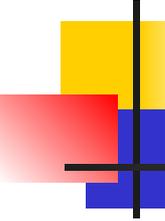
Значения  $k$  ориентировочно составляют:  
для пары из незакалённых сталей -  $5 \cdot 10^{-5}$  м,  
для пары из закалённых сталей -  $1 \cdot 10^{-5}$  м.



Для изготовления деталей НДП с требованием качения обычно применяют стали марок: 40Х, У8А, У10А, ШХ15, 38Х2МЮА, ХВГ и др.

Если направляющие работают при невысоких нагрузках, а также при пониженных требованиях к точности и износу, их можно не закаливать, а подвергнуть дорожки наклёпу.

Детали точных направляющих обычно подвергают закалке.

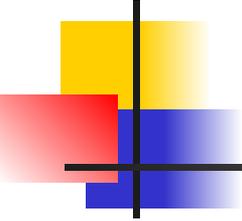


Поскольку при закалке деталей из углеродистых сталей имеют место существенные деформации, для точных НПД следует применять легированные инструментальные стали.

В НПД с трением качения обычно используют стандартные шарики для шарикоподшипников по ГОСТ 3722-81 из сталей ШХ.

Твердость их поверхности  $HRC$  62...65 при шероховатости  $R = 0,02...0,63$  мкм.

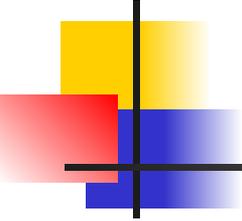




В направляющих данной конструкции все детали, кроме шариков и проволочных стержней, могут выполняться из алюминиевого сплава Д16Т.

Проволочные стержни изготавливают из подкалённой стали У8А или У10А (серебрянка).

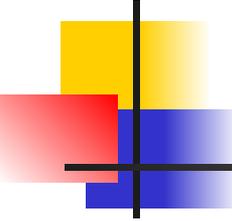
Проволочные стержни ставятся в пазы на консистентной смазке, а по бокам пазов крепятся пластинки-ограничители для предотвращения сдвига проволочных стержней из пазов.



---

Сепараторы в НПД на шариках выполняются чаще всего из листовой стали или латуни толщиной 0,5...0,8 мм.

Иногда их делают из пластмасс.



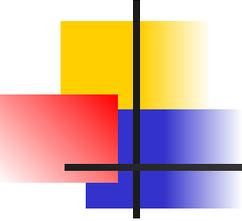
НПД открытого типа на шариках не требуют специальной регулировки, поскольку зазоры в них выбираются под действием замыкающей силы.

---

В НПД закрытого типа регулировка осуществляется подвижками одной или обеих направляющих за счёт зазоров в отверстиях под винты крепления.

Это делают, обычно, после приработки шариков и рабочих поверхностей.

После этого целесообразно направляющие планки заштифтовать.

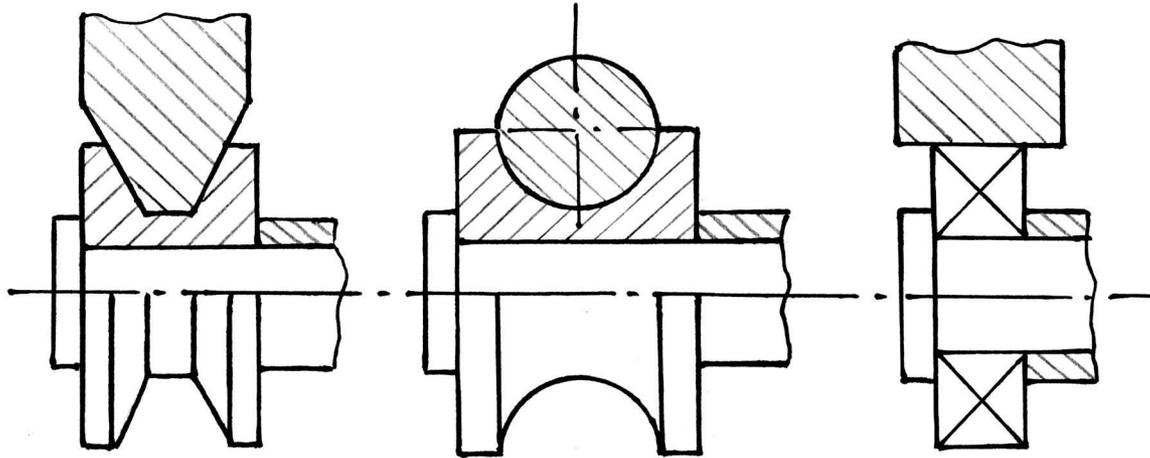


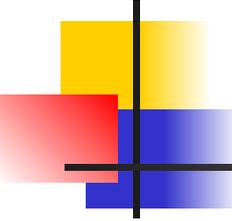
---

**НПД трения качения на роликах** применяют при больших силовых нагрузках или значительной длине перемещения.

По сравнению с шариковыми НПД они имеют существенно бóльшие габариты и более низкую точность.

В НПД данного вида ролики различной конфигурации, оси которых закреплены на каретке, катятся по направляющим с цилиндрическими или плоскими поверхностями.





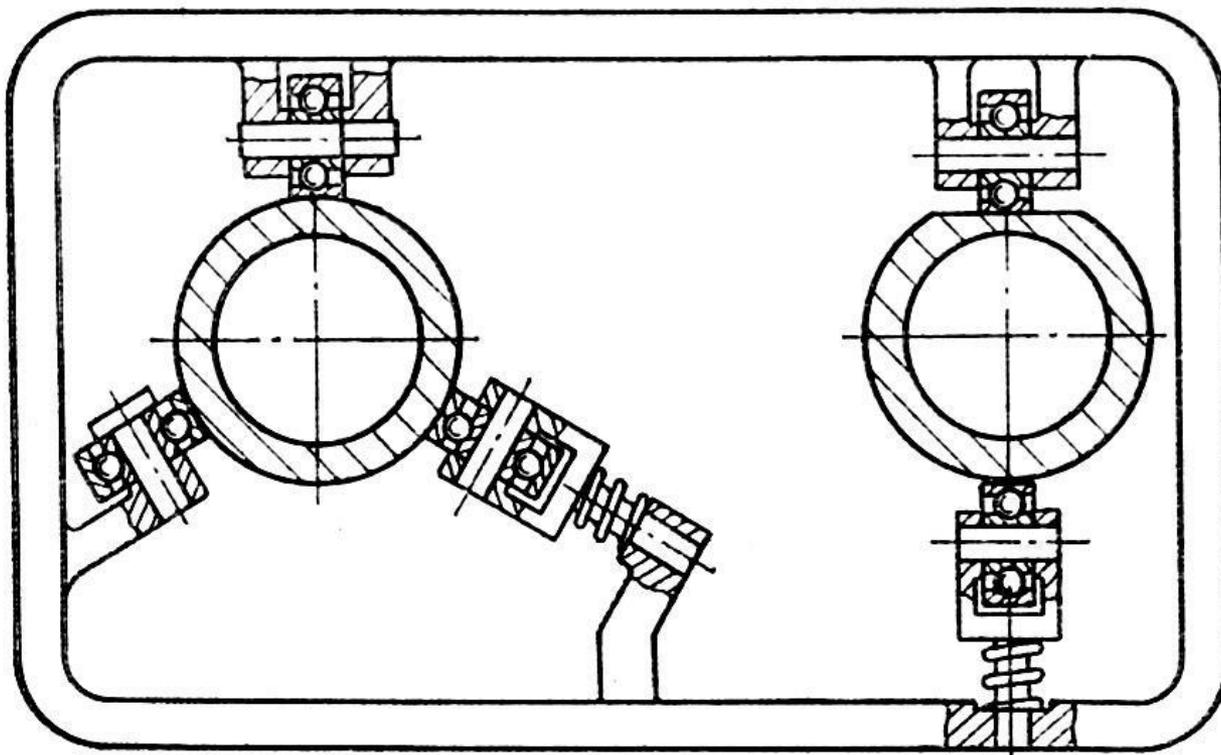
В НПД с роликами могут применяться как ролики оригинальной конструкции, так и стандартные шариковые и роликовые подшипники.

При отсутствии регулировки между роликами и направляющими необходимо оставлять зазор для компенсации биения роликов и неточности выполнения формы направляющей поверхности – 0,04...0,08 мм.

Для осуществления регулировки в ро-  
ликовых НПД используют либо: 1)

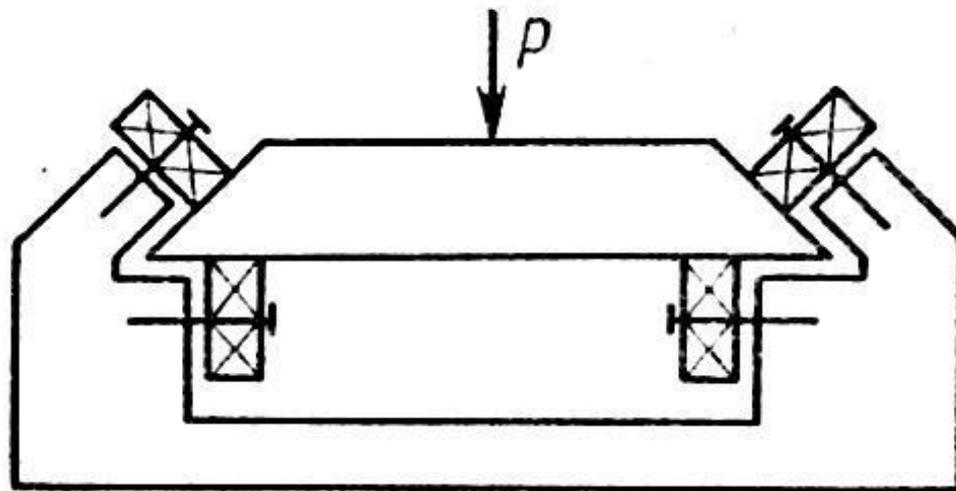
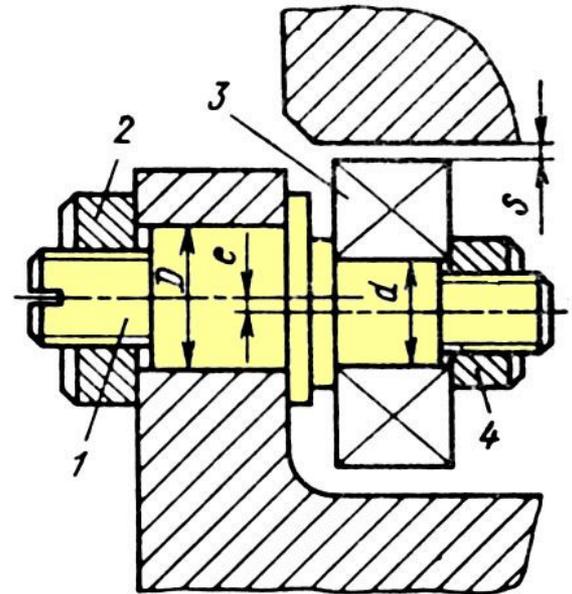
~~СИЛОВОЕ~~

замыкание при помощи пружины

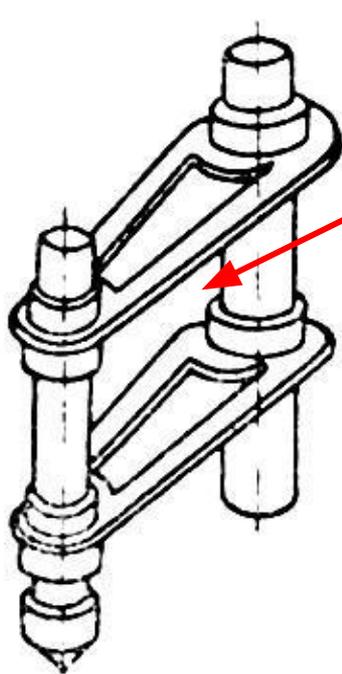


либо 2) эксцентрик  
оси и втулки.

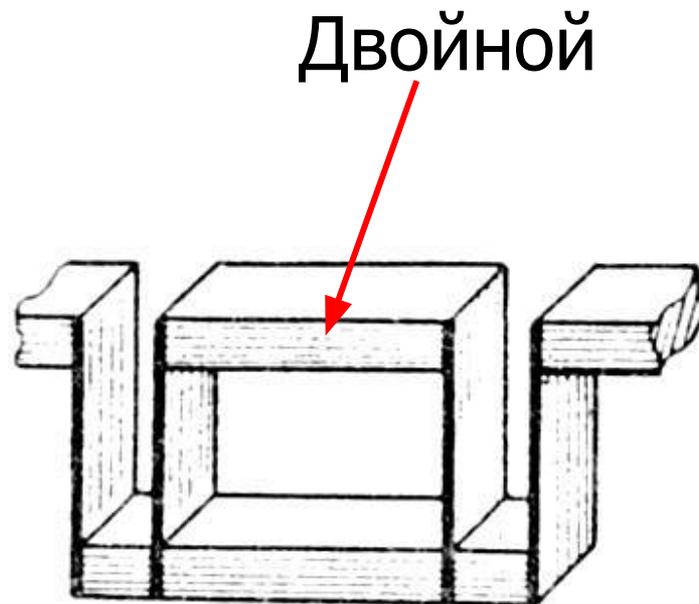
Здесь  $s$  – зазор,  
 $e$  – эксцентриситет.



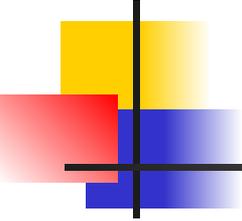
Направляющие с трением упругости  
основаны на малых деформациях упру-  
гих элементов, образующих паралле-  
лограмм:



Одинарный



Двойной



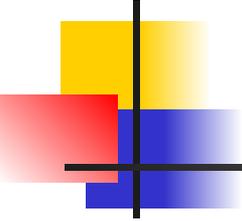
---

## Достоинства:

- почти полное отсутствие сил трения;
- высокая точность;
- неизнашиваемость;
- отсутствие смазки.

## Недостатки:

- малые перемещения;
- низкая виброустойчивость



---

НПД с трением упругости применяют при необходимости получения перемещений в одном направлении до 5 мм с погрешностями до 0,2...0,5 мкм., например, в микроскопах, делительных машинах и др.

