

Исследование уравновешенности двигателей

Силы $P_{j\delta}$, $P_{j\pi}$, P_{π} нагружают коленчатый вал и подшипники и передаются фундаментной рамой. Моменты $M_{j\delta}$, $M_{j\pi}$, M_{π} стремятся изогнуть вал в плоскости их действия, деформация коленчатого вала воспринимается рамовыми подшипниками (особенно центральными) и фундаментной рамой, в которой они

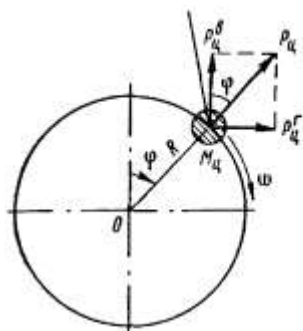


Рис. 16.7. Схема разложения центробежных сил инерции

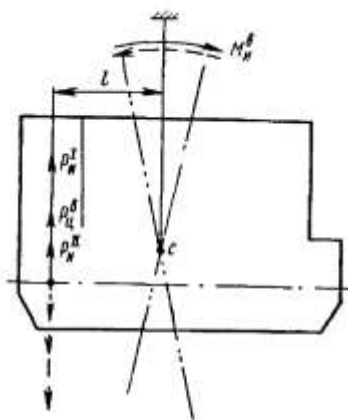
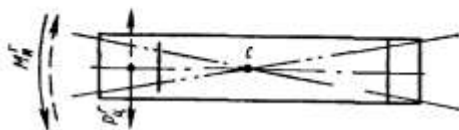


Рис. 16.8. Схема действия моментов сил инерции на двигатель



расположены. В итоге в фундаментной раме двигателя, также как и в валу, под действием моментов возникают изгибающие напряжения и деформации. Отмеченное действие сил инерции и их моментов внутри остова двигателя определяет *внутреннюю неуравновешенность* двигателя.

Независимо от степени внешней уравновешенности двигателя внутренне он всегда остается неуравновешенным

В формулы (16.1) и (16.7) для выражения сил инерции в качестве сомножителей входит масса движущихся частей и частота вращения.

Следовательно, чем больше эти величины, тем сильнее их воздействие на остов самого двигателя (внутренняя неуравновешенность) и его фундамент (внешняя неуравновешенность).

Определение неуравновешенных сил и моментов сил инерции можно производить аналитически или графически. Наиболее простой — графический способ, сущность которого сводится к построению многоугольников сил и их моментов в соответствии с правилами механики. Из механики известно, что если многоугольник сил или моментов окажется замкнутым, то, следовательно, равнодействующая равна нулю, а если нет, то результирующая сила или момент будут равны замыкающей стороне многоугольника. Эта замыкающая в принятом масштабе соответствует неуравновешенной силе или неуравновешенному моменту от сил инерции двигателя.

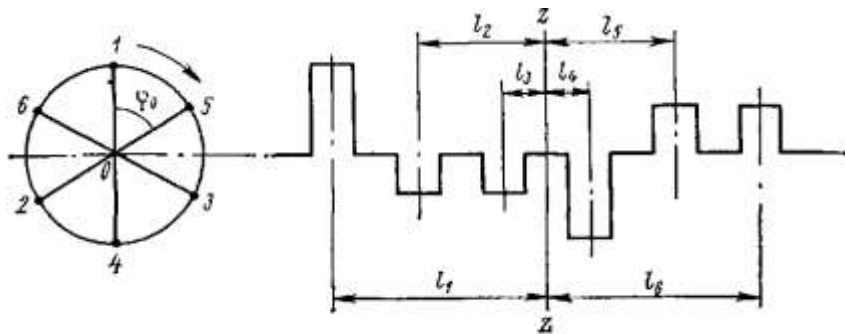


Рис. 16.9. Схема расположения кривошипов

Для пояснения графического метода определения неуравновешенных сил рассмотрим частный случай на примере шестицилиндрового двухтактного двигателя с порядком вспышек 1 — 6 — 2 — 4 — 3 — 5. Угол заклинивания кривошипов будет равен

$$\varphi_0 = 360^\circ/Z = 360^\circ/6 = 60^\circ.$$

На рис. 16 9 показана схема коленчатого вала двигателя. Ось ZZ представляет след условной плоскости симметрии, проходящей через центр тяжести двигателя. В двигателях с четным числом рабочих цилиндров с достаточной для практики точностью можно считать, что плоскость симметрии проходит через середину средней рамовой шейки. Величины l_1, l_2, l_b —расстояния от осей соответствующих цилиндров до плоскости ZZ .

Для удобства построения многоугольников сил инерции поступательно движущихся частей заменим их вертикальными проекциями фиктивных центробежных сил, равными по величине фактическим. Такую замену легко оправдать, если сравнить правые части выражений для P_{jI} и $P_{ц}$ [см. формулу (16.8)].

Принятая условная замена сил позволяет направить силы P_{jI} всех цилиндров по радиусам соответствующих кривошипов (см. направление силы $P_{ц}$ на рис. 16.7). Силы $P_{ц}$ всех шести цилиндров будут равны, поэтому, принимая любой масштаб, строим многоугольник сил инерции первого порядка (рис. 16.10). В данном частном случае многоугольник будет представлять собой правильный шестигранник, стороны которого параллельны соответствующим кривошипам (схема на рис. 16 9). Векторный многоугольник оказывается замкнутым, так как конец последнего вектора совпал с началом первого и, следовательно, равнодействующая от сил инерции первого порядка равна нулю, т е. эти силы для всего двигателя уравновешены

В группу сил инерции первого порядка входят также реальные центробежные силы инерции $P_{ц}$ вращающихся масс, однако строить многоугольник этих сил нет необходимости, так

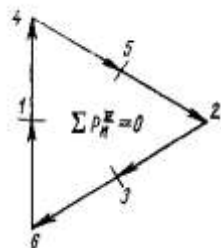
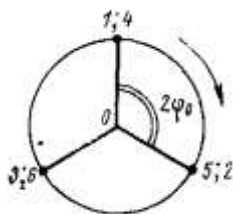
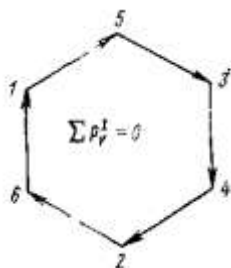


Рис.16.10. Многоугольник сил инерции первого порядка

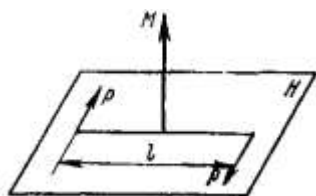
16.11. Многоугольник сил инерции второго порядка

как нетрудно представить, что он будет подобен фигуре, изображенной на рис. 16.10. Таким образом, центробежные силы инерции для данного двигателя будут также полностью уравновешены.

Далее следует перейти к определению результирующих инерционных сил второго порядка P_{jII} . Влияние функции $\cos 2\varphi$ может быть учтено новой условной схемой расположения кривошипов под углом $2\varphi_0$ (рис. 16.11). В соответствии с этой схемой строим многоугольник сил P_{jII} , который оказывается замкнутым, а следовательно, $\sum P_{jII} = 0$. Надо заметить, что порядок сложения векторов безразличен. При неодинаковых вариантах сложения могут получаться многоугольники разной формы, но результат всегда будет один и тот же.

Построение многоугольников от сил инерции M_{jI} и M_{jII} также производим по правилам векторной механики. Вспомним, что любой момент $M = Pl$, действующий в плоскости H (рис. 16.12), может быть изображен вектором M , перпендикулярным

плоскости H действия пары сил. Направление вектора вверх показывает, что момент положителен (действует по часовой стрелке); если вектор направлен вниз, момент отрицателен. Для того чтобы «уложить» векторы моментов сил инерции в плоскость кривошипа, условно повернем их на 90° против часовой стрелки. В этом случае векторы моментов будут направлены по соответствующим кривошипам



Графическое суммирование вектора сводится к построению многоугольников, стороны которых параллельны кривошипам. Для построения многоугольника моментов

Рис. 16.12. Вектор пары сил M_{ji} пользуемся схемой кривошипов первого порядка (угол φ_0) (см. рис. 16.9), а для многоугольника моментов—схемой кривошипов второго порядка (угол $2\varphi_0$) (см. рис. 16.11). Отметим, что при построении многоугольника моментов следует руководствоваться правилом: векторы моментов для колен, расположенных слева от плоскости ZZ (см. рис. 16.9), должны быть направлены от центра по соответствующему кривошипу, а векторы моментов для колен, расположенных справа от плоскости ZZ , — по кривошипу к центру вала. Для удобства использования этого правила в верхней части рис. 16.13 приведены две вспомогательные схемы, указывающие направления векторов моментов. Многоугольник моментов первого порядка (рис. 16.13, *а*) оказывается замкнутым, и, следовательно, результирующий момент $\Sigma M_{ji} = 0$. Многоугольник моментов второго порядка (рис. 16.13, *б*) не замыкается, и результирующий момент $\Sigma M_{jII} \neq 0$.

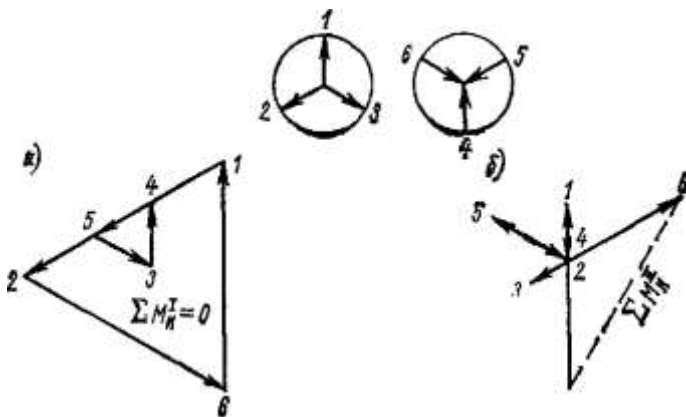


Рис. 16.13. Многоугольник моментов сил инерции

Мгновенное значение неуравновешенного момента в определенном масштабе соответствует проекции на вертикальную ось штриховой прямой, соединяющей конец последнего вектора с началом первого. Направление этого момента можно определить поворотом замыкающей стороны многоугольника на угол 90° по часовой стрелке.

Таким образом, с помощью расчета установлено, что в данном двигателе (см. рис. 16.9) все силы и моменты сил инерции, за исключением моментов сил инерции второго порядка, уравновешены.

Табл. 16.1 в общем виде наглядно иллюстрирует уравновешенность различных двигателей. Знак «плюс» обозначает, что данные силы инерции или их моменты в двигателе уравновешены, а знак «минус» — что они неуравновешены.

Из всех сил инерции, которые могут оказаться в двигателе неуравновешенными, искусственным путем, как правило, уравновешивают только силы $P_{ц}$. Уравновешивание центробежной силы инерции достигается постановкой двух противовесов, закрепленных на продолжении щек кривошипа. Массу одного

противовеса $m_{пр}$ и расстояние его центра тяжести от оси вала r подбирают по конструктивным соображениям (противовесы должны разместиться в картере), соблюдая пропорцию:

$$2m_{пр}/m_{ц} = R/r$$

где $m_{ц}$ —масса неуравновешенных вращающихся частей.

Уравновешивания сил инерции первого и второго порядков, возникающих от поступательно движущихся масс, достигнуть с помощью противовесов на щеках вала невозможно, так как силы P_{jI} и P_{jII} действуют только в вертикальной плоскости, а центробежная сила противовесов при вращении вала непрерывно меняет плоскость своего действия. Задачу уравновешивания сил P_{jI} и P_{jII} можно решить путем установки на дополнительных валах двух масс, вращающихся в разные стороны. В этом случае силы инерции, создаваемые специально подобранными массами, будут равны и противоположно направлены силам P_{jI} и P_{jII} . Указанный метод применяется крайне редко из-за конструктивной сложности размещения уравновешивающего устройства в двигателе.

Литература

Миклос А.Г., Чернявская Н.Г., Червяков С.П. Судовые двигатели внутреннего сгорания (3-е издание, 1986), стр. 322-327

Т а б л и ц а 16.1. Относительная уравновешенность различных двигателей

Число цилиндров	Схема расположения кривошипа		Угол между кривошипами, Φ	Тактность	Равнодействующие			
	I порядок	II порядок			$\sum P_v^I$	$\sum P_v^{II}$	$\sum M_u^I$	$\sum M_u^{II}$
1			0	4	-	-	+	+
2			180	4	+	-	-	+
3			180	2	+	-	+	+
4			72	2	+	+	-	-
5			90	2	+	+	-	-
6			120	4	+	+	+	+
6			60	2	+	+	+	-
7			51° 26'	2	+	+	-	-
8			90	4	+	+	+	+
8			45	2	+	+	-	+