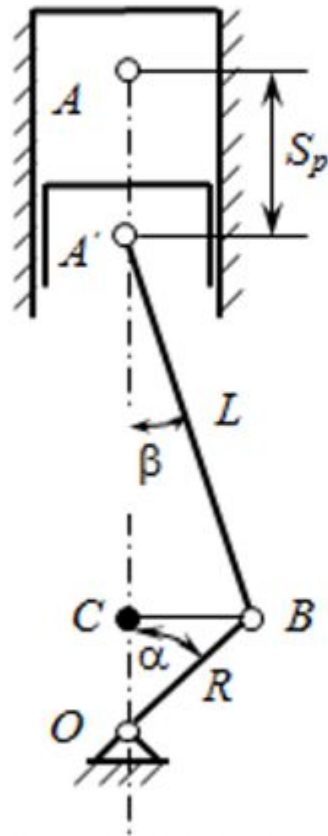


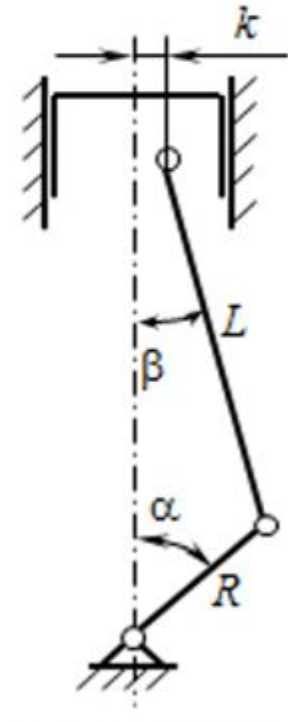
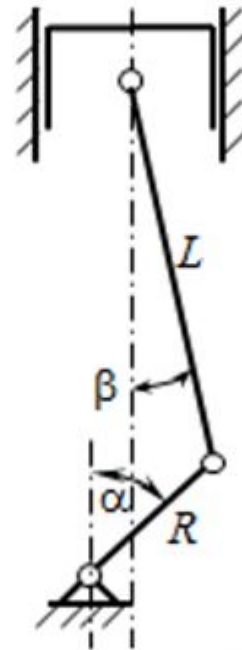
Литература

1. Луканин В. Н. Двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов в 3 т. Т.2: Динамика и конструирование / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина, М. Г. Шатрова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2009. – 400 с.
2. Яманин А.И. Динамика поршневых двигателей: Учебное пособие / Яманин А.И., Жаров А.В. – М.: Машиностроение, 2003. – 464 с.
3. Чистяков В. К. Динамика поршневых и комбинированных двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие для машиностроительных вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
4. Дьяченко Н.Х. Конструирование и расчет двигателей внутреннего сгорания: Учебник для вузов / Н.Х. Дьяченко, Б.А. Харитонов, В.М. Петров и др.; Под ред. Дьяченко Н.Х. – Л.: Машиностроение, 1979. – 392 с.

Кинематика кривошипно-шатунного механизма

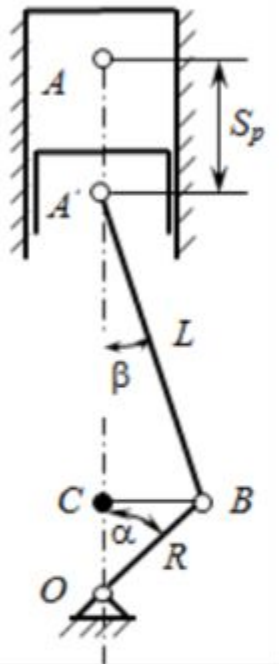


Аксиальный КШМ



Дезаксиальные КШМ

Зависимость перемещения поршня от угла поворота коленчатого вала



$$Sp = OA - OA' \text{ или } Sp = (R+L) - (R\cos\alpha + L\cos\beta).$$

Эту формулу можно преобразовать к следующему виду:

$$Sp = R \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos\alpha + \frac{1}{\lambda} \cos\beta \right) \right]$$

Зависимость величины угла β от угла α имеет вид

$$BC = L \cdot \sin\beta = R \cdot \sin\alpha$$

или

$$\sin\beta = \lambda \cdot \sin\alpha$$

Из известных тригонометрических соотношений имеем:

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \sin^2\beta} = \left(1 - \lambda^2 \sin^2\alpha \right)^{1/2}$$

Применим для разложения правой части выражения бином Ньютона

$$(1+x)^m = 1 + mx + \frac{m(m-1)}{2!}x^2 + \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}x^3 + \dots$$

Получаем следующее выражение

$$\cos\beta = (1 - \lambda^2 \sin^2\alpha)^{1/2} = 1 - \frac{\lambda^2}{2}\sin^2\alpha - \frac{\lambda^4}{8}\sin^4\alpha \dots$$

$$\cos\beta \approx 1 - \frac{\lambda^2}{2}\sin^2\alpha \approx \left| \sin^2\alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2} \right| \approx 1 - \frac{\lambda^2}{4}(1 - \cos 2\alpha).$$

Подставив выражение для $\cos\beta$ в формулу перемещения, получим:

$$Sp \approx R \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4} \right) - \left(\cos\alpha + \frac{\lambda}{4} \cdot \cos 2\alpha \right) \right]$$

В безразмерном виде формула имеет вид

$$\frac{Sp}{R} \approx \left(1 + \frac{\lambda}{4} - \cos\alpha - \frac{\lambda}{4} \cos 2\alpha \right)$$

дезаксиального КШМ.

$$R \sin \alpha = L \sin \beta + k$$

откуда

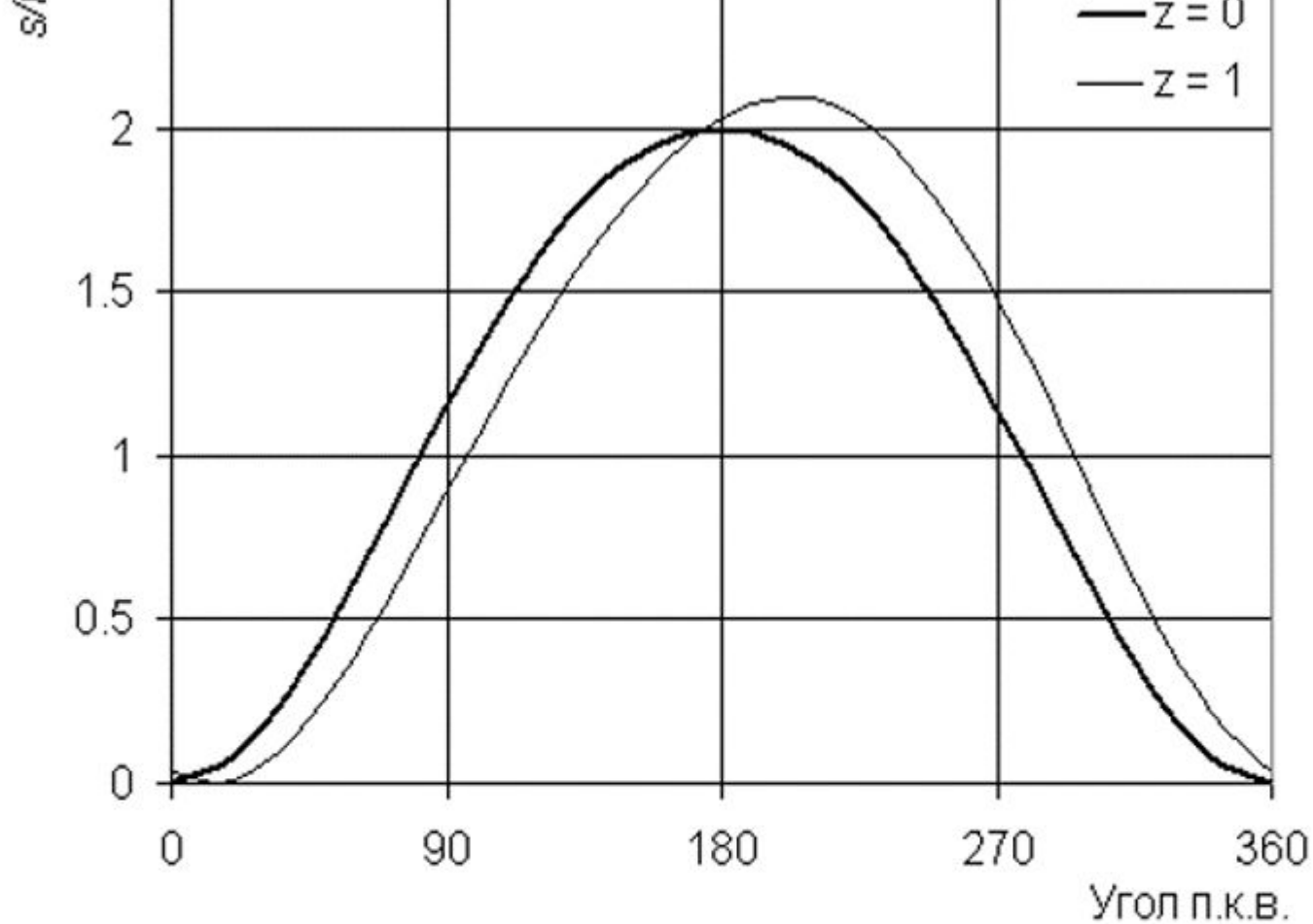
$$\sin \beta = \lambda (\sin \alpha - z)$$

где $z = k/R$ – дезаксиал

Перемещение поршня КШМ от "верхней мертвой точки" определяется по формуле

$$s = R \left[\sqrt{\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)^2 - z^2} - \frac{1}{\lambda} \cos \beta - \cos \alpha \right]$$

$$s = R \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4}\right) - \cos \alpha - \frac{\lambda}{4} \cos 2\alpha - \lambda z \sin \alpha \right]$$



Зависимость относительного перемещения поршня от угла поворота коленчатого вала при различных дезаксиалах k

Дифференцируя точное и приближенное выражения для перемещения поршня, получим уравнения скорости поршня.

Точное уравнение скорости поршня

$$v = R\omega \sin(\alpha + \beta) / \cos \beta$$

где ω – угловая скорость вращения коленчатого вала.

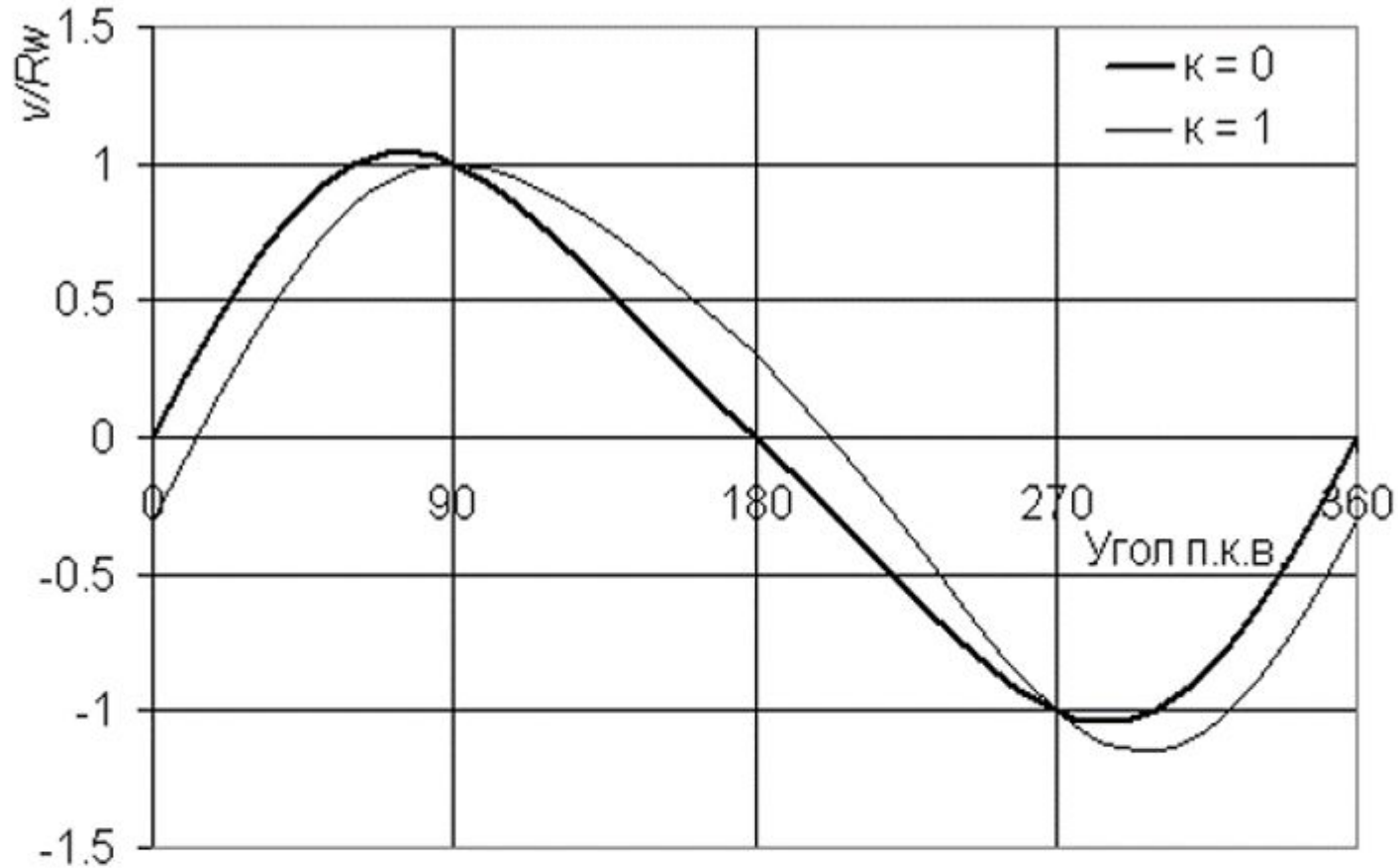
Приближенное уравнение скорости поршня

$$v = R\omega \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha - \lambda z \cos \alpha \right)$$

Одним из важных параметров двигателя является средняя скорость поршня

$$v_{\text{ср}} = Sn/30,$$

где S – ход поршня; n – скорость вращения коленчатого вала, 1/мин.



Зависимость относительной скорости поршня от угла поворота коленчатого вала при различных дезаксиалах k

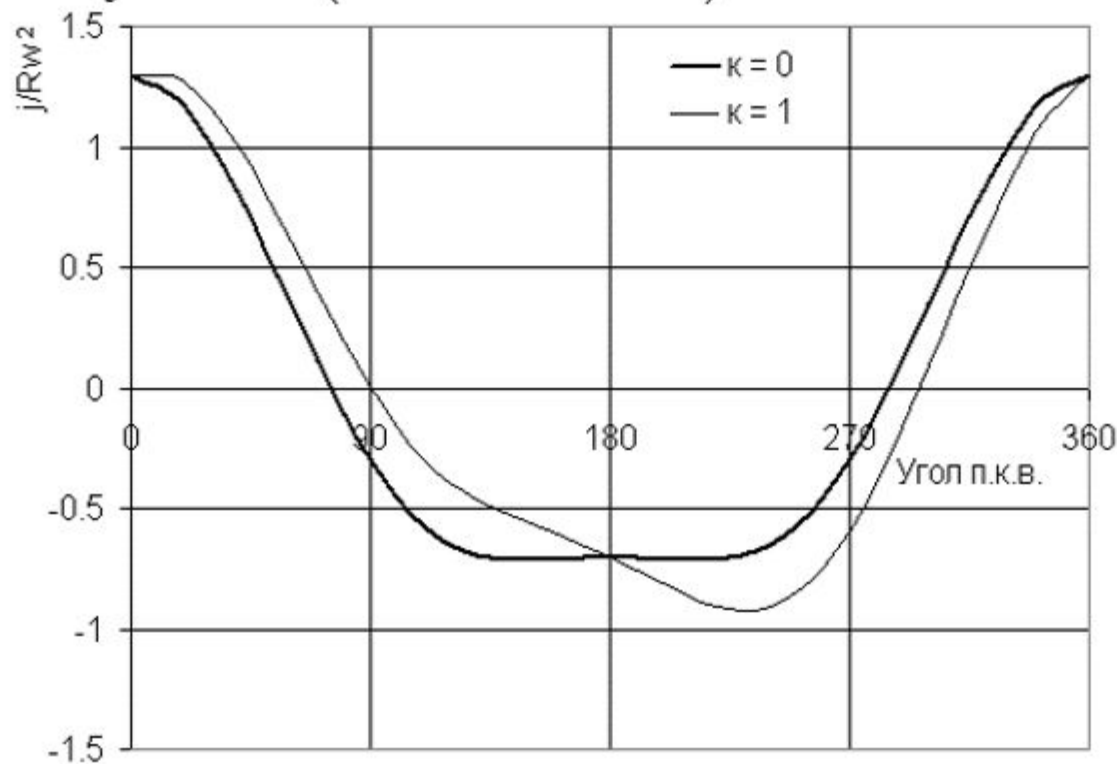
уравнения ускорения поршня.

Точное уравнение ускорения поршня

$$j = R\omega^2 \left[\cos(\alpha + \beta) / \cos\beta + \lambda \cos^2 \alpha / \cos^3 \beta \right]$$

Приближенное уравнение ускорения поршня

$$j = R\omega^2 (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha) + \lambda z \sin \alpha$$



Зависимость относительного ускорения поршня от угла поворота коленчатого вала при различных дезаксиалах k

Угол отклонения шатуна

$$\beta = \arcsin[\lambda(\sin \alpha - z)]$$

Для современных двигателей $\beta_{\max} = 15...18^\circ$.

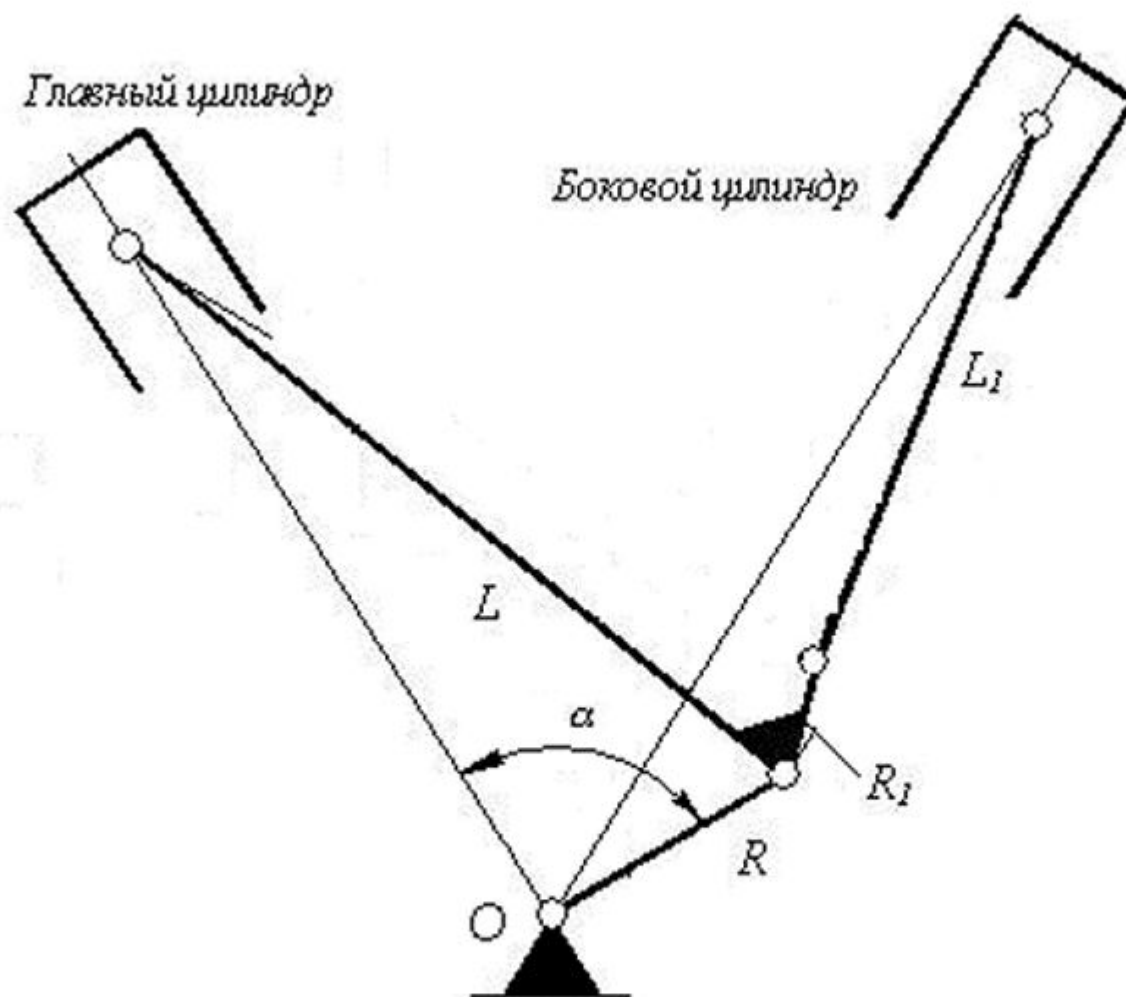
Угловая скорость качания шатуна

$$\omega_{\text{ш}} = \lambda\omega \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - \lambda^2(\sin \alpha - z)^2}} \approx \lambda\omega \cos \alpha.$$

Угловое ускорение качания шатуна

$$\varepsilon_{\text{ш}} = \lambda\omega^2 \frac{\lambda^2 \cos^2 \alpha (\sin \alpha - z) - \sin \alpha [1 - \lambda^2(\sin \alpha - z)^2]}{\sqrt{[1 - \lambda^2(\sin \alpha - z)^2]^3}} \approx -\lambda\omega^2 \sin \alpha.$$

Особенности кинематики КШМ с прицепным шатуном



Для достижения одинаковой кинематики КШМ стремятся обеспечить $R_1 \rightarrow 0$ и $L = L_1 + R_1$.

Как любая периодическая функция, угол поворота коленвала может быть представлен в форме ряда Фурье:

$$\alpha = \omega_{\text{cp}}t + \sum_{k=1}^{\infty} (x_k \cos(k\omega_0 t) + y_k \cdot \sin(k\omega_0 t)),$$

где: ω_{cp} – средняя скорость вращения коленвала; k – порядок гармоники;
 x_k, y_k – амплитуды фазовых составляющих k -го порядка; ω_0 – круговая частота гармонического момента 1-го порядка (для 4-х тактного двигателя $\omega_0 = \omega_{\text{cp}}/2$; для 2-х тактного двигателя $\omega_0 = \omega_{\text{cp}}$).

