

## 7 Кулачковые механизмы

### 7.1 Общие положения

Механизм, содержащий **высшую** кинематическую пару, называется **кулачковым**.

**Кулачок** - звено, имеющее рабочую поверхность **переменной кривизны**,

**Выходное звено** в кулачковом механизме называется **толкателем**.

**Основное достоинство кулачковых механизмов** - возможность получения сложного, наперёд заданного закона движения выходного звена.

**Недостаток** кулачковых механизмов – большое удельное давление между звеньями высшей пары (кулачком и толкателем). Это приводит к быстрому износу соприкасающихся поверхностей.

## 7.2 Виды кулачковых механизмов

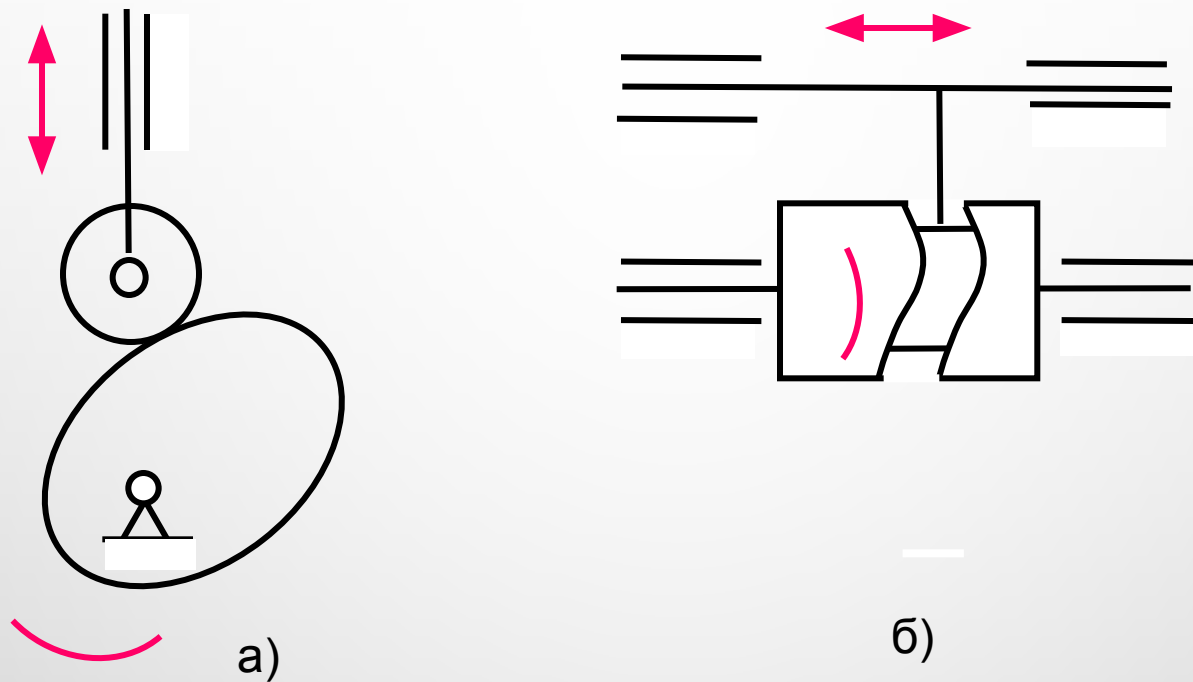
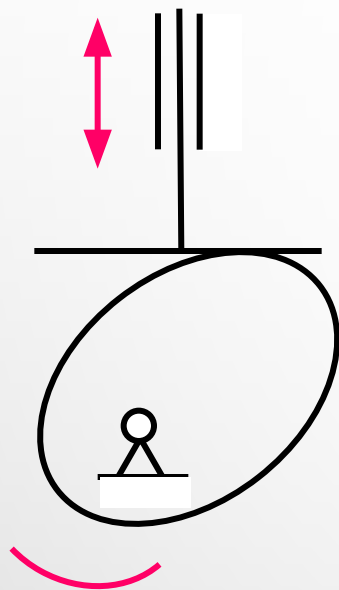


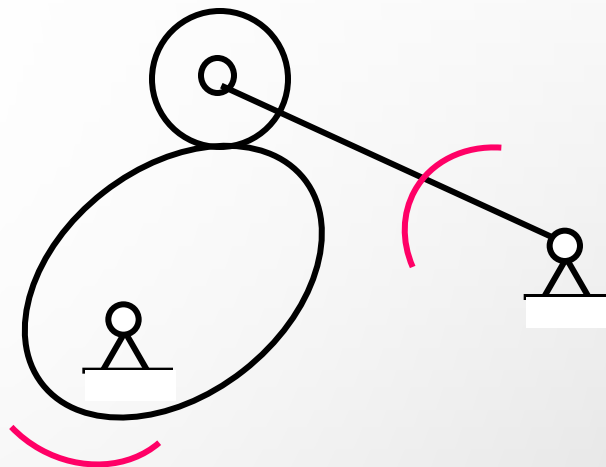
Рис. 7.1 – Плоский и пространственный кулачковые механизмы

а) – **плоский**.

б) – **пространственный**.



а)

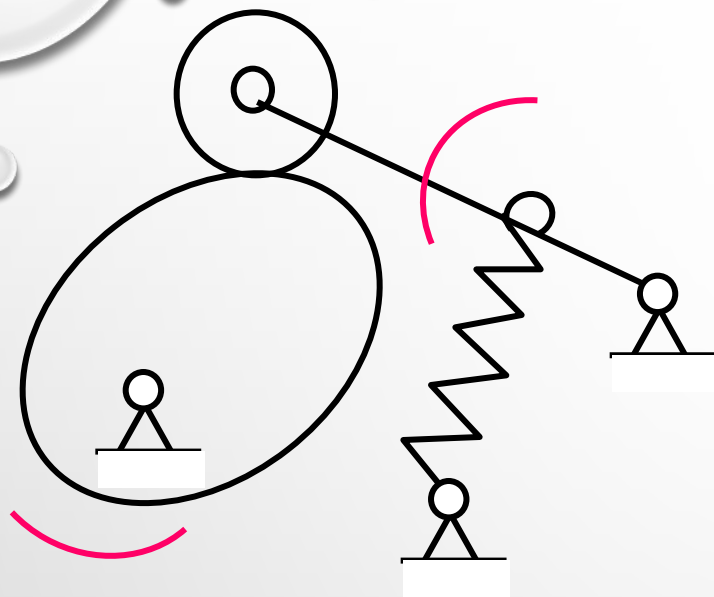


б)

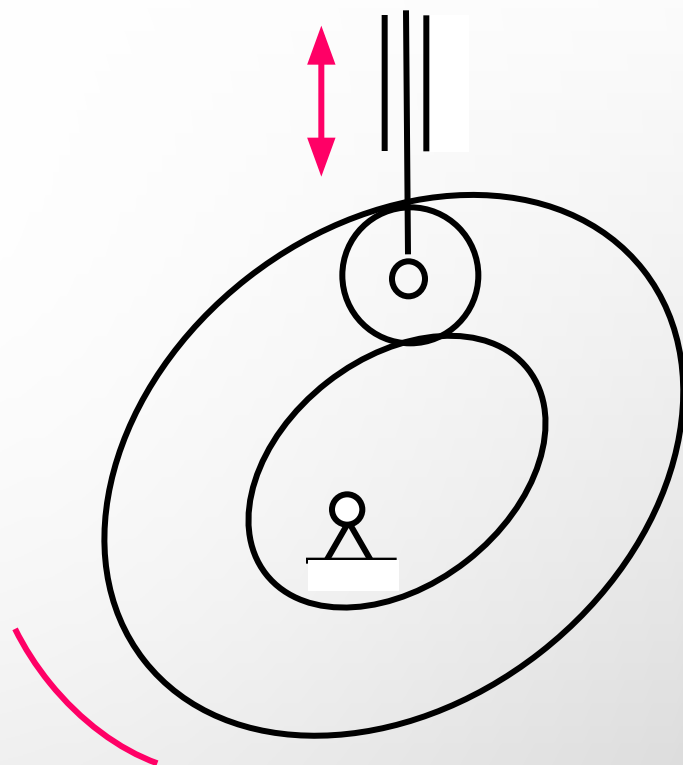
Рис. 7.2 – Кулачковые механизмы с различными видами движения толкателя

а) – с поступательным движением толкателя,

б) - с вращательным движением толкателя.



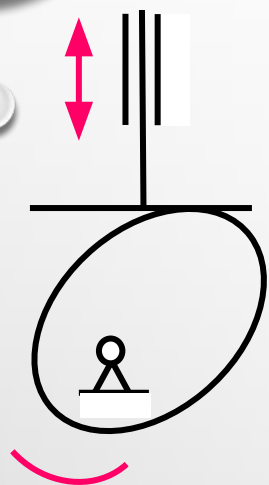
а)



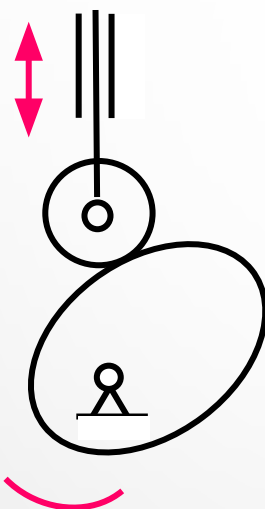
б)

Рис. 7.3 – Кулачковые механизмы с разными видами замыкания толкателя и кулачка

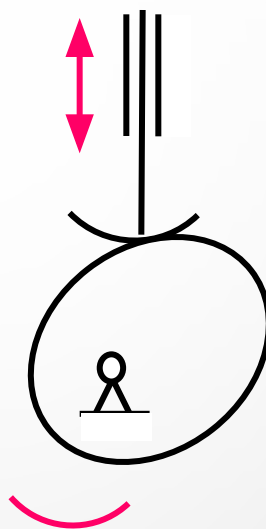
- а) – **с силовым замыканием,**
- б) – **с геометрическим замыканием.**



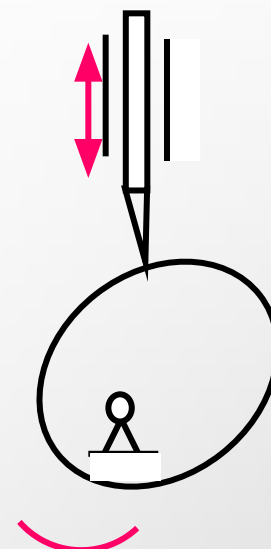
а)



б)



в)



г)

Рис. 7.4 – Кулачковые механизмы с разными по виду толкателями

- а) – **с плоским** толкателем,
- б) – **с роликовым** толкателем,
- в) - **с грибовидным** толкателем,
- г) – **с острым** толкателем.

## 7.3 Фазовые углы кулачкового механизма

При вращении кулачка толкатель совершает следующие фазы движения:

- 1 – **подъём,**
- 2 – **верхний выстой,**
- 3 – **опускание,**
- 4 – **нижний выстой.**

Углы поворота кулачка, соответствующие этим фазам, называются:

- $\varphi_{\text{П}}$  – угол подъёма,
- $\varphi_{\text{ВВ}}$  – угол верхнего выстоя,
- $\varphi_{\text{О}}$  – угол опускания,
- $\varphi_{\text{НВ}}$  – угол нижнего выстоя.

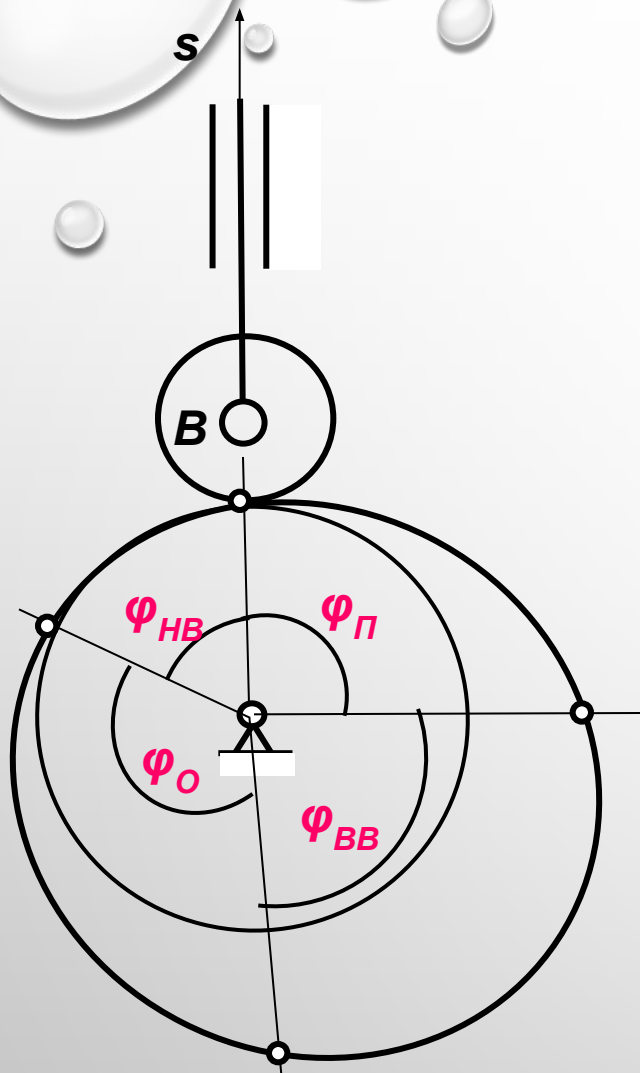


Рис. 7.5 – Фазовые углы кулачкового механизма

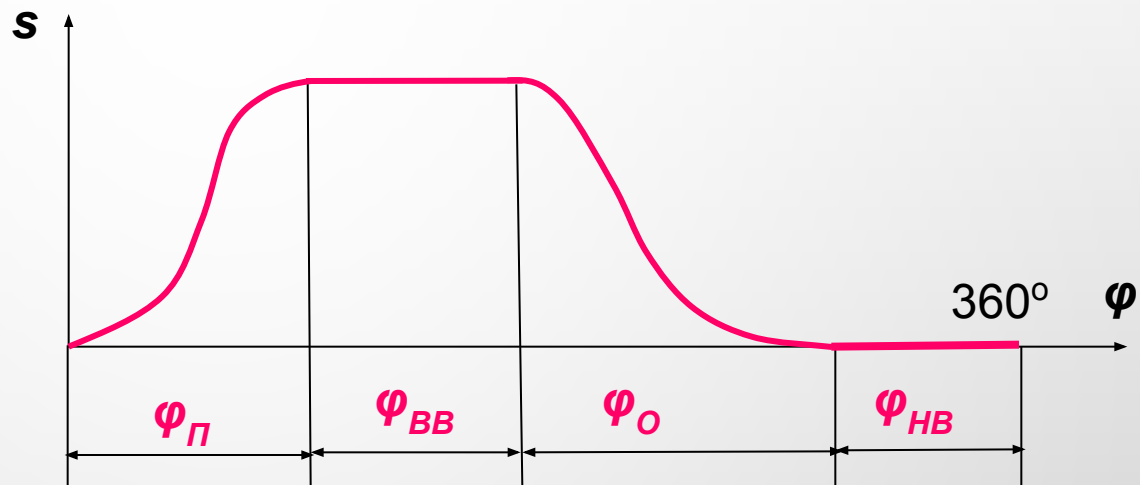


Рис. 7.6 – График перемещения толкателя в зависимости от угла поворота кулачка

$$\varphi_{\text{П}} + \varphi_{\text{ВВ}} + \varphi_{\text{О}} + \varphi_{\text{НВ}} = 360^{\circ} \quad (7.1)$$

## 7.4 Законы движения толкателя кулачкового механизма

Закон движения толкателя определяется технологическим процессом, в котором участвует кулачковый механизм.

Законы движения толкателя:

$s(\varphi)$  – перемещение,

$v(\varphi)$  – скорость,

$a(\varphi)$  – ускорение,

где  $\varphi = \varphi(t)$  – угол поворота кулачка.

При чём: **скорость толкателя:** 
$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = s' \omega, \quad (7.2)$$

где  $s' = \frac{ds}{d\varphi}$  – **аналог скорости** толкателя.

**Ускорение толкателя:** 
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{d\varphi^2} \omega^2 = s'' \omega^2, \quad (7.3)$$

где  $s'' = \frac{d^2s}{d\varphi^2}$  – **аналог ускорения** толкателя.



Различают три группы законов движения толкателя:

- 1 – движение толкателя с **жёстким** ударом,
- 2 - движение толкателя с **мягким** ударом,
- 3 - движение толкателя **без удара**.

Наличие удара можно установить по графику ускорений толкателя на участках с резким изменением ускорения.

Исходные данные для построения диаграмм движения толкателя кулачкового механизма:

**$h$**  – ход толкателя,

**$\phi_{\text{л}}$** ,  **$\phi_{\text{ВВ}}$** ,  **$\phi_{\text{О}}$**  - фазовые углы,

**$s(\phi)$**  - вид диаграммы аналога ускорений толкателя.

Диаграмма аналога ускорений  $s''(\phi)$  толкателя строится после определения максимальных значений  $a_1$  и  $a_2$  аналогов ускорений на фазах подъёма и опускания:

$$a_1 = \varepsilon_1 \frac{h}{\varphi_{\Pi}^2}, \quad a_2 = \varepsilon_2 \frac{h}{\varphi_{\text{O}}^2}, \quad (7.4)$$

где  $h$  – ход толкателя,

$\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – безразмерные коэффициенты,

$\varphi_{\Pi}$  и  $\varphi_{\text{O}}$  – фазовые углы.

Диаграмму аналога скорости  $s'(\phi)$  толкателя можно построить методом графического интегрирования диаграммы аналога ускорений  $s''(\phi)$ .

Для самоконтроля построений необходимо предварительно найти максимальные значения величин  $b_1$  и  $b_2$  аналогов скорости толкателя на фазах подъёма и опускания:

$$b_1 = \delta_1 \frac{h}{\varphi_{\Pi}}, \quad b_2 = \delta_2 \frac{h}{\varphi_{\text{O}}}, \quad (7.5)$$

где  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – безразмерные коэффициенты.

Диаграмму перемещения толкателя  $s(\phi)$  можно построить методом графического интегрирования диаграммы аналога скорости  $s'(\phi)$ .

# Пример построения диаграмм движения толкателя кулачкового механизма

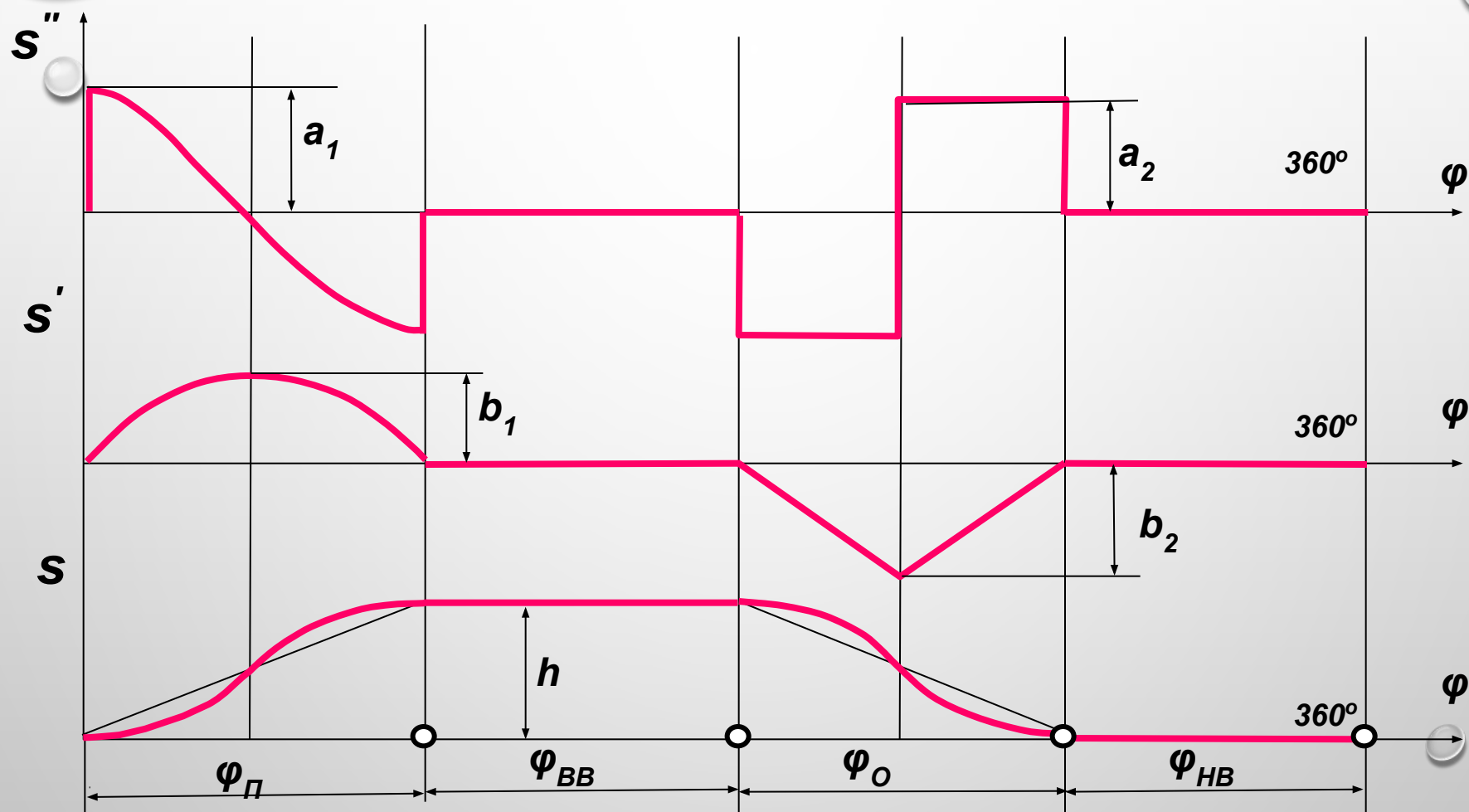
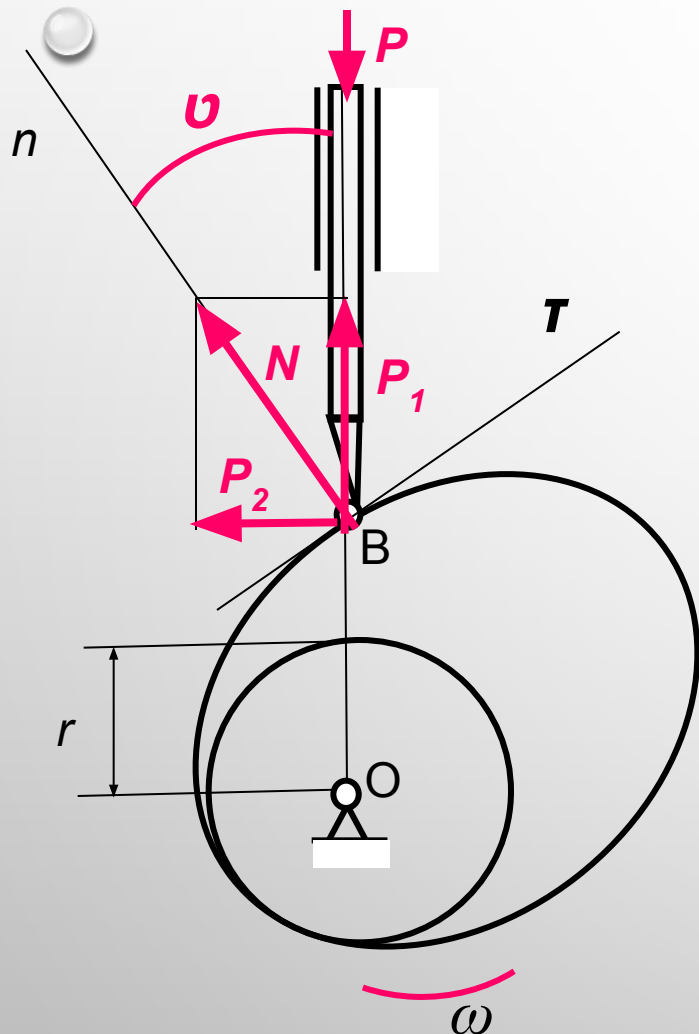


Рис. 7.7 – Диаграммы движения толкателя кулачкового механизма

## 7.5 Угол давления ( $\nu$ – $\nu$ ю) в кулачковом механизме

Угол давления – угол между вектором силы, приложенной к звену, и вектором скорости точки приложения этой силы.



Обозначим:

- $r$  – радиус вписанной окружности,
- $t$  – касательная к профилю кулачка,
- $n$  – нормаль к профилю кулачка,
- $\nu$  – угол давления,
- $P$  – внешняя сила, действующая на толкатель,
- $N$  – реакция между толкателем и кулачком,
- $P_1$  – сила, поднимающая толкатель,
- $P_2$  – сила, равная реакции между толкателем и стойкой,

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{P_2}{P_1} \quad (7.6)$$

Из уравнения (7.6) следует: чем  $\angle \nu$ , тем  $\angle P_2$  и  $\angle P_1$ , значит в динамическом отношении кулачковый механизм будет работать лучше.

**Вывод:** увеличение угла давления приводит к росту реакций в кинематических парах; к увеличению потерь энергии на преодоление сил трения; ускоряет износ деталей.

Рис. 7.8 – Кулачковый механизм

При увеличении угла давления  $\psi$  до определённого предела может возникнуть самоторможение, т.е. заклинивание механизма при его работе.

**Поэтому:**

при проектировании кулачкового механизма необходимо учитывать соотношение

$$\psi_{max} \leq \psi_{доп} , \quad (7.7)$$

где  $\psi_{max}$  - максимальный угол давления,

$\psi_{доп}$  - допустимый угол давления.

Для поступательно движущихся толкателей  $\psi_{доп} = 15...30^\circ$  .

Для вращающихся толкателей  $\psi_{доп} = 20...45^\circ$  .

**Примечание:**

при увеличении габаритных размеров кулачка, которые определяются радиусом  $r$  , величина максимального угла давления  $\psi_{max}$  уменьшается, что благоприятно сказывается на работе кулачкового механизма.

## 7.6 Построение профиля кулачка

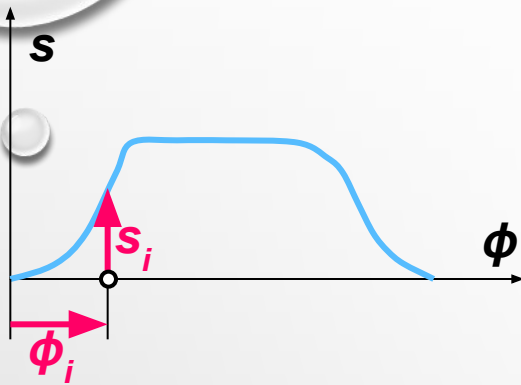
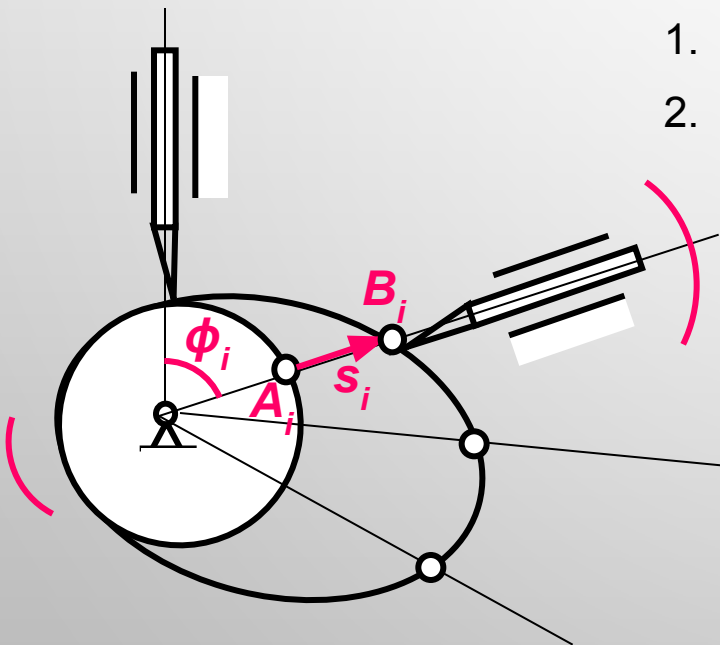


Рис. 7.9 – График перемещения толкателя в зависимости от угла поворота кулачка  $s(\varphi)$

Для построения профиля кулачка применяется **метод обращения движения**, при котором кулачок принимается условно неподвижным, и рассматривается движение толкателя относительно кулачка.

В этом движении толкатель совершает **два движения**:

1. Вращается вместе со стойкой вокруг кулачка;
2. Двигается относительно стойки.



Построив ряд положений толкателя, соответствующих углам  $\varphi_i$  и перемещениям  $s_i$ , получим ряд точек  $B_i$  профиля кулачка. Соединив кривой линией построенные точки  $B_i$ , получим профиль кулачка.

Рис. 7.10 – Построение профиля кулачка