

**К.Ф. Боряк /к.т.н./**

*"Научный центр точного машиностроения"*

*Национального космического агентства Украины (Киев, Украина)*

**Ю.Г. Ткаченко**

*Пассажирское вагонное депо "Каховка" Одесской железной дороги (Таврийск, Украина)*

## ОСОБЕННОСТИ СТАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПАРАЛЛЕЛЯХ (ПРИЗМАХ)

В статье рассматриваются существующая методика проведения статической балансировки различных роторов в производственных условиях ремонтного транспортного предприятия.

При статической балансировке на призмах вначале устанавливается рама и прочно закрепляется на фундаменте или к полу для исключения вибрации. Затем устанавливаются стальные ножи (призмы) [1]. Требования к установке ножей очень высокие: ножи устанавливаются строго параллельно друг другу и горизонтально как в продольном, так и в поперечном направлениях с помощью лазерного уровня и микрометрических винтов (погрешность установки не должна превышать 0,02 мм на 1 погонный метр длины направляющих призм). Длина направляющих призм должна быть достаточной для перекачивания по ней балансируемой детали на 2...3 полных оборота. Ширина рабочих поверхностей (ножей) выбирается следующим образом:

- 0,3 мм для деталей массой до 3 кг;
- 3 мм для деталей массой до 30 кг;
- 10 мм для деталей массой до 300 кг.

**Вопрос:** В каком из ремонтных транспортных предприятий имеется такого класса точности лазерный уровень? Стоимость лазерного уровня точностью 0,01 мм начинается с 10 тыс. долларов США. А стоит ли его покупать только для того, чтобы один раз установить оборудование для статической балансировки?

Как правило, процесс статической балансировки роторов на горизонтальных линейных опорах (призмах) выполняют в пять стадий [2]:

- 1) грубая балансировка;
- 2) точная балансировка;
- 3) выбор расположения и величины корректирующих грузов;
- 4) установка и крепление корректирующих грузов;
- 5) контроль качества балансировки.

Рассмотрим порядок проведения грубой статической балансировки. Балансируемый ротор плотно насаживается на вал-оправку, концы которого свободно устанавливаются на призмы.

Ротор должен иметь собственную ось вращения. При этом на тонкую цапфу необходимо установить выравнивающую втулку (если цапфы разные). Установленному на призмах ротору придается небольшое вращение. Под действием сил тяжести, ротор установится в такое положение, когда его центр масс окажется снизу. С другой (противоположной) стороны вдоль вертикальной оси надо добавить груз и добиться чтобы, в конце концов, ротор останавливался в безразличном положении за счет варьирования веса груза или расстояния его от оси вращения. Зная вес груза и расстояние установки его от оси вращения, подсчитывают величину остаточного статического дисбаланса ротора, исходя из следующего соотношения:

$$m_p \cdot e = m_{zp} \cdot r_{zp},$$

где  $m_p$  – масса балансируемого ротора вместе с оправкой;  $e$  – расстояние (эксцентриситет) между осью вращения неуравновешенного ротора и его центром масс;  $m_{zp}$  – масса установленного корректирующего груза;  $r_{zp}$  – расстояние от оси вращения до центра масс прикрепленного корректирующего груза.

Часто вместо прикрепленного груза используют сверление металла со стороны тяжелой части ротора. Количество высверливаемого материала определяется расчетом диаметра сверла  $d$  по формуле:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{m_{zp} \cdot r_{zp}}{\pi \cdot B \cdot l \cdot \rho}},$$

где  $B$  – глубина сверления или толщина диска при сквозном сверлении;  $l$  – расстояние от центра вращения до геометрической оси ротора;  $\rho$  – плотность материала высверливания ротора.

Грубая балансировка выполняется с целью устранения явной неуравновешенности ротора без учета сил сопротивления, препятствующих его качению на металлических призмах, т.е. до

тех пор пока момент от силы веса ротора  $M_{ин}$  не станет равным моменту сопротивления кручению:

$$M_{кр} = M_{ин} = \delta \cdot m_p,$$

где  $\delta$  – коэффициент сопротивления при качении.

Следовательно, если смещение центра тяжести не превышает величины коэффициента сопротивления при качении  $\delta$ , то деталь теряет способность перемещаться на горизонтальных призмах. Таким образом, величина  $\delta$  определяет точность грубой статической балансировки и характеризует чувствительность данной конструкции горизонтальных призм. Этот коэффициент  $\delta$  для стального ротора и стальной опорной призмы колеблется в пределах 0,001...0,005 см.

Например, для внутренней части (общим весом с учетом оправки 47 кг) автоматической фрикционной муфты сцепления, которая устанавливается в сборе с карданным валом на пассажирском вагоне, величина минимально достижимого остаточного дисбаланса при статической балансировке на горизонтальных призмах, в идеале сделанных из самой лучшей марки стали, составит:

$$D_d = \delta \cdot m_p = 0,001 \cdot 47000 = 47 \text{ гр} \cdot \text{см}.$$

Силы сопротивления перекачиванию ротора обусловлены различными причинами:

- не горизонтальностью и не параллельностью опорных призм, износом ширины рабочей поверхности призм;
- недостаточная твердость (опорные элемен-

ты изготавливаются из закаленной углеродистой высококачественной стали 40, 50, 40ХН, 50Г) и плохое качество обработки рабочих поверхностей опорных призм и шеек вала оправки (рабочие поверхности отшлифовываются до значения шероховатости 0,08...0,16 мкм);

- наличие дефектов (царапин, вмятин) и загрязнений (пыли, липких веществ) на призмах и шейках вала;
- прогиб опорных призм и самого вала и т.д.

Поэтому при статической балансировке отдельных элементов автоматических муфт, бывавших в эксплуатации, этот коэффициент  $\delta$  будет не меньше 0,005 и тогда величина минимально достижимого дисбаланса при статическом балансировании превысит норму в 5 раз:

$$D_d = \delta \cdot m_p = 0,005 \cdot 47000 = 235 \text{ гр} \cdot \text{см}.$$

Согласно действующей инструкции по ремонту [3] эта величина нормирована 10 гр·см, следовательно, нужно выполнить вторую стадию – точную балансировку с целью устранения скрытой неуравновешенности ротора из-за наличия сил трения. Точная балансировка выполняется следующим образом. Торцевая поверхность ротора делится на 8, 12 или 16 равных секторов (рисунок 1).

Линии, делящие торцевую поверхность на сектора, нумеруются по порядку. Направление нумерации линий может быть произвольным: по часовой стрелке или против. Ротор с прикрепленным к нему уравнивающим грузом поворачивают таким образом, чтобы линия под номером 1 оказалась в горизонтальной плоскости. К боковой поверхности ротора напротив

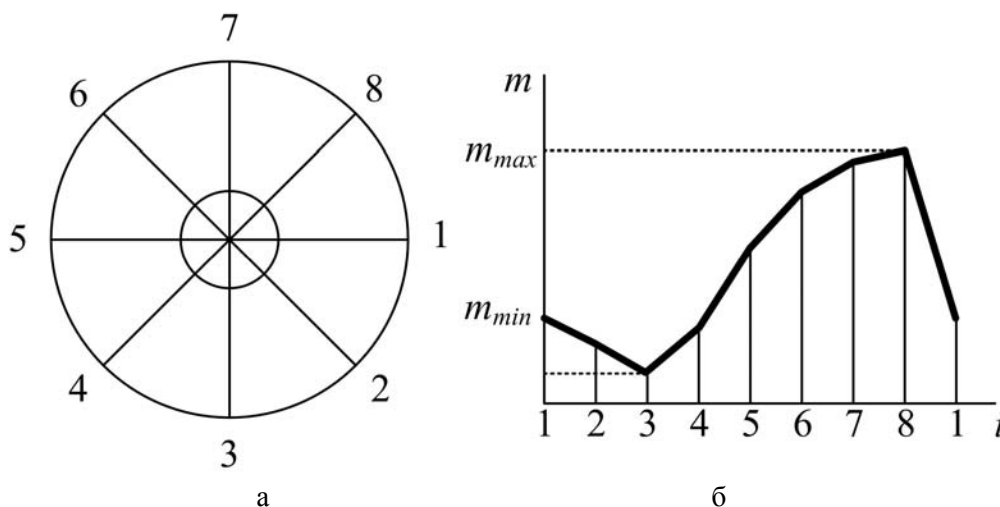


Рисунок 1 – Определение скрытой неуравновешенности ротора:  
 а – разбивка ротора на сектора; б – диаграмма разбалансировки ротора;  
 m – масса пробного груза; i – обозначение положения ротора

линии 1 прикрепляют пробный груз такой величины, масса ( $m$ ) которого достаточна (без избытка) для вывода ротора из состояния равновесия. Величину пробного груза, приводящего к разбалансировке ротора определяют опытным путем, посредством прикрепления к ротору мелких порций пластилина до тех пор, пока он не придет в движение. Затем груз снимают и взвешивают на весах с точностью до десятых долей грамма. Аналогичные операции поочередно выполняют для всех других положений ротора, обозначенных номерами.

По данным о величине пробных грузов, вызывающих дисбаланс ротора в его различных положениях, строят диаграмму. По диаграмме определяют максимальную ( $m_{max}$ ) и минимальную ( $m_{min}$ ) массу пробного груза, необходимого для вывода ротора из равновесия. Там, где располагается груз наибольшей величины, находится легкая сторона ротора, а в том месте, где устанавливается груз наименьшей величины, находится тяжелая сторона ротора. При правильной установке пробных грузов, их минимальное и максимальное значения должны быть в диаметрально противоположных точках друг от друга. Для устранения скрытой неуравновешенности ротора на его легкой стороне прикрепляют корректирующий груз, масса которого равна половине разности между максимальным и минимальным значением пробных грузов. Второй этап балансировки считается законченным.

Трудно себе представить, как рядовой слесарь после указанных выше манипуляций с грязными руками садиться за письменный стол возле стенда, берет в руки карандаш, линейку, лист чистой белой бумаги, калькулятор и начинает строить диаграмму, по которой определяет величину и место установки корректирующего груза. Затем взвешивает на точных до 0,1 гр. весах массу корректирующего груза и прикрепляет его к ротору. Лично авторам такую картину видеть не доводилось.

На третьем и четвертом этапах, корректирующие грузы заменяют одним штатным рабочим грузом. Материал рабочего груза, его место установки и способ закрепления на роторе должны выбираться с учетом безопасности, надежности и долговечности работы.

Последней стадией статической балансировки является контроль качества уравнивания

ротора. Для этого ротор с установленным рабочим грузом снова устанавливается на призмы, и поворачивают в любую сторону на произвольный угол. Правильно сбалансированный ротор должен пребывать в состоянии равновесия в любом положении по всей длине призм и не должен перекашиваться. Если данное требование выполняется, то процесс статической балансировки считают законченным. В противном случае процесс балансировки повторяется. Но самое главное, что полученный с таким трудом результат статической балансировки ротора может, как улучшить, так и ухудшить неуравновешенность самого ротора.

Таким образом, недостатком статической балансировки является то, что она не может обнаружить неуравновешенные пары сил и часто способствует их появлению, ухудшая тем самым общую сбалансированность ротора. Отсюда следует, что за результат статической балансировки нельзя поручиться заранее и сказать, насколько она улучшит или ухудшит несбалансированность ротора.

Из приведенных выше расчетов видно, что после статической балансировки, даже при отсутствии неуравновешенных пар сил, всегда остается значительный остаточный дисбаланс, обусловленный силами трения, действующими на цапфы балансируемого ротора во время балансирующего процесса. Для получения нормированных величин дисбаланса требуется дополнительно точная балансировка на специальном балансирующем станке.

На основании вышеизложенного, наилучшее решение проблемы видится в приобретении ремонтными предприятиями специального балансирующего стенда с комплектом специальных оправок для проведения динамической балансировки отдельных элементов автоматических муфт.

1. *Левит М.Е., Рыженков В.М.* Балансировка деталей и узлов. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.
2. *Яковлев В.И.* Справочник слесаря-монтажника. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 454 с.
3. *Редукторно-карданные приводы вагонных генераторов пассажирских ЦМВ.* Руководство по ремонту. – Р 4684 РВ, 1986.