

Канд. техн. наук, доцент Г. Ф. Подольский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ T_c И Z_c , ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ МНОГОРЯДНОГО ЗВЕЗДООБРАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Для расчета коленчатого вала на прочность необходимо знать суммарные тангенциальные T_{ci} и радиальные Z_{ci} силы, действующие на кривошипные шейки многорядного звездообразного двигателя.

В результате динамического расчета одноцилиндровых двигателей (составляющих однорядный звездообразный двигатель) с учетом кинематики прицепных шатунов и суммирования сил от всех цилиндров, работающих

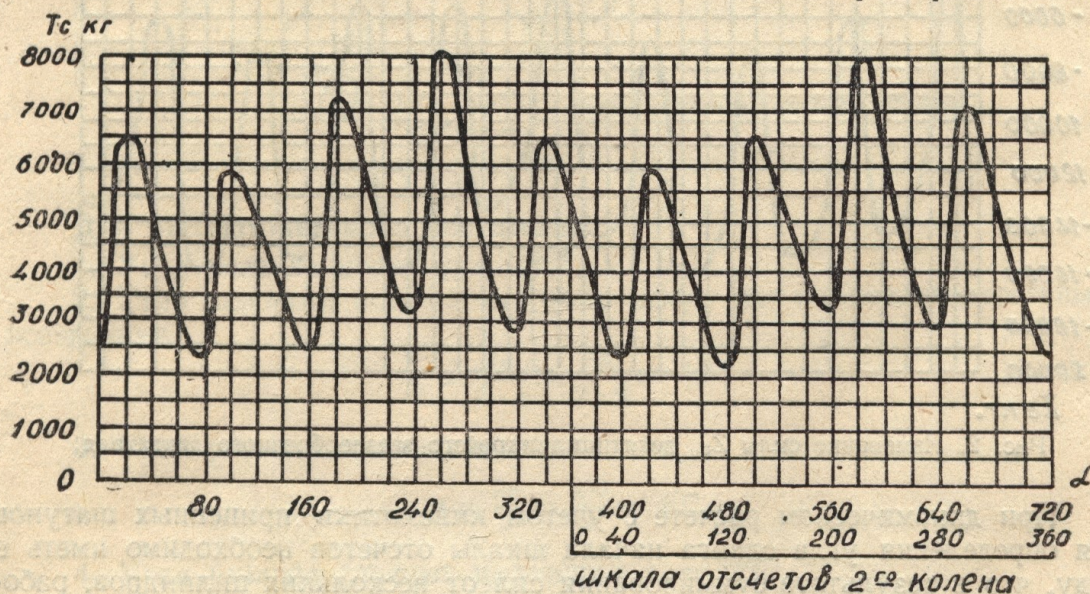


Рис. 1. Изменение силы T_{ci} девяти цилиндрового звездообразного двигателя.

на одну шейку кривошипа, получаем кривые изменения суммарных сил T_{ci} и Z_{ci} , действующих на кривошипную шейку передней звезды, в $f(\alpha)$ с началом отсчетов α (для упрощения дальнейших рассуждений) от оси i -го цилиндра (рис. 1 и 2).

При определении изменения суммарных сил T_{ci} и Z_{ci} , действующих на i -тую шейку кривошипа, обычно принимают допущение, что кинематика шатунно-кривошипного механизма и массы движущихся деталей всех звезд одинаковы. Следовательно, характер изменения сил T_{ci} и Z_{ci} на всех кривошипах коленчатого вала аналогичен характеру изменения сил на колене передней звезды, только сдвинут по фазе.

Таким образом, для определения сил T_{ci} и Z_{ci} , действующих на любую шейку кривошипа многорядного звездообразного двигателя, можно использовать кривые изменения суммарных сил T_c и Z_c , действующих на переднюю шейку кривошипа, сдвинув на соответствующий угол начало шкалы отсчетов i -того колена.

Угол сдвига шкалы отсчетов, в случае двухрядной звезды, в учебниках рекомендуют принимать равным интервалу между вспышками в цилиндрах разных звезд. Так, например, в восемнадцатцилиндровой четырехтактной двухрядной звезде этот интервал равен

$$\alpha_{\text{сдв}} = \frac{4\pi}{2i} = \frac{720}{2 \cdot 9} = 40^\circ,$$

где i — число цилиндров в одном ряду звезды.

Указанная методика определения сдвига шкалы отсчетов справедлива (ниже будет доказано это утверждение) только в случае динамического расчета, выполненного без учета кинематики прицепных шатунов.

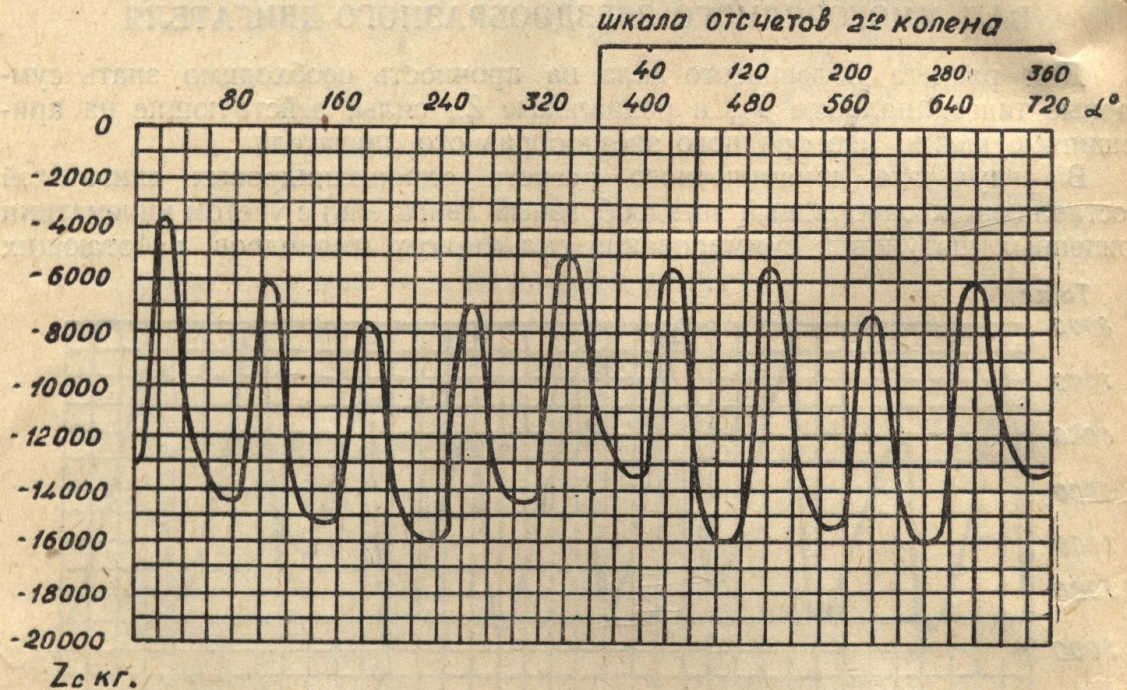


Рис. 2. Изменение силы Z_c , девятицилиндрового звездообразного двигателя.

При динамическом расчете с учетом кинематики прицепных шатунов для определения угла сдвига начала шкалы отсчетов необходимо иметь в виду, что в результате суммирования сил от нескольких цилиндров, работающих на одну шейку кривошипа, однорядный звездообразный двигатель, в динамическом отношении, приведен к условному одноцилиндровому двигателю, то есть к условному главному цилиндру. Следовательно, изменение сил T_{c_1} и Z_{c_1} на колене первой звезды в $f(\alpha)$ закоординировано относительно оси главного цилиндра, иными словами — отсчет угла поворота коленчатого вала производится от оси главного цилиндра (рис. 3).

Таким образом, в результате суммирования сил от нескольких цилиндров, работающих на одну шейку кривошипа, многорядный звездообразный двигатель в динамическом отношении приводится к однорядному многоцилиндровому двигателю с порядком работы цилиндров, аналогичным порядку зажигания в главных цилиндрах.

Угол сдвига начала шкалы отсчетов i -того колена определяют из формулы

$$\alpha_{\text{сдв}} = 720 - \alpha_b,$$

где

α_b — угол поворота коленчатого вала между вспышками в главных цилиндрах первой и i -той звезды.

Силы, действующие на i -тое колено при любом значении α , определяются из равенств

$$T_{ci(\alpha)} = T_{c_i(\alpha + \alpha_{сдв.})}; \quad Z_{ci(\alpha)} = Z_{c_i(\alpha + \alpha_{сдв.})}.$$

Пример: определить суммарные силы T_{ci} и Z_{ci} , действующие на коленчатый вал восемнадцатицилиндрового двухрядного двигателя (рис. 3).

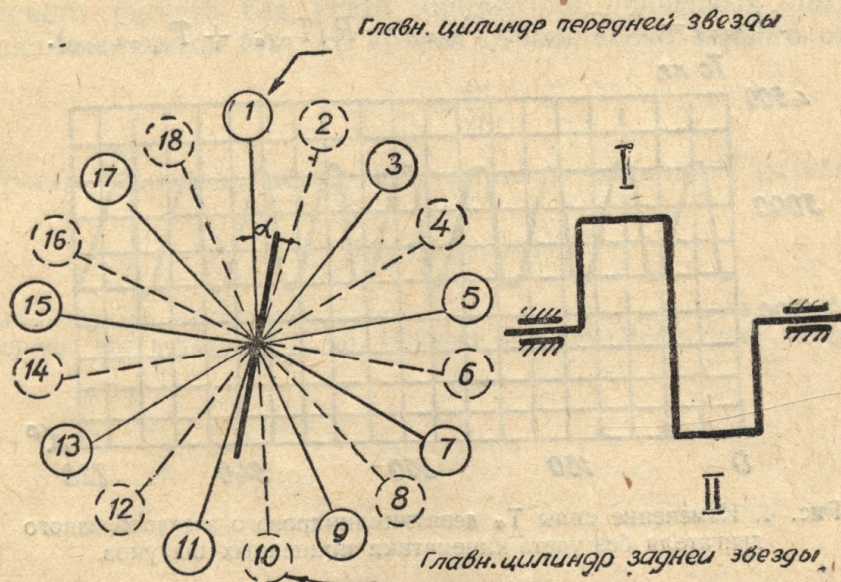


Рис. 3.

Для рассматриваемого двигателя:

1. Угол развала колен $\gamma_k = 180^\circ$,
2. Угол поворота коленчатого вала между двумя последовательными вспышками

$$\gamma_b = \frac{4\pi}{2 \cdot i} = \frac{720}{2 \cdot 9} = 40^\circ,$$

3. Угол развала цилиндров

$$\gamma = \frac{2\pi}{i} = \frac{360}{9} = 40^\circ,$$

4. Угол развала главных цилиндров $\gamma_0 = 180^\circ$,
5. Порядок зажигания по цилиндрам

$$\alpha_b = 0^\circ - 40^\circ - 80^\circ - 120^\circ - 160^\circ - 200^\circ - 240^\circ - 280^\circ - 320^\circ - 360^\circ$$

$$1 - 12 - 5 - 16 - 9 - 2 - 13 - 6 - 17 - 10$$

$$3 - 14 - 7 - 18 - 11 - 4 - 15 - 8 - 1.$$

Из порядка зажигания по цилиндрам видно, что угол поворота коленчатого вала между вспышками в главных цилиндрах равен $\alpha_{b_2} = 360^\circ$.

Следовательно, порядок работы цилиндров условного двухцилиндрового однорядного двигателя равен

$$\alpha_b = 0^\circ - 360^\circ - 720^\circ,$$

$$1_2 - 2_2 - 1_2$$

а угол сдвига начала шкалы отсчетов второго колена (задней звезды) относительно начала шкалы отсчетов первого колена (передней звезды) равен

$$\alpha_{сдв} = 720 - \alpha_b = 720 - 360 = 360^\circ.$$

Таким образом, при любом значении α , на шатунную шейку коленчатого вала второй звезды действуют силы:

$$T_{c_2} = T_{c_1(\alpha+360^\circ)},$$

$$Z_{c_2} = Z_{c_1(\alpha+360^\circ)}.$$

Крутящий момент на носке коленчатого вала, без учета крутящего момента нагнетателя, определяется из уравнения:

$$M_{кр(\alpha)} = R (T_{c_1(\alpha)} + T_{c_2(\alpha)}) = R (T_{c_1(\alpha)} + T_{c_1(\alpha+360^\circ)}).$$

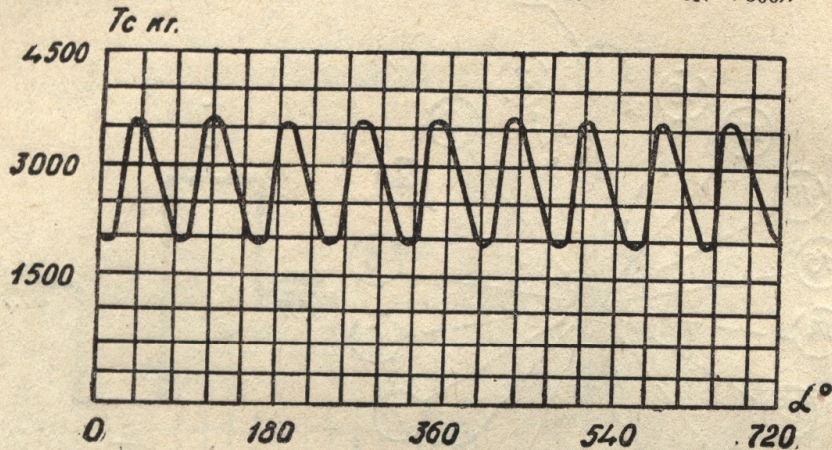


Рис. 4. Изменение силы T_α девятицилиндрового звездообразного двигателя без учета кинематики прицепных шатунов.

Если главный шатун второй звезды помещен во втором цилиндре, то имеем следующий порядок работы цилиндров условного однорядного двигателя

$$\alpha_b = \begin{matrix} 0 & 200 & 720, \\ & 1_2 & 2_2 & 1_2 \end{matrix}$$

а угол сдвига начала шкалы отсчетов равен

$$\alpha_{сдв} = 720 - \alpha_b = 720 - 200 = 520^\circ.$$

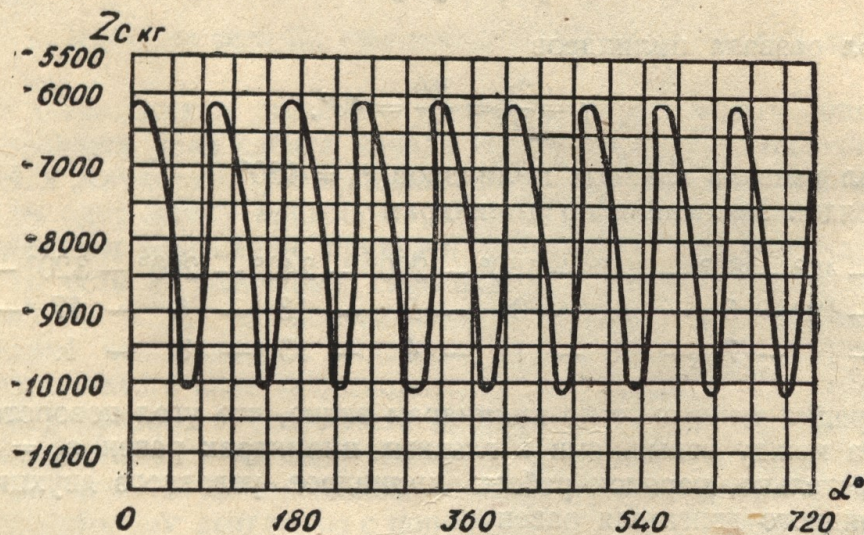


Рис. 5. Изменение силы Z_c девятицилиндрового звездообразного двигателя без учета кинематики прицепных шатунов.

Если динамический расчет передней звезды выполнен без учета кинематики прицепных шатунов, то суммарные силы T_{c_1} и Z_{c_1} представляют собой периодические кривые с периодом $\frac{720}{i}$.

На рис. 4 и 5 даны примерные кривые изменения T_c и Z_c девятицилиндрового мотора однорядного звездообразного двигателя при указанном предположении.

Так как ось ординат, проведенная из точки начала шкалы отсчетов второго колена (рис. 4), делит период кривой T_c и Z_c пополам, а характер изменения указанных сил на всех периодах одинаков, то, в случае динамического расчета без учета кинематики прицепных шатунов, угол сдвига шкалы отсчетов второго колена относительно первого равен

$$\alpha_{\text{сдв}} = \frac{4\pi}{2i},$$

то есть равен интервалу между вспышками в цилиндрах разных звезд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авиационные поршневые двигатели. Кинематика, динамика и расчет на прочность. Сборник под редакцией И. Ш. Неймана и Т. М. Мелькумова. Оборонгиз, 1950.