

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
СТАНДАРТ**

**ISO
1940-2**

Первое издание
1997-6-15

**ВИБРАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ.
ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ
БАЛАНСИРОВКИ ЖЕСТКИХ РОТОРОВ.
ЧАСТЬ 2. ОШИБКИ БАЛАНСИРОВКИ**

**MECHANICAL VIBRATION. BALANCE
QUALITY REQUIREMENTS OF RIGID
ROTORS. PART 2. BALANCE ERRORS**



Регистрационный номер
ISO 1940-2:1997

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международная организация по стандартизации (ИСО) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ИСО). Разработка международных стандартов обычно осуществляется техническими комитетами ИСО. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой был создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ИСО, также принимают участие в работах. Что касается стандартизации в области электротехники, ИСО работает в тесном сотрудничестве с Международной электротехнической комиссией (МЭК).

Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, рассылаются комитетам-членам на голосование. Их опубликование в качестве международных стандартов требует одобрения, по меньшей мере, 75% комитетов-членов, принимающих участие в голосовании.

Международный стандарт ИСО 1940-2 разработан Техническим комитетом ИСО/ТК 108 *Механические вибрации и удар*, Подкомитетом ПК 1 *Балансировка, включая балансировочные машины*.

ИСО 1940 состоит из следующих частей под общим наименованием:

Вибрация механическая. Требования к балансировке жестких роторов:

- *Часть 1. Определение допустимого остаточного разбаланса*
- *Часть 2. Ошибки балансировки.*

Приложения А-С настоящей части ИСО 1940 - только для информации.

МКС 21.120.40

Дескрипторы: вибрация, жесткие роторы, балансировка, ошибки балансировки.

ВВЕДЕНИЕ

Качество балансировки жесткого ротора оценивают во время проведения балансировки в соответствии с ИСО 1940-1 измерением остаточного дисбаланса. Это измерение может содержать ошибки, которые возникают из ряда источников. Предварительно необходимо рассмотреть предполагаемые ошибки. Если опыт показал, что эти ошибки значительны, их следует принимать в расчет при определении качества балансировки ротора. ИСО 1940-1 не рассматривает подробно ошибки балансировки и, в частности, не рассматривает оценку ошибок балансировки, поэтому настоящая часть ИСО 1940 представляет примеры типичных ошибок, которые могут появиться, и предлагает рекомендуемые способы определения. Дополнительно описаны обобщенные методы оценки остаточного дисбаланса при наличии ошибок балансировки.

ВИБРАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ БАЛАНСИРОВКИ ЖЕСТКИХ РОТОРОВ. ЧАСТЬ 2. ОШИБКИ БАЛАНСИРОВКИ

1 Область распространения

Настоящая часть ИСО 1940 распространяется на:

- идентификацию ошибок в процессе балансировки жестких роторов;
- оценку ошибок;
- основные направления учета ошибок;
- оценку остаточного дисбаланса в любых двух коррекционных плоскостях.

2 Нормативные документы

Следующие стандарты содержат положения, которые, благодаря ссылке в данном тексте, являются положениями настоящей части ИСО 1940. Ко времени опубликования указанные издания обладали юридической силой. Все стандарты являются объектом пересмотра, а сторонам, на согласовании с которыми основана настоящая часть ИСО 1940, оказывают поддержку в исследовании возможности применения самых последних изданий стандартов, указанных ниже. Члены МЭК и ИСО хранят перечни действующих международных стандартов,

ИСО 1925:90 *Вибрация механическая. Балансировка. Словарь*

ИСО 1925:1990/Поправка 1:1995, *Поправка 1 к ИСО 1925:1990*

ИСО 1940-1:1986 *Вибрация механическая. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 1. Определение допустимого остаточного разбаланса*

ИСО 2953:1985 *Машины балансировочные. Описание и оценка*

3 Определения

В настоящей части ИСО 1940 применяют определения, приведенные в ИСО 1925 (и в Поправке 1 к этому стандарту).

4 Источники ошибок балансировки

Ошибки балансировки можно классифицировать по одной из следующих групп:

- a) систематические ошибки, в которых количество и угол можно оценить либо расчетом, либо измерением;
- b) случайные переменные ошибки, в которых количество и угол меняются непредвиденным образом для ряда измерений, выполненных при одних и тех же условиях;
- c) скрытые ошибки, в которых максимальное количество можно оценить или рассчитать, но угол неопределим.

В зависимости от применяемого процесса обработки одну и ту же ошибку можно отнести к одной или большему числу указанных категорий.

Примеры источников ошибок, которые могут произойти, перечислены в п.п. 4.1, 5.2 и 4.3. Некоторые из этих ошибок рассматривают более подробно в приложении А.

4.1 Систематические ошибки

Ниже приведены примеры источников систематических ошибок.

- a) Присущие дисбалансу приводного вала балансировочной машины
- b) Присущие дисбалансу оправки
- c) Радиальный и осевой износ приводного элемента на оси вала ротора

- d) Радиальный и осевой износ компонентов ротора или оправки, предназначенных для посадки (см. п. 5.3)
- e) Нарушение concentричности между цапфами и опорными поверхностями, используемыми для балансировки
- f) Радиальный и осевой износ роликовых элементов подшипников, которые не являются эксплуатационными подшипниками, а используются для поддержки ротора в балансировочной машине
- g) Радиальный и осевой износ, вращающихся обойм (и их дорожек) роликовых элементов эксплуатационных подшипников, установленных" после балансировки
- h) Дисбаланс от шпонок шпоночных канавок
- i) Остаточный магнетизм в роторе или оправке
- j) Ошибки, вызванные повторной сборкой
- k) Ошибки, вызванные балансировочным оборудованием и инструментом
- l) Различия между диаметрами эксплуатационного вала и балансировочной оправки
- m) Дефекты обычных соединений
- n) Остаточный изгиб ротора после балансировки

4.2 Случайные переменные ошибки

Ниже приведены примеры источников случайных переменных ошибок.

- a) Свободно посаженные детали
- b) Остатки жидкостей или твердых примесей
- c) Перекос, вызванный тепловыми воздействиями
- d) Эффект сопротивления воздуха
- e) Применение свободного соединения в качестве приводного элемента

- f) Временный изгиб горизонтального ротора под действием силы тяжести, если ротор находится в стационарном положении.

4.3 Скалярные ошибки

Ниже приведены примеры источников скалярных ошибок.

- a) Зазор между внутренними поверхностями, которые следует устранять после проведения балансировки
- b) Чрезмерный зазор в универсальных соединениях
- c) Чрезмерный зазор оправки или вала
- d) Допуски при конструировании и изготовлении
- e) Износ опорных подшипников балансировочной машины, если их диаметры и диаметр цапфы ротора равны или близки по значению, или представляют собой одно целое.

5 Оценка ошибок

5.1 Общие положения

В некоторых случаях роторы сбалансированы конструктивно, однородны по материалу и изготовлены с такими точными допусками, что не нуждаются в балансировке после изготовления. Однако начальный дисбаланс подавляющего большинства роторов превышает допускаемые уровни, приведенные в ИСО.1940-1, поэтому такие роторы приходится балансировать. П.п. 5.2 - 5.6 рассматривают ошибки, которые могут появиться в процессе балансировки.

5.2 Ошибки, вызванные балансировочным оборудованием и инструментом

Ошибки балансировки, вызванные балансировочным оборудованием и инструментом могут возрастать с количеством имеющегося дисбаланса. Каждая попытка поэтому должна быть

предпринята для конструирования симметричного ротора. Кроме того, учитывая дисбаланс, полученный на стадии проектирования, некоторые причины можно полностью исключить, например, объединяя несколько деталей в одну или сокращая размер уменьшением посадочных допусков. Весомость более точных допусков следует оценивать по сравнению с выгодой от уменьшения источников дисбаланса. Если такие источники нельзя исключить или уменьшить до пренебрегаемых уровней, их следует оценить математически.

5.3 Ошибки балансировки, вызванные радиальным и осевым износом посадочных мест для отдельных деталей

Если отбалансированный в совершенстве компонент ротора установлен эксцентрично относительно оси вала ротора, суммарный статический дисбаланс U_s равен массе m компонента, умноженной на эксцентриситет e .

$$U_s = m \cdot e \quad (1)$$

Дополнительная пара сил дисбаланса получается, если компонент установлен эксцентрично и не в той плоскости, в которой находится центр масс ротора. Чем больше расстояние от компонента до плоскости центра масс, тем больше будет вызванная им пара сил дисбаланса.

Если отбалансированный в совершенстве компонент установлен так, что его главная ось инерции наклонена к оси вала ротора, но его центр масс остается на оси вала ротора, то результатом будет пара сил дисбаланса. При небольшом угловом смещении Δ_γ между двумя осями результирующая пара сил дисбаланса D_c будет почти равна разности между моментом инерции относительно поперечной оси, проходящей через центр масс компонента I_x , и моментом инерции относительно главной оси инерции I_z , умноженной на угол Δ_γ в радианах:

$$D_c \approx (I_x - I_z) \cdot \Delta_\gamma \quad (2)$$

Эта формула действительна только, если элемент представляет собой симметрию вращения. Уравнение (2) поэтому, в частности, применимо для балансировки дисков на валах.

Если имеется и радиальный, и осевой износ компонента, каждую ошибку можно рассчитать отдельно по ее местному значению в подшипнике или коррекционных плоскостях и затем объединить векторы (см. также ИСО 1940-1:1986, рис.1)

5.4 Оценка ошибок во время проведения балансировки

Цель балансировки - производство роторов, которые находятся в регламентированных диапазонах остаточного дисбаланса. Чтобы гарантировать соответствие этим диапазонам, ошибки следует проверять и учитывать при измерениях остаточного дисбаланса.

Если применяют балансировочную машину, существуют различные источники ошибок, а именно: тип балансируемого ротора, любой инструмент, применяемый для поддержки или привода ротора, конструкция опоры балансировочной машины (подшипники машины, рамы и т. п.), система настройки балансировочной машины, а также электронная система и считывающее устройство. Любые или все эти источники могут вызывать ошибки. Зная характер большинства ошибок, можно сосредоточиться на их источниках и или исправлять их, сводя к минимуму, или учитывать их при оценке остаточного дисбаланса, рассчитывая их воздействия.

Балансировочная машина должна соответствовать ИСО 2953, так чтобы все ее систематические ошибки устранялись или исправлялись, а ее случайные переменные ошибки ограничивались U_{max} , как указано в ИСО 2953. Если оценку проводят в балансировочной машине, а масса ротора или положения измеряющей плоскости существенно отличаются от тех, при которых испытывали ротор в балансировочной машине, дальнейшие испытания следует проводить с действующим рабочим

образцом, чтобы определить минимально достижимый остаточный дисбаланс при указанных плоскостях измерения на рабочем образце.

5.5 Экспериментальная оценка случайных переменных ошибок

Если предполагают существенные случайные переменные ошибки, необходимо провести несколько циклов измеряющих испытаний, чтобы оценить размер этих ошибок.

При проведении испытаний важно считать, что случайные ошибки получаются неожиданно в каждом цикле, например, гарантируя, что угловое положение ротора различно для начала каждого цикла.

Размер ошибки можно оценить, применяя стандартные статистические методы обработки полученных результатов. Однако в большинстве случаев, примерно следующая процедура будет достаточной.

Начертите измеренные векторы остаточного дисбаланса и найдите средний вектор всех циклов (см. рис. 1). Начертите самую маленькую окружность с центром в точке А, охватывающую все точки. Вектор представляет значение остаточного дисбаланса, а радиус окружности - значение максимально возможной ошибки каждого одиночного показателя. Неопределенность этих результатов обычно будет снижаться с увеличением числа проведенных серий испытаний.

ПРИМЕЧАНИЕ. В некоторых случаях, в частности, если расположение одной точки существенно отличается от положения остальных, вычисленная ошибка может быть неприемлемо велика. В этом случае для определения ошибок будет необходим более подробный анализ.

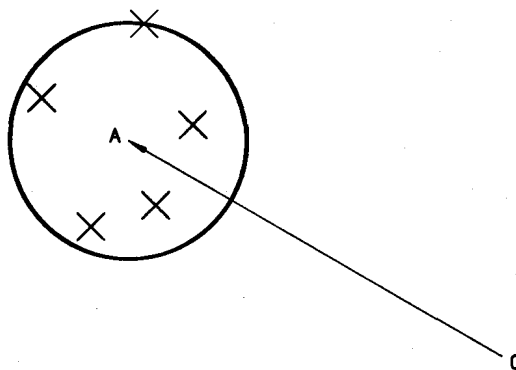


Диаграмма нескольких измерений, обозначенных X.

Рис. 1. Диаграмма измеренных векторов остаточного дисбаланса (случайные переменные ошибки)

5.6 Экспериментальная оценка систематических ошибок

Во многих случаях большинство систематических ошибок можно обнаружить, используя балансировочный индекс. Это заключается в проведении следующей процедуры. Установите ротор альтернативно под углами 0° и 180° относительно предмета, который является источником конкретной ошибки. Измерьте дисбаланс несколько раз в обоих положениях, если \bar{X}_0 и \bar{X}_{180} , как показано на рис. 2, являются средними векторами дисбаланса ротора, установленного под углами 0° и 180° соответственно, диаграмму можно построить для каждой плоскости измерения, для которой точка С- середина расстояния АВ. Вектор \bar{X}_C представляет конкретную систематическую ошибку, а векторы \bar{X}_0 и \bar{X}_{180} представляют остаточный дисбаланс ротора при установке последнего под углами 0° и 180° соответственно.

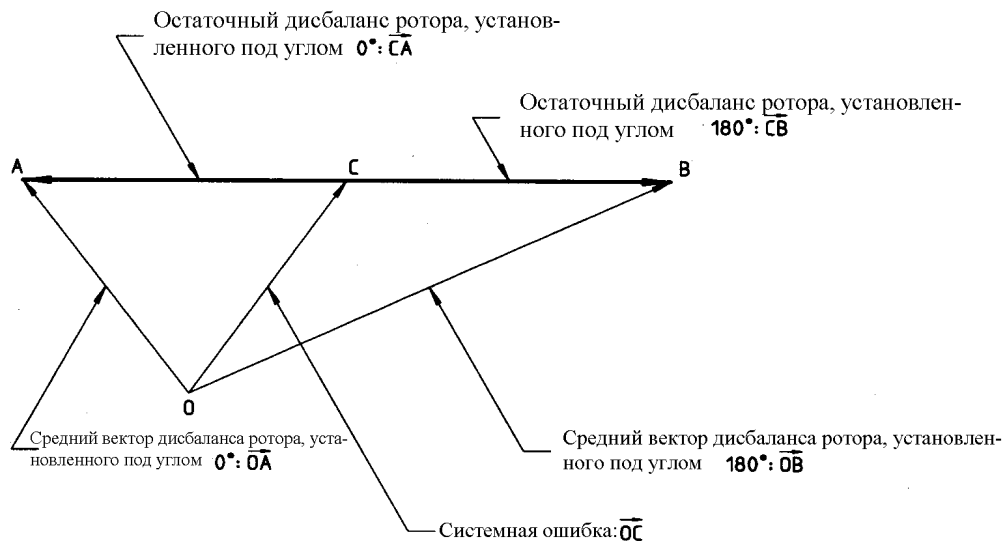


Рис. 2. Диаграмма измеренных векторов остаточного дисбаланса и систематической ошибки

ПРИМЕЧАНИЕ. В этом случае предполагают, что ротор повернут по отношению к эталонному положению. Если, однако, эталонное положение остается точно определенным по отношению к ротору:

- вектор \overline{CA} представляет остаточный дисбаланс ротора; а
- векторы \overline{OA} и \overline{OB} представляют конкретную систематическую ошибку под углом к эталонному положению 0° и 180° соответственно.

6 Оценка суммарной ошибки

Систематические ошибки, размер и местоположение которых известны, можно исключить, например, налагая временную корректирующую массу на инструмент или на ротор при проведении балансировки, либо математически корректируя результаты. Если систематические ошибки не исправлены или не подлежат исправлению ни одним из указанных способов, их следует суммировать, как указано ниже, со случайными переменными ошибками и скалярными ошибками.

Допустим

- значение неоткорректированной ошибки от любого источника, предпочтительно оцененной в достаточно достоверном диапазоне.

U - значение суммарных неоткорректированных ошибок.

Δ Тогда следующая формула

$$U = \Delta \Sigma \quad (3)$$

дает самую надежную оценку ошибок. Она гарантирует, что, даже в случае самого неблагоприятного сочетания ошибок, ротор приемлем при условии соответствия критериям п. 7.

Формула $U = \Delta \Sigma$ основана на самом пессимистическом предположении, что все неоткорректированные ошибки совпадают с одним и тем же угловым направлением, и их абсолютные числовые значения следует поэтому суммировать.

Если это утверждение обосновано, то после применения этой формулы и введения в нее значения U приведенного в п.7, суммарная неоткорректированная ошибка могла бы вызвать превышение ротором установленного допуска, и тогда рекомендуется попытка уменьшить наиболее значительные ошибки.

В некоторых случаях можно использовать более реалистичный подход. При этом учитывают, что, вероятно, не все ошибки от различных источников совпадут с одним и тем же угловым направлением. Тогда суммарную ошибку можно оценить, используя "корень из суммы квадратов", по формуле:

$$\Delta U = \quad (4)$$

Вышеописанные процедуры следует выполнить для каждой

измеряющей плоскости.

При соответствующих условиях ошибки оценивают измерениями на достаточно удовлетворительной модели роторов. В этом случае предполагают, что ошибки одной и той же величины будут на всех аналогичных роторах, изготовленных и собранных одним и тем же методом.

Для роторов массового производства статически обоснованный процесс обнаружения суммарной ошибки может нуждаться в согласовании между пользователем и поставщиком.

7 Приемочные критерии

Допустим, для- каждой измеряющей плоскости

U_{per} - допускаемое значение остаточного дисбаланса, полученное по ИСО 1940-1;

U_{rm} – суммарное измеренное значение одиночного показателя остаточного дисбаланса, полученное после корректирования, выполненного для систематических ошибок, величина и угол которых известны;

ΔU - значение суммарной ошибки, определенное в п. 6.

Балансировку ротора следует считать приемлемой для изготовителя, если выполнены следующие условия

$$U_{\text{rm}} \leq U_{\text{per}} - \Delta U \quad (5)$$

Если ΔU меньше 5% U_{per} , дисбалансом можно пренебречь.

Если пользователь проводит дополнительную проверку балансировки, балансировку ротора следует принимать, если

$$U_{\text{rm}} \leq U_{\text{per}} + \Delta U \quad (6)$$

Если это условие не выполнено, может быть необходимо пересмотреть или повторить процедуру балансировки.

ПРИМЕЧАНИЕ. Если предполагают изменение дисбаланса ротора при транспортировании, это обстоятельство следует учесть.

8 Определение остаточного дисбаланса

П. 8 ИСО 1940-1:1986 описывает методы определения остаточного дисбаланса жесткого ротора. Самыми существенными методами являются:

- а) метод, изложенный в п.п. 8.1, который требует балансировочной машины, соответствующей ИСО 2953;
- б) метод, изложенный в п.п. 8.2, который требует прибора, регистрирующего амплитуду и фазу. Если требуется балансировка в двух плоскостях, необходима дополнительная процедура разделения плоскостей; например, компьютер с алгоритмом по методу влияния коэффициента. Приложение В представляет типовые данные, которые можно было бы использовать для проверки такого алгоритма.

ПРИМЕЧАНИЕ. В большинстве практических случаев эти два метода, упомянутые выше, адекватны. Однако, если существует сомнение относительно процедур, повышенную точность можно получить, используя известные значения проб массы при различных угловых положениях в обеих плоскостях. Существует ряд возможных способов такой проверки; метод, на который приведена ссылка в п.п. 8.3 ИСО 1940-1:1986, применяемый к двум плоскостям, один из таких методов. Если речь идет о линейной зависимости дисбаланса, процедуру следует повторить, используя различные значения испытаний на дисбаланс.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(информативное)

ПРИМЕРЫ ОШИБОК, ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА

А.1 Ошибки, вызванные вспомогательным оборудованием

Примеры ошибок, связанных с остаточным дисбалансом и вызванных вспомогательным оборудованием, рассматриваются ниже и сведены в таблицу А.1. См. рис. А.1, А.2 и А.3.

А.1.1 Ошибки, вызванные неотъемлемым дисбалансом и эксцентриситетом в приводном элементе, оправке и т.д.

Эти ошибки можно оценить балансирующим индексом. Такая процедура может осложниться неповторяемостью механической посадки (см.п.А.1.3) и ошибками балансировки рабочего образца (см.п.А.2).

А.1.2 Ошибки, вызванные подшипниками

Если роликовые элементы подшипников установлены для балансировки, они внесут ошибку пропорционально эксцентриситету или угловому смещению вращающихся обойм подшипника (и их направляющих) и массе ротора. Эту ошибку можно определить, индексируя обоймы подшипников под углом 180° на их опорных поверхностях.

ПРИМЕЧАНИЕ. В контексте этого пункта под эксцентриситетом подразумевают результат радиального и/или осевого износа.

А.1.3 Ошибки, вызванные механической посадкой

Механическая посадка может быть потенциальным источником

ошибки, например, изменение дисбаланса может быть результатом повторной сборки.

Существует много возможных источников ошибок из-за посадки, например, наличие радиального зазора, или имеет место слишком большая помеха, или соединительные болты препятствуют размещению втулочного соединения/вспомогательного механизма.

Разброс, вызванный неповторяемостью посадок, следует определять с помощью повторной сборки с зазорами под разными углами. Каждый раз записывают показатели дисбаланса и получают среднее значение.

А.1.4 Ошибки, связанные с массой балансирующего оборудования

Массу вращающегося инструмента для балансировки (не обязательно оправки) следует уменьшать до минимума, чтобы уменьшить ошибку в результате зазоров или износа во втулочном соединении/вспомогательном механизме.

Уменьшение массы оправки увеличивает чувствительность гибкого подшипника машины, но обычно приносит небольшие преимущества для работы жесткой опоры машины.

А.2 Ошибки, вызванные рабочим образцом

Примеры ошибок, связанных с остаточным дисбалансом и вызванных рабочим образцом, рассматриваются ниже и сведены в табл.А.1. См. рис. А.2.

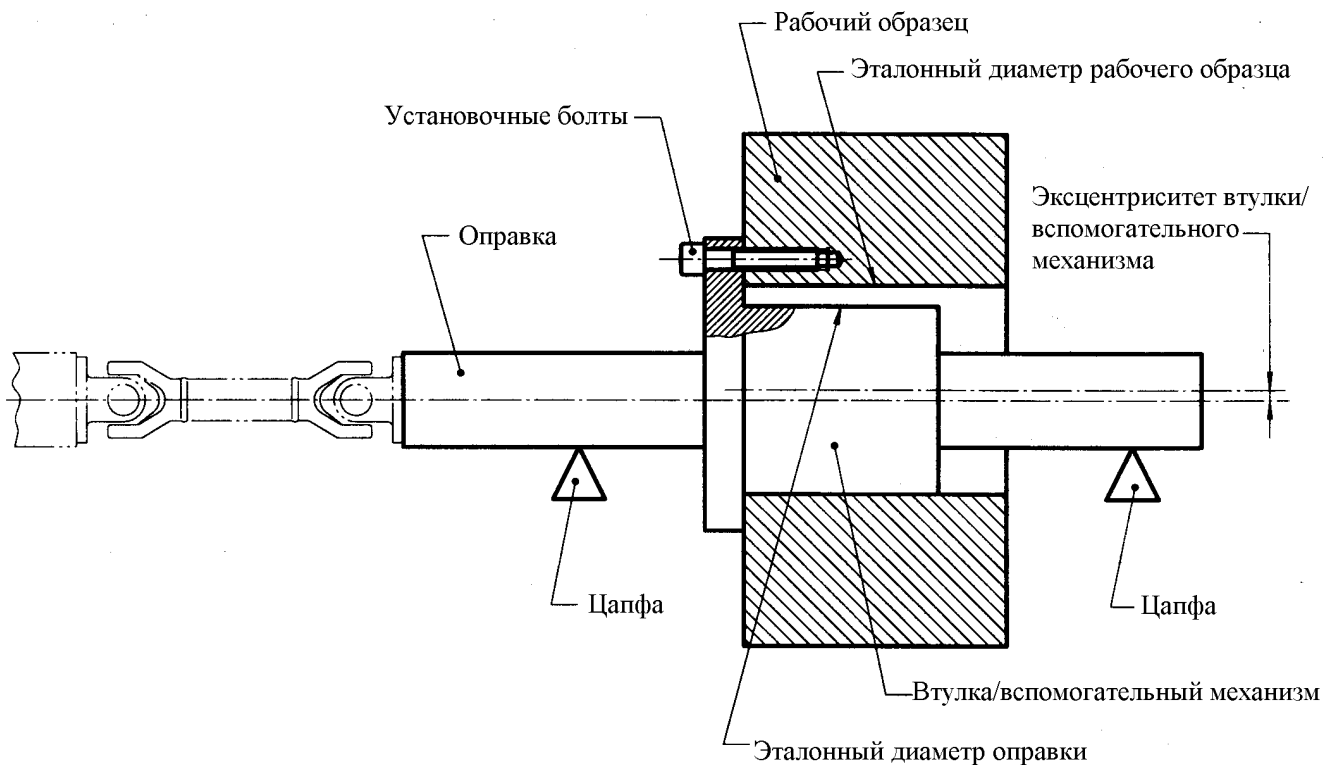


Рис.А.1. Рабочий образец, установленный на оправке

А.2.1 Ошибки, вызванные свободно посаженными деталями

Ошибку, вызванную свободно посаженными деталями, можно получить при пуске и остановке ротора, гарантируя, что угловое положение ротора различно в начале каждого цикла испытаний и учитывая показания каждого цикла. Ошибку и средний дисбаланс можно обнаружить, применяя метод, описанный в п.п. 5.5. Изменение направления вращения может быть полезно в некоторых случаях, но следует предпринять меры предосторожности. Следует отметить, что влияние свободно посаженных деталей на некоторые машины может стать очевидным только при существующих условиях эксплуатации.

А.2.2 Ошибки, вызванные присутствием остатков жидкостей или небольших свободных частиц

Если предполагают присутствие остатков жидкостей или свободных частиц, и этого нельзя избежать, ротор следует оставить установленным под углом 0° на время испытания, снова включить пуск

и затем снять показания. Эту процедуру последовательно повторяют, когда ротор находится в течение всего периода испытаний под углом 90° , 180° и 270° . Затем можно применять метод, изложенный в п.п. 5.5, чтобы обнаружить ошибку и средний дисбаланс.

Результаты следует проверить, чтобы избежать путаницы из-за тепловых эффектов (см. А.2.3), например, из-за ротора, остановленного на некоторое время.

А.2.3 Ошибки, вызванные тепловыми эффектами

Перекося и вызванный им дисбаланс в результате неоднородности температур особенно заметны в длинных или трубчатых роторах.

Эти ошибки можно уменьшить, не допуская, чтобы ротор оставался неподвижным в балансировочной машине даже в течение относительно коротких периодов времени или не останавливая ротор до стабилизации вектора дисбаланса. Это можно выполнять на очень низкой скорости, например, 5 об/мин - 10 об/мин.

Машинные операции сварки или подача тепла для коррекции дисбаланса могут привести к значительному перекося ротора. Отвод местного тепла и/или некоторая стабилизация периодов вращения требуются, как правило, чтобы выровнять температуру ротора и восстановить его обычную форму.

А.2.4 Ошибки, вызванные подшипниками

Вращающиеся обоймы подшипников должны во время проведения балансировки оставаться под одним и тем же углом относительно ротора. В противном случае могут возникнуть ошибки, аналогичные описанным в п. А.1.2.

Ложные показатели пары дисбаланса как в упругом, так и в жестком подшипнике балансировочной машины могут, например, появиться в результате осевого износа вращающейся опорной поверхности вследствие наклона шарикового подшипника относительно

оси вала, либо вследствие изгиба ротора и т.п.

Эти воздействия можно продемонстрировать и оценить ошибку при вращении ротора с различными скоростями n_1 и n_2 следующим образом:

а) для жесткого подшипника балансировочной машины влияние осевого износа можно обнаружить в дисбалансе соединений, как , при скорости n_1 :

$$\vec{\Delta U}_L = \frac{1}{1 - (n_1/n_2)^2} \left(\vec{U}_L - \vec{U}_{2L} \right) \quad \dots(7)$$

$$\vec{\Delta U}_R = \frac{1}{1 - (n_1/n_2)^2} \left(\vec{U}_R - \vec{U}_{2R} \right) \quad \dots(8)$$

где , , , значения, вызванные суммой, приводящих к дисбалансу воздействий осевого износа и (остаточных) дисбалансов , в левой и правой плоскостях со скоростями n_1 и n_2 соответственно.

Машину следует калибровать при одном и том же дисбалансе соединений для каждой из указанных скоростей и плоскостей.

б) для гибкого подшипника машины воздействие, вызывающее дисбаланс, зависит от вибрирующих масс гибкого подшипника подвесной системы машины и, следовательно, обратно пропорционально квадрату скорости. Таким образом получают эти же формулы.

В этих расчетах предполагают, что силы, воздействующие на подшипники жесткой опоры балансировочной машины, вызванные осевым износом вращающейся опорной поверхности, независимы от скорости, поскольку в гибком подшипнике машины вибрации опоры, вызванные дисбалансом, независимы от скорости.

Приведенные выше формулы считают действительными только,

если измерения проведены при скорости, значительно отличающейся от резонансной скорости ротора и/или балансировочной машины.

Аналогичные влияния можно наблюдать при очень низких балансировочных скоростях, когда изогнутые цапфы ротора установлены на открытых роликах, или если опорам балансировочной машины с плоскими вращающимися поверхностями недостает свободы перемещения по вертикальной оси. Эти ошибки можно свести к минимуму соответствующей конструкцией опоры балансировочной машины. В некоторых случаях ошибок, вызванных осевым износом опорной поверхности, можно избежать регулировкой опорного подшипника.

A.2.5 Ошибки, вызванные механическими посадками

Дисбаланс можно изменить во время балансировки, благодаря конструкции или неправильной посадке при сборке. Дисбаланс можно изменить также, если частично разобрать ротор после балансировки, а затем вновь собрать (см. также A.1.3).

A.2.6 Ошибки, вызванные износом приводного конца посадочной поверхности

Если приводной конец вала балансировочной машины соединен с эксцентриситетной втулкой/вспомогательным механизмом в конце ротора, будет введена ошибка, которую невозможно определить балансировочным индексом. Эту ошибку можно только рассчитать, зная относительную массу привода и вектор эксцентриситета втулки/вспомогательного механизма относительно оси вала ротора. При необходимости временную компенсацию можно наложить на соответствующий угол при проведении балансировки.

A.2.7 Ошибки, вызванные магнитными воздействиями

Магнитные воздействия могут сами проявляться, главным образом, в балансировочной машине, вызывая ложный дисбаланс, за

исключением случаев, когда их частота равна или близка к частоте вращения.

Например, это может быть благодаря магнитному полю ротора, пересекающему крепежные приспособления балансировочной машины с частотой одно пересечение за оборот. Влияние намагниченного ротора лучше всего исключается или экранированием захватывающих приспособлений, или выбором для жесткого подшипника балансировочной машины достаточного повышения скорости балансирования, если дальнейшее воздействие несущественно. Наличие магнитных воздействий лучше всего обнаруживается при снятии показаний дисбаланса при различных скоростях вращения, при которых ротор является жестким.

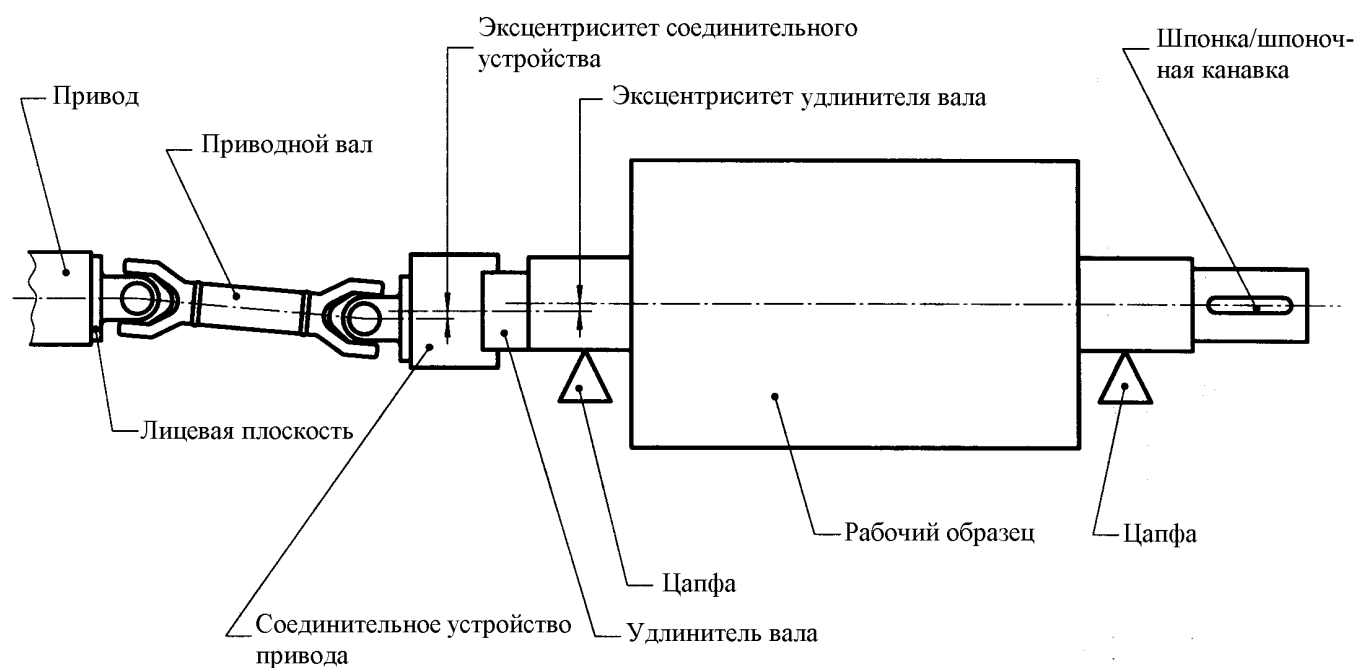


Рис. А.2. Рабочий образец, расположенный на своих собственных цапфах

Таблица А.1. Примеры ошибок и методы снижения и оценки

Источник ошибки	Описание источника ошибки	Метод снижения ошибки дисбаланса	Оценка ошибки дисбаланса			Пункт
			Экспериментальная (для систематической ошибки)	Экспериментальная (для случайной ошибки)	Другой(ие) метод(ы)	
Балансировочная машина	Измерительное оборудование систематических и случайных ошибок	Проверьте калибровку машины и ее работу; если необходимо, исправьте. Перекалибруйте или отремонтируйте машину			См. ИСО 2953 ¹⁾	5.2; 5.4-5.6
Вспомогательное оборудование	Дисбаланс в приводном элементе	Балансировка вспомогательного оборудования	Применимо, ротор повернут на 180° по отношению к приводному элементу или оправке. Полученные сумма ошибки и фаза являются глобальными	Возможно, но балансировочный индекс более экономичен	Измерение суммы ошибки и фазы отдельной балансировкой объекта ²⁾	А.1.1 А.1.3
	Дисбаланс в оправке (или коротком вале)	Балансировка оправки (или короткого вала) или другого вспомогательного оборудования более точно. Уменьшите массу вспомогательного оборудования				
	Радиальный и осевой износ приводного элемента	Балансировка или ремонт приводного элемента				
Вспомогательное оборудование	Радиальный и осевой износ оправки (или короткого вала)	Ремонт или компенсация наклонной массой или трансформация				

Источник ошибки	Описание источника ошибки	Метод снижения ошибки дисбаланса	Оценка ошибки дисбаланса			Пункт
			Экспериментальная (для систематической ошибки)	Экспериментальная (для случайной ошибки)	Другой(ие) метод(ы)	
	Эксцентриситет вспомогательного элемента качения в подшипнике	Балансировка с эксплуатационным подшипником на месте. Если требуется демонтаж для сборки ротора в корпусе, поставьте метку на внутренней обойме подшипника и на валу	Применимо, перестановка одного подшипника после поворота на 180°			A.1.2
Ротор	Свободно посаженные детали, например, лопатки ротора компрессора	Проведите несколько пусков и остановок и возьмите средние значения дисбаланса; исправьте средний дисбаланс		Применимо, включайте ротор из различных остановочных положений для каждого цикла испытаний		A.2.1
Ротор	Наличие остатков жидкостей или твердых частиц	Удалите жидкости или твердые частицы; если это невозможно, проведите несколько циклов пусков и остановок и исправьте средний дисбаланс		Применимо, но между каждым циклом делайте примерно получасовые остановки ³⁾		A.2.2

Источник ошибки	Описание источника ошибки	Метод снижения ошибки дисбаланса	Оценка ошибки дисбаланса			Пункт
			Экспериментальная (для систематической ошибки)	Экспериментальная (для случайной ошибки)	Другой(ие) метод(ы)	
	Тепловое и гравитационное воздействия	Разгоните ротор до установления стабильной скорости перед балансировкой, не допускайте, чтобы ротор оставался неподвижным в балансировочной машине в течение длительных периодов времени		Применимо, но эти воздействия следует уменьшать, насколько возможно ³⁾		A.2.3
Ротор	Эффект сопротивления воздуха	Оградите ротор, или закройте входные отверстия, или пустите ротор в обратном направлении			Сравните измерения при различных скоростях	
	Магнитные воздействия (т.е. намагниченный ротор)	Размагнитьте ротор, выберите более высокую балансировочную скорость, чтобы свести к минимуму магнитные воздействия			Измерьте сумму ошибки и фазу при низкой скорости	A.2.7

Источник ошибки	Описание источника ошибки	Метод снижения ошибки дисбаланса	Оценка ошибки дисбаланса			Пункт
			Экспериментальная (для систематической ошибки)	Экспериментальная (для случайной ошибки)	Другой(ие) метод(ы)	
	Наклон эксплуатационных шариковых подшипников	Выпрямите обоймы подшипников на валу, еще раз механически обработайте буртики вала. Уменьшите эти воздействия, уменьшая сопротивление посадочного места с помощью сферических перемещений. если это возможно			Сравните измерения при различных скоростях	A.2.4
Ротор	Плохая обработка поверхности цапф недостаточная смазка	Снова обработайте цапфы, смажьте				
	Угловое смещение (ротор с числом подшипников больше двух)	Балансировка только при двух подшипниках (один на опоре), или монтаж ротора на жесткой раме со множеством подшипников				
	Шпонки и шпоночные канавки	Вставьте соответствующую половину шпонки по ИСО 8821				
	Осевой и радиальный износ внутренней поверхности приводного устройства	Проведите повторную механическую обработку поверхности или пользуйтесь ременным приводом				A.2.6

Источник ошибки	Описание источника ошибки	Метод снижения ошибки дисбаланса	Оценка ошибки дисбаланса			Пункт
			Экспериментальная (для систематической ошибки)	Экспериментальная (для случайной ошибки)	Другой(ие) метод(ы)	
Сборка	Зазор в механических соединениях универсального вала	Уплотните универсальные соединения, замените приводной вал или переключите на ременный привод	Возможно, если нулевой зазор можно определить для каждого цикла	Применимо, разборка и сборка подозреваемых соединений между циклами (ротор, остановленный в различных угловых положениях) повторно		A.1.3 A.2.5
	Неправильная посадка в сборке	Разберите и заново соберите посадочное соединение	Измерьте осевой износ			
		Пересмотрите измерение		Повторяемая проверка		

¹⁾Если положения массы рабочего образца или измеряемой плоскости существенно отличаются от подтвержденных при испытаниях ротора по ИСО 2953, следует провести дальнейшие испытания, чтобы определить минимальный достижимый остаточный дисбаланс в указанных измеряемых плоскостях на самом рабочем образце/роторе.

²⁾В общем, возможно применять исправления ошибок известного количества и фазы. Однако, если эти ошибки превышают $U_{рег}$, можно посоветовать предпринять другие шаги для уменьшения их размера до начала балансировочного процесса. ³⁾Результаты следует проверить, во избежание смещения влияния остатков материала и теплового эффекта.

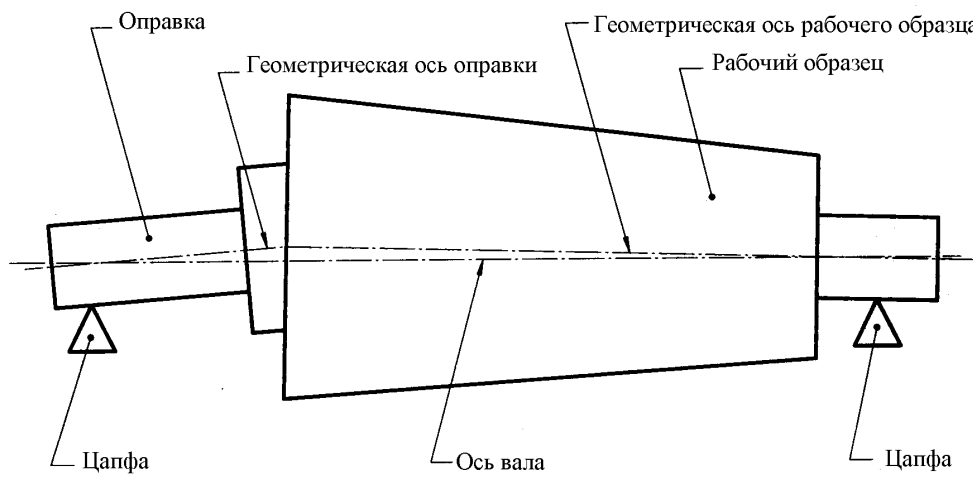


Рис.А.3. Одна цапфа лежит на оправке, и одна – на рабочем образце

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(информативное)

**ТИПОВЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ АЛГОРИТМА ПО
ПУНКТУ 8 в.****Таблица В.1. Типовые данные для проверки алгоритма по
п.8в.**

Преобразователь №	Без испытываемой массы		С испытываемой массой в плоскости №1 30000 г·мм, 0°		С испытываемой массой в плоскости №2 20000 г·мм, 0°	
	Амплитуда	Фаза	Амплитуда	Фаза	Амплитуда	Фаза
1	1,50	0°	3,10	60°	2,11	320°
2	2,10	130°	1,90	250°	2,09	90°

Результаты остаточного дисбаланса:
- плоскость №1: 6 500 г·мм (213°)
- плоскость №2: 18 900 г·мм(108°)
ПРИМЕЧАНИЕ. Фаза вектора остаточного дисбаланса обычно не
нуждается в определении качества балансировки.

ПРИЛОЖЕНИЕ С

(информативное)

БИБЛИОГРАФИЯ

ИСО 8821:1989 *Вибрация механическая. Балансировка. Условные обозначения валов и шпонок.*