



**ООО Производственно - внедренческая фирма
«Вибро-Центр»**

Анализатор вибрации “ViAna-1”

Методика балансировки

г. Пермь, 2013

Содержание

1. Принципы динамической балансировки.....	3
2. Общие рекомендации.....	5
1. Выбор пробного груза	5
2. Положение установки пробного груза.....	5
3. Амплитудно-фазовые измерения	5
4. Одноплоскостная балансировка	6
3. Последовательность действий пользователя при одноплоскостной балансировке.....	7
4. Проведение балансировки с помощью прибора “ViAna-1”.....	8

1. Принципы динамической балансировки.

Физический смысл операций, положенных в основу динамической балансировки проще и нагляднее всего пояснить с помощью векторных построений. Такую возможность предоставляет тот факт, что дисбаланс может быть охарактеризован уровнем вибрации на частоте вращения ротора, т.е. уровнем на дискретной частоте. А вибрация на конкретной частоте есть величина векторная, т.е. ее полное описание включает в себя не только величину, но и направление вибрации или ее фазу (в отличие от, например, общего уровня вибрации в широкой полосе частот, который является энергетической характеристикой вибрационного процесса и является скалярной величиной). В общем виде задачу балансировки можно сформулировать следующим образом: - дан вращающийся ротор, имеющий динамически неуравновешенные массы. Расположение этих масс и их величины неизвестны, доступно только измерение вектора вибрации (величины и фазы) от суммарного дисбаланса всех неуравновешенных масс. Имеется возможность устанавливать на ротор известные массы в известном угловом положении по окружности ротора. Место установки масс называется плоскостью балансировки. Обычно по длине ротора располагается одна такая плоскость, реже две плоскости. Но в отдельных случаях, на длинных составных роторах мощных энергетических машин таких плоскостей может быть до 8-10; - в результате балансировки необходимо определить величину и угловое положение массы, которая минимизирует суммарный динамический дисбаланс ротора. Критерием достижения цели является минимизация, т.е. снижение до определенной, заранее заданной величины, уровней вибрации на частоте вращения в контролируемых точках механизма. Для упрощения пояснения принципа балансировки положим, что минимизировать нужно вибрации в одной точке контроля и на роторе есть только одна балансировочная плоскость. Воспользуемся векторным построением, показанным на рисунке 1.2, при этом необходимо обратить внимание на следующее:

- угловая разметка ротора выполнена против направления вращения ротора;

- все построения делаются в абсолютных единицах измерения вибрации, тип измеренной величины значения не имеет:

A ускорение - м/с²

v скорость - мм/с;

S перемещение - мкм

Шаги векторного построения (рис. 1):

а) построить на круге вектор A(γ_a) - вектор вибрации в исходном состоянии ротора, т.е. с неизвестными нам неуравновешенными массами;

б) установить в любом угловом положении пробную массу $M_{пр.}$, измерить и построить на круге получившийся при этом вектор вибрации B(γ_b) - он уже характеризует суммарное влияние на вибрацию неизвестного нам исходного дисбаланса плюс известного нам внесенного небаланса от $M_{пр.}$;

в) из конца вектора "A" к концу вектора "B" построим вектор "C". Из векторного построения следует, что вектор "C" есть разность между векторами "B" и "A": $C = B - A$. Таким образом, вектор "C" характеризует ту вибрацию, которая возникает только от установки пробной массы $M_{пр.}$

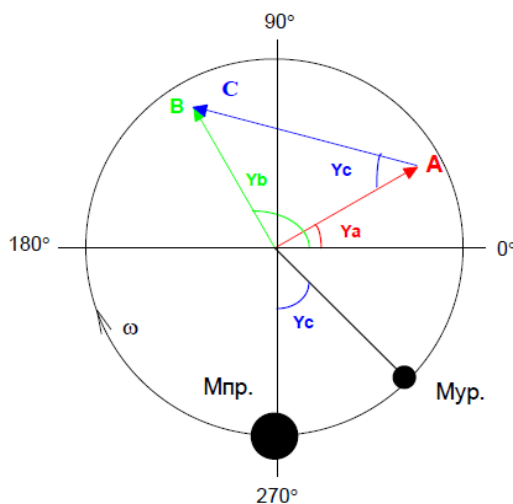


Рис. 1 – Векторное построение

Тогда цель балансировки (полная компенсация вектора "А" исходного дисбаланса) будет достигнута, если удастся определить *величину и положение уравнивающей массы, при которой вектор "С" будет равен вектору "А" по величине и противоположен по направлению*. Из векторного построения следует, что цель будет достигнута, если: - пробную массу сместить по направлению разметки ротора на угол "Ус" (т.е. в ту же сторону и на тот же угол, на который надо повернуть вектор "С" для его совмещения с вектором "А"); - изменить пробную массу в соотношении:

$$M_{ур} = M_{пр} \times \frac{A}{C}$$

Если направление вращения ротора и направление угловой разметки на роторе совпадают, то уравнивающая масса должна смещаться относительно углового положения пробной массы на угол Ус, но в сторону, противоположную направлению вращения вектора "С" для его совпадения с вектором "А". Поэтому, во избежание возможной путаницы, лучше всегда делать угловую разметку на роторе в направлении, противоположном направлению вращения ротора.

Таким образом, для динамического уравнивания ротора необходимо два раза измерить векторы вибрации:

- при исходном, неизвестном нам дисбалансе - вектор "А";
- при добавлении к исходному дисбалансу известного нам дисбаланса от Мпр. - вектор "В".

По этим данным, как описано выше, легко решается задача динамической балансировки ротора. Для решения задачи балансировки не обязательно прибегать к векторным построениям. Результаты измерений можно записать в виде системы линейных уравнений в проекциях на ортогональные оси. Решение системы уравнений также как и векторное построение дает однозначный результат. Векторное же построение является очень наглядным для пояснения принципа балансировки и используется для практического решения задач балансировки при небольшом количестве точек контроля. Очевидно, что при увеличении количества точек контроля и количества балансировочных плоскостей, практическое решение задачи векторным построением становится слишком громоздким и сложным, вследствие взаимного влияния балансировочных плоскостей на векторы вибрации в одной и той же точке. В этом случае точное и быстрое решение задачи возможно уже только при использовании вычислительной техники и специализированного программного обеспечения. Однако, как бы ни усложнялся алгоритм решения задачи, основной принцип балансировки, изложенный выше, сохраняется.

2. Общие рекомендации.

1. Выбор пробного груза

Величина рекомендуемого пробного груза ориентировочно определяется следующим соотношением:

$$M_{пр.} = 804 \times \frac{P \times A}{R \times N}, \text{ грамм.}$$

где:

P - вес ротора, кг;

A - уровень вибрации в точке, выбранной для балансировки, мм/с;

R - радиус, на котором будут устанавливаться груза в балансировочной плоскости, см;

N - обороты ротора, об/м.

Соотношение является эмпирическим и в первую очередь предостерегает от установки недопустимого дисбаланса с точки зрения прочности подшипников.

2. Положение установки пробного груза

Выбирается произвольно, т.е. сначала его можно поставить в любом удобном месте на балансировочной плоскости. После пуска ротора с пробным грузом измеряется вектор вибрации "В", рисунок 1.2, и принимается решение о том, удачно ли установлен пробный груз. При этом из графического построения видно, что решающее значение имеет изменение фазы вибрации от установки $M_{пр.}$, т.е. для того, чтобы получить корректные данные для балансировочного расчета, необходимо в первую очередь, чтобы вектор "В" сместился относительно вектора "А" по угловому положению не менее чем на 20 - 30 градусов. При этом по величине он может оставаться неизменным. Если этого не произошло, значит, положение или вес пробного груза выбраны неудачно. В этом случае надо переместить груз на 90 градусов и повторить измерения. Иногда это приходится проделывать несколько раз. И это необходимо делать, поскольку правильно выбранный пробный груз и корректные исходные данные гарантируют качество и быстроту выполнения балансировки. Попытки быстрее провести балансировочный расчет с исходными данными, где отличия между векторами "А" и "В" находятся в пределах аппаратурной точности измерения параметров, в конце концов, **приведут только к бесполезной трате времени**, которое с пользой можно было бы потратить на выбор удачного пробного груза. В тех случаях, когда приходится заниматься балансировкой большого количества однотипных механизмов, оптимальный пробный груз всегда может быть определен статистически.

3. Амплитудно-фазовые измерения

В классических методах балансировки необходимо измерять векторы вибрации "А" и "В", т.е. определять уровни и фазы вибрации на частоте вращения.

Уровень вибрации обычно измеряется в достаточно узкой полосе частот в районе частоты вращения ротора. Стремиться к измерениям в как можно более узкой полосе не следует, поскольку это может только осложнить измерения и привести к непредвиденным ошибкам. Выбор полосы анализа должен производиться исходя из следующих соображений:

- преобладающей по уровню в полосе анализа должна быть вибрация на частоте вращения ротора;
- полоса анализа должна перекрывать возможную нестабильность поддержания оборотов;
- чем уже полоса анализа, тем круче фазовая характеристика фильтра и, соответственно, небольшие изменения оборотов ротора могут привести к существенным фазовым изменениям, внесенным аппаратурным путем и никак не связанным с самим вибрационным процессом.

При проведении фазовых измерений для балансировочных расчетов необходимо иметь в виду следующее. Как видно из принципа балансировки, показанного на рисунке 1, абсолютные фазовые углы значения не имеют, важно для балансировки только взаимное фазовое положение векторов вибрации и пробных масс. Очевидно, что смещение начала отсчета фазы в любом

направлении, никак не скажется на конечном результате. Поэтому начало отсчета фазы вибрации может *быть любым, удобным пользователю*. Это может быть момент, определяемый импульсом с датчика оборотов (например, один импульс на оборот вала). Это может быть метка на любом месте статора при стробоскопическом отсчете фазовых углов. Могут быть и другие варианты в зависимости от технических возможностей пользователя и конструктивных особенностей роторного механизма.

4. Одноплоскостная балансировка

Существует два подхода к балансировке механизмов, имеющих несколько балансировочных плоскостей. Первый подход заключается в том, что каждой балансировочной плоскостью занимаются отдельно. Сначала добиваются минимальных уровней грузами первой балансировочной плоскости, фиксируют эти грузы и больше их не трогают. Если требуемые уровни вибрации еще не достигнуты, то полученное состояние принимается за исходное и минимизируются уровни вибрации грузами во второй плоскости. И так далее последовательно для всех плоскостей, или пока не будет достигнут требуемый результат. Вторым подходом заключается в том, что последовательно производятся пуски механизма с пробными грузами в каждой плоскости, а затем за один раз рассчитывается система уравновешивающих масс сразу для всех плоскостей. Как первый, так и второй путь теоретически приводят к одним и тем же остаточным уровням вибрации. Различие в том, что первый путь проще в исполнении, но приводит к установке на ротор лишней массы. Вторым путем сложнее, но позволяет установить оптимальную систему уравновешивающих масс, т.е. минимально компенсирующих влияние друг друга на уровни вибрации в одной и той же точке контроля. Таким образом, одноплоскостная балансировка может выполняться в двух случаях:

- если на механизме физически только одна балансировочная плоскость;
- если на механизме несколько плоскостей, но для балансировки принят метод последовательного обхода плоскостей.

3. Последовательность действий пользователя при одноплоскостной балансировке.

1. Подготовка к балансировке:
 - a. Разметка балансировочной плоскости
 - i. Выбор радиуса установки грузов
В большинстве практических случаев определяется существующей возможностью, чем ближе к оси вращения, тем меньше влияние устанавливаемой массы на вибрацию ротора.
 - ii. Выбор дискретности разметки окружности ротора
Чем меньше угловое деление между отметками, тем точнее возможна установка грузов.
 - b. Установка светоотражающей ленты для отметчика фазы
Нанести светоотражающую ленту на ротор шириной не менее **L**.
$$L > (10 * D * dX * F_1) / 4 = 4 * D * F_1 / F$$

Или
$$L > (D * dX * RPM) / 6 = (D * RPM) / (16 * F)$$

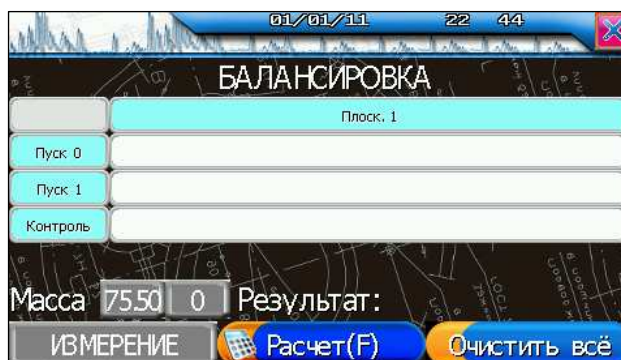
L - ширина метки в мм;
D - диаметр шейки ротора в мм;
dX – шаг в сигнале, сек
RPM - частота вращения в об/мин
F – верхняя частота в спектре, Гц
F₁ – оборотная частота (частота вращения), Гц
 - c. Выбор вибропараметра для измерения вибрации (вибро- ускорение, скорость или перемещение)
Чем более явно выражена гармоническая составляющая сигнала на частоте вращения ротора в его спектре, тем точнее будут получены исходные данные для балансировки, как правило это либо вибро- скорость или перемещение.
 - d. Выбор полосы пропускания сигнала
Полоса анализа должна перекрывать возможную нестабильность поддержания оборотов, и подавлять более высокочастотную составляющую вибрации, чем частота оборотов
2. Установить датчик на опору в плоскости балансировки.
3. Произвести пуск балансируемого агрегата БЕЗ установки дополнительных масс
4. Занести данные пуска в графу «Пуск 0»
5. Остановить агрегат, внести произвольную массу на некоторый угол
 - a) Выбор массы
В большинстве случаев определяется из практического опыта, важно чтобы выбранная масса влияла на характеристику вибрации, чем большая масса выбрана, тем сильнее она влияет на момент инерции ротора.
 - b) Выбор угла установки
Угол установки должен обеспечивать изменение фазы первой гармоники сигнала, рекомендуется установка в «легкую точку» (сдвинута на 180 градусов относительно «тяжелой»).
6. Произвести измерение и занести данные в графу «Пуск 1»
7. Произвести расчет корректирующей массы
8. Остановить агрегат, удалить пробную массу, установить расчетную массу на заданный угол.
9. Произвести контрольный пуск, при наличии неудовлетворительной вибрации повторить шаги с 4 пункта, либо изменить пробную массу (массу либо угол) пуска 1 и повторить расчет и контроль заново.

4. Проведение балансировки с помощью прибора «ViAna-1».

Расчет и хранение данных для проведения балансировки производится в таблице, находящейся в меню «Балансировка».

Для заполнения таблицы необходимо:

1. Переместить графический курсор в таблицу и нажать кнопку «Ent» на клавиатуре прибора - произойдет переключение интерфейса в меню *Получение данных*.



2. Получить данные можно в меню «Тяжелая точка» («Фаза первой гармоники»). Данными для балансировки являются величина и фаза первой гармоники сигнала. Для их сохранения в ранее выбранной ячейке таблицы нужно нажать кнопку «В таблицу».

Изменить вибропараметр (A,V,S) в процессе проведения одной балансировки нельзя. Необходимо обращать внимание на стабильность оборотов, они не должны значительно меняться при постоянстве оборотов ротора. В этом случае в *Настройках измерения* рекомендуется увеличить полосу пропускания либо ширину светоотражающей ленты.

Изменить значение массы или угла её установки можно только при выключенной регистрации (кнопка «СТОП»).

Также необходимо задать реальную схему относительного положения элементов: датчик, отметчик и направление вращения агрегата.



3. После заполнения всех граф «Пуск» можно сделать расчет корректирующей массы, нажав на соответствующую кнопку графического интерфейса Пользователя. На экране будет отображена величина корректирующей массы и угол её установки.
4. После установки на ротор полученной корректирующей массы, нужно провести контроль вибрации, заполнив ячейку «Контроль». При удовлетворительной величине вибрации балансировка считается оконченной, в противном случае нужно повторить этапы 1-4, либо изменить пробную массу (или угол) и произвести расчет и контроль заново.