

Управление образования администрации Озерского городского округа
Челябинской области

Муниципальное бюджетное учреждение
дополнительного образования
«Станция юных техников»

**Балансировка микродвигателей
внутреннего сгорания**

*Методическое пособие по теме
«Двигатели внутреннего сгорания»
I часть*

Составил педагог дополнительного
образования Думенек В. Л.

г. Озерск
2016 г.

Балансировка микродвигателя.

Максимальное снижение вибраций, возникающих от возвратно-поступательных масс, достигается балансировкой коленчатого вала. С этой целью на щеке коленчатого вала против кривошипного пальца создается противовес, который частично уравнивает инерционные силы, возникающие от перемещающихся поршня, поршневого пальца и шатуна.

Необходимо отметить, что полностью уравновесить одноцилиндровый двигатель теоретически невозможно. Спектр колебаний и величины инерционных сил от поступательного перемещения поршня и шатуна, совершающего сложную траекторию, рассчитать теоретически и компенсировать простым противовесом практически невозможно. Поэтому задача конструктора сводится к уменьшению до минимального уровня амплитуды вибраций, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Достаточно надежное уравнивание может быть произведено на специальном стенде путем измерения амплитуд перегрузок в вертикальной и горизонтальной плоскостях. При этом путем подгонки массы противовеса стремятся получить примерно равные амплитуды колебаний как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Очевидно, что это равновесие и будет соответствовать оптимальной балансировке. Балансировка производится путем изменения массы противовеса.

В том случае, если масса противовеса в принятой конструкции окажется недостаточной, ее можно увеличить путем установки дополнительных грузов из материала, имеющего высокую плотность. В качестве такого материала может быть использован вольфрам или его сплавы с плотностью 18,5—19,3 г. см⁻³. Для этих целей могут быть использованы также спекаемые порошковые материалы на основе карбида вольфрама, из которых изготовляют режущий инструмент. Конструктивно такой противовес может быть выполнен, как показано на рис. 1.

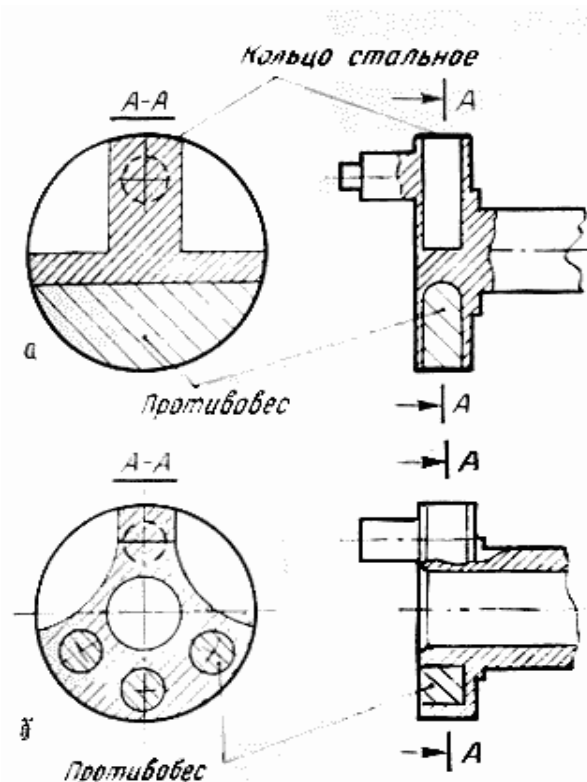


Рис. 1. Конструкция противовеса:
а - с догрузочным сегментом; б - с догрузочными цилиндрами.

Степень сбалансированности движущихся частей одноцилиндрового микродвигателя оценивается соотношением моментов вращающихся

компенсирующих масс и движущихся возвратно-поступательных масс. Степень сбалансированности Кб выражается в процентах. Для одноцилиндрового микродвигателя это соотношение не может быть более 50% без применения специальных дополнительных динамических балансиров.

Инженерный аналитический расчет степени сбалансированности одноцилиндрового микродвигателя может быть произведен для оценки принятых конструктивных решений.

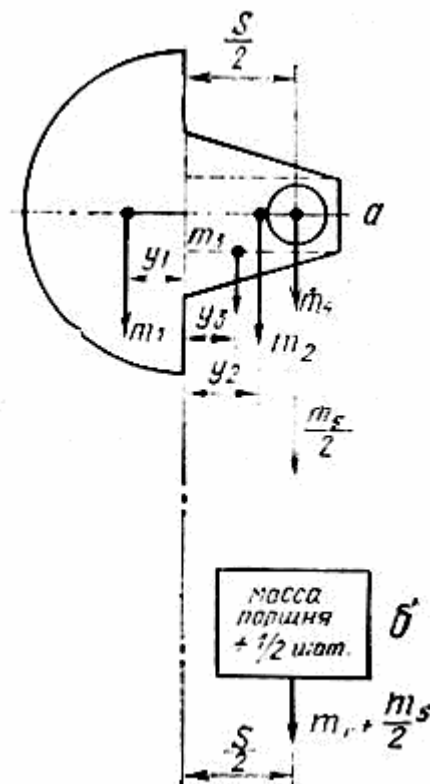


Рис. 2. Схема действующих сил и моментов, возбуждающих вибрации и компенсирующих:
а — вращающиеся массы; б — колеблющиеся массы

Схема расчета балансировки одноцилиндрового микродвигателя приведена на рис. 2. Движущаяся возвратно-поступательно масса поршня с поршневым пальцем и вращающаяся масса кривошипного механизма соединены с поршнем шатуном, который совершает сложное движение. Для расчета условно относим половину массы шатуна к поршневой группе, а другую половину массы шатуна — к кривошипной части механизма.

Такой расчет не может претендовать на абсолютную точность в связи с принятыми допущениями относительно шатуна, однако в качестве инженерного вполне приемлем и практически дает хороший результат.

Расчет сводится к определению моментов масс колеблющихся деталей M , и компенсирующего момента противовеса M_k .

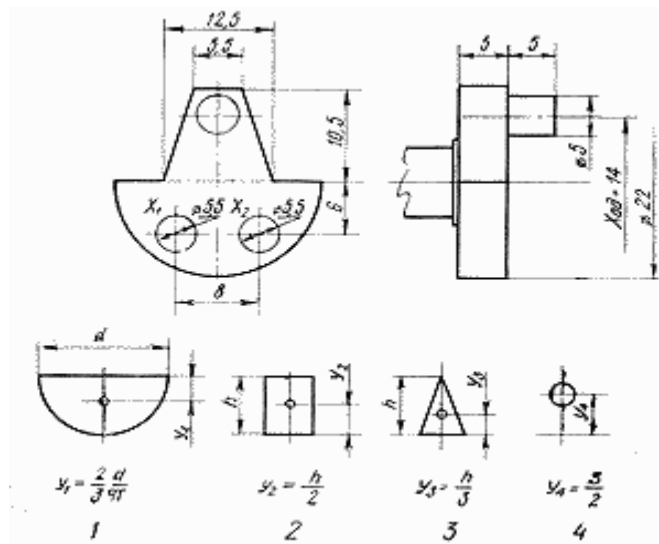


Рис. 3. Схема определения момента масс щеки кривошипа:
1 - полуцилиндр; 2 - параллелепипед; 3 - призма; 4 - цилиндр.

Отношение компенсирующего момента к моменту колеблющихся масс и определяет степень сбалансированности системы. Для этого следует производить расчет компенсирующего момента масс вращающегося коленчатого вала с присоединенной условно частью шатуна. Чтобы облегчить определение момента масс щеки коленчатого вала, ее условно разбивают на элементы, для которых определение массы и ее центра тяжести относительно оси ее вращения не вызывает затруднений (рис. 3). В качестве примера приведен расчет степени сбалансированности микродвигателя с рабочим объемом 2,5 см³, где кривошипно-поршневая группа имеет следующие конструктивные параметры: ход поршня — 14 мм, масса поршня из серого чугуна—6,55 г, поршневого пальца —0,95 г; шатуна— 1,95 г. Конструкция противовеса и кривошипной части коленчатого вала приведена на рис. 3.

Определим моменты масс каждого из элементов вращающихся частей системы. С этой целью определим массу элементов m_1 , расстояние от центра массы этого элемента до оси вращения y_1 и момент массы M_1 .

Массу полуцилиндра, обозначенного на рис.3 как элемент1, определим как произведение его объема на плотность материала:

$$m_1 = \frac{1}{2} * \frac{\pi d^2}{4} * b * \gamma = \frac{1}{2} * \frac{3.14 * 2.2^2}{4} * 0.5 * 7.9 = 7.504 \text{ г.}$$

Теперь находим расстояние центра массы этого же элемента от оси вращения:

$$y_1 = \frac{2}{3} * \frac{d}{\pi} = \frac{2 * 2.2}{3 * 3.14} = 0.467 \text{ см.}$$

И в заключение определяем момент массы полуцилиндра:

$$M_1 = m_1 * y_1 = 7.504 * 0.467 = 3.505 \text{ г*см.}$$

Эти же параметры определим для элемента 2:

$$m_2 = a * b * c * \gamma = 1.05 * 0.5 * 0.55 * 7.9 = 2.281 \text{ г.}$$

$$y_2 = \frac{d}{2} = \frac{1.05}{2} = 0.525 \text{ см.}$$

$$M_2 = m_2 * y_2 = 2.281 * 0.525 = 1.198 \text{ г} * \text{см}.$$

Аналогичный расчет производим для элемента 3:

$$m_3 = \frac{(d - c) * a * b}{2} * y = \frac{(1.25 - 0.55) * 1.05 * 0.5}{2} * 7.9 = 1.452 \text{ г}.$$

$$y_3 = \frac{1}{3} * a = \frac{1.05}{3} = 0.35 \text{ см}.$$

$$M_3 = m_3 * y_3 = 1.452 * 0.35 = 0.508 \text{ г} * \text{см}.$$

Для элемента 4:

$$m_4 = \frac{\pi * d^2}{4} * e * y = \frac{3.14 * 0.5^2}{4} * 0.5 * 7.9 = 0.775 \text{ г}.$$

$$y_4 = \frac{S}{2} = \frac{1.4}{2} = 0.7 \text{ см}.$$

$$M_4 = m_4 * y_4 = 0.775 * 0.7 = 0.543 \text{ г} * \text{см}.$$

Присоединенная часть шатуна дает момент

$$M_5 = \frac{1}{2} * m_5 * \frac{S}{2} = \frac{1.95}{2} * \frac{1.4}{2} = 0.683 \text{ г} * \text{см}.$$

Колеблющаяся масса поршня, поршневого пальца и половина массы шатуна, возбуждающие колебания, дают суммарный момент:

$$M_e \left(m_e + m_7 + \frac{m_5}{2} \right) * \frac{S}{2} = \left(6.55 + 0.95 + \frac{1.95}{2} \right) * \frac{1.4}{2} = 5.933 \text{ г} * \text{см}.$$

Суммарный компенсирующий момент M_k вращающихся масс составит:

$$M_k = M_1 - (M_2 + M_3 + M_4 + M_5) = 3.505 - (1.198 + 0.508 + 0.543 + 0.683) = 3.505 - 2.923 = 0.573 \text{ г} * \text{см}.$$

Сбалансированность микродвигателя, таким образом, составит:

$$K_e = \frac{M_k}{M_e} * 100 = \frac{0.573}{5.933} * 100 = 9.66 \%$$

Уменьшение массы поршня на 1,2 г и поршневого пальца на 0,1 г даст изменение сбалансированности в связи с изменением момента от колеблющихся масс M_e^I :

$$M_e^I = (m_5^I + m_7^I + \frac{m_5}{2}) * \frac{S}{2} - (5.35 + 0.85 + \frac{1.95}{2}) * 0.7 = 5.023 \text{ г} * \text{см}.$$

Коэффициент сбалансированности микродвигателя составит:

$$K_e^I = \frac{M_k}{M_e^I} = \frac{0.573}{5.023} * 100 = 11.41 \%$$

Улучшения сбалансированности можно добиться установкой дополнительных

противовесов из более тяжелого материала, например, из вольфрама ($\gamma_e = 19.3 \text{ г*см}^{-3}$).

Масса щеки противовеса с дополнительными одинаковыми грузами ($X_1 = X_2$) увеличится на

$$m_x = x_1 + x_2 = 2 * \frac{\pi R^2}{4} * \rho * (\gamma_e - \lambda_{cm}) = 2 * \frac{3.14 * 0.55^2}{4} * 0.5(19.3 - 7.9) =$$

$$= \frac{3.14 * 0.55^2}{2} * 0.5 * 11.4 = 2.707 \text{ г.}$$

С учетом того, что плечо дополнительных грузов $y_x = 0.6 \text{ см}$, компенсирующий момент увеличится на

$$M_x = m_x * y_x = 2.707 * 0.6 = 1.624 \text{ г*см.}$$

Таким образом, суммарный момент вращающихся масс после дополнительной загрузки противовеса грузами X_1 и X_2 изменится и станет равным

$$M_k^I = M_1 + M_x - (M_2 + M_3 + M_4 + M_5) = 3.505 + 1.624 - 2.932 = 2.197 \text{ г*см}$$

Коэффициент сбалансированности микродвигателя составит в варианте без доработки поршневой группы

$$K_e^{II} = \frac{M_k^I}{M_e} * 100 = \frac{2.197}{5.933} * 100 = 37.0\%$$

После проведения мероприятий по облегчению поршневой группы и установки дополнительных противовесов коэффициент сбалансированности микродвигателя составит:

$$K_e^{III} = \frac{M_k^I}{M_e^I} * 100 = \frac{2.197}{5.023} * 100 = 43.74\%$$

Полученный результат можно считать достаточно хорошим.

Использованием ABC- или AAC - рабочей пары, где поршень изготавливается из алюминиевого сплава, можно добиться еще более хороших результатов по степени сбалансированности одноцилиндрового микродвигателя.

Масса поршня из сплава АК21М2, 5Н2.5 составит 2,95 г, поршневой палец и шатун без изменений, тогда:

$$M_e^{II} = (m_5^I + m_7^I + \frac{m_5}{2}) * \frac{5}{2} - (2.95 + 0.95 + 0.975) * 0.7 = 3.413 \text{ г*см}$$

Тогда степень сбалансированности микродвигателя без доработок противовеса составит:

$$K_e^{IV} = \frac{M_k^I}{M_e^{II}} * 100 = \frac{0.573}{3.413} * 100 = 16.79\%$$

Доработка противовеса путем догрузки вольфрамовыми грузами по аналогии с

предыдущим примером дает степень сбалансированности:

$$K_{\theta}^V = \frac{M_{\kappa}^I}{M_{\theta}^H} * 100 = 64.37\%$$

Как уже говорилось ранее, оптимальным уровнем балансировки микродвигателя является соотношение Кб, равное 50%. Полученное соотношение показывает, что масса дополнительных противовесов несколько превышает необходимую для данного конструктивного решения кривошипно - поршневой группы. Уменьшив диаметр дополнительных противовесов до 4,5 мм, получим следующие результаты:

$$m_{\kappa}^I = x_{\kappa 1}^I + x_{\kappa 2}^I = 2 * \frac{\pi d^2}{4} * \rho * (\gamma_{\theta} - \lambda_{cm}) = 2 * \frac{3.14 * 0.45^2}{4} * 0.5 * 11.4 = 1.812 \text{ г.}$$

$$y_{\kappa} = 0.6 \text{ см.}$$

$$M_{\kappa}^I = m_{\kappa}^I * y_{\kappa} = 1.812 * 0.6 = 1.087 \text{ г * см.}$$

Суммарный момент вращающихся масс после догрузки противовеса станет равным

$$M_{\kappa}^H = M_1 + M_{\kappa}^I - (M_2 + M_3 + M_4 + M_5) = 3.505 + 1.087 - 2.932 = 1.660 \text{ г * см.}$$

Коэффициент сбалансированности микродвигателя составит в этом варианте:

$$K_{\theta}^{VI} = \frac{M_{\kappa}^H}{M_{\theta}^H} * 100 = \frac{1.660}{3.413} * 100 = 48.64\%$$

Полученный коэффициент сбалансированности микродвигателя можно считать удовлетворительным, а поставленную цель достигнутой.