

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

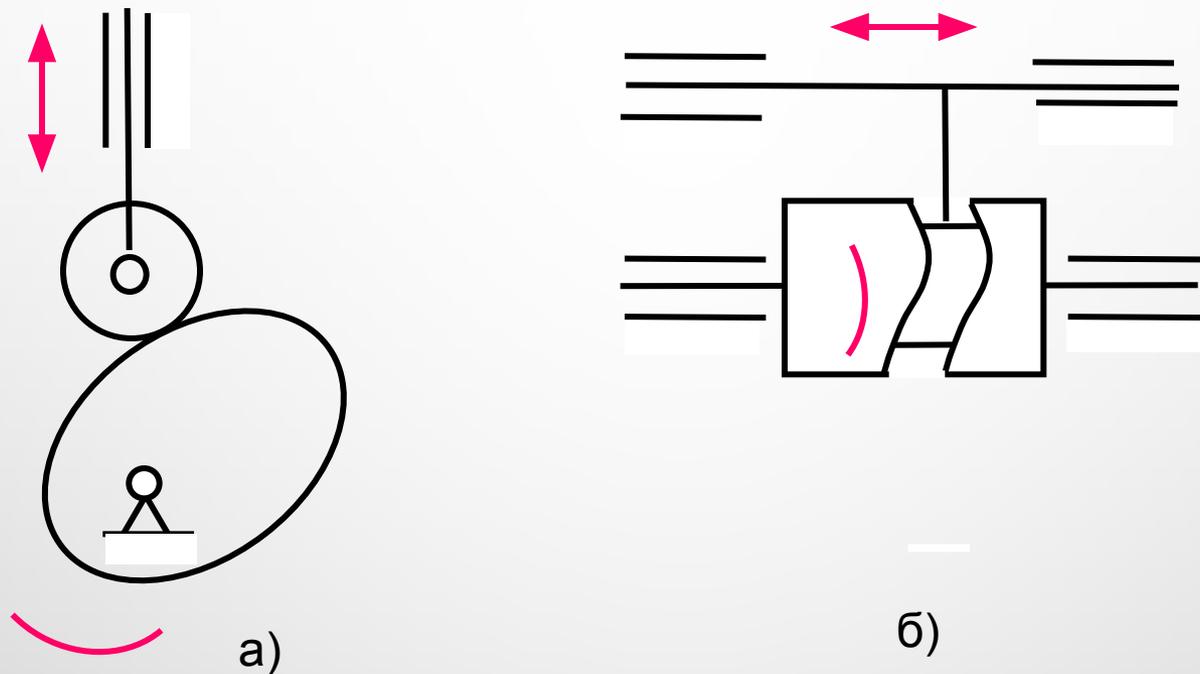
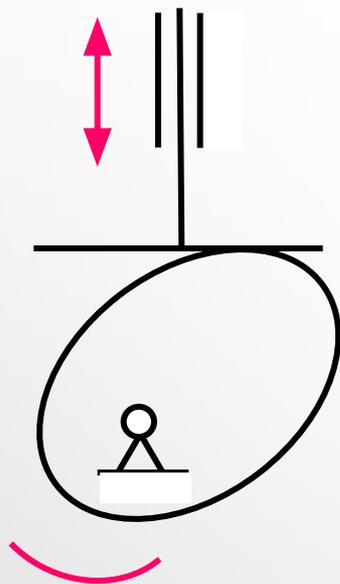


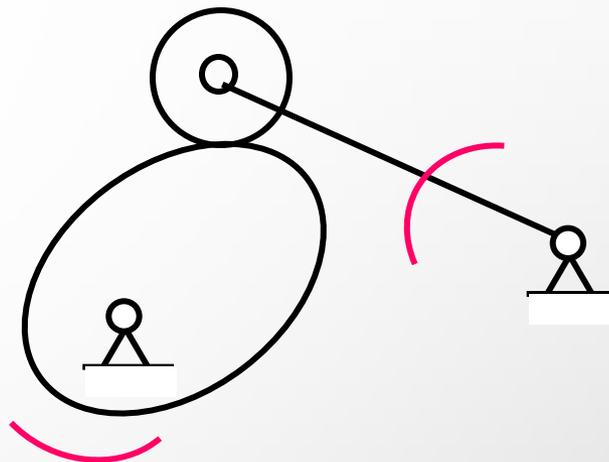
Рис. 7.1 – Плоский и пространственный кулачковые механизмы

а) – **плоский**.

б) – **пространственный**.



а)

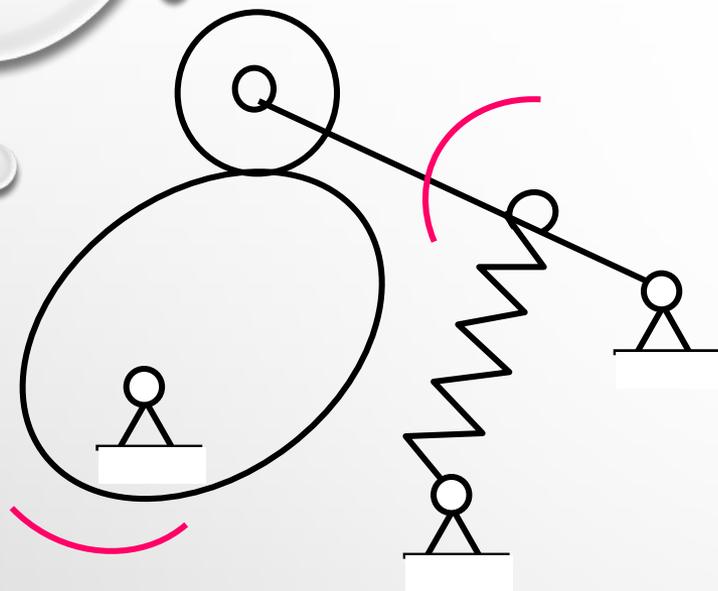


б)

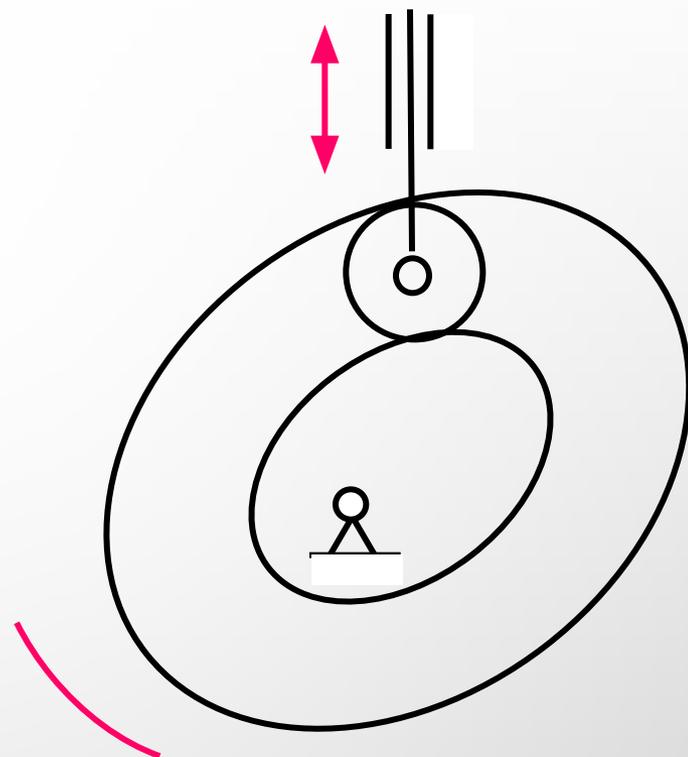
Рис. 7.2 – Кулачковые механизмы с различными видами движения толкателя

а) – с поступательным движением толкателя,

б) - с вращательным движением толкателя.



а)

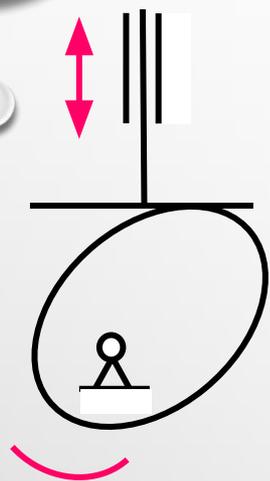


б)

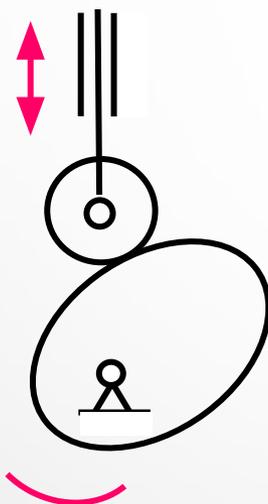
Рис. 7.3 – Кулачковые механизмы с разными видами замыкания толкателя и кулачка

а) – **с силовым замыканием,**

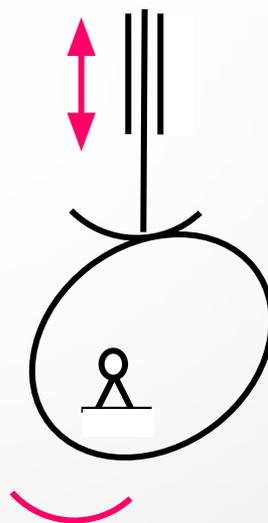
б) – **с геометрическим замыканием.**



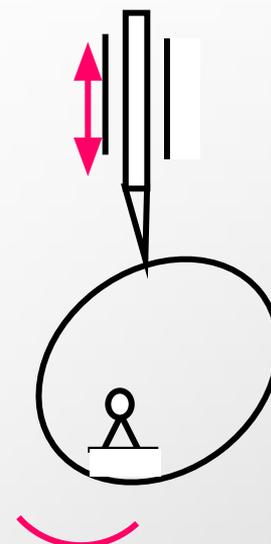
а)



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.

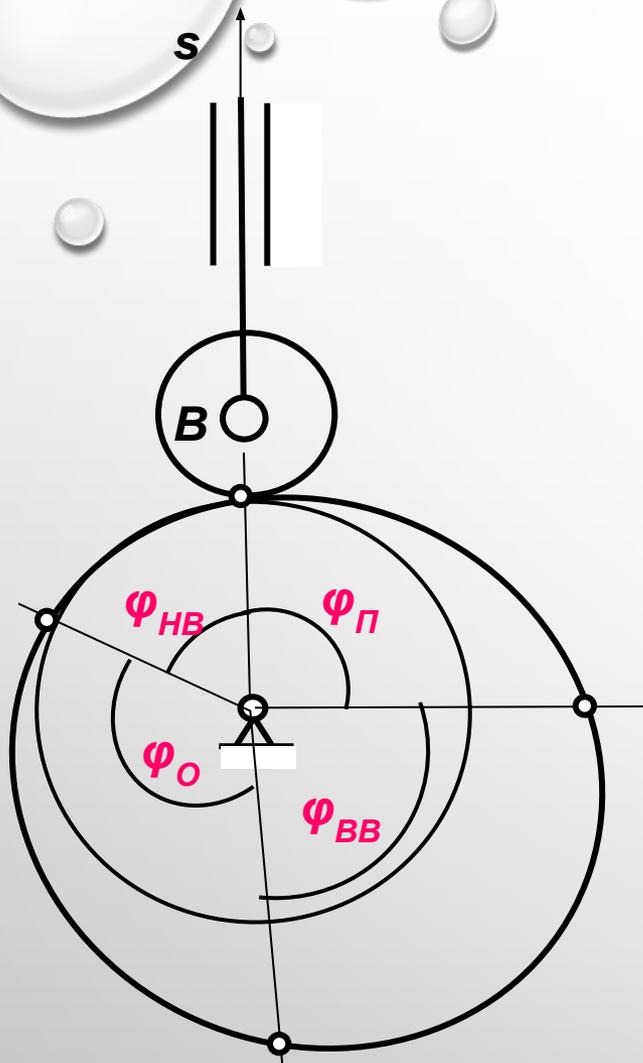


Рис. 7.5 – Фазовые углы кулачкового механизма

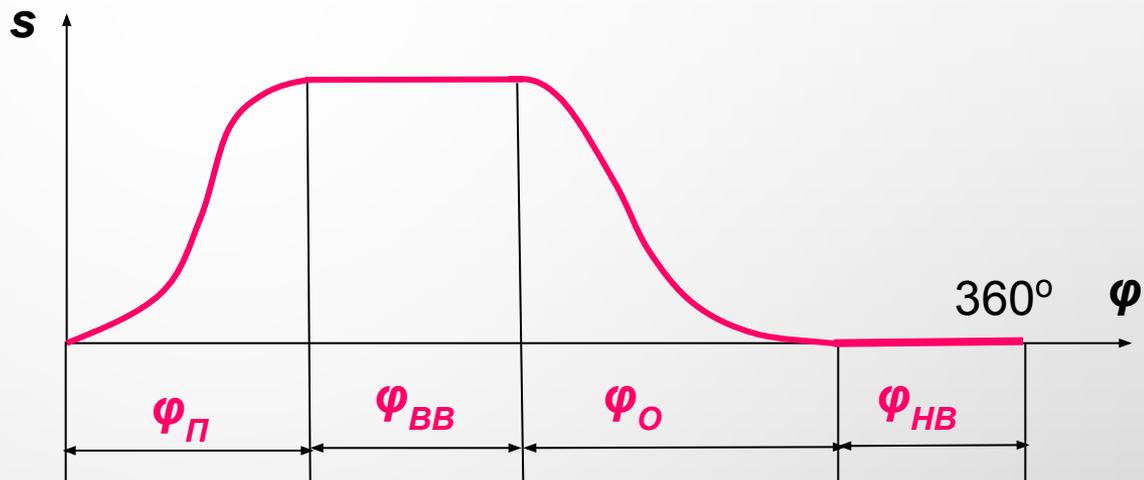


Рис. 7.6 – График перемещения толкателя в зависимости от угла поворота кулачка

$$\varphi_{П} + \varphi_{ВВ} + \varphi_{O} + \varphi_{HB} = 360^\circ \quad (7.1)$$

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,

ε_1 и ε_2 – безразмерные коэффициенты,

φ_{Π} и φ_{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 δ_1 и δ_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

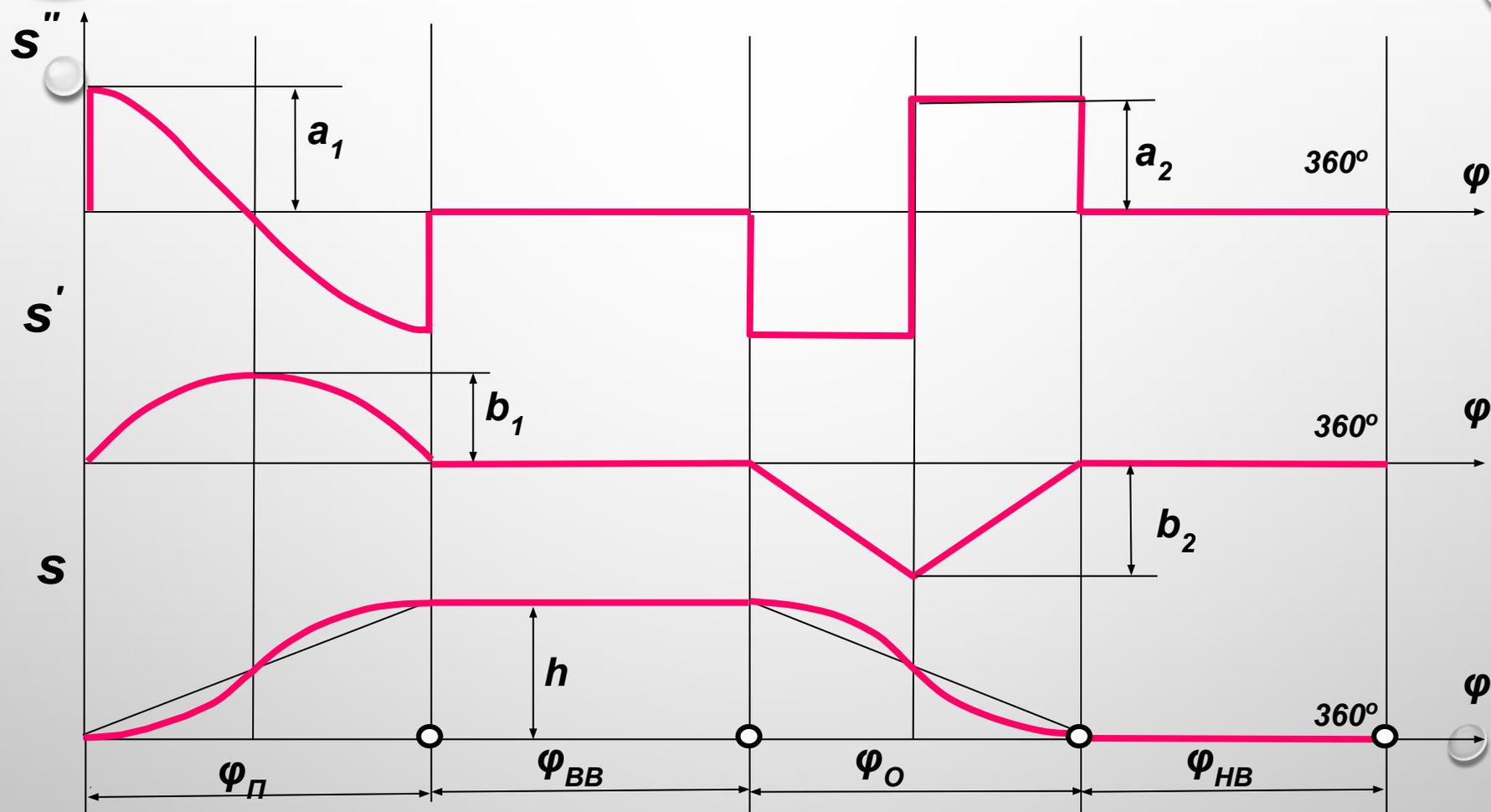
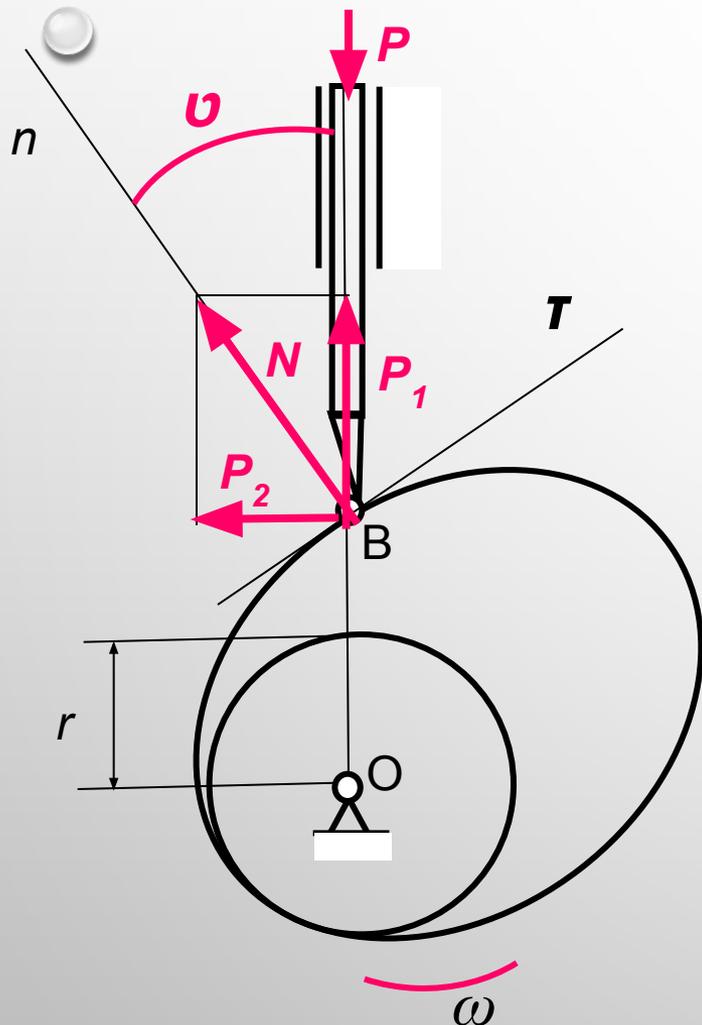


Рис. 7.7 – Диаграммы движения толкателя кулачкового механизма

7.5 Угол давления (ν – **ню**) 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,
- ν – 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 ψ 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 ψ_{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 ψ_{max} уменьшается, что благоприятно сказывается на работе кулачкового механизма.

7.6 Построение профиля кулачка

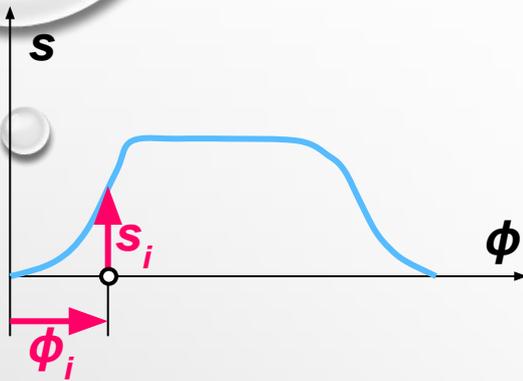
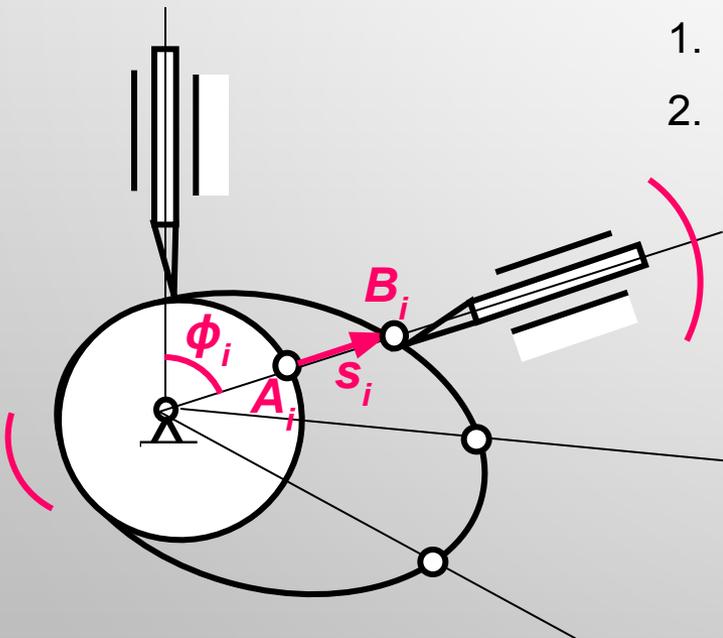


Рис. 7.9 – График перемещения толкателя в зависимости от угла поворота кулачка $s(\varphi)$

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 φ_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