

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ НА БОКОВУЮ СИЛУ И КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ В ДЕЗАКСИАЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

**Горшкалев А.А., Кривцов А.В., Сайгаков Е.А., Сморгалов Д.В.** (Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева)

В двигателях внутреннего сгорания на величину боковой силы влияет смещение оси коленчатого вала относительно оси цилиндра. Необходимо стремиться к уменьшению боковой силы, что приведет к уменьшению износа ЦПГ, повышению мощности за счет уменьшения потерь на трение.

В данной работе первоначально был построен сплайн газовой силы для аксиального двигателя. Для аксиального двигателя перемещение поршня из верхней мертвой точки (ВМТ) в нижнюю мертвую точку (НМТ) равно перемещению из НМТ в ВМТ и соответствует  $180^\circ$  поворота коленчатого вала. В данном сплайне значение независимой переменной (угла поворота коленчатого вала) заданы с постоянным шагом  $10^\circ$ . Перемещению из ВМТ в НМТ и обратно соответствует по 18 значений газовой силы. Так как в дезаксиальном двигателе перемещение поршня из ВМТ в НМТ соответствует углу поворота коленчатого вала более  $180^\circ - \Phi$ , а перемещение поршня из НМТ в ВМТ менее  $180^\circ - \psi$ , как видно на рисунке 1, то шаг независимой переменной будет различным для перемещения из ВМТ в НМТ и из НМТ в ВМТ.

Необходимо найти значения углов поворота коленчатого вала соответствующих перемещению поршня из ВМТ в НМТ ( $\Phi$ ) и из НМТ в ВМТ ( $\psi$ ) в дезаксиальных двигателях с разной величиной относительного смещения.

Для дезаксиального двигателя из рисунка 1 видно:

$$\Phi = \gamma + 180 - \alpha,$$

$$\psi = \gamma - 180 + \alpha,$$

используя тригонометрические функции можно найти

$$\alpha = \arccos(a/(L-R)),$$

$$\gamma = \arccos(a/(L+R)),$$

где  $a = k \cdot R$  – величина смещения оси цилиндра относительно оси коленчатого вала,

$k$  – величиной относительного смещения,

$L$  – длина шатуна,

$R$  – радиус кривошипа.

Для дезаксиального двигателя с величиной относительного смещения равной 0,5, найдено:

$$\alpha = \arccos(17,75/(121-35,5)) = 78,02^\circ,$$

$$\gamma = \arccos(17,75/(121+35,5)) = 83,50^\circ,$$

$$\Phi = 83,50 + 180 - 78,02 = 185,48^\circ,$$

$$\psi = 83,50 - 180 + 78,02 = 174,52^\circ,$$

Так же имеется в два раза сжатый график газовой

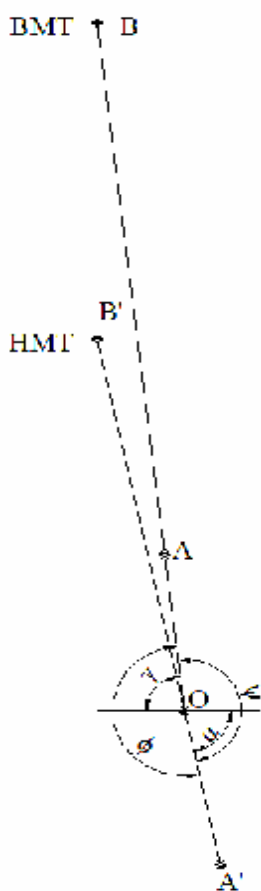


Рис. 1. Схема положений поршня

силы для аксиального двигателя, с шагом  $5^\circ$  “задатчика газовых сил”. Необходимость в сжатии графика возникает из-за особенности программы ADAMS. Поэтому найден шаг для дезаксиального двигателя с учетом вышесказанного.

Проведен расчет для дезаксиального двигателя величиной относительного смещения равной 0,5. Шаг для угла поворота “задатчика газовых сил” соответствующему перемещению поршня из ВМТ в НМТ обозначен  $\Delta_{\text{ВМТ} \rightarrow \text{НМТ}}$ , а из НМТ в ВМТ обозначен  $\Delta_{\text{НМТ} \rightarrow \text{ВМТ}}$ .

$$\Delta_{\text{ВМТ} \rightarrow \text{НМТ}} = \Phi / (18 \cdot 2) = 185,48 / 36 = 5,15^\circ, \Delta_{\text{НМТ} \rightarrow \text{ВМТ}} = \psi / (18 \cdot 2) = 174,52 / 36 = 4,85^\circ,$$

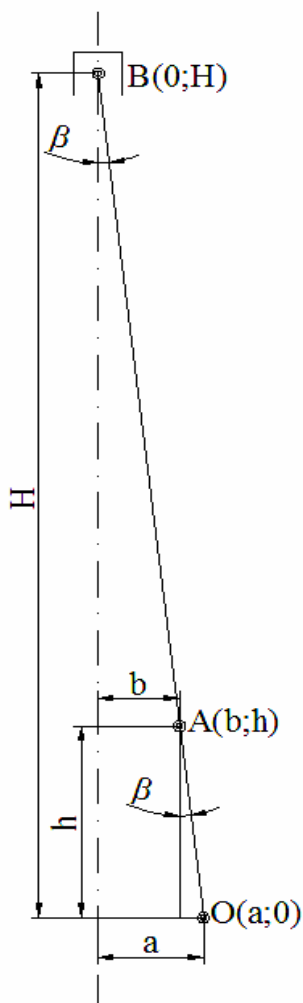


Рис. 2. Схема положения поршня

Учитывая шаг “задатчика газовых сил” для дезаксиальных двигателей были перестроены сплайны газовых сил для разных величин относительного смещения.

В дальнейшем будут построены графики боковых сил и моментов для дезаксиальных двигателей с разными величинами относительного смещения на двух полях. Для того чтобы не было смещения графиков, необходимо что бы для каждого дезаксиального положения поршень находился в ВМТ, как показано на рисунке 2.

Необходимо найти координаты точек  $A(b;h)$  и  $V(0;H)$ , координата точки  $O(a;0)$  задается величинами относительного смещения  $k$ ,  $a = k \cdot R$ . Проведен расчет для дезаксиального двигателя величиной относительного смещения равной 0,5.

$$\beta = \arcsin(a / (L + R)) = \arcsin(17,75 / (121 + 35,5)) = 6,512^\circ,$$

$$b = L \cdot \sin \beta = 121 \cdot \sin(6,512) = 13,724 \text{ мм},$$

$$h = R \cdot \sin \beta = 35,5 \cdot \sin(6,512) = 35,271 \text{ мм},$$

$$H = (R + L) \cdot \sin \beta = (35,5 + 121) \cdot \sin(6,512) = 155,490 \text{ мм}.$$

Координаты точек соответственно будут равны:  $O(17,75;0)$ ,

$$A(13,724; 35,271),$$

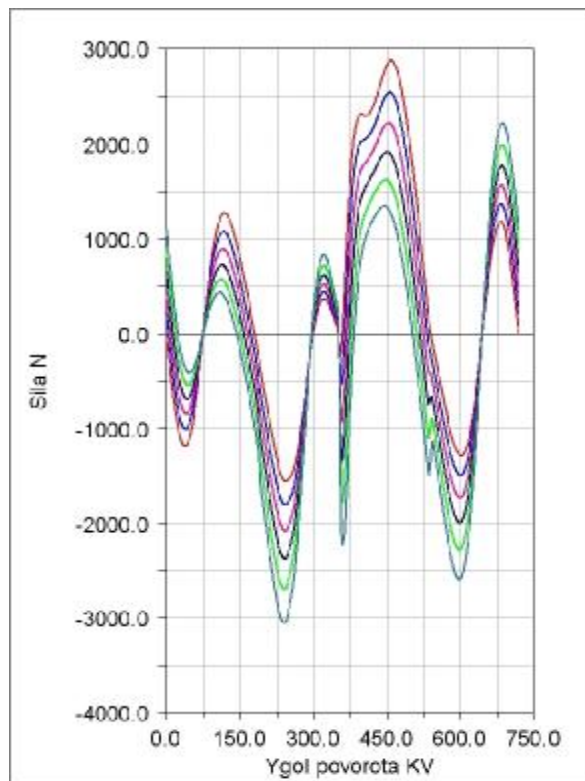
$$V(0; 155,490).$$

Учитывая координаты точек дезаксиальных двигателей с другими величинами относительного смещения и сплайны газовых сил, были проведены расчеты. В результате были построены графики боковых сил

рисунок 3 и крутящих моментов рисунок 4.

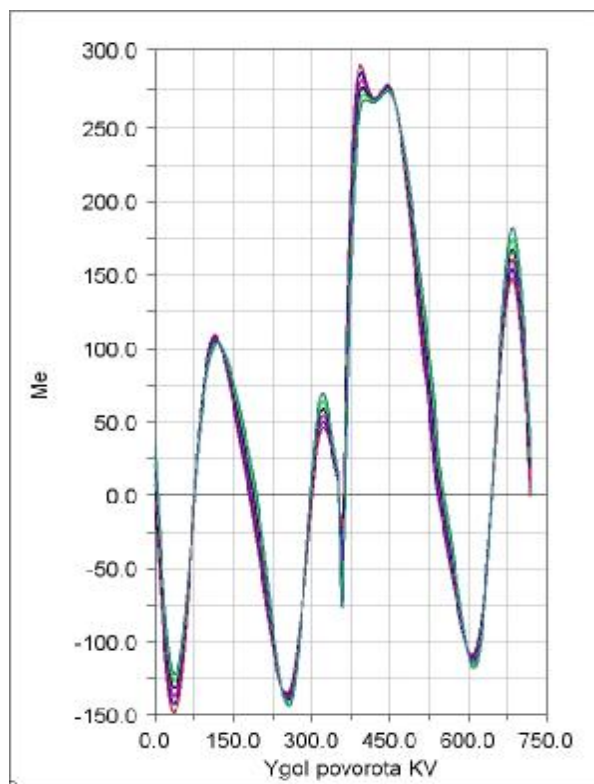
Таблица 1. Значения боковых сил и крутящих моментов

$k$	$N_{\text{ср}}, \text{ Н}$	$N_{\text{макс}}, \text{ Н}$	$M_{\text{ср}}, \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_{\text{макс}}, \text{ Н}\cdot\text{м}$
0	1309,9	2888,4	132,228	290,485
0,1	1233,7	2549,2	132,135	285,486
0,2	1202,6	2227,6	131,946	280,794
0,3	1224,7	2379,9	131,935	276,349
0,4	1299,8	2700,1	132,113	274,641
0,5	1423,6	3050,4	132,497	273,833



- k = 0
- k = 0,1
- k = 0,2
- k = 0,3
- k = 0,4
- k = 0,5

Рис. 3. График зависимости боковой силы от угла поворота КВ



- k = 0
- k = 0,1
- k = 0,2
- k = 0,3
- k = 0,4
- k = 0,5

Рис. 4. График зависимости крутящего момента от угла поворота КВ

С построенных графиков были взяты максимальные и средние значения боковых сил и крутящих моментов приведенные в таблице 1.

Значения соответствующие аксиальному двигателю взяты за 100%. Необходимо рассчитать пропорциональные значения для всех дезаксиальных двигателей.

Приведен расчет для величины относительного смещения равной 0,5.

$$N_{\text{ср}} \% = N_{\text{ср}}^{0,5} / N_{\text{ср}}^0 \cdot 100\% = 1423,6 / 1309,9 \cdot 100\% = 108,68\%,$$

$$N_{\text{макс}} \% = N_{\text{макс}}^{0,5} / N_{\text{макс}}^0 \cdot 100\% = 3050,4 / 2888,4 \cdot 100\% = 105,61\%,$$

$$M_{\text{ср}}^{\%} = M_{\text{ср}}^{0,5} / M_{\text{ср}}^0 \cdot 100\% = 132,497/132,228 \cdot 100\% = 100,203\%,$$

$$M_{\text{макс}}^{\%} = M_{\text{макс}}^{0,5} / M_{\text{макс}}^0 \cdot 100\% = 273,833/290,485 \cdot 100\% = 94,267\%,$$

Результаты расчетов для дезаксиальных двигателей с другими величинами относительного смещения приведены в таблице 6.

Таблица 2. Процентное соотношение боковых сил и крутящих моментов

к	$N_{\text{ср}}^{\%}$ , Н	$N_{\text{макс}}^{\%}$ , Н	$M_{\text{ср}}^{\%}$ , Н·м	$M_{\text{макс}}^{\%}$ , Н·м
0	100	100	100	100
0,1	94,18	88,26	99,93	98,28
0,2	91,81	77,12	99,79	96,66
0,3	93,50	82,39	99,78	95,13
0,4	99,23	93,48	99,91	94,54
0,5	108,68	105,61	100,20	94,27

По данным приведенным в таблице 2 построены графики боковых сил и крутящих моментов в процентном соотношении в зависимости от величины относительного смещения, представленные на рисунке 5 и рисунке 6 соответственно.

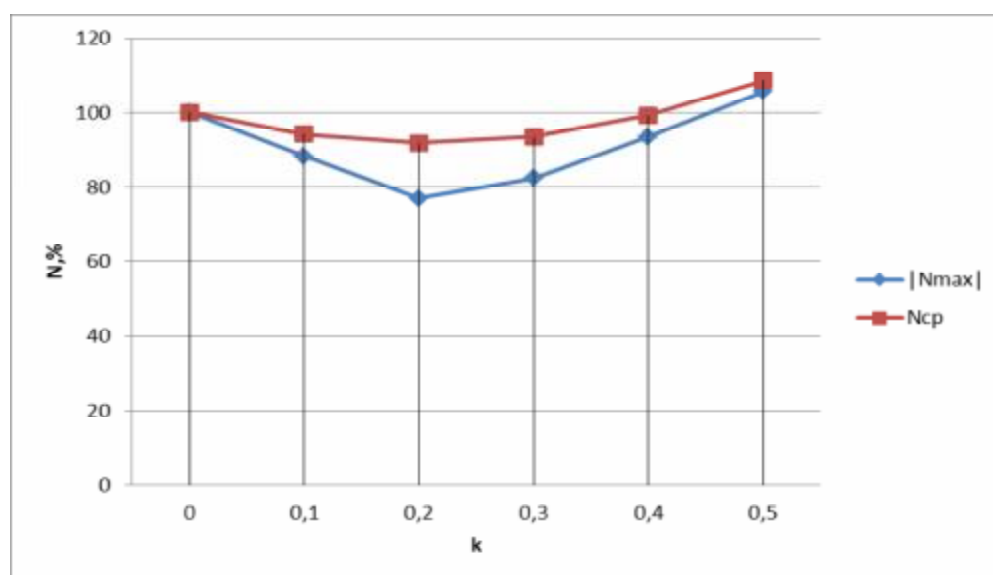


Рис. 5. График боковой сил в зависимости от величины относительного смещения

На рисунке 5 видно, что значение боковой силы, как среднее так и максимальное, уменьшаются с ростом величины относительного смещения до значения  $k=0,2$ , а при повышении значения  $k > 0,2$  увеличивается. На рисунке 6 можно увидеть, что значение среднее крутящего момента практически не изменяется с изменением величины относительного смещения.

Из выше сказанного можно сделать вывод о том, что из всех рассмотренных вариантов аксиального и дезаксиальных двигателей, наилучшим является дезаксиальный двигатель с величиной относительного смещения равной 0,2.

У которого значение максимальной боковой силы меньше значения максимальной боковой силы аксиального двигателя на 28,88%, а среднее значение боковой силы меньше на 8,29%, что обеспечит меньший износ поршневой группы. А значение среднего крутящего момента близкое к значению среднего крутящего момента аксиального означает сохранение характеристик этого двигателя.

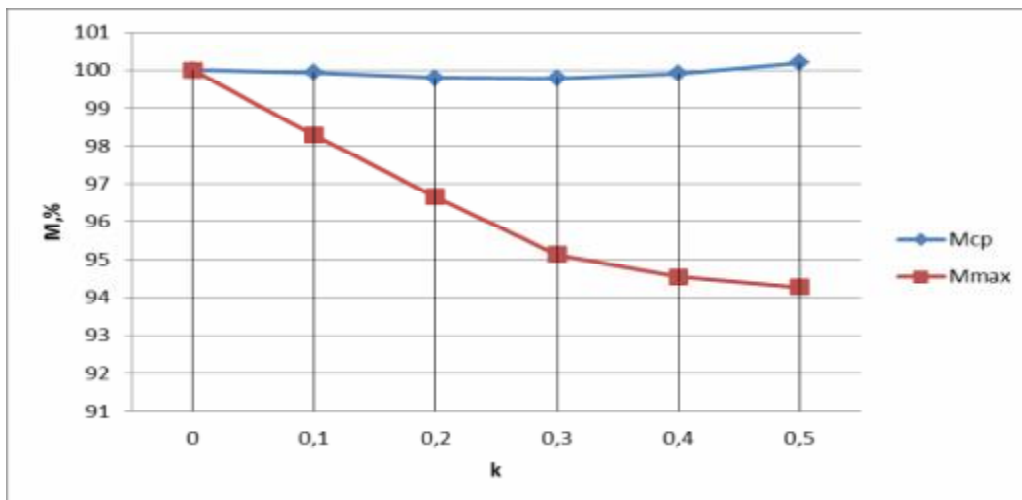


Рис. 6. График крутящего момента в зависимости от величины относительного смещения

### Литература:

1. Орлин А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. - М.: Машиностроение, 1990, с. 253
2. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей./ Колчин А.И., Демидов В.П. - М.: Высшая школа, 2008. - 496 с.
3. Применение нелинейных сил при динамическом анализе 3D-моделей двигателей в ADAMS: Метод. указания / В.С. Мелентьев, А.С. Гвоздев. Самар.: Самар. гос. аэрокосм. ун-т; 2007. - 30 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТНОШЕНИЯ РАДИУСА КРИВОШИПА К ДЛИНЕ ШАТУНА НА БОКОВУЮ СИЛУ И КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ

**Горшкалев А.А., Кривцов А.В., Сайгаков Е.А., Сморкалов Д.В.** (Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева)

В настоящее время, наряду с классическим аналитическим анализом ДВС, активно применяются численные методы на базе CAE, CAD, CAM пакетов при совместном их использовании, для проведения кинематического, динамического, а также статического анализа системы.

В двигателях внутреннего сгорания возвратно-поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение коленчатого вала посредством кривошипно-шатунного механизма. Одной из важнейших его характеристик является  $\lambda = R / L_{ш}$  - отношение радиуса кривошипа к длине шатуна. Установлено, что с уменьшением  $\lambda$  (за счет увеличения длины шатуна) происходит снижение инерционных и нормальных сил, но при этом увеличивается высота двигателя и его масса. В связи с этим в автомобильных и тракторных двигателях принимают  $\lambda = 0,23-0,30$ . При проектировании двигателя за основу принимается значение  $\lambda = 0,275$ .

В этой работе исследованы значения боковой силы, действующей на стенки цилиндра, и крутящего момента при разных значениях  $\lambda$  с использованием пакета ADAMS. В программе ADAMS произведено построение и расчет стержневой модели кривошипно-шатунного механизма двигателя.