

2. Гоц А.Н. Детерминированные модели усталостной долговечности деталей ДВС// Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – №12. – С. 19-21.

3. Биргер И.А. Детерминированные и статистические модели долговечности / Проблемы прочности летательных аппаратов: сб. статей; под ред. И.Ф. Образцова, А.С. Вольмира. – М.: Машиностроение. – 1985. – 280 с.

4. Белов Е.С., Голев Б.Ю., Гоц А.Н., Плешанов А.А. Расчет составного блок-картера одноцилиндрового дизеля// Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: Материалы XII Междун. научно-практ. конференции/Под ред. А.Н. Гоца.– ВлГУ.– Владимир.– 2010. – С. 114 – 118.

5. Гоц А.Н. Расчеты на прочность деталей ДВС при напряжениях, переменных во времени: учеб. пособие. Владимир: Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2005. – 118 с.

## ОБОБЩЕННЫЙ РАСЧЕТ УРАВНОВЕШЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Григорьев Е.А.** (Волгоградский государственный технический университет)

Формулы для определения неуравновешенных сил и моментов многоцилиндрового двигателя получаем, исходя из расчетной схемы осевого кривошипно-шатунного механизма и следующих обозначений. Наклон цилиндров задается относительно вертикальной продольной плоскости углами  $\varepsilon_i$ , где  $i$  - порядковый номер цилиндра. При отсчете по часовой стрелке принят положительный знак. Положение цилиндров в продольном направлении, отсчитываемое от середины первого кривошипа,  $y_{li}$ .

Расстояние между серединами первого кривошипа и кривошипного механизма задается координатой  $l$ , а между соседними кривошипами –  $a$ . Угол между кривошипами  $i$ -го и первого цилиндров определяется величиной  $\varphi_{li}$ . Таким образом, можно задать любые схемы КШМ двигателя и аналитически определить для них неуравновешенные силы и моменты.

Выражения гармоник вертикальной и горизонтальной составляющих моментов сил инерции поступательно движущихся масс, полученные раньше [1] имеют вид

$$M_{jkв} = m_{п} r \omega^2 a \lambda^{k-1} (A_{jkв} \cos k\varphi + B_{jkв} \sin k\varphi); \quad (1)$$

$$M_{jkг} = m_{п} r \omega^2 a \lambda^{k-1} (A_{jkг} \cos k\varphi + B_{jkг} \sin k\varphi), \quad (2)$$

где  $m_{п}$  - масса поступательно движущихся частей,  $r$  – радиус кривошипа,  $\omega$  – угловая скорость вращения коленчатого вала,  $l$  – отношение радиуса кривошипа  $r$  к длине шатуна  $l$ ,  $k$  – порядок гармоник,  $J, B, \Gamma$  – поступательное движение, вертикальная и горизонтальная соответственно. Косинусные и синусные коэффициенты:

$$A_{jkв} = a^{-1} \sum (l - y_{li}) \cos k(\varphi_{li} + \varepsilon_1 - \varepsilon_i) \cos \varepsilon_i;$$

$$B_{jkв} = -a^{-1} \sum (l - y_{li}) \sin k(\varphi_{li} + \varepsilon_1 - \varepsilon_i) \cos \varepsilon_i;$$

$$A_{jkг} = a^{-1} \sum (l - y_{li}) \cos k(\varphi_{li} + \varepsilon_1 - \varepsilon_i) \sin \varepsilon_i;$$

$$B_{jkг} = -a^{-1} \sum (l - y_{li}) \sin k(\varphi_{li} + \varepsilon_1 - \varepsilon_i) \sin \varepsilon_i.$$

Равнодействующие вертикальной и горизонтальной составляющих векторов момента

$$M_{jk} = \sqrt{M_{jkв}^2 + M_{jkг}^2}. \quad (3)$$

Аналогичная картина получается при определении моментов центробежных сил инерции вращающихся масс (выражаются с индексом  $c$ ). Что касается определения неуравновешенных сил инерции вращающихся и поступательно движущихся масс, то для них получаются выражения такого же вида [1].

При обобщенном подходе составляющие сил инерции вращающихся и поступательно движущихся масс выразим следующим образом:

$$Q = m r \omega^2 l^{k-1} (A \cos k\varphi + B \sin k\varphi), \quad (4)$$

где символы  $Q$ ,  $m$ ,  $A$  и  $B$  обозначают соответственно момент  $M$  или силу  $P$ , массу, косинусный и синусный коэффициенты. Используя индексы  $c, j$  получим значения центробежных сил инерции или поступательно движущихся масс.

Обобщенное выражение синусных и косинусных коэффициентов. примем в следующем виде.

$$F = a^{-1} \sum (-1)^{v_1} (l - y_{li})^{v_2} \cos(k(\varphi_{li} + \varepsilon_1 - v_3 \varepsilon_i) - 90v_4) \cos^{v_5}(\varepsilon_i - 90v_6), \quad (5)$$

где коэффициенты  $v_1, v_2, \dots, v_6$  принимают значения 0 или 1. В таблице приведены их значения для косинусных и синусных коэффициентов различных составляющих сил и моментов, а также порядок гармоник  $k$ .

Прописными буквами обозначаются косинусные и синусные коэффициенты моментов, а строчными – сил.

F	k	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	v <sub>3</sub>	v <sub>4</sub>	v <sub>5</sub>	v <sub>6</sub>
$A_{cB}/\alpha_{cB}$	1	0	1/0	0	0	0	0
$B_{cB}/\beta_{cB}$	1	1	1/0	0	1	0	0
$A_{cT}/\alpha_{cT}$	1	0	1/0	0	1	0	0
$B_{cT}/\beta_{cT}$	1	0	1/0	0	0	0	0
$A_{jKB}/\alpha_{jKB}$	1/2	0	1/0	1	0	1	0
$B_{jKB}/\beta_{jKB}$	1/2	1	1/0	1	1	1	0
$A_{jKT}/\alpha_{jKT}$	1/2	0	1/0	1	0	1	1
$B_{jKT}/\beta_{jKT}$	1/2	1	1/0	1	1	1	1

Подставив в формулу (5) значения  $n$  для соответствующих косинусных и синусных коэффициентов, взятые из таблицы, получим их выражения. Задав затем параметры КШМ ( $k, l, y_{lu}, \varphi_{lu}, \varepsilon_i$ ), будем иметь численные значения косинусных и синусных коэффициентов.

В качестве примера рассмотрим преобразование обобщенного выражения (5) в формулу косинусного коэффициента вертикальной составляющей момента сил инерции поступательно движущихся масс  $A_{jKB}$ . Для этого из таблицы возьмем соответствующие коэффициенты:  $n_1 = n_4 = n_6 = 0$  и  $n_2 = n_3 = n_5 = 1$ . В результате:

$$A_{jKB} = a^{-1} \sum (l - y_{li}) \cos k(\varphi_{li} + \varepsilon_1 - \varepsilon_i) \cos \varepsilon_i, \quad (6)$$

т. е. такая же формула, что и лежала в основе создания данного обобщенного метода. Задавшись соответствующими значениями  $v_{uu}$ , взятыми из таблицы для синусного коэффициента вертикальной составляющей момента сил инерции поступательно движущихся масс  $n_6 = 0$ , а  $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = n_5 = 1$  получим выражение

$$B_{jKB} = -a^{-1} \sum (l - y_{li}) \sin k(\varphi_{li} + \varepsilon_1 - \varepsilon_i) \cos \varepsilon_i;$$

т. е. такое же, как исходное. Взяв значения  $p_i$  для других косинусных и синусных коэффициентов моментов и сил, получим их выражения.

Подставив значения косинусных и синусных коэффициентов в выражение (4) и заменив обобщенные силу и массу конкретными величинами  $M$  или  $P$  с соответствующими индексами, будем иметь интересные формулы неуравновешенных моментов или сил.

При расчете уравновешенности приходится для определения косинусных и синусных коэффициентов вводить в программу 24 достаточно сложных формулы, что значительно затрудняет работу. Использование обобщенного подхода позволяет избежать это. Он также является основой для определения параметров уравновешивающего механизма и разработки его схемы.

Полученные выражения моментов и сил инерции вращающихся и поступательно движущихся масс двигателя могут использоваться при исследовании его колебаний.

Расчеты на основе представленной выше обобщенной математической модели на компьютере могут выполняться в автоматическом режиме с высокой скоростью.

#### **Литература:**

1. Григорьев Е. А. Периодические и случайные силы, действующие в поршневом двигателе. М: Машиностроение. 272с.
2. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. / Д. Н. Вырубов, С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко и др./ Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1984. 383с.

### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА НА СТЕПЕНЬ НЕРАВНОМЕРНОСТИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ СПОРТИВНОГО МОТОЦИКЛА**

**С.Н. Девянин** (Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина); **Савастенко Э.А., Камышников Р.О.** (Российский университет дружбы народов)

В статье проводится анализ влияния неравномерности крутящего момента двигателя на снижение тяговых качеств машины и необходимости снижения неравномерности. Показана возможность снижения неравномерности крутящего момента двигателя оптимизацией углового расположения шатунных шеек коленчатого вала.

Тенденция развития двигателей для спортивных автомобилей и мотоциклов направлена на повышение удельной мощности и снижение частоты вращения при максимальном моменте, что приводит к росту амплитуды колебаний крутящего момента двигателя. Кроме того, уменьшение инерционности подвижных деталей и жесткости трансмиссии приводит к снижению эффекта сглаживания колебаний крутящего момента двигателя. Склонность перехода ведущего колеса в режим полного буксования выше у транспортных средств с увеличением отношения мощности двигателя к массе машины. Наиболее ощутимо это явление у современных спортивных мотоциклов, имеющих мощные двигатели и малую инерционность движущихся масс.