

П. Дьяченко

**Балансировка деталей в
авиационном моторостроении**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
П11

П11 **П. Дьяченко**
Балансировка деталей в авиационном моторостроении / П. Дьяченко – М.:
Книга по Требованию, 2014. – 68 с.

ISBN 978-5-458-37525-2

ISBN 978-5-458-37525-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2014

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2014

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

НЕОБХОДИМОСТЬ БАЛАНСИРОВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

До конца XIX столетия задачи балансировки деталей проектируемых машин решались исключительно расчетным путем. При этом игнорировалась неизбежная на практике неуравновешенность от ошибок конструкторских расчетов, от неточности механической обработки, неоднородности материала и т. д.

Приблизительно с 1920 г. некоторые фирмы Америки и Германии начали изготавливать приборы и станки для балансировки деталей машин. Метод экспериментальной проверки уравновешенности деталей постепенно завоевывает прочное место в технологическом процессе машиностроительных заводов. В настоящее время лучшие заводы, как правило, балансируют все вращающиеся детали изготавливаемых ими механизмов.

Колебания из-за неуравновешенности особенно вредны в машинах, работающих с большими скоростями; у этих машин самая легкая неуравновешенность может вызвать очень большую возмущающую силу. С. П. Тимошенко („Теория колебаний в инженерном деле“) приводит пример, когда при 1800 об/мин неуравновешенность, равная 0,45 кг, на радиусе 0,76 мм вызывала возмущающую силу, равную 1250 кг.

Тщательное уравнивание вращающихся частей машины дает целый ряд важнейших преимуществ. Уравновешенная машина работает плавно, устраняются вибрации отдельных деталей и вызываемая вибрациями усталость материала, уменьшается износ подшипников и расшатывание всего механизма. Точная балансировка позволяет значительно повысить скорости вращения.

Балансировка широко применяется в машиностроительной промышленности при изготовлении роторов турбин, центробежных помп, вентиляторов, частей пылесосов и тому подобных деталей.

В авиационной промышленности в большинстве случаев ограничиваются только статической балансировкой ряда деталей (коленчатые валы, крыльчатки нагнетателя, пропеллеры, втулки винта и т. д.) и при том на несовершен-

ном оборудовании (призмы, ролики). Однако, как показал опыт, коленчатые валы авиационных моторов нуждаются в динамической балансировке, помимо статической. Требуют балансировки и крыльчатки нагнетателя, воздушные винты и другие детали, обладающие большой массой и вращающиеся с высоким числом оборотов.

ВИДЫ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТИ

Неуравновешенность тела может проявляться в виде:

1) свободной неуравновешенной центробежной силы, являющейся результатом смещения центра тяжести вращающегося тела с оси вращения (эксцентричное расположение) и

2) неуравновешенной пары сил.

Первый случай называется статической неуравновешенностью. Статическая неуравновешенность может быть обнаружена статической проверкой. Во втором случае неуравновешенность называется динамической. Статической балансировкой она не обнаруживается.

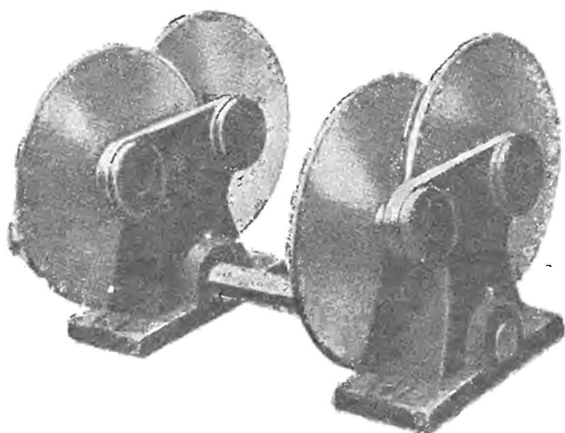
Статическая балансировка производится таким образом, что деталь или находится в покое, или вращается, но так медленно, что центробежные силы могут не приниматься в расчет.

Неуравновешенность можно определить при помощи призм (их часто называют „ножами“) или роликов. Призмы представляют собой бруски трапециoidalного сечения с узкой верхней гранью. Ширина верхней грани брусков зависит от веса балансируемой детали. Для легких деталей она может быть меньше одного мм. Для роторов паровых турбин весом 6—10 т ширина верхней грани бруска достигает 50 мм. Балансируемая деталь кладется на две параллельно расположенные призмы. Шейки, которыми деталь опирается на призмы, должны быть шлифованы и иметь одинаковый диаметр для того, чтобы ось детали занимала строго горизонтальное положение. Деталь медленно поворачивают в разные стороны. Если центр тяжести детали находится на оси вращения, деталь будет находиться в равновесии в любом положении. Если же центр тяжести не лежит на оси вращения, то деталь будет катиться по брускам до тех пор, пока тяжелое место ее не займет нижнего положения. С этого места детали снимаются металл до тех пор, пока она не придет в состояние безразличного равновесия. Для статического уравнивания коленчатых валов призмы укладываются на жесткие металлические козлы, лучше всего опертые в трех точках.

Каждая опора имеет по винту, при помощи которых призмы легко устанавливаются в горизонтальное положение.

Балансировка на роликах (фиг. 1) аналогична балансировке на призмах, но деталь опирается не на плоскость призмы, а на ролики.

Балансировка при помощи призм и роликов не отличается достаточной точностью, так как ни призмы, ни ролики не обладают необходимой чувствительностью. Такая балансировка требует большой затраты времени и может применяться только для приближенного статического уравнивания в случае отсутствия балансировочного станка.



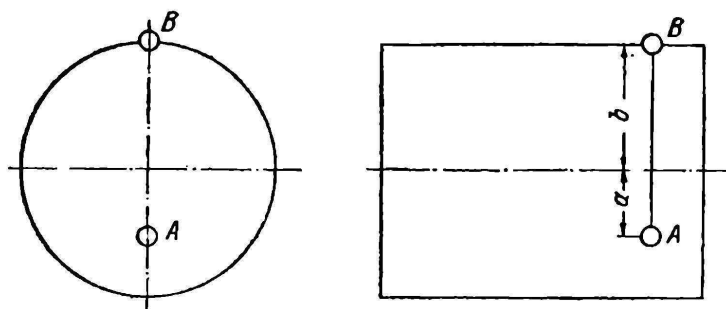
Фиг. 1. Балансировка на роликах.

При балансировке на призмах и роликах не может быть определено расположение неуравновешенного участка по длине вращающейся детали. Например, коленчатый вал может иметь неуравновешенный участок на одном своем конце. Балансируя вал на призмах, можно исправить его неуравновешенность на совершенно противоположном от месторасположения неуравновешенной части конце, хотя и в той же плоскости, проходящей через ось, и вал покажется уравновешенным. В действительности же, при таком уравнивании появится пара сил, которую невозможно обнаружить при помощи призм и роликов и которая может оказаться гораздо более опасной, чем первоначальная статическая неуравновешенность.

Таким образом на призмах целесообразно производить статическую балансировку или очень коротких деталей

(маховики, шкивы) с незначительным плечом неуравновешенной пары сил, или же в тех случаях, когда известно продольное расположение статически неуравновешенного участка.

Динамическая балансировка производится при таком числе оборотов, при котором центробежные силы от неравномерно распределенных масс могут быть обнаружены и измерены. Динамическая неуравновешенность устраняется снятием или прибавлением металла с таким расчетом, чтобы создать противоположно направленную корректирующую пару сил. Балансировка при очень высоком числе оборотов не рекомендуется, так как она не позволяет выяснить распределение масс. При вращении с большим числом оборотов может получиться кажущаяся уравновешен-



Фиг. 2. Статически неуравновешенный вал.

ность, если деталь получит временный прогиб от центробежных сил неуравновешенных масс. Этих сил может быть достаточно для того, чтобы уравновесить деталь при данной скорости. При перемене скорости все массы перераспределятся по-иному и равновесие нарушится.

Для увеличения эффекта неуравновешенности балансируемой детали придают критическую скорость, при которой число оборотов детали совпадает с числом собственных ее колебаний. При этой скорости вибрации имеют максимальную величину.

На станках для динамической балансировки определяют величину и угловое положение неуравновешенности, а некоторые станки позволяют установить даже местоположение неуравновешенности вдоль линии, параллельной оси детали.

Неуравновешенные массы могут располагаться в балансируемой детали самым различным образом. Рассмотрим характерные случаи неуравновешенности.

На фиг. 2 показана статически неуравновешенная деталь (вал). Тяжелое место детали находится в точке A на расстоянии a от оси вала. В этом случае уравнивание производится массой B , расположенной в одной плоскости (т. е. перпендикулярно оси вала) с массой A . При этом должно соблюдаться равенство:

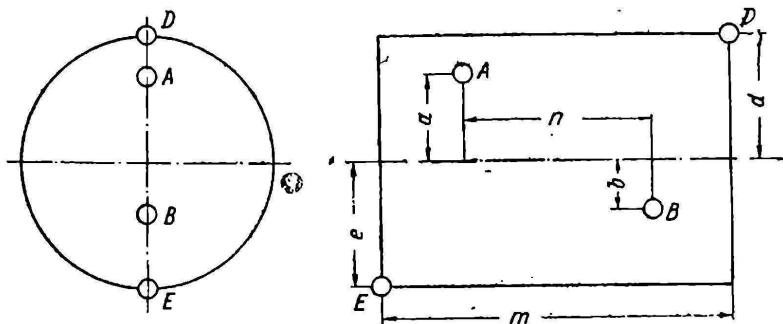
$$A \cdot a = B \cdot b,$$

где b — расстояние от груза B до оси вала.

Отсюда

$$b = \frac{A \cdot a}{B}.$$

Таким образом, приложив массу B на радиусе b , мы полностью уравновесим вал.



Фиг. 3. Динамически неуравновешенный вал.

Возьмем другой случай (фиг. 3), где мы имеем чисто динамическую неуравновешенность. Масса A расположена на расстоянии a , а масса B на расстоянии b от оси вала. Расстояние между массами по длине вала равно n .

Неуравновешенные массы создают центробежные силы $A\omega^2 a$ и $B\omega^2 b$, причем

$$A \cdot a\omega^2 = B \cdot b\omega^2,$$

или

$$A \cdot a = B \cdot b.$$

Неуравновешенный момент этих сил будет $Aa\omega^2 n$ или $Bb\omega^2 n$.

Для уравнивания балансируемой детали (фиг. 3) мы должны приложить равный и противоположно направленный момент.

Если уравнивающие массы E и D расположены в сечениях, отстоящих друг от друга на расстоянии m , то

для полной уравновешенности детали должны быть соблюдены условия:

$$Ee\omega^2 = Dd\omega^2$$

и

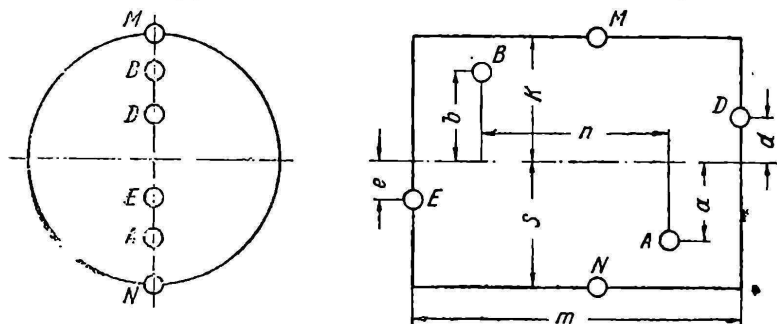
$$Ee\omega^2 m = Aa\omega^2 n$$

или

$$Eem = Aan.$$

Возьмем теперь случай исправления комбинированной неуровновешенности — статической и динамической (фиг. 4).

Неуровновешенный момент $Aa\omega^2 n$ или равный ему $Bb\omega^2 n$ может быть уравновешен, как указано выше, равным и



Фиг. 4. Комбинированная неуровновешенность.

противоположно направленным моментом $Ee\omega^2 m$ или $Dd\omega^2 m$, т. е. должно быть соблюдено условие

$$Aan = Eem.$$

Остается лишь статически неуровновешенная сила M , вызванная неуровновешенной массой. Сила M может быть уравновешена противоположно направленной силой N , причем должно быть соблюдено равенство:

$$M \cdot k = N \cdot s.$$

Возьмем случай (фиг. 5) динамической неуровновешенности с тяжелыми местами детали в разных осевых сечениях.

Во время вращения на деталь будут действовать две центробежные силы M и N (фиг. 5), которые можно привести к паре и к радиальной силе. Таким образом этот случай сводится к совместной статической и динамической неуровновешенности.

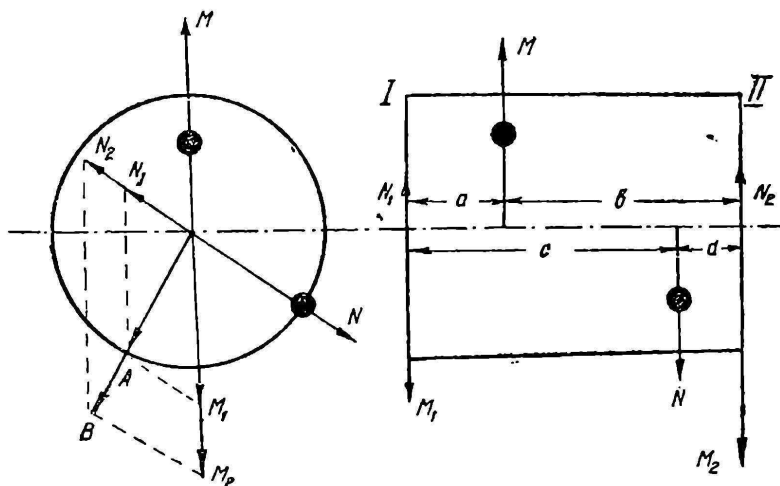
В каждом случае полное уравновешивание может быть получено прикреплением масс к вращающейся детали в лю-

бых меридиальных плоскостях двух произвольно выбранных поперечных сечений.

Допустим, что массы для уравнивания должны быть расположены в плоскостях поперечных сечений I и II (перпендикулярно оси вращающейся детали). Центробежная сила M может быть уравновешена силами M_1 и M_2 , лежащими в одном осевом сечении с силой M . Величина этих сил такова:

$$M_1 + M_2 = M;$$

$$M_1 \cdot a = M_2 \cdot b.$$



Фиг. 5. Динамическая неуравновешенность с тяжелыми местами в разных осевых сечениях.

Подобным образом и сила N может быть уравновешена двумя силами N_1 и N_2 , лежащими в том же осевом сечении, причем

$$N_1 + N_2 = N;$$

$$N_1 c = N_2 d.$$

Таким образом для уравнивания необходимо приложить четыре силы — M_1 , M_2 , N_1 и N_2 . Складывая силы M_1 и N_1 , получим силу A . Складывая силы M_2 и N_2 , получим силу B . Следовательно, для полного уравнивания вращающейся детали необходимо приложить две массы, которые вызовут силы A и B .

Из данного примера видно, что уравнивание не вызовет затруднений, если известны положение и величина неуравновешенных масс.

Таковы характерные случаи расположения неуравновешенных сил в балансируемых деталях и способы их устранения. Ниже эти случаи будут разобраны в связи с работой балансировочных станков.

Для удобства наблюдения и получения отсчетов при балансировании балансировочные станки устроены так, что увеличивают резонанс неуравновешенности во вращающейся детали. Существует большое количество типов балансировочных станков. По принципу уравнивания они могут быть разделены на два типа:

1) станки, в которых величина и положение неуравновешенных масс определяются с помощью компенсирующих масс, и

2) станки, в которых эти данные определяются записями колебаний.

Для первого типа станков наиболее характерен станок фирмы Олсен, для второго типа — станок фирмы Лавачек-Гейман (Шенк). Ниже дается подробное описание конструкции этих станков и методов уравнивания деталей на них.

БАЛАНСИРОВКА КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ НА СТАНКЕ ОЛСЕН

Устройство станка

Общий вид балансировочного станка Олсен показан на фиг. 6.

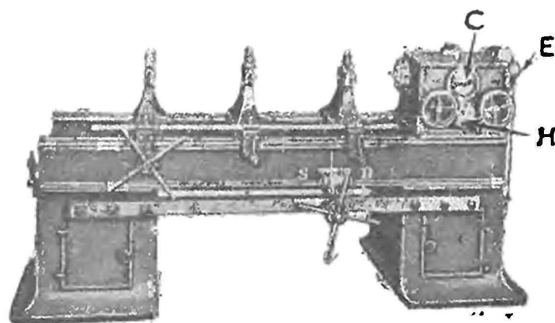
На цементный фундамент установлены стойки 1 (фиг. 7), соединяющиеся двумя массивными брусками 10. На них опирается подвижная вибрирующая станина 2. К станине с передней стороны привернута чугунная рейка 1 (фиг. 8), служащая для передвижения вдоль станины 4 опор (люнетов) балансируемой детали. Опоры прижаты к станине подушками 21 (фиг. 7) при помощи рукояток 4 (фиг. 10). Кронштейны 4 на концах продольной оси станины служат для укрепления пружин и призм. Эти кронштейны обозначены на фиг. 7 цифрами 7, 8 и 9. На верхнем отъёме кронштейна укрепляется призма — стальной стержень со вставным закаленным наконечником. Рядом с призмой помещается пружина, натяжение которой можно изменять винтами.

Пружины для динамической балансировки установлены на продольной оси станка, а для статической — на поперечной.

Призмы опираются на стержни, на которых и вибрирует

станина. На продольной оси станка эти стержни неподвижны, а на поперечной оси могут опускаться и подниматься при помощи штурвала 19 (фиг. 7). При статической балансировке поперечные стержни призмы при помощи штурвала опускаются вниз, и станина вибрирует на продольных призмах. При динамической же балансировке эти стержни поднимаются вверх, а станина вибрирует на поперечных призмах.

При статической балансировке верхняя станина вместе с деталью и электромотором вибрирует около призм продольной оси, причем боковые качания поглощаются пружинами на поперечной оси. При динамической балансировке вибрация происходит около призм поперечной оси и на пружинах продольной оси.

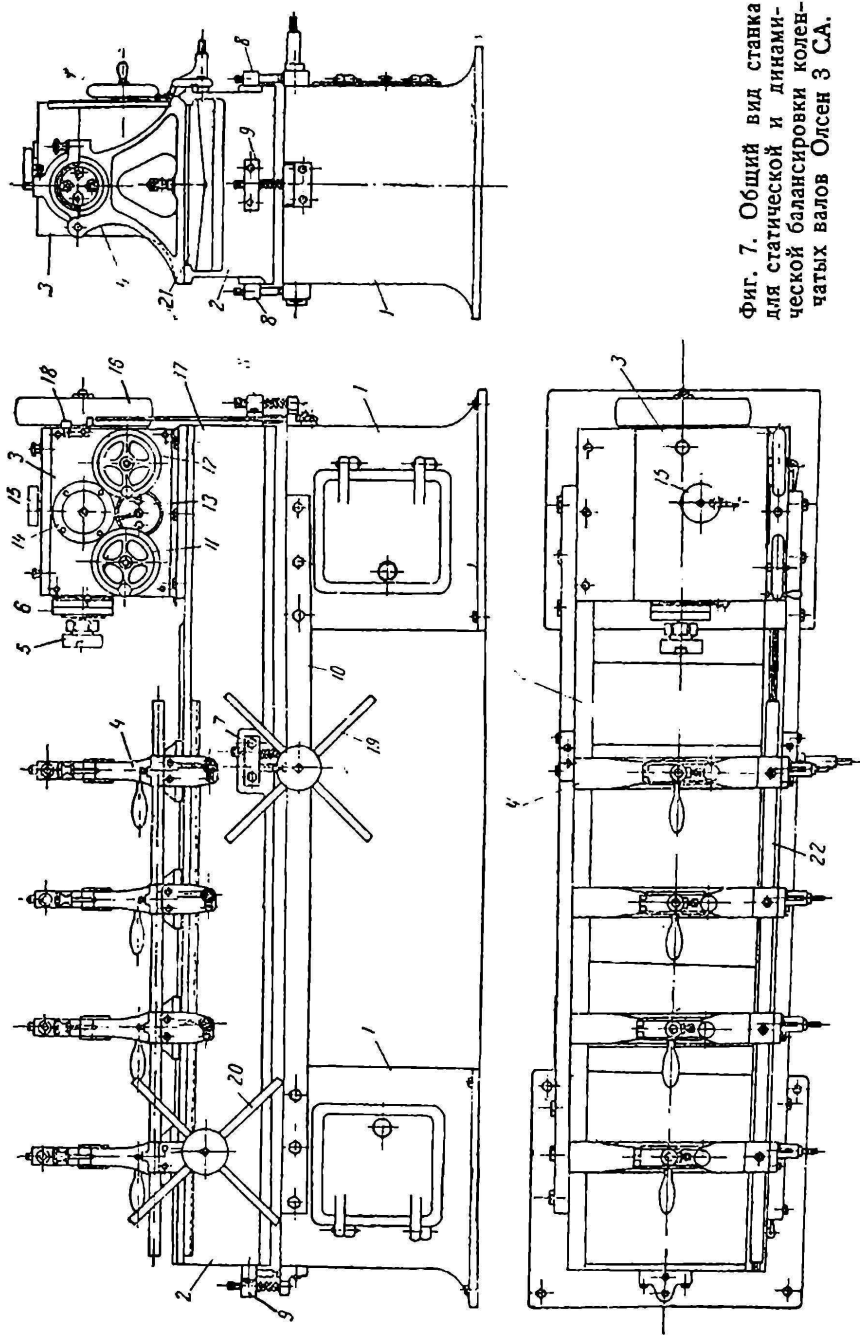


Фиг. 6. Балансировочный станок Олсен.

Балансируемая деталь устанавливается на опорах, как показано на фиг. 9 для коленчатого вала. Каждая опора состоит из нижнего кронштейна 4 (фиг. 7) или 1 (фиг. 10), опирающегося на станину.

Балансируемая деталь опирается только на нижнюю половину вкладыша 9. В чугунный корпус опоры 1 вкладывается половина вкладыша 9, залитая баббитом; она расточена и пришабрена по опорной шейке балансируемой детали (с учетом зазора). Верхняя крышка опоры 10, откидывающаяся на ось 5, не имеет вкладыша для детали. Внутренний диаметр крышки больше диаметра шейки детали, которая прижимается сверху бронзовым штифтом 7, наплавленным в нижней части баббитом. Когда деталь уложена на опоры, штифт 7 подводится к ней и закрепляется в таком положении винтом 8. При этом верхняя крышка скрепляется с нижним кронштейном винтом 6.

Опоры могут двигаться вдоль станины каждая в отдельности или же одновременно все четыре опоры, соединенные



Фиг. 7. Общий вид станка для статической и динамической балансировки коленчатых валов Олсен 3 СА.