



Ижевский государственный технический  
университет  
имени М.Т. Калашникова  
Кафедра «Мехатронные системы»



# ДЕТАЛИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ, РОБОТОВ И ИХ КОНСТРУИРОВАНИЕ

## НАПРАВЛЯЮЩИЕ

# Основные понятия

---

**Направляющими** называют устройства, обеспечивающие заданное относительное движение элементов механизма.

В мехатронных модулях в основном применяют направляющие для поступательного движения.

# Требования к направляющим

---

- обеспечение плавности перемещения;
- незначительность силы трения;
- большой ресурс работы;
- износостойкость;
- способность к перемещению при резких перепадах температуры;

# Классификация

---

По виду трения:

- с трением скольжения;
- с трением качения.

По характеру воспринимаемой нагрузки:

- открытые (для замыкания силовой цепи используются дополнительные прижимные усилия);
- закрытые (замыкание происходит с применением конструктивных факторов)

# Классификация

---

По форме исполнения рабочих поверхностей:

- цилиндрические;
- призматические.
- Н-образные;
- П-образные;
- Т-образные.

# Направляющие с трением скольжения

---

Достоинства:

- малые габариты;
- простота устройства.

Недостаток:

- большие потери на трение

# Направляющие с трением скольжения

---

## Материалы

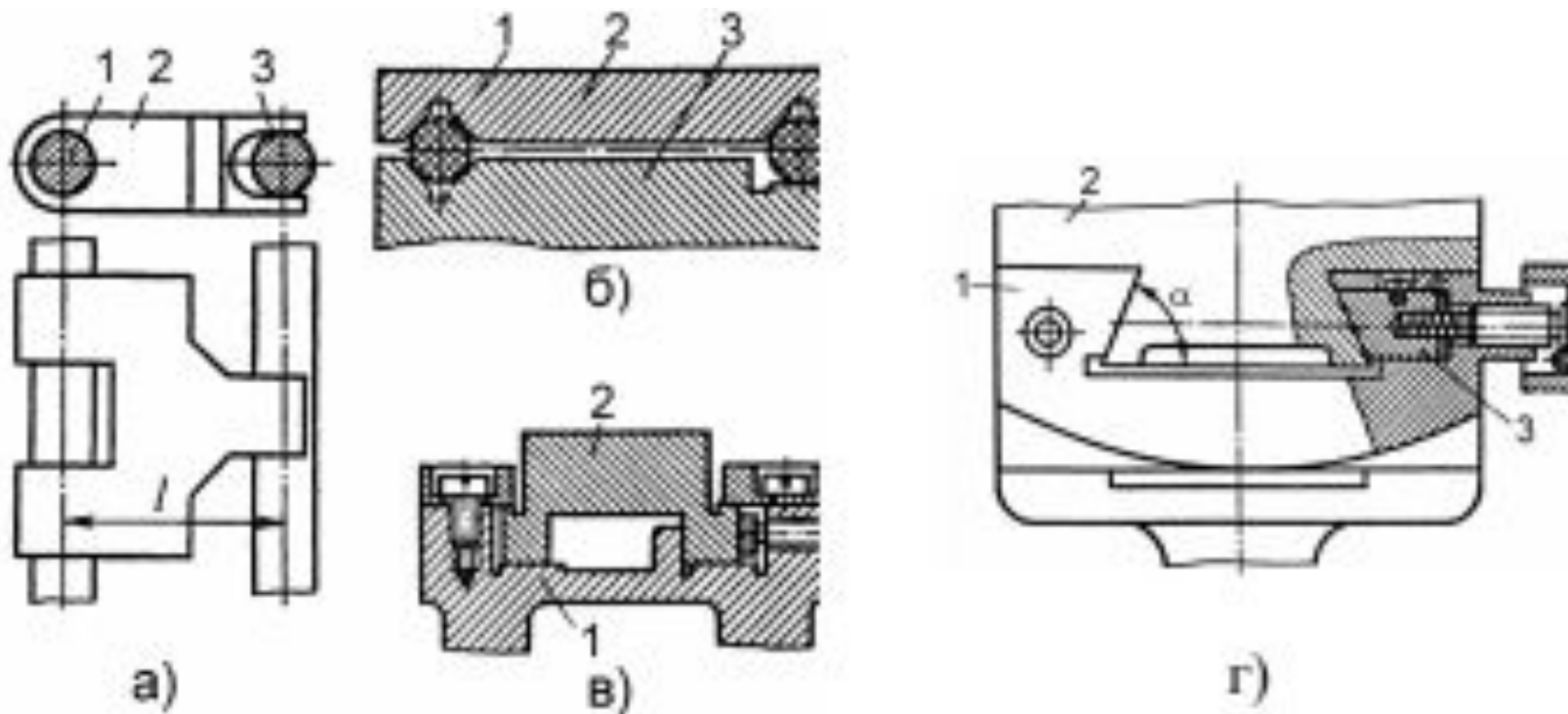
- сталь 40, 50, У8А;
- чугун марок СЧ12-28, СЧ15-32;
- бронза БрОС10-2, БрОФ10-1, БрОЦС;
- латунь.

## Сочетания материалов:

- сталь-бронза;
- сталь-латунь;
- сталь-чугун.

# Направляющие с трением скольжения

## Конструктивные схемы

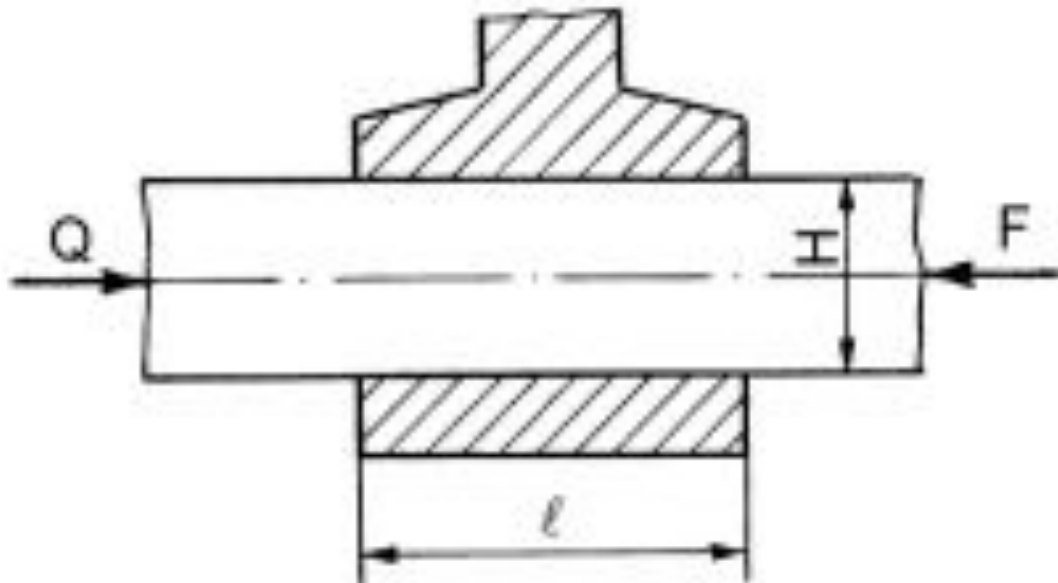


- 1 – направляющая
- 2 – каретка (ползун, призма)
- 3 – неподвижное основание



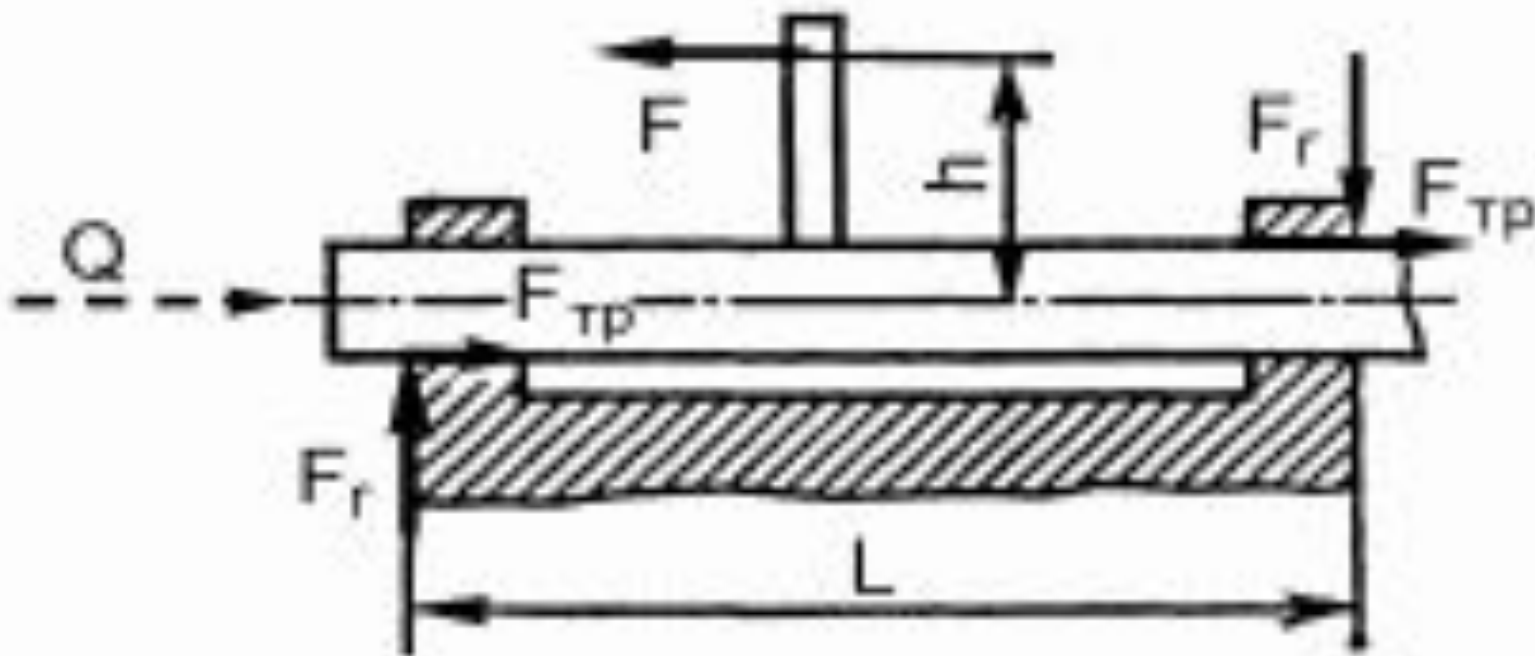
# Направляющие с трением скольжения

Предупреждение заклинивания



$$L = (2 \dots 3) H$$

# Направляющие с трением скольжения



a)

# Направляющие с трением скольжения

Уравнение равновесия ползуна имеет вид:

$$Fh = F_{\tau} \cdot L.$$

Откуда реакции в опорах равны:

$$F_{\tau} = \frac{Fh}{L}.$$

Полная сила трения равна:

$$F_{\text{T}} = 2F_{\text{ТР}} = 2F_{\tau} \cdot f = \frac{2Fhf}{L},$$

где  $F_{\text{ТР}}$  – сила трения в одной направляющей;  $f$  – коэффициент трения скольжения.

Заклинивания не будет при условии  $F_{\text{T}} \leq F$ , т.е.

$$\frac{hf}{L} \leq \frac{1}{2}.$$

# Направляющие с трением скольжения

Для обеспечения плавности хода, малого износа рабочих поверхностей и отсутствия заклинивания необходимо выполнять следующие рекомендации: для плоских направляющих прямоугольной формы:

$$\frac{hf}{L} < 0,25;$$

для направляющих типа «ласточкин хвост» при угле  $\alpha$  профиля:

$$\frac{hf}{L \cdot \sin \alpha} < 0,25;$$

для направляющих цилиндрической формы:

$$\frac{hf}{L} < 0,20 .$$

# Направляющие с трением скольжения

Движущую силу найдем из условия:

$$F \geq Q + F_T = Q + \frac{2Fhf}{L}.$$

Откуда

$$F \geq \frac{Q}{1 - \frac{2hf}{L}},$$

где  $Q$  – сила полезного сопротивления.

# Направляющие с трением скольжения

При приложении силы  $F$  под углом  $\alpha$  к направлению перемещения реактивные силы найдем из уравнений статики:

$$F_{r1} = \frac{F(L + \ell) \sin \alpha}{L};$$

$$F_{r2} = \frac{F \cdot \ell \cdot \sin \alpha}{L}.$$

Полная сила трения равна:

$$F_T = F_{TP1} + F_{TP2} = (F_{r1} + F_{r2})f.$$

Заклинивание будет отсутствовать при условии:

$$F_T \leq F \cdot \cos \alpha,$$

т.е.

$$\frac{F \cdot \sin \alpha}{L} f(L + 2\ell) \leq F \cdot \cos \alpha.$$

# Направляющие с трением скольжения

Откуда

$$\operatorname{tg}\alpha \leq \frac{L}{(L + 2\ell)f}.$$

Окончательно условие отсутствия силового заклинивания направляющих получим в виде:

$$\frac{\ell}{L} \leq \frac{1 - f \cdot \operatorname{tg}\alpha}{2f \cdot \operatorname{tg}\alpha}.$$



# Направляющие с трением скольжения

Движущую силу найдем из условия отсутствия заклинивания:

$$F \geq \frac{Q}{\cos \alpha - \frac{(L + 2\ell)f \cdot \sin \alpha}{L}}$$

Рабочие поверхности направляющих проверяют на ограничение давления:

$$P = \frac{F_r}{A} \leq [P],$$

где  $F_r$  – нормальная сила в точке соприкосновения трущихся поверхностей, Н;  $A$  – площадь соприкосновения, мм<sup>2</sup>;  $[P]$  – допускаемое давление. При скоростях относительного перемещения до 1 м/с  $[P]=3...4$  МПа.



# Направляющие с трением качения

---

Классификация по форме тел качения:

-шариковые;

-роликовые.

# Направляющие с трением качения

---

Достоинства:

- малые потери на трение
- долговечность
- малая чувствительность к перепадам температуры

# Направляющие с трением качения

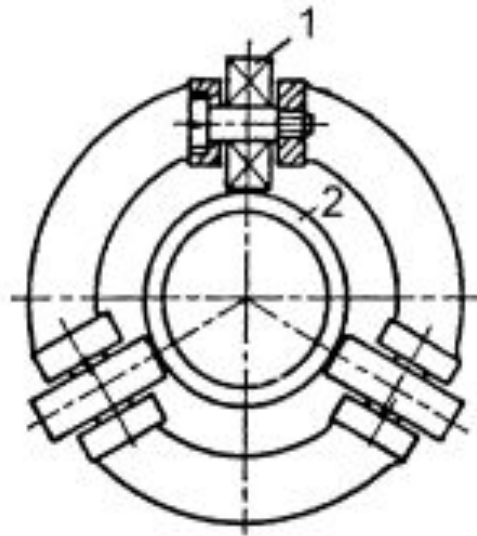
---

## Материалы

- закаленная сталь марок ШХ15, 40Х, У8А, У10А, ХВГ, 38ХМЮА.

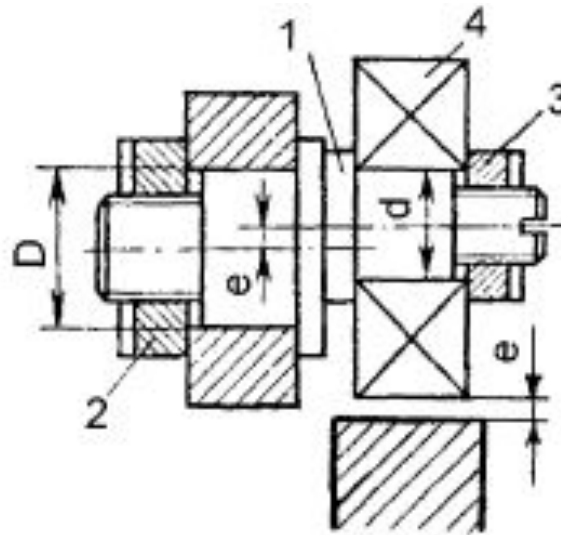
# Направляющие с трением качения

## Конструктивные схемы



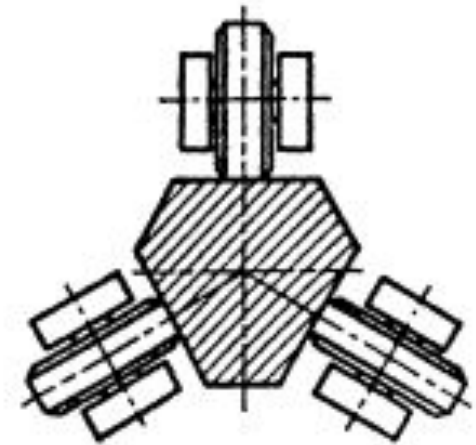
а)

1 – ролик  
2 – цилиндрическая  
направляющая



б)

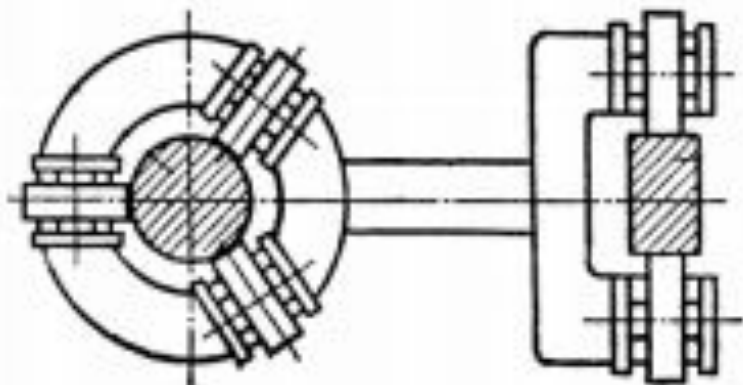
1 – ось  
2,3 – гайки  
4 – ролик



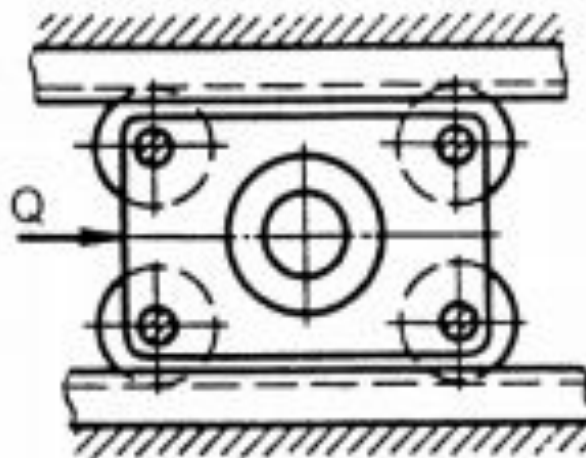
в)

# Направляющие с трением качения

Конструктивные схемы направляющих закрытого типа



a)



б)

# Шариковые ЛМ – направляющие



Тип HSR-TA



Тип SR-T



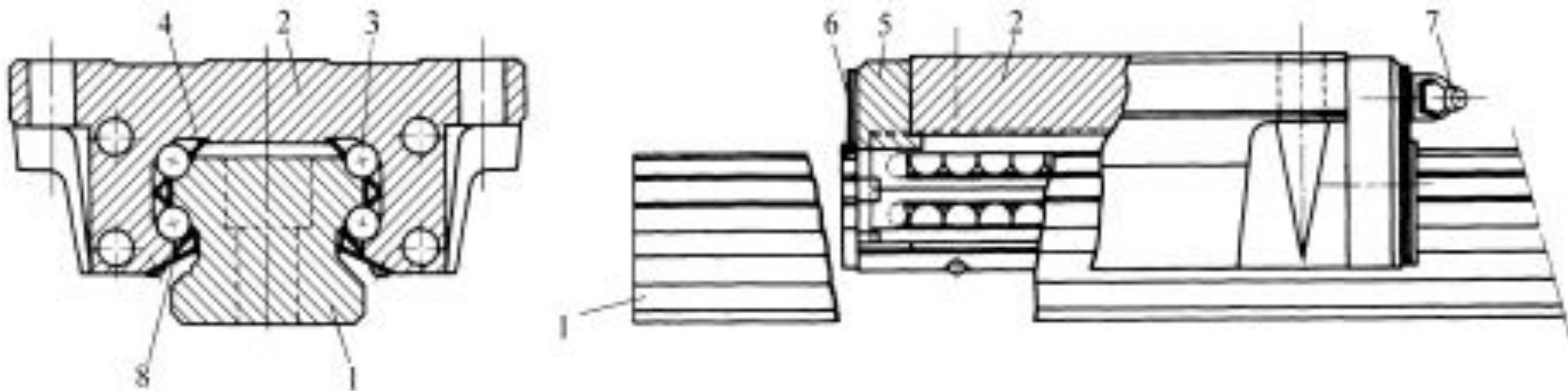
Тип HR



Тип RSR

# Шариковые LM – направляющие

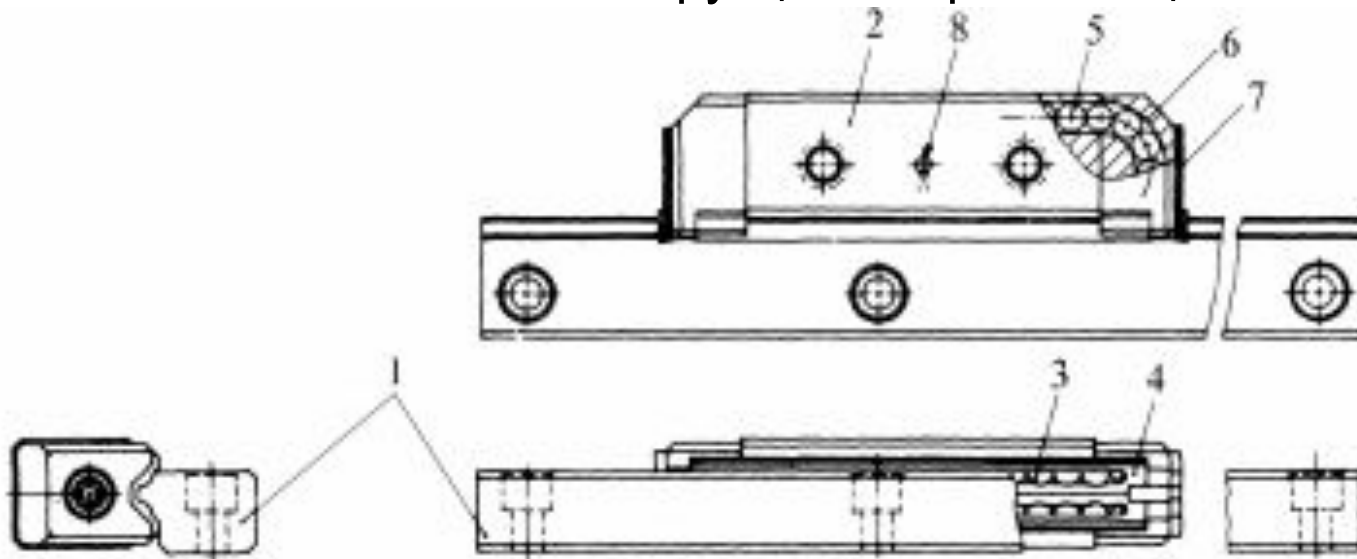
## Конструкция направляющей HSR



- 1 – LM-рельс
- 2 - LM-блока
- 3 - шарики
- 4 – сепаратор
- 5 - концевая плита
- 6 – уплотнение
- 7 – ниппель
- 8 - боковой уплотнитель

# Шариковые ЛМ – направляющие

Конструкция направляющей HR



1 – LM-рельс

2 - LM-блока

3 - шарики

4 – сепаратор

5 - возвратный канал

6 – концевая плита

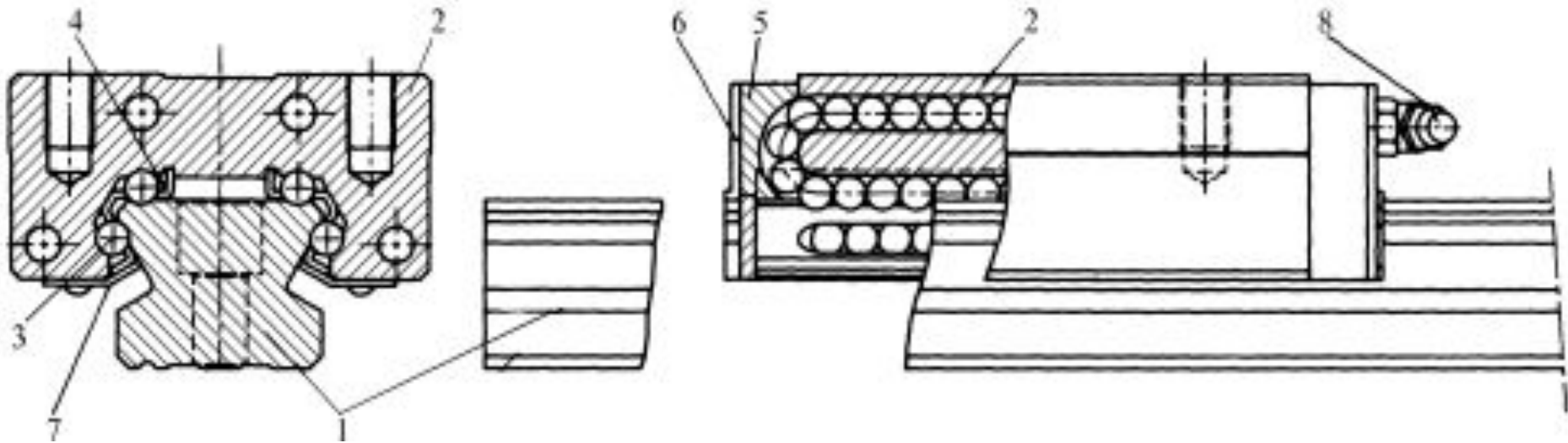
7 - уплотнение

8 - боковой уплотнитель



# Шариковые LM – направляющие

Конструкция направляющей SR



1 – LM-рельс

2 - LM-блока

3 - шарики

4 – сепаратор

5 - концевая плита

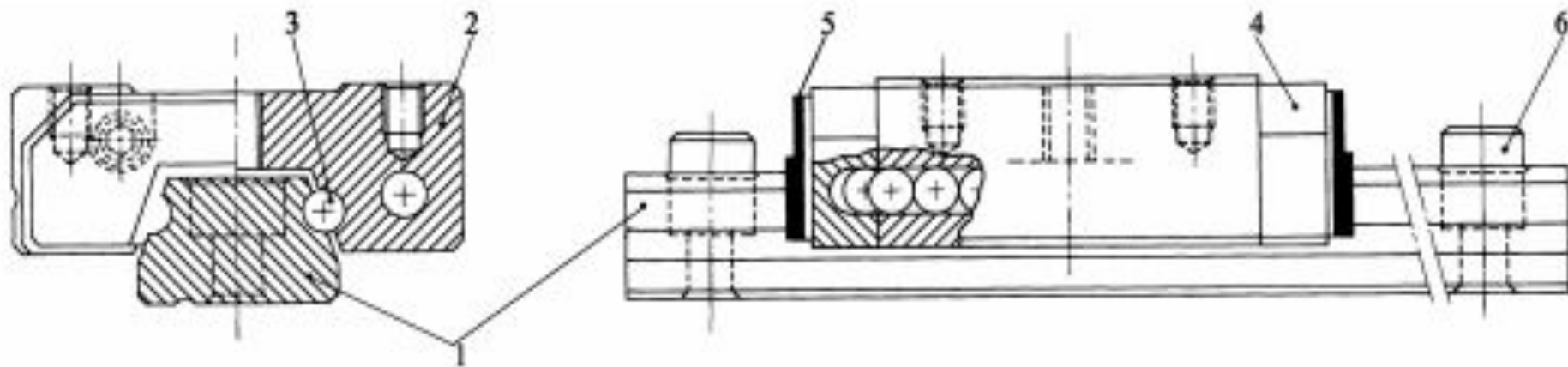
6 – концевое уплотнение

7 - боковой уплотнитель

8 - ниппель

# Шариковые LM – направляющие

Конструкция направляющей RSR



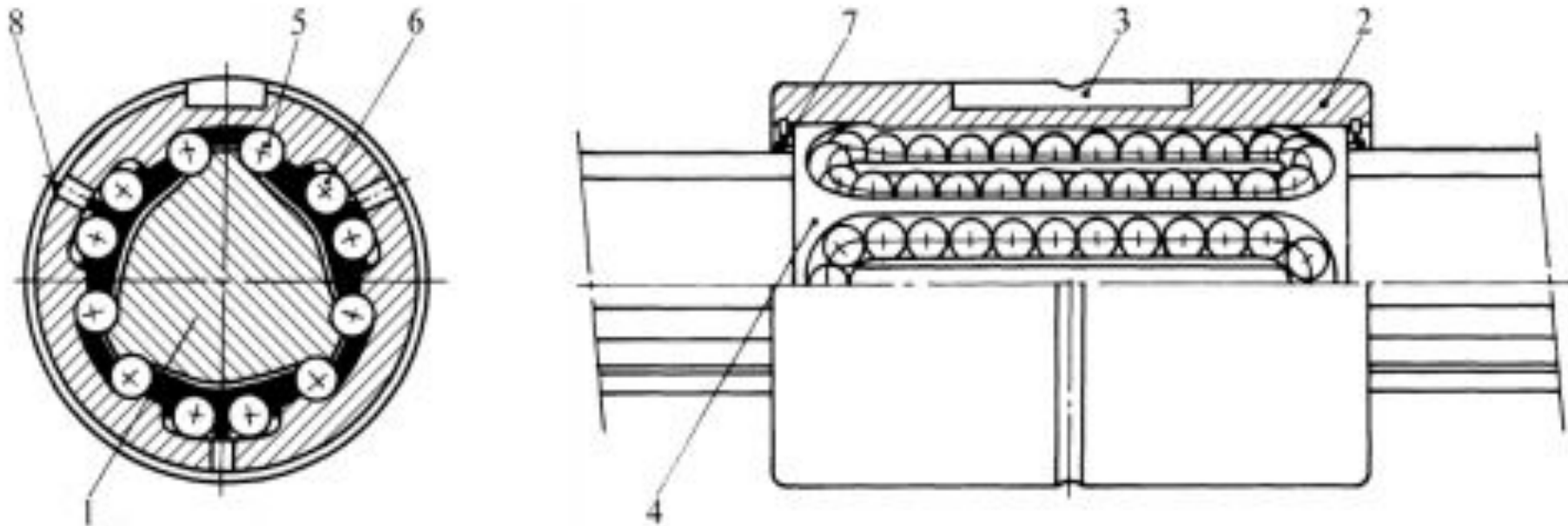
- 1 – LM-рельс
- 2 - LM-блока
- 3 - шарики
- 4 – концевое уплотнение
- 5 – резиновый уплотнитель
- 6 - стопор

# Шарикосплайновые направляющие



# Шарикосплайновые направляющие

## Конструкция направляющей типа LBS (LBF)



1 – сплайнвал

2 – сплайнгайка

3 - шпоночная канавка в направляющей типа LBS (фланец в направляющей типа LBF)

4 -сепаратор

5 – шарики, воспринимающие нагрузку

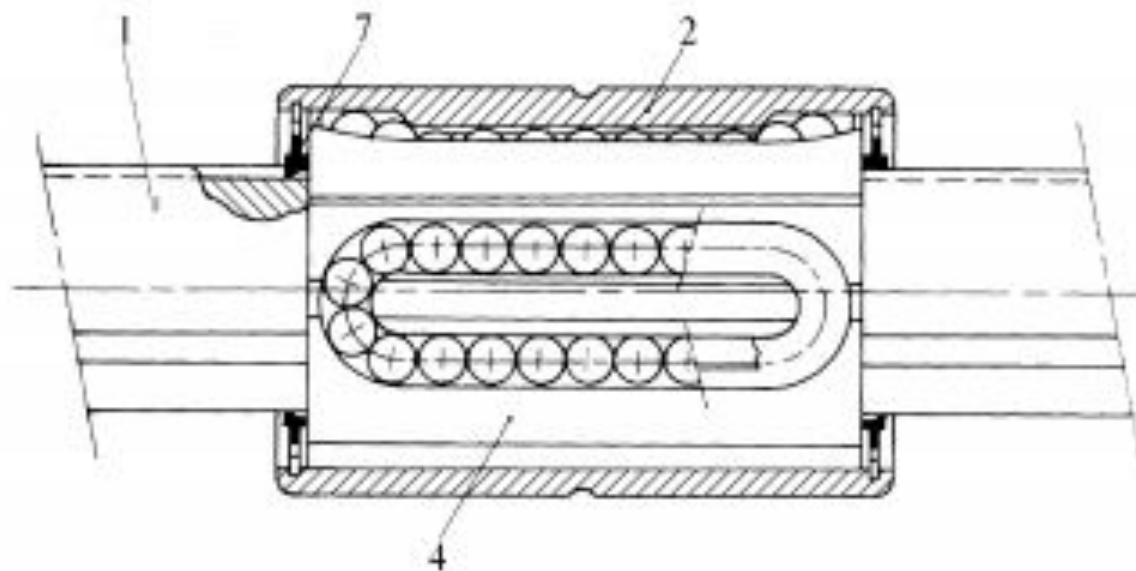
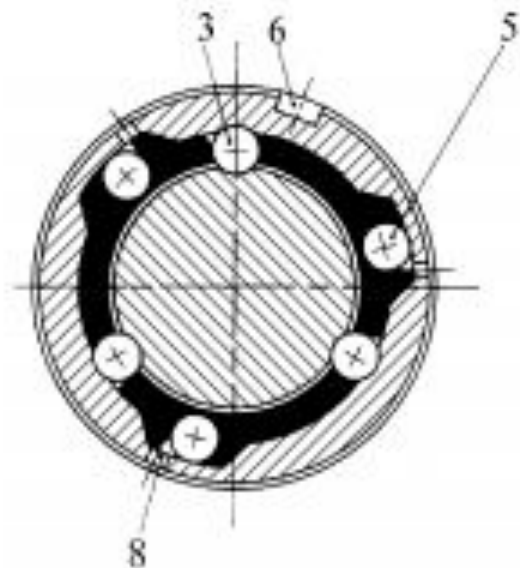
6 – шарики возврата

7 - резиновый уплотнитель

8 – отверстие для смазки

# Шарикосплайновые направляющие

Конструкция направляющей типа LMT



1 – сплайнвал

2 – сплайнгайка

3 - шарики, воспринимающие нагрузку

4 -сепаратор

5 – шарики возврата

6 – шпоночная канавка

7 - резиновый уплотнитель

8 – отверстие для смазки

# Расчет LM – направляющих на долговечность

При действии внешних нагрузок:

$$L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C \cdot C}{f_W \cdot P_C} \right)^3 \cdot 50,$$

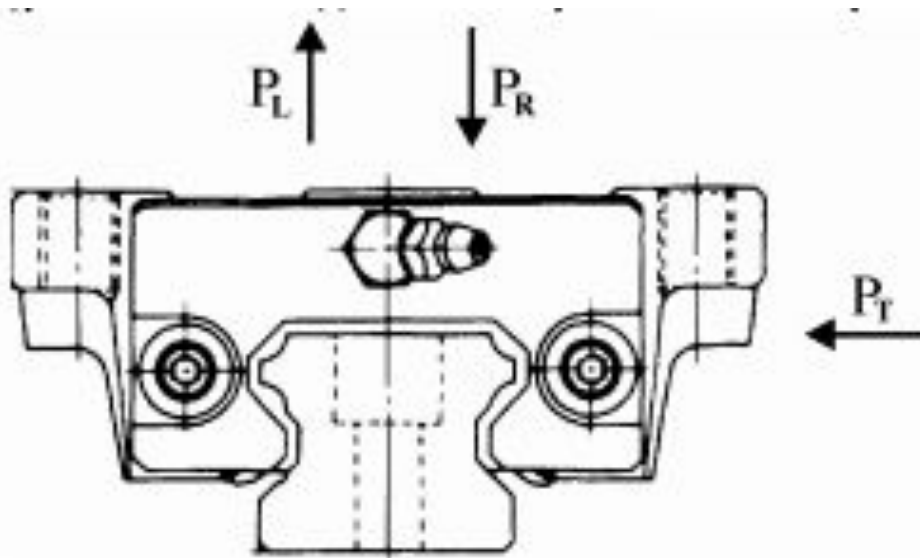
где L – долговечность работы направляющей, км;

C – основная номинальная динамическая нагрузка, Н;

P<sub>c</sub> – расчетная нагрузка, Н.

# Расчет LM – направляющих на долговечность

При действии внешних нагрузок со всех направлений:



Определяют результирующую (эквивалентную) нагрузку  $P_E$ , Н, и подставляют ее вместо  $P_c$  для LM-направляющих типа HSR:

$$\bar{P}_E = |P_R - P_L| + P_T,$$

где  $P_R$  – радиальная нагрузка, Н;  $P_L$  – противорадиальная нагрузка, Н;

$P_T$  – горизонтальная нагрузка (не осевая), Н;

# Расчет LM – направляющих на долговечность

для LM-направляющих типа SR:

$$P_E = XP_L + YP_T,$$

где X и Y – коэффициенты эквивалентности.

Для LM-направляющих типа RSR результирующую нагрузку

$P_E$  определяют аналогично LM-направляющим типа HSR;



# Расчет LM – направляющих на долговечность

$f_H$  – коэффициент твердости;

$f_T$  – температурный коэффициент;

$f_C$  – коэффициент контакта;

$f_W$  – коэффициент нагрузки.

Долговечность LM-направляющих, ч:

$$L_h = \frac{10^3 \cdot L}{2 \cdot l_s \cdot n_1 \cdot 60},$$

где  $l_s$  – длина хода, м;  $n_1$  – частота возвратно-поступательных перемещений (циклов) в минуту, ц/мин.

# Расчет шарикосплайновых направляющих на долговечность

При действии только крутящего момента

$$L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C}{f_W} \cdot \frac{C_T}{T_C} \right)^3 \cdot 50$$

где  $L$  – долговечность работы направляющей, км;

$C_T$  – основной номинальный динамический момент, Нм;

$T_C$  – расчетный нагрузочный крутящий момент, Нм.

# Расчет шарикосплайновых направляющих на долговечность

При действии радиальной нагрузки

$$L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{P_C} \right)^3 \cdot 50,$$

где  $C$  – основная номинальная динамическая нагрузка, Н;

$P_C$  – расчетная радиальная нагрузка, Н.

# Расчет шарикосплайновых направляющих на долговечность

При одновременном действии крутящего момента и радиальной силы определяют эквивалентную радиальную нагрузку, Н

$$P_E = P_C + \frac{4T_C \cdot 10^3}{3d_p \cdot \cos \alpha},$$

В этом случае долговечность, км:

$$L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{P_E} \right)^3 \cdot 50$$

где  $d_p$  – диаметр окружности по центрам шариков, мм;

$\alpha=45^\circ$  – угол контакта шариков с поверхностями винта и гайки,  
град

# Расчет шарикосплайновых направляющих на долговечность

Долговечность работы шарикосплайновых направляющих, ч

$$L_h = \frac{10^3 \cdot L}{2 \cdot l_s \cdot n_1 \cdot 60},$$

где  $l_s$  – длина хода, м;  $n_1$  – частота возвратно-поступательных перемещений (циклов) в минуту, ц/мин.

# Расчет направляющих на статическую грузоподъемность

Проводится по формуле:

$$\frac{C_0}{P_0} \geq f_s,$$

где  $C_0$  – основная номинальная статическая нагрузка, Н;

$P_0$  – статическая нагрузка, Н;

$f_s$  – статический коэффициент безопасности