

ВВЕДЕНИЕ

Технологический процесс ремонта машин и оборудования включает в себя систему операций по обеспечению качества отремонтированной техники. Одной из таких операций является балансировка. Она направлена на устранение механической неуравновешенности вращающихся деталей или сборочных единиц машин. Балансировке подвергаются такие сборочные единицы, как коленчатые валы и маховики двигателей внутреннего сгорания (раздельно и в сборе), карданные валы, барабаны молотильных аппаратов и т. д.

Неуравновешенность, или дисбаланс, – это произведение дисбалансной массы на радиус ее вращения ($G \cdot \text{мм}$, $G \cdot \text{см}$).

Механическая неуравновешенность быстро вращающихся деталей приводит к возникновению дополнительных нагрузок, действующих как на эти детали, так и на их опоры. Причинами дисбаланса могут быть неравномерная плотность материала (изделия) и погрешности при обработке деталей и сборке (перекосы, смещения).

В процессе эксплуатации условия уравнивания могут нарушаться. Этому способствуют изнашивание и деформирование деталей. Степень неуравновешенности может еще больше возрасти после восстановления деталей и других ремонтных воздействий из-за возможного смещения осей посадочных поверхностей, отступления от конструкторских баз, неравномерного распределения толщины наращенного слоя на поверхности изношенной детали и т. д. Так, дисбаланс коленчатых валов после ремонта или восстановления может превышать допустимое значение почти в 5 раз из-за изменения их геометрических параметров (прогиб, изменение радиуса кривошипа, угла между кривошипами и др.).

Цель работы: ознакомиться с методами балансировки деталей машин, устройством балансировочных машин и приспособлений; приобрести практические навыки по статической и динамической балансировке коленчатых валов, маховиков и других деталей.

1. УРАВНОВЕШИВАНИЕ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Для уравнивания вращающегося тела необходимо выполнение двух условий:

- центр масс должен находиться на геометрической оси вращения;
- ось вращения должна быть главной осью инерции.

Устранение несбалансированности может достигаться локальным изменением массы вращающегося тела в соответствующем его сечении. Изменение массы тела при балансировке осуществляют чаще всего сверлением отверстий в пассивных участках деталей. Наибольшая сложность при балансировке заключается в нахождении места расположения тех точек деталей, в которых должны располагаться компенсирующие (присоединяемые или удаляемые) массы.

Особенности балансировки коленчатых валов различных марок двигателей определяются их конструктивными различиями и техническими требованиями на допустимый остаточный дисбаланс. Значения допустимой несбалансированности коленчатых валов для некоторых двигателей представлены в табл. 1 [1].

Таблица 1. Допустимая несбалансированность коленчатых валов, г · мм

Марки двигателей	Допустимая несбалансированность
ЯМЗ-8423	500
Д-245	650
ЗМЗ-511.10, -513.10	300
ЗМЗ-402.10, -4021.10, -4025.10, -4026.10, -4104.10	350
ЗМЗ-406.10, -405.10, -409.10, -40524.10	180
ВАЗ-2101	120
BMW 3-й серии	500
BMW 7-й серии	250

В зависимости от конструкции коленчатый вал может балансироваться либо с технологическими втулками, устанавливаемыми на шатунные шейки, либо без них. Втулки делаются разъемными и имеют такие массы, чтобы их действие на коленчатый вал во время балансировки заменяло действие шатунно-поршневых групп. Технологические втулки должны быть предварительно отбалансированы с допустимым дисбалансом $2 \text{ г} \cdot \text{мм}$ и подогнаны по массе с точностью $\pm 1 \text{ г}$.

Однако на практике могут встречаться коленчатые валы, которые в зависимости от числа кривошипов и их относительного положения могут балансироваться без технологических втулок. Это коленчатые валы, симметричные относительно их средней плоскости (левая половина коленчатого вала является зеркальным отображением правой половины), и у которых центр системы масс лежит на оси вращения. К ним относятся, например, коленчатые валы 4- и 6-цилиндровых двигателей, схемы которых представлены на рис. 1.

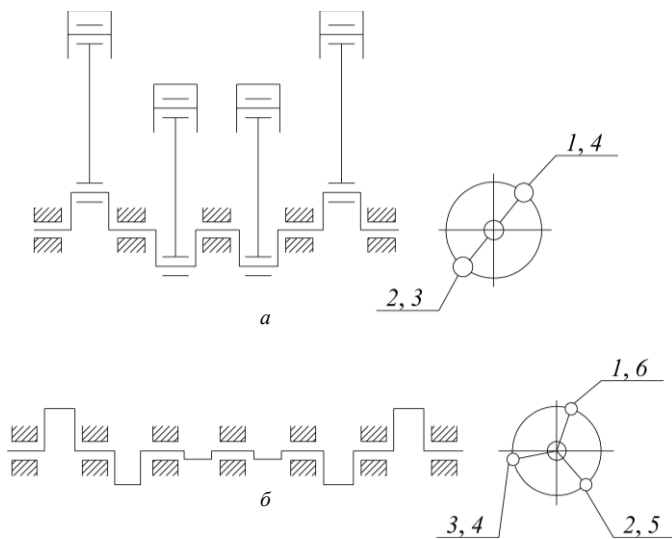


Рис. 1. Схемы коленчатых валов двигателей, балансируемых без технологических втулок: *а* – 4-цилиндрового двигателя; *б* – 6-цилиндрового двигателя; *1-6* – номера кривошипов

Балансировку отремонтированного коленчатого вала производят в такой последовательности. Сначала балансируют один вал. Дисбаланс устраняют путем сверления отверстий или увеличением массы металла сваркой на противовесах (обычно на крайних) коленчатого вала. Затем коленчатый вал балансируют в сборе с маховиком. Дисбаланс устраняют сверлением отверстий на торцевой поверхности маховика. Далее балансировку продолжают в сборе со сцеплением.

Тела вращения, подлежащие балансировке, принято подразделять на диски и валы. В основу данных различий положено соотношение поперечных и продольных размеров деталей. Диск – деталь, диаметр D которой (поперечный размер) значительно больше ее длины L в направлении оси вращения. Для дисков ($L \leq 1,73D$) применяется метод статической балансировки, а для валов – динамической балансировки.

2. СТАТИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА

Статическую балансировку проводят без вращения детали (кроме случая статической балансировки в динамическом режиме), находя для нее положение безразличного равновесия.

Статическая неуравновешенность имеет место (рис. 2), когда центр масс диска не расположен на оси его вращения, т. е. имеет радиальное смещение e .

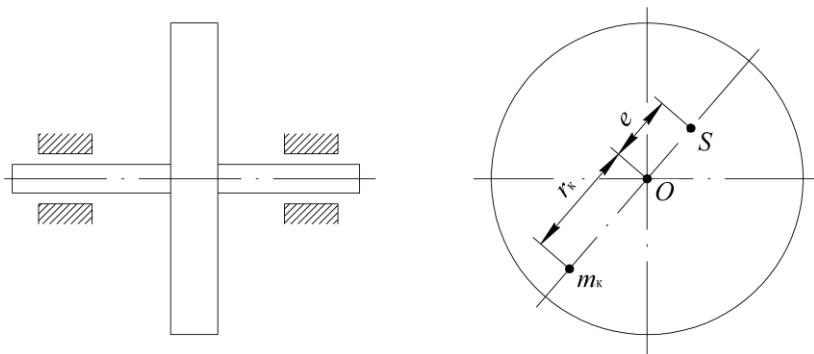


Рис. 2. Схема к определению статической сбалансированности дисков

Неуравновешенность при вращении приводит к возникновению центробежной силы инерции $F_{ц}$. Эта сила постоянна по величине, но переменна по направлению.

$$F_{ц} = me\omega^2 = \frac{G}{g}e\omega^2, \quad (1)$$

где m – масса диска, кг;

G – вес диска, Н;

g – гравитационная постоянная, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

e – радиус смещения центра масс диска относительно оси вращения, м;

ω – угловая скорость вращения диска, с^{-1} .

Для того, чтобы избавиться от воздействия данной силы на подшипники опор, необходимо к облегченной части диска прикрепить некоторую компенсирующую массу m_k в точке, диаметрально противоположной по отношению к центру масс S диска на определенном расстоянии r_k от оси вращения O . Для сбалансированного диска необходимо выполнение условия – центробежная сила инерции, действующая на дополнительную компенсирующую массу m_k , должна быть равна центробежной силе инерции $F_{ц}$ от дисбалансной массы, т. е.

$$m_k r_k \omega^2 = m e \omega^2. \quad (2)$$

Отсюда находим, что

$$m_k = \frac{e}{r_k} m. \quad (3)$$

Задавшись значением r_k по конструктивным или другим соображениям, находим по выражению (3) необходимую добавляемую компенсирующую массу. Аналогично рассчитывается и удаляемая компенсирующая масса.

Статическая балансировка может осуществляться на призмах или на вращающихся опорах (рис. 3).

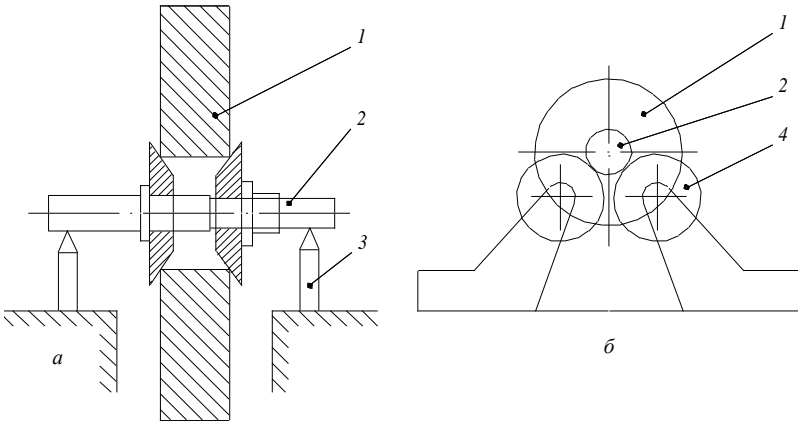


Рис. 3. Схема статической балансировки:
a – на призмах; *б* – на вращающихся опорах; 1 – балансируемая
 деталь; 2 – оправка; 3 – призма; 4 – вращающаяся опора

Точность балансировки на призмах зависит от момента силы трения, возникающей между призмами и шейками валов или оправками, на которых устанавливаются детали. При этом обязательным условием балансировки является горизонтальное расположение призм (устанавливается по уровню).

При балансировке на роликах точность балансировки зависит от момента трения в опорах и отношения диаметра шейки или оправки к

диаметру ролика. При массе балансируемых деталей до 250 кг диаметр роликов принимается равным 100 мм, при массе до 1500 кг – 150 мм.

Для деталей типа дисков, маховиков, не имеющих опорных шеек, статическая балансировка выполняется на специальных балансировочных весах.

При статической балансировке на весах (рис. 4) балансируемую деталь 1 устанавливают на платформу 5 и центрируют по посадочному диаметру D . Если центр тяжести детали не совпадает с осью $o-o$, то платформа будет поворачиваться в вертикальной плоскости относительно точки опоры на основании 4.

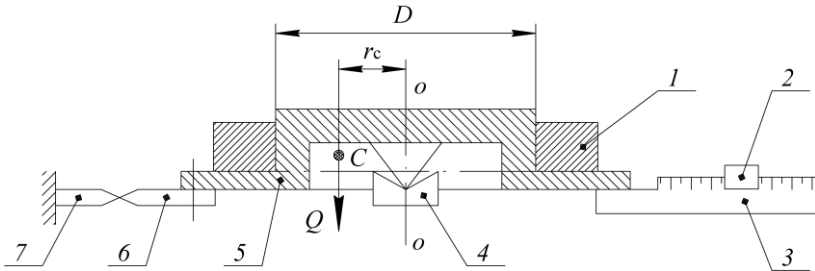


Рис. 4. Схема статической балансировки на весах: 1 – балансируемая деталь; 2 – груз-компенсатор; 3 – линейка компенсирующего устройства; 4 – основание; 5 – платформа; 6 – подвижная стрелка; 7 – неподвижный репер

Во время балансировки деталь вручную проворачивают относительно платформы вокруг оси $o-o$ до тех пор, пока центр тяжести C системы платформа-деталь не совпадет с вертикальной диаметральной плоскостью, проходящей через подвижную стрелку 6 и линейку компенсирующего устройства 3.

Такое положение детали можно определить по отклонению платформы из горизонтального положения при ее освобождении. В этом случае платформа с деталью поворачивается либо в сторону стрелки 6, либо в сторону компенсирующего устройства.

После этого, перемещая груз-компенсатор 2 по линейке 3, добиваются горизонтальности положения платформы, что контролируется по совпадению неподвижного репера 7 и стрелки указателя 6.

О величине смещения центра тяжести r_c судят по положению груза 2 на линейке компенсирующего устройства 3. Линейка показывает расстояние от груза-компенсатора до оси $o-o$. Масса груза-компенсатора известна заранее, что позволяет пересчитать дисбаланс для детали и определить место расположения компенсирующей массы.

В последнее время начали применять статическую балансировку деталей в динамическом режиме. Способы ее выполнения аналогичны методам, применяемым при динамической балансировке.

Основным элементом стенда для статической балансировки в динамическом режиме (рис. 5) является платформа 2, которая устанавливается на пружинах 3. Шпиндель стенда 5 смонтирован на платформе и вращается с постоянной угловой скоростью. Балансируемая деталь 1 закрепляется в шпинделе.

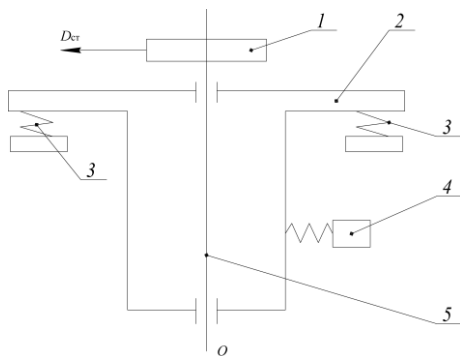


Рис. 5. Схема статической балансировки в динамическом режиме:
1 – балансируемая деталь;
2 – платформа; 3 – пружины;
4 – датчик; 5 – шпиндель стенда

При наличии у детали статической неуравновешенности центр масс системы (платформа вместе с деталью) не совпадает с осью вращения $o - o$.

При вращении детали под действием этой статической неуравновешенности $D_{ст}$ система совершает колебательные движения, амплитуду которых измеряет датчик 4. Амплитуда колебаний и характеризует степень статической неуравновешенности детали.

Промышленно для статической балансировки в динамическом режиме выпускаются стенды типов МВТУ-703, МВТУ-704.

3. ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА

Сущность динамической балансировки рассмотрим на частном примере для случая плоской системы сил. Предположим, что дисбалансная масса m_1 находится на поверхности вала (рис. 6) в плоскости P_1 , т. е. вал имеет статическую неуравновешенность. На практике положение плоскости P_1 на готовой детали неизвестно. Поэтому компенсирующую массу m_2 расположим в любом поперечном сечении вала, например в плоскости P_2 . Однако при вращении такого вала воз-

никает пара центробежных сил $F_{ц1}$ и $F_{ц2}$ на плече l_1 , момент которой будет передаваться на опоры вала и вызывать реакции R_A и R_B . Такая неуравновешенность называется моментной.

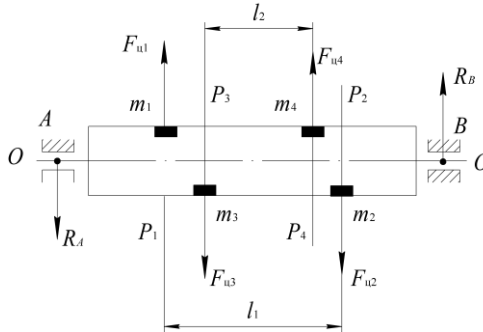


Рис. 6. Схема динамической балансировки ротора (частный случай плоской системы сил)

Уравновесить эту пару центробежных сил можно с помощью двух одинаковых компенсирующих масс m_3 и m_4 , установленных в двух любых поперечных сечениях вала, например в плоскостях P_3 и P_4 .

Величина компенсирующих масс должна быть подобрана такой, чтобы создаваемые ими при вращении центробежные силы $F_{ц3}$ и $F_{ц4}$ на плече l_2 обеспечивали момент, равный моменту центробежных сил от масс m_1 и m_2 , но направленный в противоположную сторону.

Однако на практике дисбалансные и компенсирующие массы из-за сложной конструкции деталей машин не всегда располагаются в одной плоскости.

Рассмотрим более подробно динамическую неуравновешенность ротора (вала). Пусть центр массы ротора (рис. 7) располагается на некотором расстоянии $e_{ст}$ от его оси вращения.

В общем случае при вращении на данный ротор будут действовать два вида неуравновешенности:

- 1) статическая $D_{ст}$ – вследствие того, что центр масс не расположен на оси вращения;
- 2) моментная M_D (момент от дисбалансных центробежных сил инерции) – из-за того, что главная ось инерции $o_1 - o_1$ расположена под углом γ к оси вращения $o - o$.

На схеме эти неуравновешенности представлены главным вектором дисбалансов $D_{ст}$ и главным моментом дисбалансов M_D , создаваемым на плече L (расстояние между опорами).

Если рассматривать две плоскости, перпендикулярные оси ротора и проходящие через середины опор A и B межопорного ротора, то главный вектор дисбалансов $D_{ст}$ может быть заменен его составляющими в плоскостях опор $D_{стA}$ и $D_{стB}$, а главный вектор-момент M_D – парой дисбалансов D_{MA} и D_{MB} , действующих в тех же плоскостях.

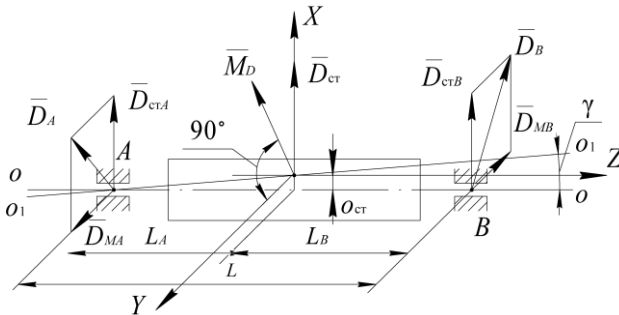


Рис. 7. Схема к определению динамической неуравновешенности ротора

Вектор главного момента M_D направлен перпендикулярно плоскости действия дисбалансов D_{MA} и D_{MB} . Составив уравнение моментов относительно опор A и B , получим:

$$D_{стA} = D_{ст} \frac{L_A}{L}; \quad D_{стB} = D_{ст} \frac{L_B}{L}; \quad (4)$$

$$D_{MA} = -D_{MB}; \quad D_M = \frac{M_D}{L}. \quad (5)$$

Таким образом, в каждой плоскости опор будут действовать суммарные векторы дисбалансов:

$$D_A = -D_{стA} + D_{MA}; \quad D_B = D_{стB} + D_{MB}. \quad (6)$$

Эти два вектора также полностью определяют динамическую неуравновешенность ротора. При динамической балансировке ротора на балансировочном стенде эти суммарные векторы дисбалансов будут регистрироваться по величине и направлению для каждой опоры.

Пусть под действием какой-то дисбалансной массы m_0 в плоскостях опор ротора (рис. 8) создаются соответствующие дисбалансы. Положение дисбалансной массы обычно неизвестно.

Для уравновешивания центробежной силы инерции от дисбалансной массы m_0 (для случая плоской системы сил) в произвольно выбранных плоскостях P_1 и P_2 , называемых плоскостями коррекции, расположим компенсирующие массы $m_{к1}$ и $m_{к2}$.

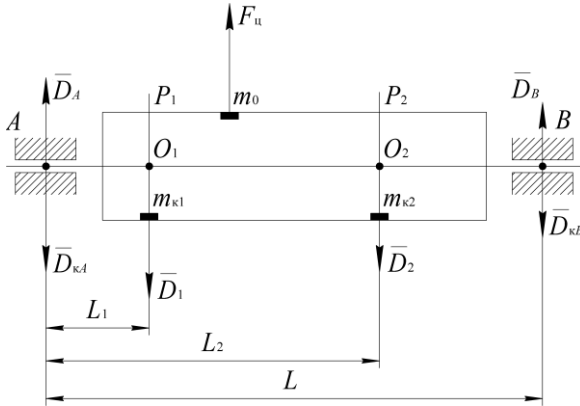


Рис. 8. Схема динамической балансировки вала

Величина компенсирующих масс и места их расположения в плоскостях коррекции должны быть подобраны таким образом, чтобы создаваемый этими массами дисбаланс на опорах ротора $D_{кA}$ и $D_{кB}$ компенсировал дисбаланс D_A и D_B от массы m_0 .

Другими словами, дисбалансы от неуравновешенной m_0 и компенсирующих масс $m_{к1}$ и $m_{к2}$ в плоскостях опор вала должны быть равны и направлены в противоположные стороны, т. е.

$$D_A = -D_{кA}; \quad D_B = -D_{кB}. \quad (7)$$

Для того, чтобы определить величины компенсирующих масс, необходимо рассчитать дисбаланс в плоскостях коррекции.

Составив два уравнения моментов относительно точек O_1 и O_2 плоскостей коррекции P_1 и P_2 , определим:

$$D_1 = \frac{D_A L_2 + D_B (L - L_2)}{L_2 - L_1}; \quad (8)$$

$$D_2 = \frac{D_A L_1 + D_B (L - L_1)}{L_2 - L_1}. \quad (9)$$

Для коленчатых валов плоскости коррекции выбираются исходя из их конструктивных особенностей. Обычно выбираются плоскости крайних противовесов вала. Замерив расстояние между серединами крайних коренных опор вала и расстояние от одной из них до выбранных плоскостей коррекции, можно рассчитать дисбалансы D_1 и D_2 .

Как было сказано выше, дисбаланс – это произведение дисбалансной массы на радиус ее вращения. Таким образом, задавшись радиусом, можно определить величину компенсирующей массы. Значение радиуса выбирается исходя из конкретных условий – конструкции коленчатого вала и возможного места расположения компенсирующей массы. Как правило, эти массы располагаются в противовесах.

При выборе радиуса вращения компенсирующей массы следует стремиться к тому, чтобы величина этой массы была как можно меньше, т. е. радиус вращения должен быть по возможности большим. После этого величину компенсирующей массы определяют по следующей формуле (например, для 1-й плоскости коррекции):

$$m_{к1} = \frac{D_1}{r_{к1}}. \quad (10)$$

Аналогичным образом производятся расчеты и для другой плоскости коррекции.

Введением двух компенсирующих масс может быть устранена динамическая несбалансированность и в случае смешенной неуравновешенности, когда силы инерции от дисбалансных масс не располагаются в одной плоскости.

Станок балансировочный КИ-4274 предназначен для динамической балансировки коленчатых валов автотракторных двигателей массой от 10 до 100 кг. Станок пригоден для балансировки межопорных роторов, соответствующих технической характеристике станка. Плоскости коррекции в пределах длины балансируемого вала могут быть выбраны в наиболее удобной его части, причем взаимное влияние плоскостей коррекции отсутствует. Количество корректирующей массы определяется по показанию стрелочного индикатора значения дисбаланса. Угол коррекции определяется стробоскопическим индикатором угла дисбаланса.

Техническая характеристика балансировочного станка КИ-4274 представлена в табл. 2.

Устройство и принцип работы станка. Станок включает механическую часть, измерительное устройство с преобразователем, а так-

же электрооборудование с электроприводом и устройство для автоматической смазки вкладышей под шейки балансируемого вала.

Таблица 2. Техническая характеристика балансировочного станка КИ-4274

Параметры	Значения параметров
Масса балансируемого вала, кг, не более	100
Наибольшее расстояние между серединами опор, мм	1000
Наименьшее расстояние между серединами опор, мм	260
Наибольший допустимый диаметр вала (ротора), мм	700
Частота вращения при балансировке, мин ⁻¹	720
Точность балансировочного станка, г · мм/кг	1–2
Порог чувствительности по углу дисбаланса, рад (град)	0,087 (5)
Мощность, потребляемая станком, кВт	3,5
Габаритные размеры, мм	2780×730×1200
Масса, кг	1100

Механическая часть станка (рис. 9) включает в себя станину, шпиндельную бабку и опоры. Станину станка составляют жестко соединенные между собой стойки 1 и 4, плита 2 и стальные трубчатые направляющие 3. На трубчатых направляющих станка крепятся две опоры 12 и 14, которые с помощью винтов 6 могут стопориться в нужном положении. Положение опор станка выбирается в зависимости от длины балансируемого вала.

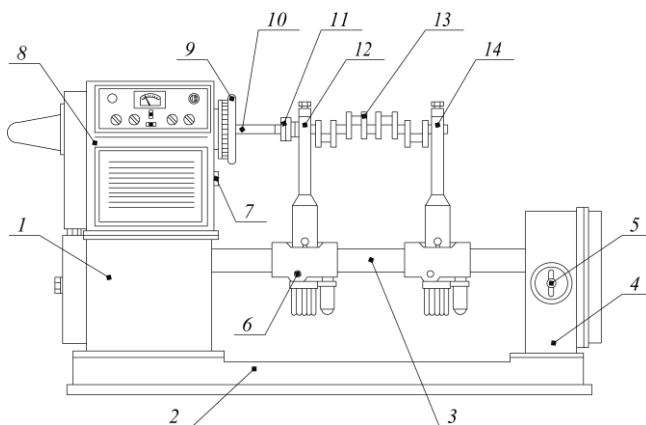


Рис. 9. Общий вид балансировочного станка КИ-4274: 1, 4 – стойки; 2 – плита; 3 – трубчатые направляющие; 5 – пакетный выключатель; 6 – стопорный винт опоры; 7 – кнопка включения электродвигателя; 8 – шпиндельная бабка; 9 – маховик; 10 – приводной вал; 11 – соединительная муфта; 12, 14 – опоры; 13 – коленчатый вал

На стойке 1 закреплена шпиндельная бабка 8 с электронным блоком. Внутри стойки расположен привод станка, включающий в себя электродвигатель и клиноременную передачу. Электродвигатель управляется кнопочной станцией 7.

В стойке 4 смонтирован щит с электрооборудованием, включение которого осуществляется пакетным выключателем 5.

В корпусах опор 12 и 14 на стальных лентах подвешены люльки, смонтированы масляные гасители колебаний люлек (демпферы), измерительные преобразователи колебаний и механизм запирания опор.

Электромагниты механизма запирания опор срабатывают через 2–3 секунды после включения привода станка, когда частота вращения вала достигает номинального значения, и растормаживают люльки опор. В люльках опор крепятся сменные вкладыши (в зависимости от диаметра шейки вала), на которые укладывается балансируемый коленчатый вал 13. В процессе работы к вкладышам подается смазка.

Измерительное устройство состоит из двух преобразователей индукционного типа, которые преобразуют механические колебания люлек в колебания электрического тока. Преобразователи размещены в корпусах левой и правой опор.

Принцип действия станка следующий. От шпинделя (рис. 10) через приводной вал и упругую соединительную муфту вращение передается на балансируемый вал.

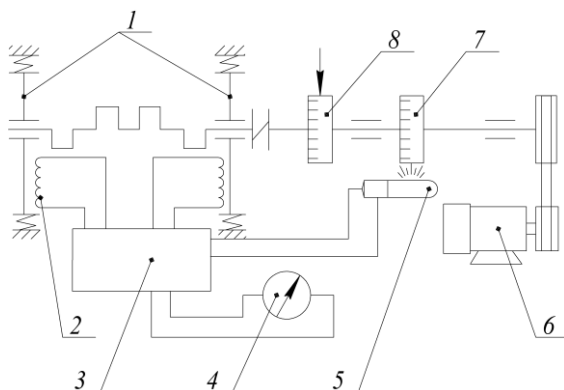


Рис. 10. Схема станка для динамической балансировки коленчатых валов: 1 – люлька; 2 – преобразователь механических колебаний; 3 – усилительный блок; 4 – индикатор значения дисбаланса; 5 – безынерционная лампа стробоскопа; 6 – электродвигатель; 7 – лимб; 8 – маховик

Неуравновешенность вала вызывает механические колебания люлек опор *1*. С помощью преобразователей *2* механические колебания преобразуются в колебания электрического тока. Выходное напряжение преобразователя, пропорциональное значению дисбаланса, усиливается в электронном блоке *3* и поступает на индикатор значения дисбаланса *4* и импульсную лампу *5* стробоскопа, которая освещает цифры на вращающемся лимбе *7*.

Импульсная лампа зажигается на очень короткое время и поэтому на вращающемся лимбе освещается один и тот же участок с делениями и стрелкой, указывающей, на каком градусе поворота коленчатого вала находится дисбаланс (угол коррекции).

Схема пульта управления станка КИ-4274 показана на рис. 11.

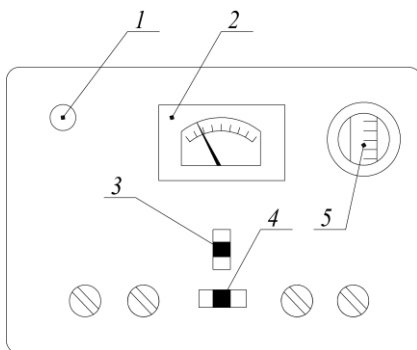


Рис. 11. Схема пульта управления станка КИ-4274:

- 1* – контрольная лампа; *2* – индикатор значения дисбаланса; *3* – переключатель чувствительности измерений;
- 4* – переключатель замера в плоскости опор (левая-правая);
- 5* – стробоскоп

Тумблером *4* на пульте осуществляется переключение измерений значений дисбаланса в левой или правой плоскостях коррекции.

4. БАЛАНСИРОВКА РОТОРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН МЕТОДОМ КРУГОВОГО ОБХОДА ГРУЗА

Метод кругового обхода груза является наиболее простым и доступным для балансировки роторов сельскохозяйственных машин, таких, как молотильные барабаны, измельчающие барабаны и т. д.

Он может применяться при статической балансировке тяжелых роторов, которые из-за большого сопротивления не могут устанавливаться в положение равновесия, т. е. величина момента эквивалентных сил сопротивления больше момента, создаваемого неуравновешенной массой.

Наружную поверхность ротора делят на несколько равных частей. Ротор проворачивают таким образом, чтобы точка № 1 находилась в горизонтальной плоскости. К ротору в точке № 1 вешают такую пробную массу m_{n1} , чтобы ротор начал движение. Аналогичные действия повторяют для остальных отмеченных точек на роторе.

По полученным данным строят кривую зависимости величины пробной массы от точек ее приложения (рис. 12). Максимум кривой соответствует «легкому месту», в которое следует устанавливать корректирующую массу.

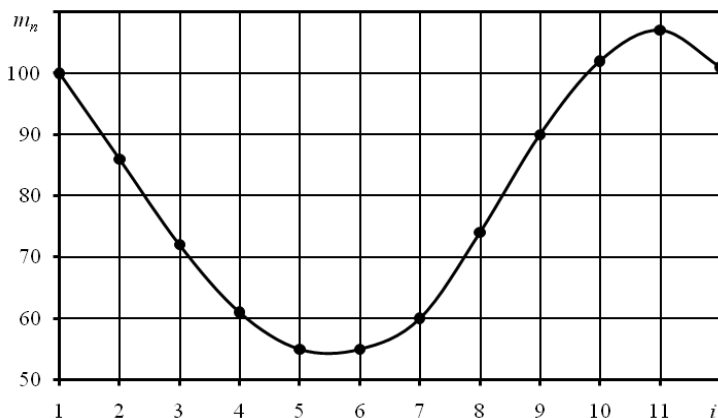


Рис. 12. Кривая зависимости величины пробной массы от точек ее приложения

Динамическая балансировка методом кругового обхода груза состоит из двух стадий: определения положения уравнивающего груза и определения величины уравнивающего груза.

Определение неуравновешенности производится замером амплитуды вибрации незакрепленной опоры при резонансной частоте вращения ротора: вначале при постоянном пробном уравнивающем грузе, перемещающемся по окружности ротора, а затем при одном и том же положении уравнивающего груза, но при его переменной величине. При правильно выбранном местоположении и величине груза амплитуда колебания незакрепленной опоры становится минимальной.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Статическая балансировка

Оснащение рабочего места: установка для статической балансировки на роликах, балансируемые детали, оправки для балансируемой детали, рычажные весы, компенсирующие грузы (пластилин, магнитные шайбы), электрическая дрель, набор сверл, линейка.

Порядок выполнения статической балансировки:

1. Получить задание.
2. Выставить установку для статической балансировки по уровню.
3. Установить балансируемую деталь на ролики установки.
4. Проворачивая шкив поочередно в левую и правую стороны на 90° от положения равновесия, определить наиболее «тяжелое» место детали и обозначить его меткой.

5. На противоположной стороне детали выбрать место присоединения компенсирующей массы. Оно выбирается из конструктивных соображений и должно быть удалено от оси вращения на такое расстояние, чтобы в диаметрально противоположной точке на «тяжелой» стороне диска удобно было осуществлять съем (высверливание) дисбалансной массы.

6. Прикрепляя пластилин к выбранному месту детали, добиться ее балансировки, чтобы при остановке вращения деталь занимала безразличное положение. Целесообразно, чтобы компенсирующий пластилиновый груз имел форму симметричной фигуры (шарик, цилиндр, конус и др.).

7. Определить массу компенсирующего груза m_k и радиус вращения его центра тяжести r_k . Масса груза определяется взвешиванием на лабораторных весах, а радиус – линейкой.

8. Из конструктивных соображений выбрать сверло, диаметр которого должен быть не больше размеров участка для удаления дисбалансной массы.

9. Рассчитать глубину сверления для удаления металла с «тяжелой» стороны по упрощенной формуле:

$$h = \frac{4m_k}{\pi d^2 \rho}, \quad (11)$$

где d – диаметр сверла, см;

ρ – плотность материала детали, г/см^3 (для чугуна и стали $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$).

10. Определить место удаления дисбалансной массы, для чего значение r_k отложить от центра вращения детали в направлении метки. Произвести сверление на рассчитанную глубину.

11. Проверить правильность выполнения статической балансировки детали. При необходимости балансировку повторить.

12. Результаты записать в табл. 3.

Таблица 3. Результаты статической балансировки

Масса установленного груза m_k , г	Радиус расположения груза r_k , мм	Диаметр сверла, мм	Глубина сверления h , мм

13. Привести в порядок рабочее место.

5.2. Динамическая балансировка

Оснащение рабочего места: балансировочный станок КИ-4274, коленчатый вал, электрическая дрель, набор сверл, штангенциркуль, линейка.

Порядок выполнения динамической балансировки:

1. Получить задание.

2. Установить на опоры балансировочного станка коленчатый вал и соединить его с приводной муфтой (предварительно станок должен быть настроен по эталонному валу, прилагаемому к станку).

3. Вращением за маховик вручную проверить отсутствие задевания вала о люльки и корпуса опор.

4. Включить измерительное устройство, при этом должна загореться контрольная лампа 1 (см. рис. 11) на пульте управления. Для этого в шпиндельной бабке необходимо открыть крышку измерительного устройства, на внутренней стороне которого расположен тумблер включения. После пятиминутного прогрева станок готов к работе.

5. Переключатель чувствительности измерений 3 установить в положение «15000», а переключатель замера в плоскостях опор 4 – в положение «левая».

6. Включить привод станка и произвести съем показаний дисбаланса и угла коррекции. Индикатор дисбаланса имеет две шкалы. Шкала для грубых измерений позволяет определять дисбаланс до $15000 \text{ г} \cdot \text{мм}$, шкала для точных измерений – до $3000 \text{ г} \cdot \text{мм}$. Если стрелка индикатора дисбаланса отклоняется меньше чем на 3000 еди-

ниц по шкале грубых измерений, то переключатель чувствительности установить в положение «3000» и повторить съем показаний. Аналогичные замеры произвести и в правой плоскости опор, установив переключатель в положение «правая». Выключить привод станка.

7. Выбрать плоскости коррекции. Замерить расстояние от середины левой опоры до первой L_1 и второй L_2 плоскостей коррекции.

8. Рассчитать дисбалансы D_1 и D_2 в плоскостях коррекции по формулам (8) и (9).

9. Вращая рукой маховик, установить вал на соответствующий угол коррекции для левой опоры. Значение угла коррекции на лимбе маховика должно располагаться напротив стрелки. В этом положении «тяжелая» сторона вала располагается строго вверх. Определить расстояние от оси вращения вала до предполагаемого места расположения корректирующей массы (приблизительное значение r_k).

10. Рассчитать величину корректирующей массы в первой плоскости по формуле (10). Значение r_k (радиус вращения центра тяжести корректирующей массы) принять с учетом того, что при удалении этой массы сверлением его величина несколько уменьшается.

11. Подобрать диаметр сверла и рассчитать глубину сверления по формуле (11). Диаметр сверла выбирается из конструктивных соображений таким образом, чтобы он не превышал ширины участка противовеса, с которого будет удаляться компенсирующая масса.

12. Включить станок и проверить остаточный дисбаланс на левой опоре. При необходимости провести корректировку.

13. Выполнить пункты 10–13 для правой опоры.

14. Результаты балансировки записать в отчет (табл. 4).

Таблица 4. Результаты динамической балансировки коленчатого вала двигателя

Опоры	Угол коррекции γ , град	Величина неуравновешенности D_1 и D_2 , г · мм	Радиус положения массы r_k , мм	Масса m_k , г	Диаметр сверла d и глубина отверстия h , мм
Левая					
Правая					

15. Привести в порядок рабочее место.

6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Запрещается включать станок без разрешения преподавателя.

2. При работе на станке все дверки и крышки электрооборудования должны быть плотно закрыты.

3. Не допускается вращение шпинделя при снятой с балансируемого коленчатого вала приводной муфте.
4. Перед включением станка убедиться в надежности соединения коленчатого вала с приводом.
5. Проверить легкость вращения установленного коленчатого вала в постелях опор.
6. Не браться за вал до его полной остановки.
7. Запрещается находиться напротив вращающейся детали.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Описание сущности статической и динамической балансировки.
2. Схемы установок для статической и динамической балансировки деталей, применяемые в лабораторной работе.
3. Расчеты по статической и динамической балансировке деталей.
4. Таблицы с результатами балансировки.
5. Выводы и заключение.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите причины неуравновешенности деталей и ее влияние на работу машин.
2. В чем заключается сущность статической балансировки деталей?
3. Какие методы статической балансировки применяются в ремонтном производстве и каковы их особенности?
4. Какие причины влияют на точность статической балансировки?
5. В чем заключается сущность динамической балансировки деталей?
6. Расскажите принцип работы станка для динамической балансировки.
7. Перечислите основные узлы станка для динамической балансировки. Каково их назначение?
8. В какой последовательности производится динамическая балансировка коленчатого вала двигателя?
9. В чем заключается проблема статической балансировки тяжелых роторов?
10. Как осуществляется балансировка роторов методом кругового обхода груза?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хитрюк, В. А. Справочник по ремонту автотракторных двигателей / В. А. Хитрюк, Л. Ф. Баранов. – Минск: Ураджай, 1992. – 240 с.
2. Авдеев, М. В. Технология ремонта машин и оборудования / М. В. Авдеев, Е. Л. Воловик, И. Е. Ульман. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 246 с.
3. Алексеенко, И. Л. Статическая и динамическая балансировка деталей машин: метод. указания / И. Л. Алексеенко. – Горки: БГСХА, 2000. – 24 с.
4. Шахов, В. А. Разработка стенда для динамической балансировки молотильных барабанов комбайнов фирмы Claas после ремонта / В. А. Шахов, О. Н. Терехов, В. С. Коляда // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. – 2012. – № 2(34). – С. 72–74.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Уравновешивание тел вращения.....	3
2. Статическая балансировка.....	5
3. Динамическая балансировка.....	9
4. Балансировка роторов сельскохозяйственных машин методом кругового обхода груза.....	16
5. Порядок выполнения работы.....	18
5.1. Статическая балансировка.....	18
5.2. Динамическая балансировка.....	19
6. Техника безопасности.....	20
7. Содержание отчета.....	21
8. Контрольные вопросы.....	21
Библиографический список.....	22