

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(национальный исследовательский университет)»

Динамическая балансировка роторов двигателя

Электронные методические указания
к лабораторной работе

САМАРА

2010

Составители: ЕФИМОВ Владимир Викторович
СУРКОВ Олег Станиславович

Рассматриваются вопросы формирования качества сборки изделий как на этапе проектирования технологического процесса сборки, так и при выполнении балансировки ротора. Большое внимание уделено рассмотрению теоретических основ балансировки роторов, обеспечению требуемой точности. Показаны примеры разработки методики проведения лабораторного эксперимента по определению факторов, влияющих на качество выполнения операции балансировки.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности: 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки», изучающих курсы «Технология производства АД и ЭУ», «Технология машиностроения», «Технологические методы обеспечения надежности деталей ГТД», «Информационные технологии», и в рамках магистерской программы «Интегрированные информационные технологии в авиадвигателестроении» по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов».

Разработано на кафедре производства двигателей летательных аппаратов.

**© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2010**

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА БАЛАНСИРОВКИ.....	4
1.1. ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ДИСБАЛАНСОВ НА ДИСБАЛАНС РОТОРА.....	6
1.2. БАЛАНСИРОВКА РОТОРА. ТОЧНОСТЬ БАЛАНСИРОВКИ. СХЕ- МА И ПРИНЦИП РАБОТЫ БАЛАНСИРОВОЧНОГО СТАНКА.....	8
2 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	14
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА. КОНСТРУКЦИЯ ОСНАСТКИ.....	14
4 ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	16
5 СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА.....	18
6 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ.....	19
7 ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ, ОСНАСТКИ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	20

1. Теоретические основы процесса балансировки

Неуравновешенность ротора - это состояние, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах и его изгиб (ГОСТ 19534—74). В неуравновешенном роторе имеются одна или несколько неуравновешенных масс. Каждая такая масса вызывает дисбаланс D_i , представляющий собой векторную величину, равную произведению неуравновешенной массы m_i на радиус-вектор $\vec{r}_i$ от центра этой массы до оси вращения (r_i имеет также название эксцентриситет массы m_i).

$$\vec{D}_i = m_i \vec{r}_i \quad (1)$$

Направление вектора дисбаланса D_i всегда совпадает с направлением радиуса вектора r_i .

Если предположить, что все имеющиеся в роторе неуравновешенные массы расположены в одной плоскости, перпендикулярной оси вращения, то вектор суммарного дисбаланса будет равен геометрической сумме составляющих векторов:

$$\vec{D}_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \vec{D}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i \quad (2)$$

Появление неуравновешенных масс и, следовательно, дисбалансов связано с первичными производственными погрешностями, появившимися на этапах получения заготовок, в процессе изготовления отдельных деталей, а также в процессе сборки ротора. Так, например, при получении заготовок деталей типа крыльчаток, дисков методами литья или штамповки имеет место неравномерная плотность материала из-за пористости литья, газовых раковин и т. д. При механической обработке заготовок появляются погрешности взаимного расположения поверхностей (радиальные и торцовые биения, разностенность буртов и т.п.). В процессе сборки роторов появляются перекосы деталей при запрессовке, перекосы деталей из-за неравномерного усилия затяжки группы резьбовых соединений, а также смещения осей деталей в результате накопления погрешностей радиального расположения поверхностей отдельных деталей относительно цапф ротора.

Кроме дисбалансов от производственных причин в роторе может появиться так называемый эксплуатационный дисбаланс как следствие

неравномерного износа поверхностей, образования кавитационных каверн, коррозии, релаксации материала деталей, ослабления посадок и соединений и т. п.

Таким образом, в каждом роторе имеется совокупность пространственно расположенных неуравновешенных масс, случайных по величине.

В зависимости от характера расположения неуравновешенных масс вдоль оси ротора его неуравновешенность может быть трех видов: статическая, моментная и динамическая. При статической неуравновешенности вся совокупность дисбалансов ротора приводится к одной равнодействующей, проходящей через центр масс ротора и называемой главным вектором дисбалансов – $\bar{D}_{ст}$ (рис. 1 а).

При моментной неуравновешенности вся совокупность векторов дисбалансов ротора приводится к равнодействующему моменту, называемому главным моментом дисбалансов – $\bar{M}_д$ (рис. 1 б).

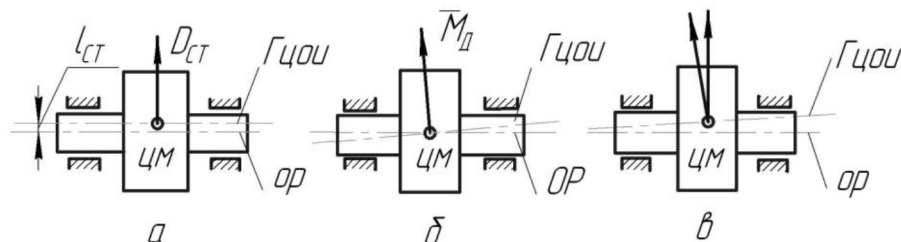


Рис. 1. Виды неуравновешенности ротора: а – статическая, б – моментная, в – динамическая

При динамической неуравновешенности вся совокупность векторов дисбаланса ротора приводится к главному вектору $\bar{D}_{ст}$ и главному моменту $\bar{M}_д$ (рис. 1 в). Каждому из рассмотренных видов неуравновешенности соответствует свое характерное расположение главной центральной оси инерции (ГЦОИ) ротора относительно его оси вращения (ОР) (рис. 1).

1.1. Влияние отдельных произвольно расположенных дисбалансов на дисбаланс ротора

В роторе, имеющем на валу несколько дисков, дисбаланс в одном из дисков вызывает статическую и моментную составляющую дисбаланса для всего ротора. Рассмотрим пример. Пусть ротор (рис. 2) имеет 6 отдельных дисков и в диске IV имеется дисбаланс $\overline{D}^{IV}$.

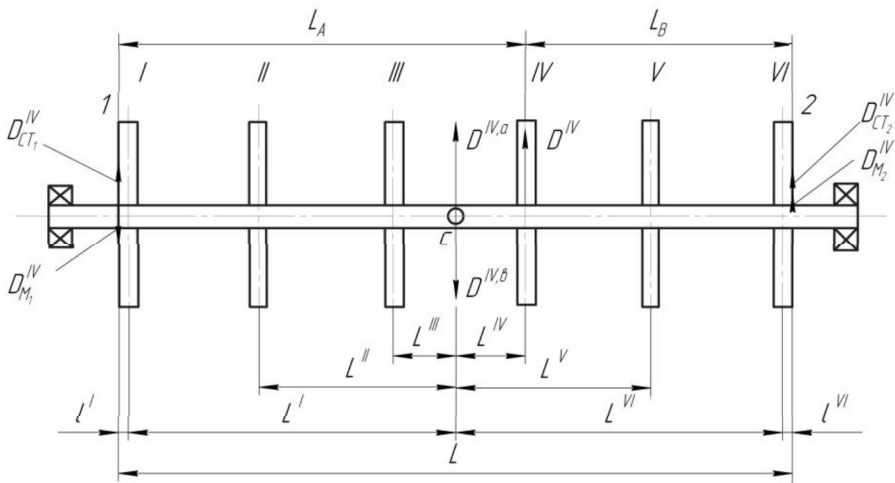


Рис. 2. Схема образования статической и моментной неуравновешенности ротора от дисбаланса одного диска

Приложим в центре масс ротора (точке C) два взаимно уравнивающих вектора $\overline{D}^{IVa}$ и $\overline{D}^{IVb}$. Причем каждый из них равен по модулю вектору $\overline{D}^{IV}$ и находится в одной и той же осевой плоскости. В полученной системе векторов вектор $\overline{D}^{IVa}$ будет выражать главный вектор дисбаланса ротора, т. е. $\overline{D}_{cm} = \overline{D}^{IVa}$, а векторы $\overline{D}^{IV}$ и $\overline{D}^{IVb}$ выражают главный момент дисбалансов $\overline{M}_D = \overline{D}^{IV} \times L^V$. Главный вектор $\overline{D}_{cm}$ и главный момент $\overline{M}_D$ можно представить в виде двух составляющих, расположенных в двух заранее выбранных плоскостях, перпендикулярных оси вращения. Так, например, в плоскостях 1 и 2 (рис. 2) главный вектор дисбалансов дает

$$\bar{D}_{CT1}^{IV} = \bar{D}_{CT} \frac{L^{VI} + l^{VI}}{L} \quad \bar{D}_{CT2}^{IV} = \bar{D}_{CT} \frac{L^I + l^I}{L} \quad (3)$$

В этих же плоскостях главный момент дисбалансов дает составляющие

$$\bar{D}_{M1}^{IV} = \bar{D}_{M2}^{IV} = \bar{M}_D / L \quad (4)$$

Все составляющие дисбаланса будут находиться в одной осевой плоскости, в которой расположен вектор $\bar{D}^{IV}$. Для плоскости 1 составляющие $\bar{D}_{cm1}^{IV}$ и $\bar{D}_{M1}^{IV}$ имеют противоположное направление и результирующая дисбаланса в этой плоскости будет равна разности векторов $\bar{D}_1^{IV} = \bar{D}_{cm1}^{IV} - \bar{D}_{M1}^{IV}$. Для плоскости 2 составляющие $\bar{D}_{cm2}^{IV}$ и $\bar{D}_{M2}^{IV}$ имеют одинаковое направление, поэтому результирующая дисбаланса в этой плоскости будет равна сумме векторов $\bar{D}_2^{IV} = \bar{D}_{cm2}^{IV} + \bar{D}_{M2}^{IV}$.

Рассмотренные действия с векторами по своим конечным результатам равноценны действиям по разложению вектора $\bar{D}^{IV}$ на два составляющих вектора $\bar{D}_1^{IV}$ и $\bar{D}_2^{IV}$, параллельных вектору $\bar{D}^{IV}$. Модули этих составляющих векторов рассчитываются по следующим равенствам:

$$\bar{D}_1^{IV} = \bar{D}^{IV} \frac{L_B}{L_A + L_B} \quad (5)$$

$$\bar{D}_2^{IV} = \bar{D}^{IV} \frac{L}{L_A + L_B}$$

Если теперь предположить, что в каждом диске ротора будут иметься дисбалансы $\bar{D}^I$, $\bar{D}^{II}$, $\bar{D}^{III}$ и т. д., то в этом случае для каждой из двух плоскостей 1 и 2 вначале можно расчетно-графически определить составляющие $\bar{D}_1^I$, $\bar{D}_1^{II}$, $\bar{D}_1^{III}$, ... и $\bar{D}_2^I$, $\bar{D}_2^{II}$, $\bar{D}_2^{III}$..., после чего найти суммарный вектор $D_{\Sigma 1}^I$, $D_{\Sigma 2}^{II}$ (рис. 3).

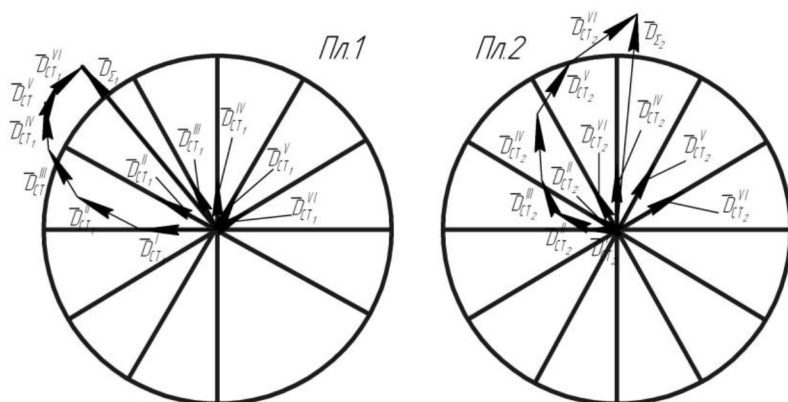


Рис. 3. Графическое определение составляющих дисбаланса ротора в левой и правой плоскости коррекции

1.2. Балансировка ротора. Точность балансировки. Схема и принцип работы балансировочного станка

Уменьшение дисбалансов ротора производится путем проведения балансировки, представляющей собой процесс определения величин и углов дисбалансов в заранее выбранных плоскостях, перпендикулярных оси вращения, и уменьшения этих дисбалансов корректировкой масс ротора (теоретически это означает сближение оси вращения и ГЦОИ). Под углом дисбаланса понимается угол, определяющий положение вектора дисбаланса в системе координат, связанной с осью ротора.

При всех видах балансировки корректировка масс ротора производится в двух или более заранее выбранных плоскостях, называемых плоскостями коррекции. Исключение составляет лишь статическая балансировка, которая может быть проведена в одной плоскости коррекции, проходящей через центр масс ротора. Однако и при статической балансировке в большинстве случаев оказывается более удобным корректирующие массы разносить в несколько параллельных плоскостей.

При определении допустимого дисбаланса ротора в качестве исходного принимается допустимое значение главного вектора дисбаланса

$$\overline{D}_{cm} = m_p \overline{e}_{cm} \quad (6)$$

Величину D_{cm} принято измерять в г·мм (иногда в г·см). Для удобства сопоставления роторов различных масс при балансировке пользуются понятием удельного дисбаланса, выражаемого отношением модуля D_{cm} к массе ротора и численно равного эксцентриситету массы ротора (в мкм):

$$e_{cm} = D_{cm}/m_p \quad (7)$$

Для оценки точности балансировки роторов ГОСТом 22061-76 установлено 11 классов точности, определяемых по нормированным предельным значениям произведения удельного дисбаланса на наибольшую частоту вращения ротора в эксплуатации, т.е. $e_{cm}\omega_{max}$ мм·рад/с,

где $\omega_{max} = 2\pi n_{max}/60 \approx n_{max}/10$, рад/с

Здесь n_{max} — частота вращения, мин⁻¹.

Для роторов ГТД рекомендуется 4-й (реже 5-й) класс точности балансировки, для которых $e_{cm} \cdot \omega_{max}$ соответственно равно 6,3 и 16 мм рад/с.

Таким образом, зная величину ω_{max} можно определить табличное значение $e_{cm(табл)}$ для каждого класса точности балансировки, а затем и допустимое значение главного вектора дисбалансов ротора на период окончания ресурса работы изделия (т. е. с учетом дисбаланса, появившегося в эксплуатации):

$$D_{cm, доп (табл)} = m_p e_{cm (табл)} \quad (8)$$

Для вновь собранного ротора, балансируемого в собственных подшипниках, допустимое значение главного вектора дисбалансов определяется следующим образом:

$$D_{cm, доп} = m_p e_{cm (табл)} - D_{cm, э} \quad (9)$$

где $D_{cm, э}$ — значение главного вектора эксплуатационных дисбалансов ротора изделия (определяемого на основании данных статистики).

Для межопорного ротора верхнее значение допустимых дисбалансов в каждой из двух плоскостей коррекции 1 и 2 (рис. 4) определяется по формулам:

$$D_{1, \text{доп}} = D_{\text{ст, доп}} \left| \frac{L_2 - L_A}{L_2 - L_1} \right| \quad (10)$$

$$D_{2, \text{доп}} = D_{\text{ст, доп}} \left| \frac{L_A - L_1}{L_2 - L_1} \right| \quad (11)$$

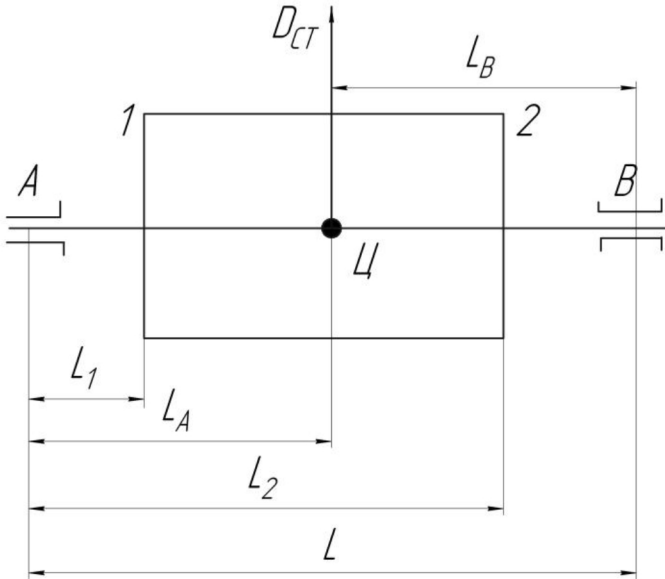


Рис. 4. Схема для расчета допустимых дисбалансов в плоскостях коррекции 1 и 2

После балансировки остаточные дисбалансы в плоскостях коррекции не должны выходить за пределы значений допустимых дисбалансов.

Пример расчета. Определить допустимое значение главного вектора дисбаланса при балансировке ротора по 4-му классу $m_p = 100 \text{ кг}$, наибольшую частоту вращения $n_{\text{э max}} = 3000 \text{ мин}^{-1}$.

Эксплуатационный дисбаланс при заданном техническом ресурсе 5000 часов может достигать 20% от допустимого удельного дисбаланса. При $n_{\text{э max}} = 3000 \text{ мин}^{-1}$ для 4-го класса точности находим допустимый удельный дисбаланс (табличный)

$$e_{\text{ст доп (табл)}} = (e_{\text{ст}} \omega_{\text{э max}})_{\text{табл}} / \omega_{\text{э max}} = 6,3 / 300 = 0,021 \text{ мм} = 21 \text{ мкм}.$$

Тогда $D_{\text{ст. доп (табл)}} = m_p e_{\text{ст. доп. табл}} = 100000 \cdot 0,021 = 2100 \text{ гмм},$

$$D_{ст.э} = 0,2 D_{ст.дон.(табл)} = 0,2 \cdot 2100 = 420 \text{ гмм},$$

$$D_{ст.дон} = D_{ст.дон.(табл)} - D_{ст.э} = 2100 - 420 = 1680 \text{ гмм}.$$

Балансировка ротора статическая или динамическая проводится на специальных станках. Станки, предназначенные для статической балансировки, позволяют определить только главный вектор дисбаланса. В зависимости от схемы станка определение дисбаланса производится либо на невращающемся роторе (статический режим), либо при вращении ротора (динамический режим).

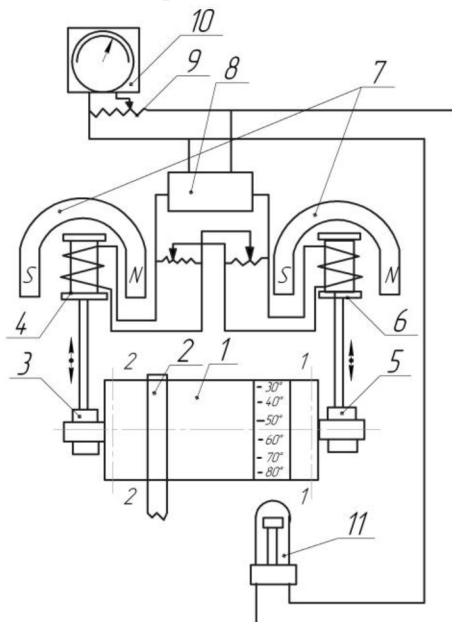


Рис. 5. Схема работы балансировочного станка с электрической измерительной частью

Станки для динамической балансировки дают информацию о дисбалансах, приведенных к двум или нескольким плоскостям коррекции. Эти станки могут использоваться также и для статической балансировки. Одним из наиболее распространенных типов станков для динамической балансировки является станок с электрической измерительной частью (рис. 5).

Балансируемый ротор 1 установлен на подвижных опорах 3 и 5 (для станка типа ДБ, используемого в лабораторной работе, опоры по-

движны в горизонтальной плоскости). Опоры жестко связаны посредством стержней с катушками 4 и 6, находящимися в поле постоянных магнитов 7. Катушка и магнит в совокупности образуют датчик.

При вращении ротора (электродвигателем с помощью ремня 2) имеющиеся в нем дисбалансы вызывают колебания опор. Эти колебания передаются через стержни на катушки 4 и 6 датчиков, вызывая перемещение их в магнитном поле. При этом в катушках возбуждаются напряжения E_1 и E_2 , прямо пропорциональные величине дисбалансов, вызывающие колебания опор. Эти напряжения через потенциометрические устройства поступают в усилитель 8 и далее через сопротивление 9 на указатель значения дисбаланса 10, предварительно оттарированного в единицах измерения дисбаланса.

Для определения углового положения вектора дисбаланса используется стробоскопический эффект, позволяющий зрительно остановить вращающийся ротор, когда частота вспышек лампы совпадает с частотой вращения балансируемого ротора. Для этой цели станок снабжен строботроном 11. Лампа строботрона вспыхивает каждый раз, когда на управляющую сетку попадает определенной величины отрицательный импульс. Поскольку за один оборот такой импульс в катушке датчика возникает только один раз, то частота импульсов соответствует частоте вращения ротора при балансировке, что и обеспечивает стробоскопический эффект.

Вспышка лампы происходит в момент возбуждения в катушке датчика наибольшего значения напряжения, т. е. тогда, когда вектор дисбаланса совпадает с плоскостью возможного качания опор. Если на поверхность ротора нанести шкалу, то при вспышке лампы строботрона будут зрительно наблюдаться неподвижными конкретные деления шкалы. Эти деления шкалы отмечаются оператором - балансировщиком. Если теперь выключить электродвигатель привода, остановить ротор и, поворачивая ротор вручную, совместить деления шкалы с отмеченным положением, то вектор дисбаланса будет располагаться в плоскости качания опор (то есть для станков типа ДБ в горизонтальной плоскости).

Для конкретных балансировочных станков вследствие погрешностей работы механизма станка и электронной аппаратуры может иметь место сдвиг фазы вспышки лампы с положением вектора дисбаланса

относительно плоскости качания опор. В этих случаях действительная плоскость вспышки лампы уточняется экспериментально во время настройки балансировочного станка.

Определение значения дисбаланса и угла дисбаланса производится для каждой из двух плоскостей коррекции.

На пульте управления станком (рис. 6) имеются две панели: левая и правая. Левая панель с рукоятками предназначена для настройки пульта каждый раз, когда изменяется конструктивная схема ротора. После настройки левая панель пульта закрывается крышкой. Правая панель имеет органы управления станком в процессе балансировки, т. е. рукоятки 11, 12, 13, 14, 15 и тумблер включения пульта с сигнальной лампой. Сверху на пульте установлен прибор – указатель значения дисбаланса.

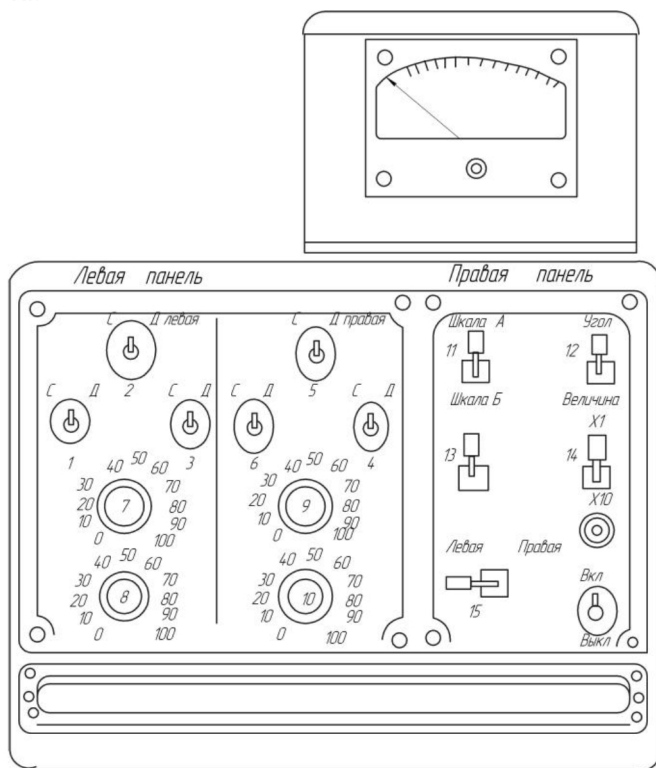


Рис. 6. Внешний вид пульта управления

2. Цель и задачи лабораторного эксперимента

Целью лабораторного эксперимента является установление основных технологических характеристик динамической балансировки ротора и практическое освоение процесса динамической балансировки. В соответствии с поставленной целью в эксперименте решаются следующие задачи:

расчет для конкретного ротора величины допустимого дисбаланса в каждой из двух плоскостей коррекции;

теоретическое и экспериментальное определение составляющих дисбаланса в каждой из двух плоскостей коррекции ротора,

устранение дисбаланса ротора до допустимого уровня.

3. Методика проведение лабораторного эксперимента.

Конструкция оснастки

На основе анализа конструктивной схемы экспериментального ротора и используя ранее рассмотренный пример, определяют величину допустимых дисбалансов ротора для каждой из двух плоскостей коррекции.

Получив от преподавателя информацию о величине и расположении дисбалансов, вносимых в ротор, расчетно-графическим путем определяют составляющие суммарного дисбаланса ротора для каждой плоскости коррекции.

Производится практическое определение составляющих дисбаланса ротора на станке и последующее сравнение экспериментальных и расчетных значений. Далее осуществляется балансировка ротора, т. е. уменьшение составляющих дисбаланса до допустимых величин корректировкой масс ротора.

При проведении лабораторного эксперимента используется ротор, схема которого показана на рис. 7. Он состоит из вала с установленными на нем шестью дисками. В таком виде ротор имитирует многоступенчатый ротор ГТД дисковой конструкции. Конструкция ротора обеспечивает проведение с его помощью ряда экспериментов по балансировке ротора. Так, например, диски ротора могут при необходимости перемещаться по валу в осевом направлении с последующим их

В эти отверстия можно устанавливать болты различной массы и имитировать таким образом различные варианты пространственного расположения неуравновешенных масс в роторе.

15

4. Проведение лабораторного эксперимента

Лабораторный эксперимент следует проводить в следующей последовательности:

1. Определить допустимый дисбаланс ротора в каждой плоскости коррекции, используя в качестве исходных данных конструктивные характеристики ротора, показанного на рис. 7. При расчете принять 4-й класс точности балансировки, т. е. $(e_{ст} \omega_{э \max})_{табл} = 6,3 \text{ мм} \cdot \text{рад/с}$.

2. Получить от преподавателя задание о величине и угловом расположении дисбалансов, подлежащих внесению в ротор. После этого расчетно-графическим путем определить составляющие суммарного дисбаланса в левой и правой плоскости коррекции.

3. Проверить балансировку ротора в исходном состоянии (до внесения дисбалансов), выполнив последующие переходы № 4...15. Дисбаланс в каждой плоскости коррекции не должен превышать 5 гсм. При необходимости подбалансировать ротор.

ВНИМАНИЕ! Процесс балансировки должен выполняться студентам, прошедшими инструктаж по технике безопасности и обязательно под наблюдением лаборанта или преподавателя. В отсутствие этих лиц запрещается переключать рукоятки на пульте управления и включать электропривод станка.

4. Проверить от руки легкость вращения ротора.

5. Закрыть крышку кожуха и замок кожуха.

6. Одеть на вал ротора и ролики леникса станка приводной ремень и создать его натяжение.

7. Тумблером, расположенным в правом нижнем углу пульта, включить питание пульта. Сигнальная лампа должна загореться.

8. Нажатием кнопки «Пуск» привести во вращение балансируемый ротор. Сделать выдержку в течение 2...3 минут для набора оборотов.

9. Рукоятки на пульте управления поставить в следующее положение (рисунок 6):

15 - в положение «Левая»;

11 - в положение «Шкала «Б»;

12 - в положение «Величина»;

13 - в положение «-» (минус);

14 - в положение « $\times 1$ ».

10. Растормозить подвижные опоры станка.

11. По указателю дисбаланса определить величину дисбаланса в левой плоскости коррекции.

Примечание. Если стрелка прибора уходит за пределы шкалы, что указывает на наличие большого дисбаланса, то нужно рукоятку 14 установить в положение «10».

12. Рукоятку 12 перевести в положение «Угол». Вспышка строботрона осветит на угловой шкале соответствующий угол дисбаланса.

13. Перевести рукоятку 12 в положение «Величина», а рукоятку 15 в положение «Правая» и по указателю дисбаланса определить величину дисбаланса в правой плоскости коррекции.

Примечание. При переводе переключателя 12 в положение «Величина» может происходить заброс стрелки прибора за пределы шкалы. Чтобы заброс был минимальным, нужно при переключении рукоятку 12 некоторое время выдержать в положении нейтрали (среднее положение).

14. Определить угол дисбаланса в правой плоскости коррекции (аналогично переходу 12).

15. Перевести рукоятку 12 в нейтральное положение.

16. При величине дисбаланса ротора, превышающей допустимую, в левой или правой плоскости коррекции произвести балансировку ротора, выполнив переходы 17...20.

17. Затормозить подвижные опоры станка поворотом рукояток вверх и затем нажатием кнопки «Стоп» выключить электродвигатель привода. Сделать выдержку до полной остановки ротора.

18. Со стороны, противоположной направлению вектора дисбаланса, в левой или правой плоскости коррекции наклеить на торцовую поверхность диска (на радиусе расположения канавки) кусочек пластилина, соответствующий величине устраняемого дисбаланса.

19. Включить электродвигатель привода и аналогичным образом проверить, что остаточный дисбаланс ротора не превышает допустимой величины. В противном случае балансировку повторить.

20. Затормозить опоры и выключить электродвигатель привода. Сделать выдержку до полной остановки ротора.

21. Внести в диски ротора дисбалансы в соответствии с заданием преподавателя. Дисбаланс вносить путем установки болтов соответствующей массы в отверстия дисков. Закрыть крышку кожуха и замок кожуха.

22. Определить величину дисбаланса и угол дисбаланса в левой и правой плоскости коррекции в соответствии с переходами 8...15. Полученные данные занести в отчет.

23. Произвести балансировку ротора в левой и правой плоскости коррекции в соответствии с переходами 17...20. Остаточный дисбаланс не должен превышать допустимого значения, полученного расчетом в переходе 1.

24. После остановки ротора снять из отверстий дисков болты, с помощью которых вносился дисбаланс в ротор.

25. Снять накладки пластины (установленные при балансировке) с левой и правой плоскости коррекции.

26. Определить массу наклеек пластины на лабораторных весах с точностью до 0,1 г и записать в отчет.

27. Снять приводной ремень с роликов лентки станка.

28. Выключить пульт управления станком.

5. Составление отчета

В отчете должны быть приведены следующие сведения:

схема экспериментального ротора;

расчет допустимого дисбаланса ротора для левой и правой плоскости коррекции исходя из принятого класса точности;

величина и угловое положение дисбалансов, вносимых в диски ротора по заданию преподавателя;

расчетно-графическое определение величины и угла дисбаланса в каждой плоскости коррекции после внесения дисбаланса в диски ротора;

величина исходного дисбаланса ротора в левой и правой плоскости коррекции (определяется с помощью станка);

величина дисбаланса ротора в левой и правой плоскости коррекции после внесения дисбалансов в диски ротора (определяется с помощью станка);

остаточный дисбаланс ротора после его балансировки с помощью наклеек пластины;

фактическая масса наклеек пластины в левой и правой плоскости

коррекции;

заклучение о соответствии расчетных и экспериментальных значений.

6. Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит различие между неуравновешенностью или дисбалансом ротора?

2. Какие существуют причины возникновения дисбаланса ротора?

3. Какие существуют виды неуравновешенности ротора? Всегда ли имеются в наличии главный вектор и главный момент дисбалансов при каждом виде неуравновешенности?

4. Существует ли взаимосвязь между расположением главной центральной оси инерции (ГЦОИ) и осью ротора при каждом виде неуравновешенности?

5. Какова методика определения главного вектора и главного момента дисбалансов при наличии отдельных произвольно расположенных дисбалансов в роторе? Каким образом приводятся дисбалансы ротора к двум заранее выбранным плоскостям?

6. В чем состоит сущность балансировки ротора?

7. Как оценивается точность балансировки ротора по ГОСТу? Методика расчета допустимых дисбалансов.

8. Каков принцип работы датчика балансировочного станка? Имеется ли связь между напряжением в катушке датчика и дисбалансом ротора?

9. Каков принцип работы строботрона для определения угла дисбаланса? Метод определения угла дисбаланса при балансировке ротора на станке.

10. Можно ли сделать заключение о виде неуравновешенности ротора, используя полученные при балансировке данные по величине и значению угла дисбаланса для каждой плоскости коррекции?

11. Каковы причины расхождения расчетных и экспериментальных значений, полученных в ходе выполнения работы?

7. Перечень оборудования, оснастки и материалов для выполнения лабораторного эксперимента

1. ДБ-51 станок для динамической балансировки.
2. Приводной ремень.
3. Весы аналитические.
4. Разновесы.
5. Пластилин.

Список использованных источников

1. *Никитин А.Н.* Технология сборки двигателей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1982. 269 с.
2. *Иоселевич Г.Б., Строганов Г. Б., Шарловский Ю. В.* Затяжка и стопорение резьбовых соединений. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
3. *Новиков М.П.* Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.
4. *Захаров В.А.* Суммирование погрешностей взаимного расположения цилиндрических поверхностей при сборке узлов авиадвигателей // Тр. КуАИ (Куйбышев, 1967). Вып. XXVII. С. 71—76.
5. *Старостин И.Г.* К оценке методов затяжки ответственных резьбовых соединений//Тр. КуАИ. Куйбышев, 1967. Вып. XXVII. С. 77—88.
6. *Шевелев А.С., Федорченко Г.П.* К определению точности центрирования деталей при сборке//Изв. вузов. — М.: Машиностроение. 1962. №12.