

# МЕХАНИЗМ УРАВНОВЕШИВАНИЯ СИЛ ИНЕРЦИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА ДЛЯ ЧЕТЫРЕХ ЦИЛИНДРОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Р.Р. Трефилов, начальник расчетно-аналитического бюро  
СКБ ОАО ПО АМЗ

В четырех цилиндровом двигателе уравниваются лишь наиболее значительные силы и моменты инерции, возникающие от поступательно движущихся и вращающихся масс и действующие на его опоры. В дизельных двигателях ОАО ПО АМЗ было апробировано два варианта компоновки механизма уравнивания сил инерции второго порядка с дополнительными валами (механизм Ланчестера). Более надежной оказалась схема привода валов уравнивающего механизма со специальной шестерней привода, расположенной на 4-й щеке коленчатого вала. Установленный на четырехцилиндровые двигатели механизм Ланчестера позволяет уравновесить от 25 до 100% составляющей силы инерции второго порядка, возникающей в процессе работы дизеля.

Силы и моменты инерции, возникающие в кривошипно-шатунном механизме двигателя, вызывают его вибрацию, которая передается раме трактора или автомобиля, что снижает их надежность и ресурс.

К неуравновешенным силам относятся:

1) силы инерции от возвратно-поступательно движущихся масс  $P_j = P_{j1} + P_{j2}$  (обычно при уравнивании двигателей рассматриваются только силы инерции первых двух порядков как наиболее значимые), и центробежные силы инерции от вращающихся масс  $K_R$ ;

2) продольные моменты  $M_j = M_{j1} + M_{j2}$  и  $M_R$ , возникающие в многоцилиндровых двигателях от неуравновешенных сил  $P_j$  и  $K_R$  отдельных цилиндров;

3) крутящий момент  $M_{кр}$  и равный ему, но противоположный по направлению опрокидывающий момент  $M_{опр} = -M_{кр}$ , воспринимаемый опорами двигателя.

Двигатель считается полностью уравновешенным, если на установившемся режиме работы силы и моменты, действующие на его опоры, постоянны по величине и направлению.

Однако 4-цилиндровые поршневые двигатели не всегда могут быть полностью уравновешены, так как крутящий момент является

периодической функцией угла поворота коленчатого вала и, следовательно, величина опрокидывающего момента всегда переменна.

Условия уравновешенности двигателя с любым числом цилиндров (при соблюдении равенства масс движущихся частей и идентичности протекания рабочего процесса во всех цилиндрах, а также обеспечения статической и динамической уравновешенности коленчатого вала) запишем в следующем виде:

1) результирующие силы инерции первого порядка и их моменты равны нулю:  $\Sigma P_{j1} = 0$  и  $\Sigma M_{j1} = 0$ ;

2) результирующие силы инерции второго порядка и их моменты равны нулю:  $\Sigma P_{j2} = 0$  и  $\Sigma M_{j2} = 0$ ;

3) результирующие центробежные силы инерции и их моменты равны нулю:  $\Sigma P_R = 0$  и  $\Sigma M_R = 0$ .

Следует отметить, что силы и моменты инерции от поступательно движущихся и вращающихся масс значительно нагружают подшипники коленчатого вала, поэтому для разгрузки подшипников устанавливают противовесы.

Таким образом, решение вопроса уравновешенности двигателей сводится к уравниванию лишь наиболее значительных сил и моментов.

Перед создателями первого 4-цилиндрового двигателя ОАО ПО АМЗ (дизеля А-41) остро встал вопрос уравнивания сил инерции второго порядка.

В рядном 4-цилиндровом двигателе (с кривошипами, расположенными под углом  $180^\circ$  и порядком работы 1-3-4-2) результирующие силы инерции первого порядка и их моменты равны нулю:  $\Sigma P_{j1} = 0$  и  $\Sigma M_{j1} = 0$ ; результирующая сила инерции второго порядка (рис.1) будет отличной от нуля и равной:

$$\Sigma P_{j2} = 4 \cdot P_{j2} = 4 \cdot m_j \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cdot \cos 2\phi,$$

где  $m_j$  — масса деталей в одном цилиндре, совершающих возвратно-поступательное движение;  $R$  — радиус кривошипа двигателя;  $\omega$  — угловая скорость вращения коленчатого вала;  $\lambda$  — отношение радиуса кривошипа коленчатого вала к длине шатуна;  $\phi$  — текущий угол поворота коленчатого вала.

Силы инерции второго порядка уравниваются с помощью двух дополнительных валов с грузами, масса которых пропорциональна массам поступательно движущихся частей двигателя. Причем эти валы должны вращаться с частотой, в два раза превышающей частоту вращения коленчатого вала.

Суммарный момент сил инерции второго порядка равен нулю:  $\Sigma M_{J2} = 0$ . Центробежные силы инерции для всех цилиндров равны и направлены попарно в разные стороны. Равнодействующая этих сил и момент равны нулю:  $\Sigma K_R = 0$  и  $\Sigma M_R = 0$ .

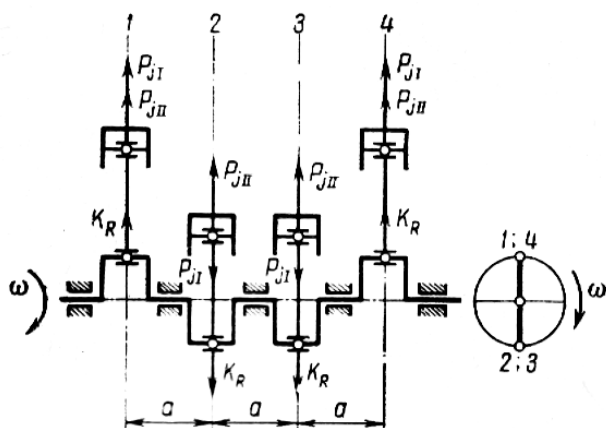


Рис. 1. Схема сил инерции, действующих в четырехцилиндровом двигателе

Было проведено множество работ по исследованию проблемы уравнивания четырехцилиндрового дизеля. Анализ на работоспособность и возможность применения на двигателе подверглось несколько вариантов компоновки механизма уравнивания сил инерции второго порядка, в том числе вариант с уравнивающим механизмом Ланчестера. Было создано две схемы привода валов уравнивающего механизма: первая — через торсионный валик от «носки» коленчатого вала; вторая — через специальную шестерню привода, расположенную на 4-й щеке коленчатого вала (рис. 2). Заводские испытания, проведенные с этими механизмами уравнивания, показали, что компоновка по схеме, приведенной на рис. 2, обладает большей надежностью и имеет меньшие габариты. Недостаток данного механизма в том, что он не обеспечивал плавную передачу крутящего момента (ударные нагрузки в приводе механизма приводили к поломкам приводных шестерен или груз-шестерен механизма), и по своим конструктивным особенностям требовал значительной переделки поковки коленчатого вала.

Отдел серийного производства специального конструкторского бюро ОАО ПО АМЗ провел большую и трудоемкую работу по доводке механизма уравнивания, в том числе: подбор подшипников для валов груз-шестерен; разработку конструкции крепления грузов на валах груз-шестерен; разработку технологии поверхностного упрочнения зубьев шестерен; подбор оптимальной величины зазора в зацеплении приводной шестерни коленчатого вала и груз-шестерни исходя из условия минимизации ударных нагрузок в приводе.

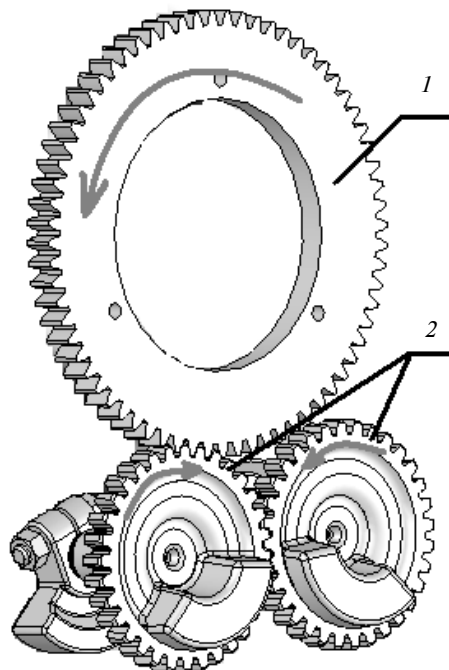


Рис. 2. Схема привода вала уравнивающего механизма со специальной шестерней привода

1 — приводная шестерня, расположенная на 4-й щеке коленчатого вала; 2 — шестерни уравнивающего механизма, скомпонованные с грузами, груз-шестерни

В настоящее время устанавливаемый на 4-цилиндровые двигатели механизм Ланчестера позволяет уравновесить от 25 до 100% составляющей силы инерции второго порядка, возникающей в процессе работы дизеля. Степень уравнивания двигателя определяется его назначением.

Дальнейшее усовершенствование механизма уравнивания предусматривает применение для привода механизма косозубой передачи, заметно повышающей надежность привода, увеличивающей ресурс работы подшипников. Переход с прямозубой передачи на косозубую позволит также заметно снизить шумность двигателя.