

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени С. П. КОРОЛЕВА

В. А. ЗАХАРОВ

СБОРКА ДВИГАТЕЛЕЙ

Учебное пособие

КУЙБЫШЕВ 1978

В учебном пособии излагаются отдельные вопросы технологии сборки двигателей, которые нуждаются в подтверждении лабораторными и экспериментальными работами.

Большое внимание уделено обеспечению точностных характеристик при сборке резьбовых соединений, зубчатых передач, при балансировке роторов, центрировании деталей при сборке и т. д. Приводятся сведения, необходимые при обосновании методов оценки сборочных параметров и сведения по способам проведения экспериментальных исследований.

Пособие предназначено для студентов, изучающих курс «Технология двигателей летательных аппаратов» (раздел «Сборка двигателей»), и может быть использовано при подготовке к лабораторным работам, экзаменам и зачетам.

Утверждено на редакционно-издательском совете института 30.12.76 г.

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ ИЗДЕЛИЯ ИЛИ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

Под технологическим процессом сборки понимается совокупность операций, выполняемых в определенной последовательности, с целью получения готового изделия установленного качества путем соединения между собой его составных частей.

Проектирование технологического процесса сборки изделия является одной из важных задач технологической подготовки производства. Обычно устанавливается следующая последовательность проектирования:

1. Изучение конструкции собираемого изделия и технических требований на сборку.
2. Выбор типа производства по заданной программе выпуска изделий.
3. Составление схемы конструктивно-технологических элементов изделия.
4. Определение рациональной последовательности выполнения сборочных операций и составление плана сборочных операций.
5. Выбор технологической оснастки и оборудования.
6. Назначение технических требований к сборке.
7. Выбор методов и средств контроля качества сборки.
8. Нормирование операций технологического процесса и синхронизация длительности выполнения операций.
9. Оформление операционных карт технологического процесса.
10. Расчет потребного количества рабочих, оборудования и производственных площадей.
11. Технологическая планировка цеха.

Ниже подробно рассматриваются 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9 этапы проектирования технологического процесса.

Изучение конструкции собираемого изделия или сборочной единицы

При изучении конструкции изделия используются сборочные чертежи, а также описание конструкции и работы изделия. Обращается особое внимание на взаимосвязь отдельных деталей, на методы их соединения и закрепления. Затем изучаются технические требования к качеству сборки по геометрическим, механическим, гидравлическим, электрическим и другим параметрам.

Составление схемы конструктивно-технологических элементов изделия

Под элементами изделия понимаются детали и сборочные единицы.

Деталь — это часть изделия, изготовленная из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

Сборочная единица — это изделие или часть изделия, составные части которого подлежат соединению между собой сборочными операциями (свинчиванием, клепкой, сваркой, пайкой и т. д.).

Если сборочная единица выполняет в изделии определенную функцию (компрессор, турбина, камера сгорания и т. п.), то она носит название конструктивной сборочной единицы независимо от того, позволяет ли конструкция этой сборочной единицы собирать ее самостоятельно или нет. Сборочная единица, обеспечивающая возможность сборки независимо от других сборочных единиц, носит название технологической сборочной единицы. Если сборочная единица выполняет в изделии определенную функцию, и конструкция ее позволяет проводить сборку самостоятельно, независимо от других сборочных единиц, то такая сборочная единица носит название конструктивно-технологической.

Одним из важных этапов, предшествующих разработке плана операций сборки, является составление схемы конструктивно-технологических элементов. Эта схема показывает взаимосвязь деталей и сборочных единиц и дает наглядное представление о последовательности формирования собираемого изделия из отдельных деталей и сборочных единиц. Схема создает основу для правильного составления плана операций технологического процесса сборки. При составлении схемы

нужно вначале правильно выбрать базовую сборочную единицу для сборки изделия или базовую деталь для сборки отдельной сборочной единицы. Необходимость такого выбора диктуется тем, что базовая деталь или сборочная единица определяет последующее построение схемы сборки. В качестве базовой обычно выбирают сборочную единицу или деталь, имеющую достаточно жесткие, прочные и точные поверхности для связи со сборочным приспособлением, позволяет выполнить большое число сборочных операций без смены этих связей.

Схема строится в два этапа (рис. 1). На первом этапе на схеме в промежутке между прямоугольниками с обозначением базовой сборочной единицы и готового изделия наносится горизонтальная линия. Снизу к этой линии последовательно примыкают прямоугольники с обозначением сборочных единиц первого порядка, непосредственно входящие в состав изделия, а сверху — прямоугольники с обозначением деталей.

На втором этапе построения схемы для каждой сборочной единицы первого порядка, включая и базовую сборочную единицу составляются аналогичным образом частные схемы из прямоугольников с обозначением деталей и сборочных единиц второго и более высших порядков (рис. 1). Для удобства пользования схемой обычно в каждом прямоугольнике пишут название детали и количество, например: шайба — 2 шт., болт — 1 шт. и т. д.

Составление плана сборочных операций

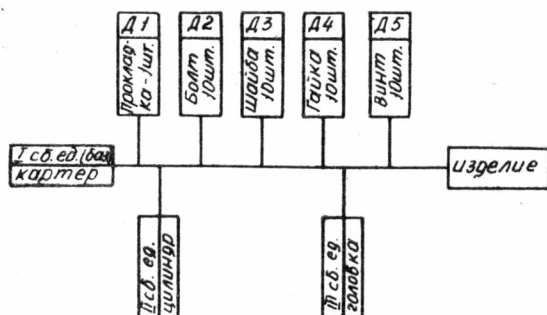
Сборочной операцией (согласно ГОСТ 3.1109-73) называется законченная часть технологического процесса сборки, выполняемая на одном рабочем месте.

Операция может выполняться над изделием или сборочной единицей одним или группой рабочих и может делиться на переходы.

Переходом (согласно ГОСТ 3.1109-73) называется законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, соединяемых при сборке (т. е. поверхностей, образующих одно соединение).

Технологический процесс сборки обычно включает три характерные группы операций: подготовительные (комплектовка, промывка, сушка, клеймение и т. п.), сборочные (связанные с процессом соединения деталей) и контрольные (проверка герметичности соединений, измерение выходных парамет-

Первый этап построения схемы



Второй этап построения схемы

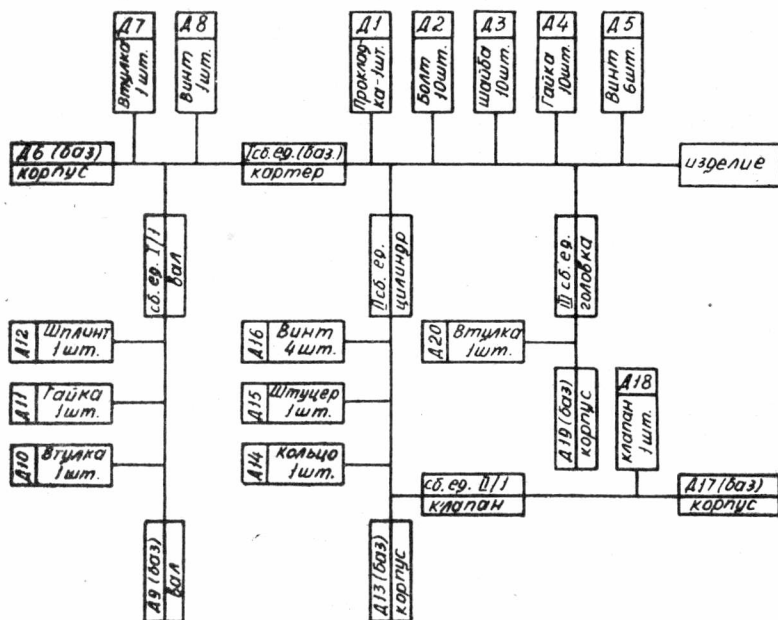


Рис. 1. Последовательность построения схемы конструктивно-технологических элементов изделия

ров устройства и т. д.). Состав операций второй группы определяется составленной схемой сборки. Необходимость в операциях первой или третьей группы устанавливается, исходя из технических требований чертежа, а также состояния поверхности деталей, поступающих в сборочный цех, и условий их хранения на складе. Иногда (при малом объеме работ) вместо отдельных подготовительных и контрольных операций вводят в сборочные операции отдельные переходы, предусматривающие подготовку деталей к сборке или же контроль различных геометрических, кинематических и физических параметров изделия.

Чтобы облегчить процесс определения состава подготовительных и контрольных операций, рекомендуется использовать уже составленную схему конструктивно-технологических элементов. После изучения технических требований, предъявляемых к сборочному изделию, на схеме выбираются точки, где эти требования должны выполняться, и проводится выносная линия с соответствующим указанием. Пример оформления таких выносных линий с указаниями показан на рис. 2. Далее, анализируя объем работ, который необходимо выполнить в каждой из отмеченных точек схемы, делают заключение о введении либо отдельных переходов в сборочные операции, либо о выделении самостоятельных операций, например: «прокачка каналов», «определение посадок в соединениях деталей», «проверка соосности опор» и т. д.

При определении непосредственно сборочных операций первыми включают операции по сборке более мелких сборочных единиц, входящих в состав других сборочных единиц, затем более крупных и, наконец, всего изделия. При этом имеют в виду то, что предшествующие операции не должны затруднять выполнение последующих. Выявив состав операций всех трех групп, окончательно оформляют план операций с присвоением каждой операции соответствующего номера.

Выбор технологической оснастки и оборудования

Каждая операция технологического процесса оснащается необходимым оборудованием, приспособлением и инструментом. Выбор технологической оснастки и оборудования проводится, исходя из условия обеспечения заданной точности сборки, а также получения высоких технико-экономических показателей работы. При этом стремятся максимально использовать нормализованное оборудование, приспособления

и инструмент. В случае необходимости применяют специальную технологическую оснастку и оборудование.

Назначение технических требований к сборке

При назначении технических требований к сборке за основу берут технические требования, указанные в сборочных чертежах или в другой технической документации. Однако эти требования могут быть существенно дополнены, исходя из специфики работы технологического оборудования и оснастки, а также из принятых методов сборки.

Выбор методов и средств контроля качества сборки

При выполнении этого этапа проектирования технологического процесса проводят выбор таких методов и средств контроля качества сборки, которые позволяют получить достоверные данные о величинах сборочных параметров наиболее доступными и производительными способами.

Оформление операционных карт для технологического процесса

В соответствии с принятым планом операций производится оформление операционных карт на технологический процесс. Операционные карты составляются на бланках определенной формы. В карты записывается наименование операции и содержание переходов. Против каждого перехода в отдельных колонках записывается наименование и количество оборудования, приспособлений, инструментов. Название операции дается кратким, в повествовательной форме, а переходы — в повелительной форме.

На отдельном поле, в нижней части операционной карты, записываются технические требования к операции, выполнение которых предусматривается переходами, записанными в данной карте.

При необходимости к технологическим операционным картам прилагаются операционные эскизы, на которых изображается сборочная единица или ее часть, изготавливаемая в процессе данной операции.

ЗАДАЧА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМОЙ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

Основной задачей лабораторной работы является получение некоторых навыков проектирования технологиче-

ского процесса сборки для несложной типовой сборочной единицы (масляного насоса, воздушного редуктора, клапана и т. п.). Кроме того, в процессе непосредственной сборки приобретаются навыки в выборе рациональных методов обеспечения заданной точности сборочных параметров.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

При выполнении лабораторной работы студентам выдается задание спроектировать технологический процесс для конкретной сборочной единицы. При этом прилагаются: сборочный чертеж, описание конструкции и технические требования на сборку. Пользуясь полученной технической документацией, а также приведенными выше методическими указаниями, студенты сначала изучают конструкцию и работу сборочной единицы. Для более глубокого изучения конструкции студентами проводится разборка сборочной единицы в соответствии с выданной операционной картой разборки. Затем составляется схема конструктивно-технологических элементов. В соответствующих точках схемы делаются выноски с указаниями о выполнении работ по подготовке деталей к сборке и контролю сборочных параметров. Составленная схема конструктивно-технологических элементов утверждается у преподавателя. На основе имеющейся схемы конструктивно-технологических элементов составляется план операций и оформляются операционные карты сборки, в которых указывается необходимая технологическая оснастка для сборки и контроля качества сборки и назначаются технические требования к выполнению операции. План операций и операционные карты также утверждаются преподавателем.

Пользуясь составленными и утвержденными операционными картами, студенты проводят сборку заданной сборочной единицы, выполняя необходимые контрольные измерения.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В отчете должна быть дана схема конструктивно-технологических элементов, план операций и результаты контрольных измерений, приведенных в процессе сборки.

К отчету прикладываются операционные карты на сборку.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что понимается под технологическим процессом сборки?
2. Какова последовательность проектирования технологического процесса сборки? Чем обуславливается данная последовательность?
3. Что понимается под терминами: конструктивная, технологическая и конструктивно-технологическая сборочная единица? Может ли технологическая сборочная единица быть одновременно и конструктивной?
4. Какова цель составления схемы конструктивно-технологических элементов изделия и каков порядок ее составления?
5. Из каких основных групп операций состоит технологический процесс сборки изделия?
6. Какими исходными данными руководствуются при выборе групп операций и отдельных операций сборки?
7. Какие технические требования предъявляются к сборке заданного изделия (сборочной единицы)?
8. Каким способом контролируются сборочные параметры при сборке заданного изделия (сборочной единицы)?

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНАСТКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

П р и с п о с о б л е н и я:

приспособление для удерживания от вращения;
подставки (комплект).

С б о р о ч н ы й и н с т р у м е н т:

ключи специальные (комплект);

ключи плоские — $S=9; 10; 11$;

ключи торцовые — $S=9; 10; 11$.

М е р и т е л ь н ы й и н с т р у м е н т:

микрометр 0—25 мм;

нутромер индикаторный 10—25 мм;

кольца для настройки индикатора;

глубиномер индикаторный;

щуп наборный.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЕ

СПОСОБЫ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЕ

Роторы и статоры компрессоров и турбин современных газотурбинных двигателей и других аналогичных машин

состоят из отдельных, последовательно соединенных между собой элементов (рабочих колес для ротора, направляющих или сопловых аппаратов для статора). Каждый из этих элементов имеет поверхность или группу поверхностей, обеспечивающих необходимое ориентирование (центрирование) этих элементов относительно друг друга.

Выбор того или иного способа центрирования элементов определяется возможностью обеспечения точности расположения поверхностей ротора и статора на всех режимах работы двигателя, а также при переборках. В настоящее время наибольшее распространение получили следующие способы центрирования (рис. 3): а — с помощью цилиндрических поясков, б — двух соосных цилиндрических поверхностей, в — конических поверхностей, г, д — продольных и торцовых шлиц, е — радиальных штифтов (или шпонок), ж — призонных болтов, з — втулок и штифтов. Каждый из приведенных способов характеризуется рядом специфических особенностей конструктивного и технологического порядка и, соответственно, величиной погрешности центрирования.

Наличие большого количества разъемов (соединений) в конструктивных схемах роторов и статоров и, следовательно, большого количества составляющих погрешностей приводит к тому, что оси базовых поверхностей (например, опорных поверхностей цапф роторов или гнезд опор статоров) имеют значительную суммарную погрешность расположения в радиальном направлении (несоосность опор, неконцентричность * поверхностей и т. п.). Несоосность опор создает дополнительные нагрузки на подшипники, уменьшает площадь контакта поверхностей тел качения и может вызвать защемление роликов или шариков между кольцами. Неконцентричность поверхностей статора и ротора приводит к неравномерности радиальных зазоров в лабиринтных уплотнениях или между концами лопаток ротора и внутренней поверхностью статора. Все это указывает на то, что вопросам повышения точности центрирования деталей в сборочной единице должно уделяться исключительное внимание. Поэтому при проектировании технологических процессов сборки проводят размерный анализ сборочных единиц, где определяется суммарная погрешность расположения поверхностей в радиальном направлении. Результаты размерного анализа дают возможность обоснованно подойти к выбору рационального метода обеспечения точности сборки.

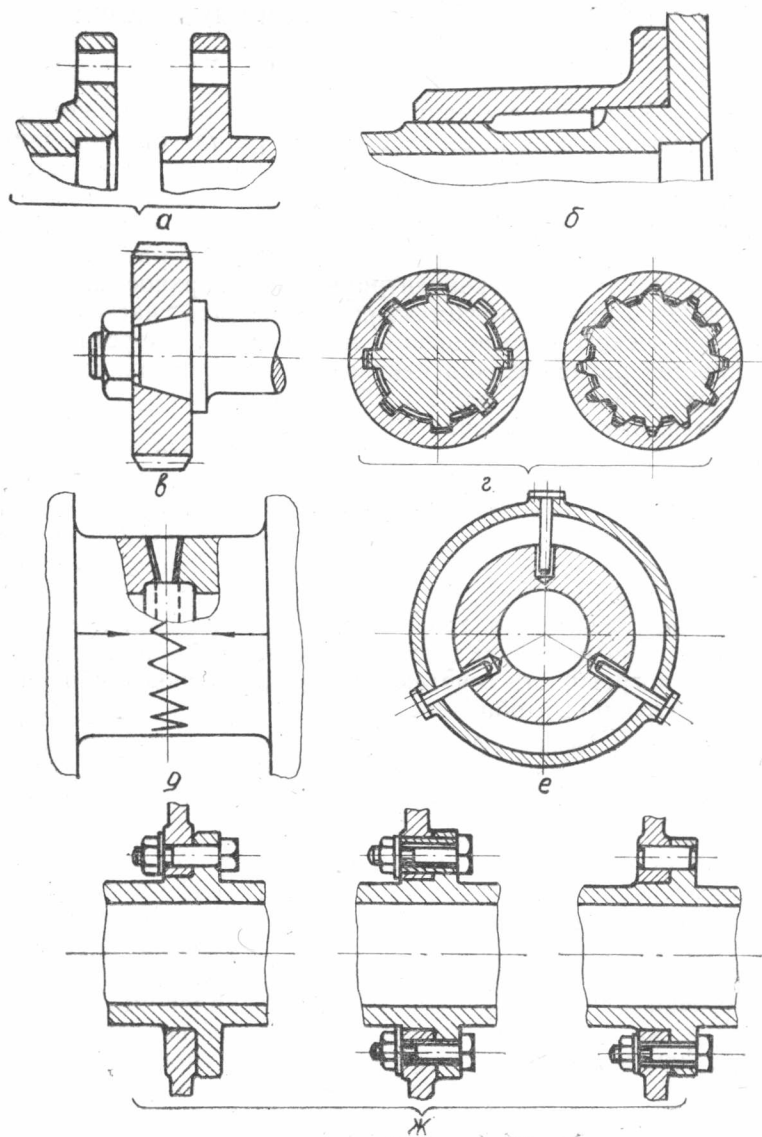


Рис. 3. Способы центрирования деталей в сборочной единице

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ (ЦЕНТРИРОВАНИЯ) ДЕТАЛЕЙ В СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЕ

Величина суммарной погрешности радиального расположения основных поверхностей ротора или статора двигателя зависит главным образом от погрешности изготовления отдельных деталей, способа центрирования, количества деталей, входящих в сборочную единицу, и условий сборки. В технологической практике авиадвигателестроения расчет величины несоосности или неконцентричности поверхностей сборочной единицы проводится (пока еще довольно часто) путем арифметического суммирования максимально допустимых погрешностей расположения центрирующих поверхностей отдельных деталей, входящих в сборочную единицу. При этом считается, что направление погрешностей для всех деталей сборочной единицы совпадает, т. е. погрешности условно принимаются как скалярные величины. Такой способ расчета получил название расчет на «максимум-минимум». Однако он дает, как правило, завышенные значения суммарной погрешности по сравнению с действительными. Это происходит потому, что погрешности центрирующих поверхностей деталей являются по своей природе векторными величинами, т. е. имеющими случайный модуль и случайное направление, вследствие чего эти погрешности сочетаются между собой в сборочной единице случайным образом.

Все это указывает на то, что более правильным в этом случае будет вероятностный способ расчета.

Рассмотрим пример по определению суммарной погрешности радиального расположения поверхностей при сборке ротора одноступенчатой турбины. Схема ротора представлена на рис. 4. Ротор вращается в опорах *А* и *Б*. Поэтому за ось вращения ротора можно принять ось *О—О* поверхности $\varnothing d$ вала ротора. Центрирование рабочего колеса относительно вала производится с помощью цилиндрического пояса вала и расточки в диске рабочего колеса. Предположим, что соединение диска и вала осуществляется по тугой посадке (без зазора). Одним из основных требований, предъявляемых к сборке ротора, является то, чтобы погрешность смещения оси поверхности $\varnothing D$ рабочего колеса относительно оси *О—О* вращения ротора не превышала допустимых норм. Величина смещения осей в данном случае зависит от величины погрешно-

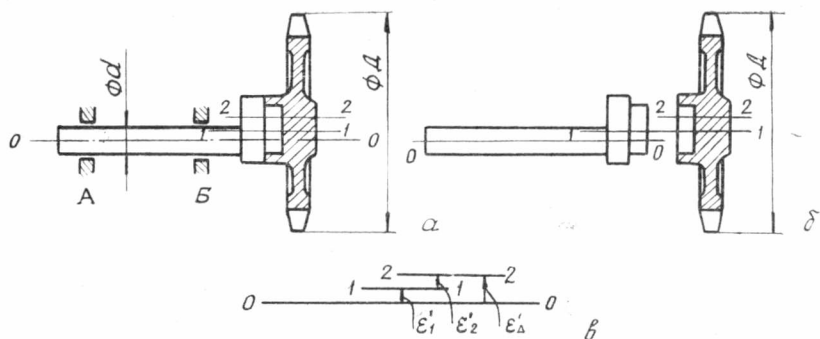


Рис. 4. Схема ротора турбины

стей изготовления отдельных деталей, входящих в ротор, т. е. от ε_1' и ε_2' ,

где ε_1' — действительное значение погрешности расположения оси 1—1 поверхности центрирующего пояска вала относительно оси $O—O$;

ε_2' — действительное значение погрешности расположения оси 2—2 поверхности $\varnothing D$ рабочего колеса относительно оси центрирующей расточки в диске рабочего колеса.

На рис. 4, в приведена схема суммирования погрешностей. При условии, что направление погрешностей совпадает, суммарная несоосность ε_{Δ}' будет равна арифметической сумме составляющих погрешностей, т. е.

$$\varepsilon_{\Delta}' = \varepsilon_1' + \varepsilon_2'.$$

Если обозначить наибольшую величину составляющих погрешностей как ε_1 и ε_2 , то наибольшая суммарная погрешность

$$\varepsilon_{\Delta} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2.$$

В реальных условиях при сборке роторов имеют дело со случайными значениями погрешностей. Вероятность появления случаев, когда составляющие погрешности совпадают по направлению, также сравнительно мала. Чаще всего будут наблюдаться случаи, когда эти погрешности располагаются относительно друг друга под некоторым углом. Для рассматриваемой конструкции ротора схема суммирования погрешностей может быть представлена следующим образом (рис. 5):

даны два независимых случайных вектора $\varepsilon_1 = (\varepsilon_1', \varphi_1')$ и $\varepsilon_2 = (\varepsilon_2', \varphi_2')$, где ε_i' , φ_i' — случайные компоненты векторов. Углы φ_1 и φ_2 распределены произвольно в интервале $(0-2\pi)$ относительно неподвижной прямой ox , взятой в плоскости расположения этих векторов. Величина (модуль) каждого из векторов либо постоянна, либо распределена с произвольной плотностью.

Из рис. 5 видно, что величина суммарной векторной погрешности не зависит от угла φ_1 . Этот угол может иметь даже постоянное значение. Важным здесь является распределение угла γ между векторами ε_1 и ε_2 , так как величина суммарной погрешности будет определяться как геометрическая сумма этих векторов

$$\bar{\varepsilon}_\Delta = \bar{\varepsilon}_1 + \bar{\varepsilon}_2$$

или

$$\varepsilon_\Delta = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 - 2\varepsilon_1\varepsilon_2\cos\gamma}.$$

При любом фиксированном значении угла φ_1 , угол γ будет распределен равномерно в пределах $0-2\pi$, если угол φ_2 также распределен равномерно в этих же пределах.

Схема суммирования большого числа независимых случайных векторов в общем виде показана на рис. 6.

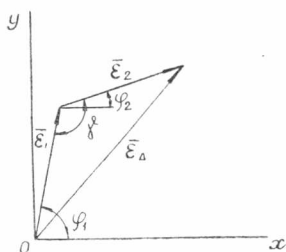


Рис. 5. Схема суммирования двух независимых случайных векторов

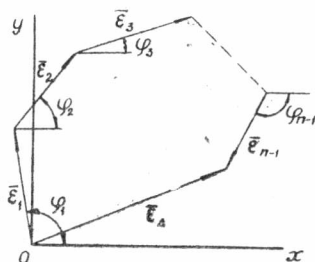


Рис. 6. Схема суммирования n независимых случайных векторов

Дано $n-1$ независимых случайных векторов: $\varepsilon_1 = (\varepsilon_1', \varphi_1')$; $\varepsilon_2 = (\varepsilon_2', \varphi_2')$; ...; $\varepsilon_{n-1} = (\varepsilon_{n-1}', \varphi_{n-1}')$. Углы φ_i распределены произвольно в интервале $0-2\pi$ относительно неподвижной прямой ox , взятой в плоскости расположения этих векторов.

Величина каждого вектора либо постоянна, либо распределена с произвольной плотностью в поле рассеивания.

Для определения поля рассеивания величины суммарной векторной погрешности ε_Δ на базе теории вероятностей необходимо знать график плотности распределения этой погрешности в границах поля. Теоретические исследования, проведенные в этой области [8], показывают, что для приведенной схемы суммирования погрешностей при условии, что $n \rightarrow \infty$, векторы случайные по модулю; среди них нет доминирующих, а углы φ_i распределены равномерно в пределах $0-2\pi$; график плотности распределения модуля суммарного вектора ε_Δ приближается к теоретическому закону Релея с плотностью вероятностей, определяемой выражением

$$\varphi(\varepsilon_\Delta) = \frac{\varepsilon_\Delta}{\sigma_\varepsilon^2} e^{-\frac{\varepsilon_\Delta^2}{2\sigma_\varepsilon^2}},$$

где σ_ε^2 — параметр закона распределения.

Плотность вероятностей для закона Релея описывается кривой, показанной на рис. 7. Из рисунка следует, что кривая располагается только вправо от начала координат, причем асимметрична и асимптотически приближается к оси абсцисс. Вероятность появления погрешности, равной наибольшему значению $\varepsilon_\Delta = \sum \varepsilon_i$, очень мала. Поэтому за предельное значение поля рассеивания суммарной погрешности может быть принята величина, меньшая, чем $\varepsilon_\Delta = \sum \varepsilon_i$, если пренебречь величиной риска $P\%$ выхода суммарной погрешности за установленные пределы поля. Отсюда следует, что при определении поля рассеивания суммарной погрешности вероятностным способом, верхняя граница этого поля не может быть выражена однозначно, так как она зависит от принятого процента риска P .

Формула, устанавливающая связь между величиной поля рассеивания модуля суммарной векторной погрешности, принятым процентом риска P и величинами полей рассеивания

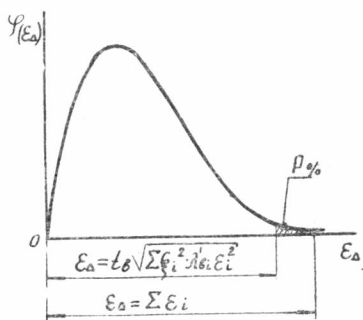


Рис. 7. Кривая плотности распределения вероятностей по закону Релея

составляющих погрешностей, может быть записана:

$$\varepsilon_{\Delta} = t_{\text{в}} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \xi_i^2 \lambda'_{\text{в}i} \varepsilon_i^2},$$

где ε_{Δ} — величина поля рассеивания модуля суммарной векторной погрешности (для принятого процента риска P);

$t_{\text{в}}$ — коэффициент риска, функционально связанный с процентом риска [$t_{\text{в}} = f(P)$] (например, при $P = 0,15\%$, $t_{\text{в}} = 3,6$; при $P = 0,5\%$, $t_{\text{в}} = 3,25$);

ξ_i — передаточное отношение для составляющих погрешностей (для векторов, расположенных в одной плоскости или в параллельных плоскостях $\xi_i = 1$);

ε_i — наибольшая величина составляющей векторной погрешности (величина поля рассеивания);

$\lambda_{\text{в}i}$ — коэффициент относительного рассеивания модуля составляющей векторной погрешности, зависящей от закона распределения модуля этой погрешности.

Если график плотности распределения для погрешности ε_i соответствует закону Релея, то $\lambda'_{\text{в}i} = \frac{1}{13}$; для закона Гаусса $\lambda'_{\text{в}i} = \frac{1}{7}$; для закона равной вероятности $\lambda'_{\text{в}i} = \frac{1}{6}$.

В практике сборки роторов и статоров газотурбинных двигателей может иметь место несколько вариантов суммирования векторных погрешностей:

1. Векторные погрешности, случайные по модулю и по углу взаимного расположения. Такой вариант чаще всего встречается при серийной сборке новых двигателей. Здесь график плотности распределения модуля суммарной векторной погрешности будет приближаться к кривой закона Релея даже при двух слагаемых векторах.

2. Векторные погрешности постоянны по модулю и случайны по углу взаимного расположения. Такой вариант суммирования погрешностей может иметь место при повторных переборках одной и той же сборочной единицы (ротора или статора). Здесь график плотности распределения будет зависеть от количества суммируемых погрешностей (или от числа звеньев размерной цепи). При числе суммируемых погрешностей три и более график плотности распределения будет приближаться к закону Релея тем сильнее, чем больше количество слагаемых. Если суммируются только два вектора, модули которых постоянны и равны ε_1' и ε_2' , то модуль суммы ε_{Δ} будет

распределяться в границах поля рассеивания $|\varepsilon_1' - \varepsilon_2'| \leq \varepsilon_\Delta \leq \varepsilon_1' + \varepsilon_2'$, причем первое значение достигается при угле $\gamma = 0$, а второе — при угле $\gamma = \pi$.

Формула для плотности распределения модуля суммы имеет вид:

$$\varphi(\varepsilon_\Delta) = 0$$

при $(\varepsilon_\Delta < |\varepsilon_1' - \varepsilon_2'|; \varepsilon_\Delta > \varepsilon_1' + \varepsilon_2')$;

$$\varphi(\varepsilon_\Delta) = \frac{2\varepsilon_\Delta}{\pi \sqrt{4\varepsilon_1'^2 \varepsilon_2'^2 - (\varepsilon_1'^2 + \varepsilon_2'^2 - \varepsilon_\Delta^2)^2}}$$

при $(|\varepsilon_1' - \varepsilon_2'| \leq \varepsilon_\Delta \leq \varepsilon_1' + \varepsilon_2')$.

График плотности распределения модуля суммы для этого случая показан на рис. 8.

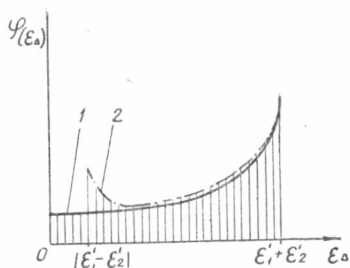


Рис. 8. График плотности распределения вероятностей модуля суммы двух векторов, случайных по углу взаимного расположения и постоянных по модулю: 1. $a_1 = a_2$; 2. $a_1 \neq a_2$

ЗАДАЧА ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОГРЕШНОСТИ ЦЕНТРИРОВАНИЯ

Эта задача заключается в следующем: путем построения практических кривых распределения суммарной векторной погрешности подтвердить теоретическую закономерность суммирования векторных погрешностей в зависимости от количества слагаемых. Одновременно с подтверждением закономерностей суммирования необходимо оценить эффективность суммирования векторов путем определения величины риска P в %. Эта величина может получиться, если за предельное значение поля рассеивания модуля суммарного вектора принять величину, являющуюся только частью арифметической суммы слагаемых векторов, т. е.

$$\varepsilon_\Delta = K \sum \varepsilon_i, \text{ где } K < 1.$$

При проведении эксперимента коэффициент K принят равным 0,8. Это означает, что за предельное значение поля рассеивания суммарного вектора принята величина на 20% меньше арифметической суммы векторов.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Лабораторный эксперимент по суммированию векторных погрешностей производится на установке, схема ко-

торой изображена на рис. 9. Установка представляет собой шпиндельную бабку 1, внутри которой на шарикоподшипниках вращается шпиндель.

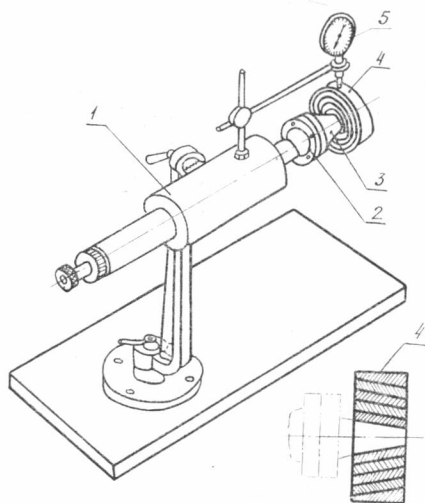


Рис. 9. Схема экспериментальной установки: 1 — шпиндельная бабка; 2 — фланец; 3 — переходник; 4 — конические кольца (комплект); 5 — индикатор

На его левом конце имеется рукоятка для удобства вращения, на правом — закреплен фланец 2 с переходником 3, имеющим конический хвостовик. Крепление переходника к фланцу обеспечивается с помощью трех винтов. При необходимости ось переходника 3 можно сместить относительно оси шпинделя на определенную величину ϵ_i (за счет зазора в резьбовом соединении) и зафиксировать это положение затяжкой винтов. В этом случае при вращении шпинделя коническая поверхность хвостовика-переходника бу-

дет иметь радиальное биение относительно оси вращения, равное $2\epsilon_i$. Величина $2\epsilon_i$ радиального биения хвостовика может быть принята как погрешность 1-го звена размерной цепи.

При выполнении эксперимента на конический хвостовик — переходник устанавливается комплект конических колец 4, имеющих заданное смещение оси внутренней поверхности кольца относительно оси наружной поверхности. Так как посадка колец осуществляется по коническим поверхностям, то соединение получается практически беззазорным.

Величина суммарного радиального биения колец $2\epsilon_\Delta$ измеряется индикатором 5, стойка которого закреплена на корпусе шпиндельной бабки. С помощью такой схемы крепления устраняется влияние всевозможных погрешностей, возникающих от упругих деформаций кронштейна и элементов крепления шпиндельной бабки, на показания индикатора.

Экспериментальную проверку плотности распределения модуля суммы случайных по направлению и постоянных по ве-

личине векторных погрешностей необходимо производить в следующем порядке:

1. Установить радиальное биение конического хвостовика-переходника $2\varepsilon_1 = 0,2$ мм и закрепить переходник к фланцу шпинделя винтами (в данном эксперименте переходник выполняет роль первой составляющей погрешности).

2. Подобрать группу из пяти колец с радиальным биением наружной поверхности относительно внутренней равным $0,2$ мм, т. е. $2\varepsilon_2' = 2\varepsilon_3' = 2\varepsilon_4' = 2\varepsilon_5' = 2\varepsilon_6' = 0,2$ мм.

3. Установить первое (внутреннее) кольцо на коническую поверхность хвостовика-переходника.

4. Замерить величину радиального биения наружной поверхности установленного кольца ($2\varepsilon_\Delta$). Измеренная величина радиального биения представляет собой суммарную векторную погрешность от двух слагаемых векторов.

5. Занести полученный результат в табл. 1 отчета. Для этого в соответствии с полученной величиной радиального биения определить номер интервала, в который попадает результат измерения и затем зафиксировать попадание результата измерения в этот интервал постановкой цифры «1» в графе частот (форма таблицы приведена ниже).

6. Снять кольцо с хвостовика-переходника, положить его на вращающийся круг и дать возможность повернуться кольцу на произвольное число оборотов: от 2-х до 10-ти, с целью создания элемента случайности в относительном угловом положении кольца и переходника при последующей постановке.

7. Взять кольцо с вращающегося круга, вновь установить его на хвостовик переходника и замерить радиальное биение по наружной поверхности кольца с последующим занесением результата измерения в табл. 1 отчета.

8. Повторить переходы 6 и 7 до получения общего количества замеров, равного 50.

9. Подсчитать частоту попадания величин биения в каждый интервал, т. е. m_1, m_2, m_3 и т. д.

10. Пользуясь данной методикой, повторить эксперимент для следующего сочетания суммируемых векторных погрешностей, т. е.

$$2\bar{\varepsilon}_\Delta' = 2\bar{\varepsilon}_1' + 2\bar{\varepsilon}_2' + 2\bar{\varepsilon}_3' + 2\bar{\varepsilon}_4';$$
$$2\bar{\varepsilon}_\Delta' = 2\bar{\varepsilon}_1' + 2\bar{\varepsilon}_2' + 2\bar{\varepsilon}_3' + 2\bar{\varepsilon}_4' + 2\bar{\varepsilon}_5' + 2\bar{\varepsilon}_6'.$$

При проведении этих работ необходимо стремиться к тому, чтобы в относительное угловое положение колец при каждом

№ интервалов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Границы интервалов	0,00— 0,04	0,04— 0,08	0,08— 0,12	0,12— 0,16	0,16— 0,20	0,20— 0,24	0,24— 0,28	0,28— 0,32	0,32— 0,36	0,36— 0,40
Частоты m_i	$1 + 1 + 1$	$\frac{1 + 1 + 1}{1 + 1}$								
	$m_1 = 3$	$m_2 = 4$	$m_3 =$	$m_4 =$	$m_5 =$	$m_6 =$	$m_7 =$	$m_8 =$	$m_9 =$	$m_{10} =$
Частости m_i/N	0,06	0,08								

Форма таблицы 2

№ интервалов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Границы интервалов	0,00— 0,08	0,08— 0,16	0,16— 0,24	0,24— 0,32	0,32— 0,40	0,40— 0,48	0,48— 0,56	0,56— 0,64	0,64— 0,72	0,72— 0,80
Частоты m_i										
Частоты m_i/N	$m_1 =$	$m_2 =$	$m_3 =$	$m_4 =$	$m_5 =$	$m_6 =$	$m_7 =$	$m_8 =$	$m_9 =$	$m_{10} =$

Форма таблицы 3

№ интервалов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Границы интервалов	0,00— 0,12	0,12— 0,24	0,24— 0,36	0,36— 0,48	0,48— 0,60	0,60— 0,72	0,72— 0,84	0,84— 0,96	0,96— 1,08	1,08— 1,20
Частоты m_i										
Частости m_i/N	$m_1 =$	$m_2 =$	$m_3 =$	$m_4 =$	$m_5 =$	$m_6 =$	$m_7 =$	$m_8 =$	$m_9 =$	$m_{10} =$

новом их взаимном сочетании всегда вносился элемент случайности. Результаты измерения заносить в табл. 2, 3 отчета.

11. По полученным значениям частот в отчете к лабораторной работе построить график плотности распределения суммарной векторной погрешности в поле рассеивания для двух, четырех и шести слагаемых величин.

12. На основе данных, полученных из табл. 1, 2, 3, и графиков, оценить эффективность суммирования слагаемых векторных погрешностей путем определения величины риска P в %, если коэффициент K принять равным 0,8, по формуле:

$$P\% = \left(1 - \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_8}{m_1 + m_2 + \dots + m_{10}}\right) 100.$$

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

В отчете по работе должны быть указаны результаты проведенных экспериментов по форме табл. 1, 2, 3, построены графики плотности распределения суммарной векторной погрешности, определена величина риска $P\%$ для $K=0,8$ при различном количестве суммируемых погрешностей, а также сделан вывод об эффективности суммирования векторных погрешностей при различном числе слагаемых.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какова цель центрирования деталей в сборочной единице?
2. Какие способы центрирования имеют наибольшее применение в конструкциях газотурбинных двигателей?
3. Какие появляются недостатки при определении суммарной погрешности по способу «максимум-минимум»?
4. Почему погрешности расположения поверхностей, обеспечивающие центрирование деталей, являются по своей природе векторными?
5. Какова закономерность изменения плотности распределения вероятностей модуля суммарной векторной погрешности при суммировании большого количества случайных векторных величин?
6. В чем отличие закономерности изменения плотности распределения вероятностей модуля суммарной векторной погрешности при суммировании двух и больше, чем двух, слагаемых векторов с постоянными модулями?
7. Какова задача лабораторного эксперимента?
8. Какова методика лабораторного эксперимента?
9. Каким образом оценивается эффективность суммирования векторных погрешностей?
10. Какие выводы можно сделать по эффективности суммирования векторных погрешностей с увеличением количества слагаемых?

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНАСТКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Контрольная плита.
2. Шпиндельная бабка с кронштейном.
3. Поворотный круг.
4. Комплект колец.
5. Индикатор часового типа.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ УСИЛИЯ ЗАТЯЖКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ КОНТРОЛЯ УСИЛИЯ ЗАТЯЖКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Практика эксплуатации авиационных двигателей и других машин показывает, что одной из основных причин повреждения резьбовых соединений является значительное отклонение усилий затяжки болтов и шпилек от требуемых зна-

чений. Это вызвано тем, что создание определенного усилия затяжки резьбового соединения является одной из трудноконтролируемых сборочных операций. Поэтому повышение точности контроля усилия затяжки при сборке машин является важнейшим мероприятием повышения надежности и долговечности работы резьбовых соединений.

В настоящее время в условиях производства получили широкое распространение три метода контроля усилия затяжки резьбового соединения:

1. Затяжка с контролем момента на ключе.
2. Затяжка с контролем угла поворота гайки или болта.
3. Затяжка с контролем удлинения болта или шпильки.

Для каждого из этих методов контролируемый при затяжке параметр (момент на ключе, угол поворота гайки или удлинение болта) функционально связан с усилием затяжки.

Затяжка с контролем момента на ключе

Такой метод затяжки осуществляется с помощью предельных и динамометрических ключей, которые позволяют получать определенный момент затяжки.

Крутящий момент M , создаваемый при затяжке резьбового соединения, может быть представлен как сумма трех составляющих:

$$M = M_1 + M_2 + M_3, \quad (1)$$

где M_1 — момент, необходимый для создания усилия затяжки резьбового соединения (растяжения болта);

M_2 — момент трения в резьбе;

M_3 — момент трения по торцу гайки (головки болта).

Момент M_1 определяется по формуле

$$M_1 = P_3 \frac{d_{cp}}{2} \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где P_3 — усилие затяжки резьбового соединения;

d_{cp} — средний диаметр резьбы;

α — угол наклона винтовой линии.

$$(\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{\pi d_{cp}}; S — \text{шаг резьбы}).$$

Для стандартных гаек и болтов с метрической резьбой моменты M_2 и M_3 находятся по следующим приближенным формулам:

$$M_2 = P_3 \frac{d_{cp}}{2} \frac{1}{\cos \beta} f_p; \quad (3)$$

$$M_3 = P_3 f_T 0,25 (D + d_0), \quad (4)$$

где f_p, f_T — коэффициенты трения в резьбе и на торце гайки;

β — половина угла профиля резьбы (при $\beta = 30^\circ \frac{1}{\cos \beta} = 1,15$);

D, d_0 — диаметры окружностей, ограничивающих площадь опорной поверхности гайки.

Таким образом, согласно формуле (1), общий момент затяжки:

$$M = P_3 \left[\frac{d_{cp}}{2} \left(\frac{S}{\pi d_{cp}} + 1,15 f_p \right) + f_T 0,25 (D + d_0) \right]. \quad (5)$$

Результатами проведенных исследований [2, 6, 7] установлено, что основное влияние на точность контроля усилия затяжки оказывают аргументы f_p и f_T . Влияние аргументов d_{cp}, S, D, d_0 , если они изменяются в пределах установленных допусков, оценивается малыми величинами высших порядков. Основная погрешность здесь получается из-за того, что в реальных резьбовых соединениях коэффициенты трения могут колебаться в пределах 0,05—0,5 и более. Наибольшее влияние на коэффициенты трения оказывают род материала сопрягаемых деталей, чистота поверхности сопряжения, сорт смазки и вид антикоррозионного покрытия (оксидирование, цинкование, кадмирование, серебрение, омеднение и др.). Поэтому точность определения необходимого крутящего момента (точность рассматриваемого метода контроля усилия затяжки) будет зависеть от того, насколько приняты для расчета коэффициенты трения соответствуют их действительным значениям. Однако, если учесть все конструктивные и технологические особенности резьбового соединения, то для конкретных условий экспериментально найденные коэффициенты трения колеблются в более узком диапазоне, и, таким образом, точность рассматриваемого метода может быть значительно повышена.

К преимуществам метода можно отнести: большую производительность, простоту выполнения и возможность механизации (с помощью пневмо- и электрогайковертов).

Затяжка с контролем угла поворота

Данный метод затяжки выполняется в следующем порядке: с помощью обычного ключа гайка затягивается (с целью обмятия неровностей) на контактных поверхностях,

после чего гайка отвертывается на 1—2 оборота и вновь наворачивается от руки до плотного соприкосновения с опорной поверхностью. Затем гайка дотягивается ключом на заданный угол $\varphi_{\text{зат}}^{\circ}$.

Для контроля угла поворота ключ снабжается указательной стрелкой, а на поверхность соединяемых деталей устанавливается шкала с делениями в градусах.

Расчетный угол поворота гайки (или болта) для обеспечения заданного усилия затяжки P_3 определяется по формуле

$$\varphi_p^{\circ} = P_3 \frac{360}{S} (\lambda_6 + \lambda_d), \quad (6)$$

где φ_p — расчетный угол поворота гайки в градусах;

S — шаг резьбы;

λ_6 — податливость болта;

λ_d — податливость соединяемых деталей.

Величина податливости болта и соединяемых деталей находится по формулам:

$$\lambda_6 = \frac{l_6}{E_6 F_6}; \quad (7)$$

$$\lambda_d = \frac{l_d}{E_d F_d}, \quad (8)$$

где $l_6 = l_d$ — расчетная длина болта, равная толщине стягиваемых деталей (рис.10);

E_6, E_d — модули упругости материала болта и соединяемых деталей;

F_6, F_d — площади сечения болта и соединяемых деталей.

Площадь сечения стержня болта определяется достаточно просто:

$$F_6 = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (9)$$

Площадь сечения соединяемых деталей обычно определяют в предположении, что напряжения сжатия от усилия затяжки распределены в пределах конусов давления (рис. 10). Обычно принимают $\text{tg } \gamma \approx 0,5$. Если для упрощения расчета заменить рассматриваемый конус «эквивалентным цилиндром» с наружным диаметром D , то площадь сечения F_d определяется по формуле

$$F_d = \frac{\pi}{4} [(D + h \cdot \text{tg } \gamma)^2 - d_0^2]. \quad (10)$$

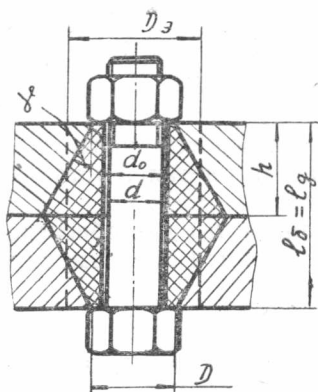


Рис. 10. Схема резьбового соединения

Анализ расчетных формул (6), (7), (8) показывает, что точность данного метода контроля затяжки не зависит от коэффициентов трения в резьбовой паре. Это одно из преимуществ метода контроля затяжки по углу поворота. Кроме того, этот метод не требует сложного инструмента (как, например, динамометрические ключи) и прост в выполнении.

Однако на точность метода здесь оказывают влияние свои специфические факторы, к числу которых относятся:

1. Погрешность субъективного характера, вызванная неточным определением начального положения гайки (по субъективному ощущению момента плотного соприкосновения гайки с закрепляемой деталью).

2. Появление значительной нелинейности зависимости усилия затяжки от угла поворота гайки в начальный период затяжки. Если по экспериментальным данным построить график зависимости $P_3 = f(\varphi_{\text{зат}}^0)$, то в начальный период затяжки (см. рис. 11) изменение усилия P_3 проходит сначала по кривой до точки «т», а далее сравнительно линейно. Заменяв криволинейный участок графика прямой линией (на рис. 11 показана пунктиром), получим значение угла φ_0 , при котором поворот гайки не вызывает усилия затяжки. Тогда истинное значение угла затяжки

$$\varphi_{\text{зат}}^0 = \varphi_p^0 + \varphi_0^0. \quad (11)$$

Величина угла φ_0 иногда достигает 25—30% от $\varphi_{\text{зат}}$.

Основными причинами получения такой зависимости являются упругие контактные деформации в стыках деталей, деформации, вызванные макронеровностями поверхностей соприкасаемых деталей, деформации отдельных элементов резьбы и т. п., которые особенно сильно проявляются в начальный период затяжки.

3. Погрешности, связанные с приближенными расчетами податливости соединяемых деталей λ_d и, прежде всего, с расчетом площади сечения F_d соединяемых деталей (отсутствуют

точные данные по углу конуса γ , условная замена конуса давления «эквивалентным цилиндром» и т. д.).

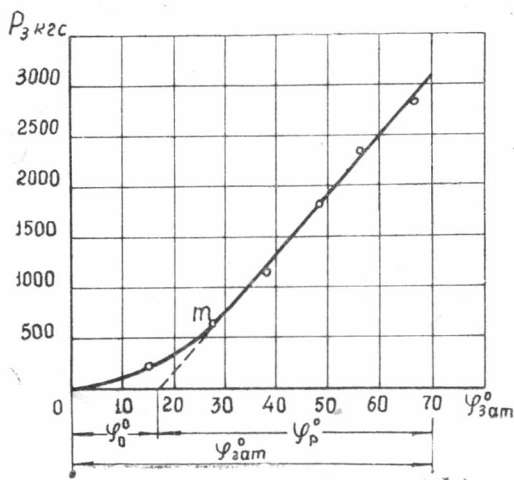


Рис. 11. График зависимости P_3 от $\varphi_{3ам}$

Повышение точности этого метода достигается за счет уточнения формул для расчета податливости λ_d и λ_b , а также экспериментальным определением фактического значения угла φ_0° с целью уточнения угла затяжки $\varphi_{зат}^{\circ}$.

Затяжка с контролем удлинения болта

При этом методе в процессе затяжки измеряется удлинение болта или шпильки. Связь между удлинением болта δl_b и усилием затяжки P_3 определяется по известной в курсе «Соппротивление материалов» формуле:

$$\delta l_b = P_3 \lambda_b. \quad (12)$$

Величина податливости болта λ_b определяется по формуле (7).

Как следует из формулы (12), точность данного метода совершенно не зависит ни от коэффициентов трения, ни от податливости соединяемых деталей. Благодаря наличию прямой связи между удлинением болта и усилием затяжки, этот метод является наиболее точным из всех рассмотренных методов. Однако, как показывают исследования [7], при затяжке коротких болтов и шпилек, у которых $l_b = (1-3)d$, появляются

ся значительные погрешности метода, связанные с увеличением относительной погрешности измерения величины δl_6 , а также приближенностью расчетов λ_6 . Обычно при расчете λ_6 принимают величину l_6 , равную толщине соединяемых деталей, а сечение болта постоянным по длине. Фактически сечение болта в гладкой и резьбовой части не одинаково. Кроме того, удлинение стержня происходит не только на участке, равном толщине стягиваемых деталей, но и на участке резьбы, занятом гайкой. Может происходить также прогиб головки болта. Поэтому деформируемый участок болта, на котором происходит удлинение, необходимо определять по формуле

$$l_6 = l_{\text{гл}} + l_p + 3S, \quad (13)$$

где $l_{\text{гл}}$ — длина гладкой части стержня;

l_p — длина деформируемой резьбовой части стержня;

$3S$ — длина деформируемой резьбовой части стержня, находящейся в зоне гайки (S — шаг резьбы).

Для шпилек необходимо прибавлять еще деформируемый участок длины шпильки, находящийся в отверстии корпуса.

К недостаткам метода можно отнести и необходимость создания измерительных баз для болта (шлифование торцев с обеспечением их параллельности), невозможность контроля удлинения болтов, расположенных в труднодоступных местах, зависимость точности метода от квалификации исполнителя.

В авиадвигателях этот метод используют при затяжке таких ответственных резьбовых соединений, как стяжные болты роторов компрессора и турбины, а также силовые шпильки корпусных деталей, у которых длина $l_6 \geq 10d$.

ЗАДАЧА ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В задачу лабораторного эксперимента входит определение и сравнительная оценка характеристик точности для трех наиболее распространенных методов контроля усилия затяжки резьбовых соединений и приобретение некоторых навыков проведения исследований в области технологии сборки.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И КОНСТРУКЦИЯ ОСНАСТКИ. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ

Сущность сравнения рассматриваемых методов затяжки по их точности состоит в том, что затяжка одного и того же резьбового соединения осуществляется одновременно

всеми методами, т. е. при затяжке контролируется момент на ключе M , угол поворота гайки φ_p° и удлинение болта δl_6 . По известным значениям M , φ_p° и δl_6 определяется осевое усилие затяжки P_z , исходя из следующих формул:

$$P_{z(m)} = M \left[\frac{1}{\frac{d_{cp}}{2} \left(\frac{S}{\pi d_{cp}} + 1,15 f_p \right) + f_T 0,25 (D + d_0)} \right] = M A_m; \quad (14)$$

$$P_{z(\varphi)} = \varphi_p^\circ \left[\frac{1}{\frac{360}{S} (l_6 + l_d)} \right] = \varphi_p^\circ A_\varphi; \quad (15)$$

$$P_{z(\delta l)} = \delta l_6 \frac{1}{l_6} = \delta l_6 A_{\delta l}. \quad (16)$$

Если предположить, что рассматриваемые методы затяжки не имеют погрешностей, то должно соблюдаться равенство

$$P_{z(m)} = P_{z(\varphi)} = P_{z(\delta l)} = P_{z(t)}, \quad (17)$$

где $P_{z(t)}$ — фактическое значение усилия затяжки, полученное путем тарировки болта.

Тарировка болта производится с помощью динамометра и тензометрической аппаратуры по схеме рис. 12. Результаты тарировки выражаются графиком зависимости усилия затяжки от числа условных единиц регистрирующей тензоаппаратуры.

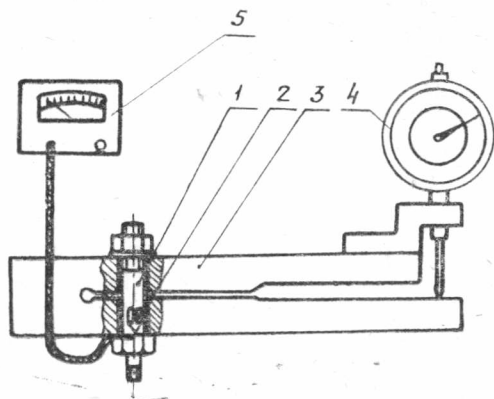


Рис. 12. Схема тарировки болта с помощью динамометра: 1 — болт; 2 — тензодатчики; 3 — динамометр; 4 — индикатор; 5 — регистрирующая тензоаппаратура

Если равенство (17) не выполняется, то относительная погрешность метода вычисляется по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_M &= \frac{P_{3(M)} - P_{3(T)}}{P_{3(T)}} 100 \% ; \\ \varepsilon_{(\varphi)} &= \frac{P_{3(\varphi)} - P_{3(T)}}{P_{3(T)}} 100 \% ; \\ \varepsilon_{\delta l} &= \frac{P_{3(\delta l)} - P_{3(T)}}{P_{3(T)}} 100 \% . \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

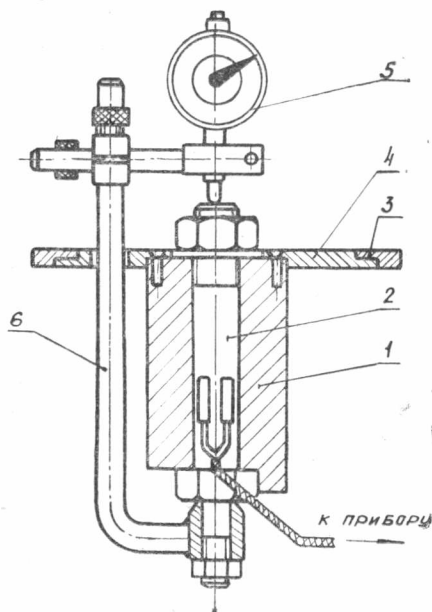


Рис. 13. Конструкция приспособления для экспериментальных исследований: 1 — втулка; 2 — болт; 3 — лимб; 4 — диск; 5 — индикатор; 6 — кронштейн

При проведении экспериментальных работ используется приспособление (рис. 13), состоящее из втулки 1, жестко закрепленной на подставке. В отверстие втулки устанавливается испытуемый болт 2, препарированный тензодатчиками. Со стороны головки болт имеет хвостовик с резьбой для крепления кронштейна 6 с индикатором 5, измеряющим удлинение болта. На верхнем торце втулки с помощью винтов закреплен диск 4 с вращающейся шкалой 3 для измерения угла поворота гайки. Затяжка гайки производится динамометрическим ключом, позволяющим измерить момент затяжки с погрешностью, не превышающей 0,05 кгс·м. Ключ

предварительно тарируется и результаты тарирования заносятся в таблицу, прикладываемую в ключ. Для отсчета угла поворота гайки динамометрический ключ снабжен указательной стрелкой.

При проведении лабораторной работы используется болт с резьбой 12×1,5; $l=83$ мм, материал — сталь 30ХГСА.

ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

Лабораторный эксперимент следует производить в определенной последовательности:

1. Проверить правильность установки болта во втулку приспособления согласно рис. 13. Провода от тензодатчиков болта должны быть подключены к регистрирующей тензоаппаратуре.

2. С помощью простого ключа затянуть гайку с целью смятия микронеровностей на контактных поверхностях, после чего отвернуть гайку и вновь навернуть ее от руки до плотного соприкосновения со втулкой.

3. Приподняв ножку индикатора, установить на гайку динамометрический ключ (при этом гайку не поворачивать).

4. Поворачивая шкалу приспособления, совместить нуль шкалы с указательной стрелкой ключа.

5. Установить шкалу индикаторов приспособления и динамометрического ключа на нуль.

6. Проверить настройку регистрирующей тензоаппаратуры (правила работы с тензоаппаратурой указаны в инструкции, находящейся на рабочем месте).

7. Произвести затяжку гайки динамометрическим ключом через равные интервалы усилия 500, 1000, 1500, 2000 кгс. Для каждого значения усилия P_z определяется момент затяжки M , удлинение болта δl и угол затяжки $\varphi_{\text{зат}}$. При определении момента затяжки необходимо показания индикатора ключа с помощью тарировочного графика или таблицы перевести в величину момента в кгс·м. Все полученные данные заносятся в табл. 1 отчета. Форма таблицы приведена ниже.

8. Отвернуть гайку на 1—2 оборота и повторить эксперимент еще раз с занесением результатов замеров в таблицу отчета.

9. Для каждого значения усилия затяжки найти среднеарифметическую величину M , δl_0 , $\varphi_{\text{зат}}^0$ и записать их в таблицу отчета.

10. По полученным значениям величин $\varphi_{\text{зат}}^0$ и P построить график зависимости $P_z = f(\varphi_{\text{зат}}^0)$, аналогичный изображенному на рис. 11, и определить величину начального угла φ_0 .

11. Для каждой экспериментальной точки вычислить величину расчетного угла затяжки по формуле

$$\varphi_p = \varphi_{\text{зат}}^0 - \varphi_0.$$

Полученную величину φ_p^0 занести в табл. 1 отчета.

12. В соответствующие графы табл. 2 отчета перенести из табл. 1 величины усилия затяжки моментов M , удлинения болта δl_6 и расчетных углов φ_p° .

Форма таблицы приведена ниже.

13. Для каждого значения M , φ_p° , δl_6 определить усилие затяжки по формулам (14), (15), (16), т. е.

$$P_{з(М)} = A_M M_{кл} ;$$

$$P_{з(\delta l)} = A_{\delta l} \delta l_6 ;$$

$$P_{з(\varphi)} = A_{(\varphi)} \varphi_p^\circ .$$

С целью сокращения времени вычислений на рабочем месте имеются заранее рассчитанные значения коэффициентов A_M , $A_{\delta l}$, A_{φ} , а также графики зависимостей.

Полученные данные заносятся в соответствующие графы табл. 2 отчета.

14. На основе полученных данных в отчете построить графики зависимостей $P_{з(т)}$, $P_{з(М)}$, $P_{з(\delta l)}$, $P_{з(\varphi)}$ от удлинения болта δl_6 (рис. 14).

15. На построенном графике провести ординату, которая пересекла бы все кривые зависимости (рис. 14), и для точек a , b , c , d определить величину усилия затяжки $P_{з(т)}$, $P_{з(М)}$, $P_{з(\delta l)}$, $P_{з(\varphi)}$.

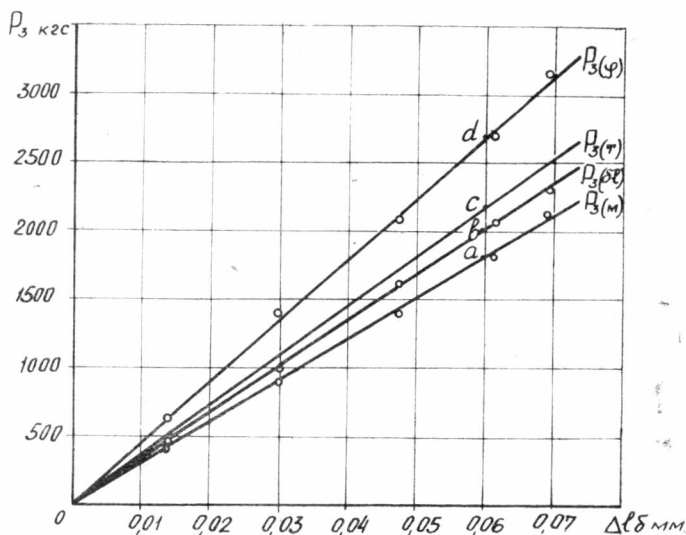


Рис. 14. График зависимости $P_{з(т)}$, $P_{з(М)}$, $P_{з(\delta l)}$, $P_{з(\varphi)}$ от удлинения болта δl_6

16. Определить относительную погрешность величины усилия затяжки для каждого метода по формулам (18).

Форма таблицы 1

№ экспери- ментальной точки	Усилие затяж- ки P_3	Момент затяжки М				Удлине- ния болта	Угол		$\varphi_p = \varphi_{зат} - \varphi_0$	
		показания индикатора ключа		момент затяжки М			затяжки			
1	500	1		1	ср	1	ср	1	ср	
		2		2		2		2		
2	1000	1		1	ср	1	ср	1	ср	
		2		2		2		2		
3										

Форма таблицы 2

№ экспериментальной точки	$P_{з(т)}$	M	$P_{з(м)}$	δl_b	$P_{з(\delta l)}$	φ_p	$P_{з(\varphi)}$
1	500						
2	1000						
3							

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В отчете должны быть указаны результаты экспериментов по форме табл. 1 и 2, построены графики зависимостей по форме рис. 11 и рис. 14, определены погрешности величины усилия затяжки и сделаны выводы о точности всех трех методов контроля усилия затяжки.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие погрешности оказывают наибольшее влияние на точность метода контроля усилия затяжки (по моменту на ключе, по углу поворота и по удлинению болта)?

2. Какие факторы оказывают наибольшее влияние на коэффициент трения в резьбовой паре?

3. Какие преимущества имеет каждый из рассматриваемых методов контроля затяжки?

4. В чем сущность методики проведения эксперимента?

5. В чем сущность тарировки испытуемого болта?

6. Каков принцип работы динамометрического ключа?

7. Почему при измерении удлинения болта кронштейн с индикатором необходимо крепить со стороны головки болта? По каким причинам кронштейн с индикатором нельзя закрепить на втулке?

8. Каковы причины расхождения экспериментальных зависимостей с теоретическими (рассеивание экспериментальных значений, нелинейность характеристик и т. п.).

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНАСТКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установка для проведения эксперимента.
2. Болт с гайкой (резьба $12 \times 1,5$).
3. Ключ плоский $S = 19 \times 17$.
4. Динамометрический ключ.
5. 2 индикатора часового типа.
6. Тензометрическая аппаратура.

§ 4. СБОРКА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В КОРОБКЕ ПРИВОДОВ АГРЕГАТОВ

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОРОБКИ ПРИВОДОВ АГРЕГАТОВ

Рассматриваемая коробка приводов является редуктором для понижения числа оборотов приводов вспомогательных агрегатов, обслуживающих двигатель, а также приводов, используемых для нужд самолета.

Корпус коробки 1 (рис. 15) представляет отливку из магниевого сплава. Внутри коробки приводов смонтированы конические зубчатые передачи, а на корпусе имеются фланцы для крепления вспомогательных агрегатов, получающих вра-

ижение от соответствующих шестерен. К нижнему фланцу крепится на шпильках коробка масляных насосов. Вращение от ротора двигателя передается на ведущую цилиндрическую шестерню 15 через промежуточную шлицевую рессору 14. Ведущая шестерня вращается с числом оборотов, равным числу оборотов ротора двигателя. В средней части валика ведущей цилиндрической шестерни на двух шариковых подшипниках установлена свободно ведомая коническая шестерня стартера 11. Эта шестерня находится в зацеплении с ведущей конической шестерней 5, передающей вращение от стартера, расположенного на фланце коробки приводов справа (если смотреть на коробку со стороны крышки 21).

Ведомая коническая шестерня стартера имеет внутри храповой механизм 13, который связан с валиком ведущей цилиндрической шестерни шлицами. Храповой механизм состоит из трех собачек 12 с пружинами и служит для запуска двигателя от стартера и для отсоединения от последнего при работе двигателя.

Ведущая цилиндрическая шестерня 15 находится в зацеплении с двумя ведомыми цилиндрическими шестернями 9 и 16. Каждая из этих шестерен посажена на хвостовики ведущих конических шестерен 10 и 17, расположенных внутри коробки. Верхняя ведущая коническая шестерня 10 передает вращение шестерне 2 привода верхнего насоса, установленному на фланце коробки приводов слева. От шестерни привода верхнего топливного насоса вращение передается на шестерню 3 запасного привода коробки.

Во внутренние шлицы конической шестерни 2 верхнего топливного насоса вставлена рессора привода тахометра 4. Фланец привода тахометра расположен на правой стороне коробки приводов. Нижняя ведущая коническая шестерня 17 передает вращение шестерне 2 привода нижнего топливного насоса, установленного также на фланце коробки приводов слева. В свою очередь, от конической шестерни 2 привода нижнего топливного насоса передается вращение на шестерню 7 привода маслоснасоса. Сдвоенная шестерня 7 с валиком привода маслоснасоса передает вращение шестерне 8 ротора центрифуги, которая служит для отделения воздуха от масла.

В верхней части коробки приводов расположен запасной привод 22.

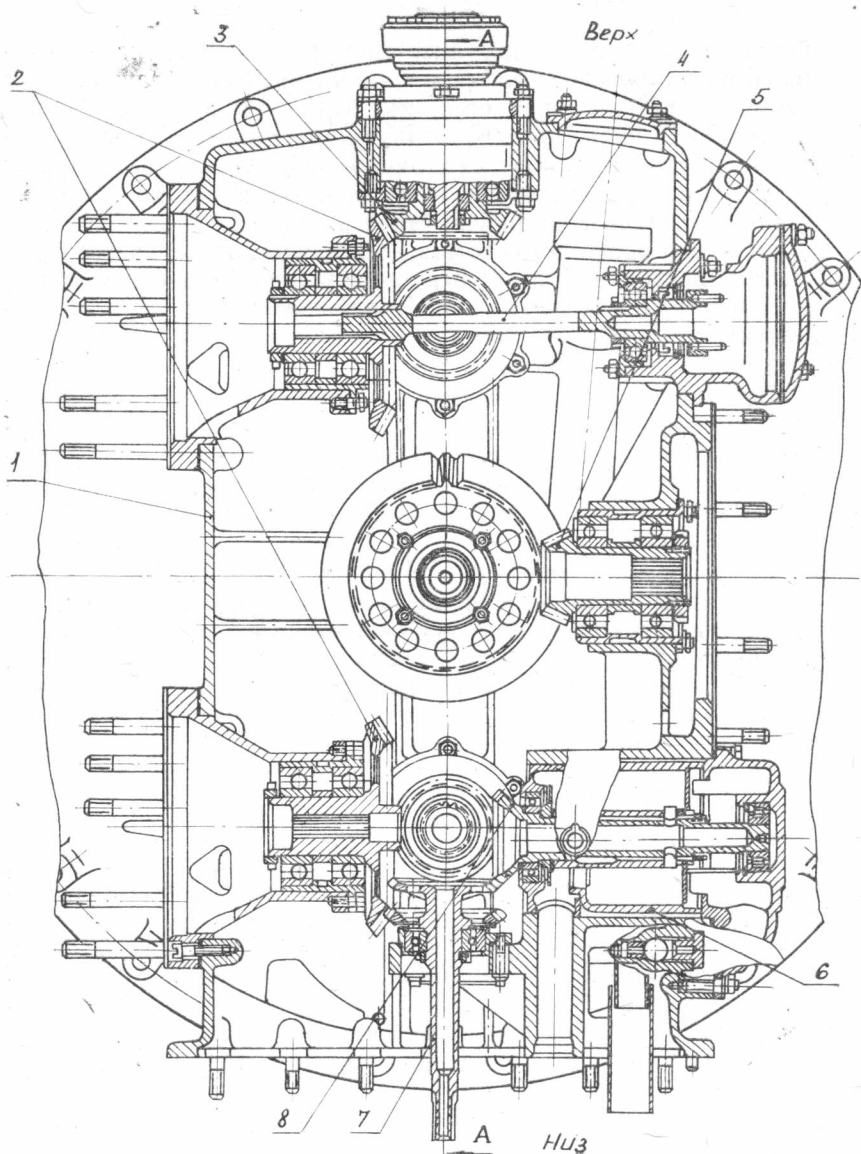
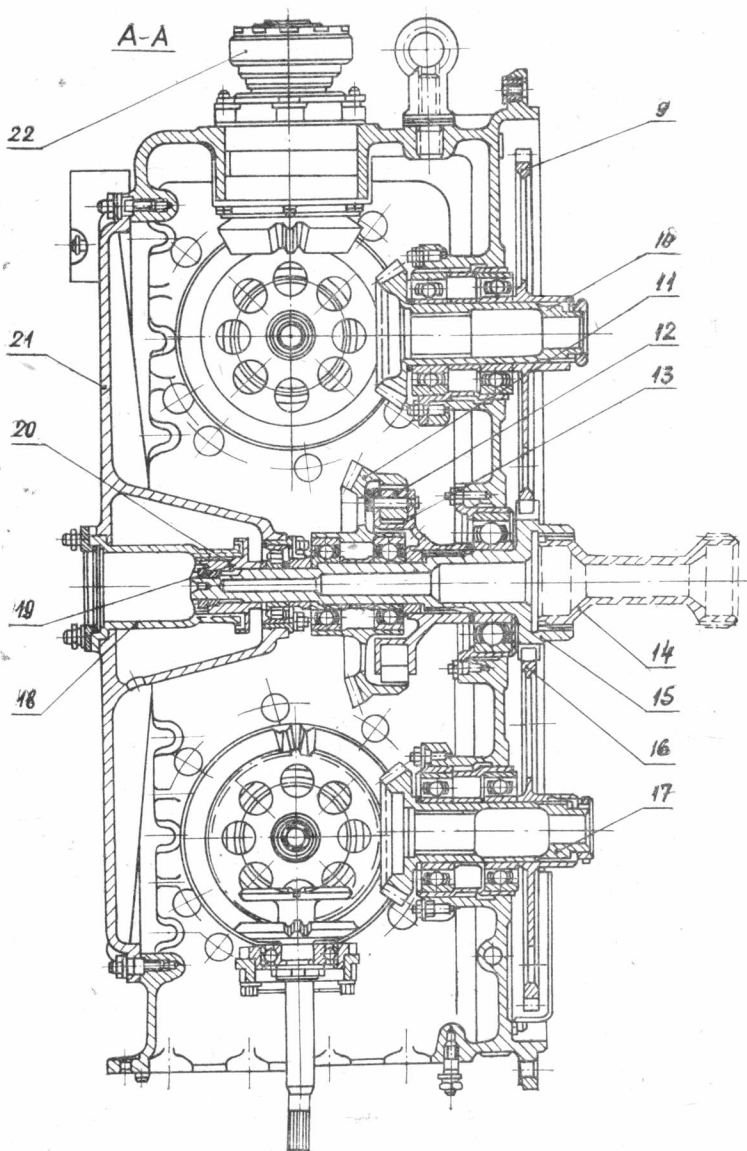


Рис. 15. Конструкция коробки приводов: 1 — корпус; 2 — ведомые шестерни привода топливных насосов; 3 — шестерня запасного привода; 4 — рес-сора привода тахометра; 5 — ведущая шестерня стартера; 6 — ротор центрифуги; 7 — шестерня привода маслонасоса; 8 — шестерня привода центрифуги; 9 — ведомая цилиндрическая шестерня верхняя; 10 — ведущая кони-



ческая шестерня верхняя; 11 — ведомая шестерня стартера; 12 — собачка
 храповика; 13 — храповой механизм; 14 — рессора; 15 — ведущая цилинд-
 рическая шестерня; 16 — ведомая цилиндрическая шестерня нижняя; 17 —
 ведущая коническая шестерня нижняя; 18 — втулка суфлера; 19 — гайка;
 20 — втулка; 21 — крышка; 22 — запасной привод

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ НА СБОРКУ КОРОБКИ ПРИВОДОВ

1. В собранных опорах шестерен, имеющих сдвоенные подшипники, осевое перемещение шестерен (вследствие осевого зазора в шарикоподшипниках) должно быть не менее 0,03 мм.

2. Допустимый боковой зазор в зацеплении конических шестерен равен 0,12—0,24 мм. Необходимо обеспечить подбором регулировочных прокладок и колец соответствующей толщины.

3. Боковой зазор в зацеплении цилиндрических шестерен должен составлять 0,2—0,35 мм.

4. При сборке конических зубчатых передач следует обеспечить величину и расположение пятна контакта в зацеплении шестерен в соответствии со специальной инструкцией, данной ниже.

5. Осевой зазор между торцом стакана ротора центрифуги и торцом крышки допускается на 0,2—0,4 мм.

6. Необходимо, чтобы собранная зубчатая передача вращалась легко, плавно, без заедания и резкого шума.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ КОРОБКИ ПРИВОДОВ

В соответствии с конструктивной схемой коробки приводов и заданными техническими требованиями (ТТ) существует следующая последовательность сборки:

- установка шестерни привода верхнего топливного насоса, контроль и регулировка зацепления;
- установка привода тахометра;
- установка храпового механизма и ведомой конической шестерни стартера в корпус коробки;
- установка ведущей конической шестерни привода стартера, контроль и регулировка зацепления;
- установка шестерни привода маслососа;
- установка шестерни привода нижнего топливного насоса;
- установка привода центрифуги, контроль и регулировка осевого зазора между ротором и крышкой центрифуги;
- контроль качества зацепления цилиндрической зубчатой передачи.

Рассмотрим некоторые особенности технологического процесса сборки коробки приводов.

Для большинства конических шестерен опорами являются два шариковых подшипника, закрепляемые на хвостовике шестерни гайкой (рис. 16). При недостаточной длине распорной втулки могут наблюдаться случаи защемления шариков между беговыми дорожками колец подшипников. Поэтому после сборки подшипниковой опоры контролируется осевое перемещение шестерни относительно корпуса подшипниковой опоры по схеме рис. 16. Согласно техническим требованиям (ТТ) величина осевого перемещения должна быть не менее 0,03 мм.

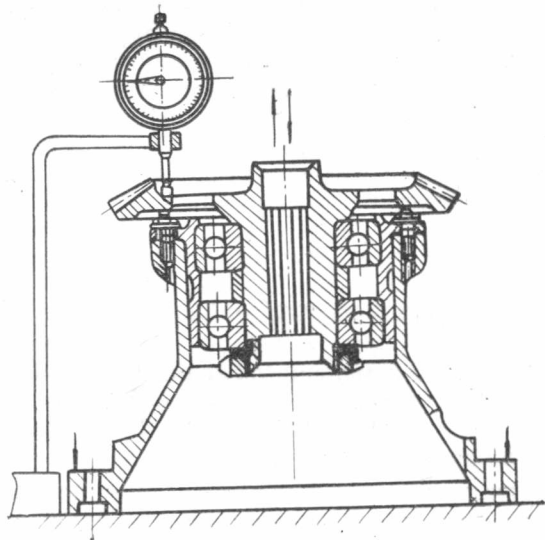


Рис. 16. Схема измерения осевого перемещения шестерни

При сборке конической зубчатой передачи в корпусе коробки последовательно устанавливаются ведущая и ведомая шестерни и вводятся в зацепление. Предварительно перед установкой шестерни на фланец корпуса подшипников устанавливается регулировочная прокладка (или набор прокладок). При первоначальной установке шестерен толщина прокладок выбирается ориентировочно. В данной работе толщина прокладок принимается равной 1 мм для каждой шестерни. С установленным набором прокладок проверяется величина бо-

кового зазора в зубчатом зацеплении. Для этого одна из конических шестерен фиксируется неподвижно с помощью приспособления, а на поверхности другой шестерни (или вала) укреплается поводок с одним или четырьмя равнорасположенными рычажками. В поверхность рычага поводка упирается ножка индикатора. Расстояние от оси поводка до точки касания рычага и ножки индикатора должно соответствовать радиусу начальной окружности той шестерни, на которой укреплен поводок (на рычаге это расстояние обычно отмечается риской). При окружном покачивании шестерен с закрепленным поводком индикатор будет измерять фактическую величину бокового зазора в зацеплении шестерен. Для оценки величины бокового зазора в сопряжении других пар зубьев измерение производится не менее, чем в четырех точках, равнорасположенных по окружности с поворотом шестерен на 90° .

Результаты измерения величины бокового зазора сравниваются с требуемыми значениями по ТТ, и в случае несоответствия производится расчет величины изменения толщины регулировочной прокладки по формуле

$$\delta x = \frac{\delta e}{2 \sin \alpha \sin \varphi},$$

где δx — величина изменения толщины регулировочной прокладки;

δe — требуемое изменение величины бокового зазора

$$(\delta e = e_{\text{изм}} - e_{\text{по ТТ}});$$

α — угол зацепления;

φ — угол начального конуса шестерни, положение которой изменяется путем корректировки регулировочной прокладки.

По результатам расчета величины δx производится корректировка толщины регулировочной прокладки. Места расположения регулировочных прокладок в коробке приводов следующие:

для зацепления шестерен привода верхнего и нижнего топливного насоса: 1 — под торцем ведущей конической шестерни; 2 — под фланцем корпуса подшипников ведомой конической шестерни;

для зацепления шестерни привода от стартера: 1 — под торцем ступицы храповой муфты (для ведомой конической шестерни); 2 — под фланцем стакана подшипников ведущей конической шестерни;

для зацепления шестерен привода маслососа 1 — под фланцем стакана подшипника ведомой конической шестерни; для зацепления шестерни привода ротора центрифуги 2 — под торцем ведомой конической шестерни ротора.

При изменении толщины регулировочной прокладки следует иметь в виду, что при увеличении толщины прокладки в местах 1 — боковой зазор уменьшается, а в местах 2 — увеличивается; при уменьшении толщины прокладки наблюдается соответственно обратная зависимость.

После изменения толщины прокладки производится повторная сборка и измерение величины бокового зазора вышеописанным способом.

Определение величины и характера пятна контакта в зацеплении зубьев производится по отпечатку краски, для чего зубья ведущей шестерни смазываются минеральной краской, и шестерня поворачивается несколько раз в направлении рабочего вращения, притормаживая одновременно ведомую шестерню. Размер и расположение отпечатка краски на зубьях ведомой шестерни дают возможность оценить качество зацепления шестерен по пятну контакта.

Образцы допустимых и недопустимых отпечатков краски на зубьях шестерен обычно указываются в технологической документации. Для рассматриваемой конструкции коробки приводов такие образцы указаны на рис. 17. Наиболее благоприятным является тип «а», когда отпечаток располагается у узкого конца зуба на длине $A=0,6l$. Допустимыми также считаются и такие отпечатки, которые имеют небольшой разрыв (тип «б») или несколько отступают от края узкого конца (тип «в»). Указанные разрывы в расчете длины отпечатка не учитываются, и фактической длиной считается размер A (рис. 17).

Расположение отпечатка на стороне широкого конца зуба (тип «г») недопустимо. Такой отпечаток не может быть исправлен при сборке без замены деталей. Отпечатки типа «д» (смещение отпечатка ближе к ножке зуба) или типа «е» (смещение отпечатка ближе к головке зуба) хотя и являются недопустимыми, но могут быть исправлены изменением взаимного положения вершин начальных конусов зацепляющихся шестерен. Так отпечаток типа «д» может быть приведен к нормальному положению либо смещением ведомой шестерни в сторону точки пересечения вершин начальных конусов шестерен, что вызовет также и уменьшение величины бокового зазора, либо смещением ведущей шестерни по направлению от точки пересечения вершин конусов, что также вызовет увели-

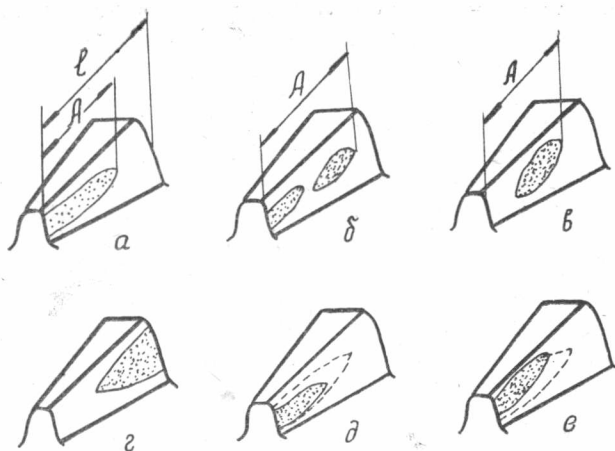


Рис. 17. Вид допустимых (а, б, в) и недопустимых (г, д, е) отпечатков краски в зацеплении зубьев конических шестерен

чение бокового зазора. Если при этом боковой зазор может выйти за пределы ТТ, то регулировку отпечатка следует производить одновременным смещением обеих шестерен. Отпечаток краски типа «е» может быть отрегулирован несколькими способами, в зависимости от его длины и фактической величины бокового зазора. При перемещении ведомой шестерни от точки пересечения вершин конусов отпечаток смещается в нормальное положение, увеличивается его длина, но увеличивается и боковой зазор. При перемещении ведущей шестерни в сторону точки пересечения вершин конусов отпечаток также исправляется, но длина его, а также боковой зазор, уменьшаются. Возможен также комбинированный способ.

Во всех случаях изменение положения шестерни производится путем замены толщины регулировочных прокладок.

При установке крышки центрифуги на корпус коробки в соответствии с ТТ должен быть проконтролирован и обеспечен осевой зазор A_d (рис. 18) между торцом стакана ротора центрифуги и торцом крышки. Наличие этого зазора гарантирует отсутствие касания вращающейся детали о неподвижную деталь при работе узла. Величина зазора A_d должна быть в пределах 0,2—0,4 мм и обеспечивается путем изменения толщины регулировочной прокладки под крышкой. С этой целью

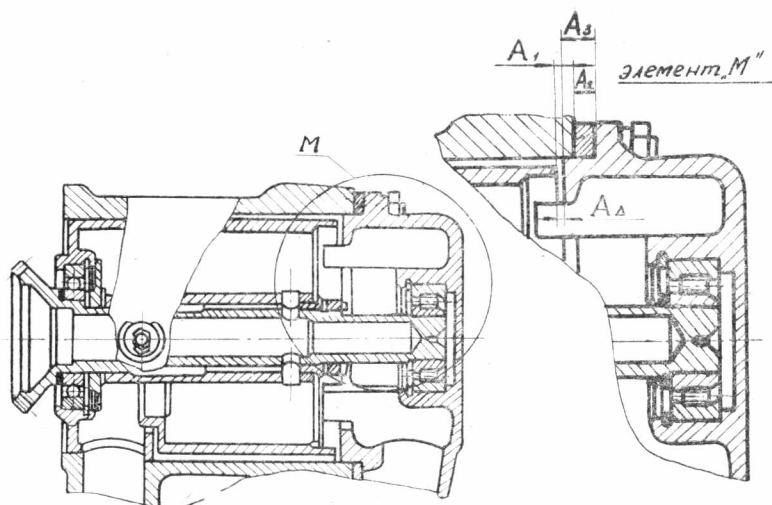


Рис. 18. Схема определения осевого зазора в центрифуге

при сборке измеряются фактические размеры у крышки и у ротора, после чего определяется необходимая толщина прокладки по формуле:

$$A_2 = A_3 + A_{\Delta \text{сп}} - A_1,$$

где A_2 —толщина регулировочной прокладки;

A_1 —расстояние между плоскостью коробки и торцом стакана ротора;

A_3 —высота буртика у крышки;

A_{Δ} —требуемый зазор (0,2—0,4).

По данным расчета величины A_2 подбирается прокладка (или набор прокладок) необходимой толщины.

При сборке цилиндрических зубчатых передач измерение величины бокового зазора может производиться двумя способами. В лабораторной работе применяются оба способа с целью сравнения их характеристик. В зацеплении ведущей и верхней ведомой цилиндрической шестерни величина бокового зазора измеряется индикатором с применением поводка (аналогично сборке конических зубчатых передач). В зацеплении ведущей и нижней ведомой цилиндрической шестерни боковой зазор измеряется с помощью наборного щупа. Требуемая величина бокового зазора обеспечивается только путем подбора шестерен.

По окончании сборки всех зубчатых передач производится контроль качества зацепления путем проверки вращения шестерен. Вращение должно быть легким, плавным, без заедания и резкого шума.

Сборка узла заканчивается операцией постановки и крепления крышки коробки. Фланец крышки крепится с помощью двадцати двух гаек на шпильках корпуса. Для устранения перекосов и коробления крышки затяжка гаек производится в соответствии со схемой, указанной на рис. 19.

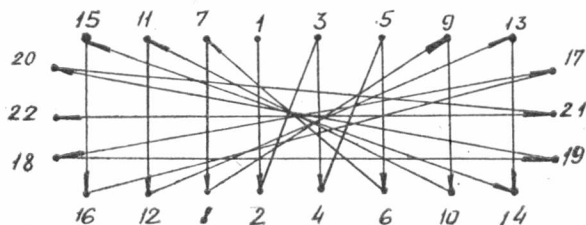


Рис. 19. Схема затяжки гаек крепления крышки

Сборка резьбовых соединений с большим количеством затягиваемых гаек требует значительного времени. В настоящее время этот процесс стремятся по возможности механизировать. В лабораторной работе механизация процесса затяжки гаек обеспечивается путем применения пневмогайковерта, создающего тарированный момент затяжки.

С целью выявления характеристики этого процесса представляет интерес экспериментальная проверка стабильности момента затяжки гаек при работе гайковертом. Стабильность может быть оценена путем определения параметров рассеивания $M_{зат}$ после построения кривой практического распределения.

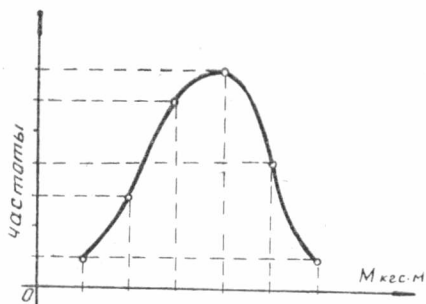


Рис. 20. График плотности распределения величины момента затяжки гаек

после построения кривой практического распределения. С этой целью после затяжки гаек гайковертом фактический момент затяжки измеряется точным динамометрическим ключом. Полученные данные используются для построения кривой практического распределения (рис. 20).

и определения поля рассеивания $M_{\text{зат}}$, а также величины $x_{\text{ср}}$.

ЗАДАЧА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ

В задачу экспериментальной работы входит подтверждение основных теоретических положений сборки цилиндрических и конических зубчатых передач при выполнении технологического процесса сборки коробки приводов, а также изучение конструкции и работы технологической оснастки для сборки зубчатых передач.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ РАЗБОРКИ И СБОРКИ КОРОБКИ ПРИВодОВ

Этот этап выполнения работы производится в соответствии с операционными картами, имеющимися на рабочем месте.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В отчете по работе должны быть указаны:

- величина осевого перемещения шестерен за счет зазора в шариковых подшипниках;
- величина боковых зазоров в зацеплении конических и цилиндрических шестерен;
- характер отпечатка краски для конических шестерен и методы регулирования отпечатка, не соответствующего ТТ;
- расчет величины регулировочной прокладки под крышкой центрифуги;
- кривая практического распределения $M_{\text{зат}}$ и определение параметров распределения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие технические требования предъявляются к сборке коробки приводов?
2. Какова последовательность сборки коробки приводов? Чем обуславливается эта последовательность?
3. С какой целью контролируется осевое перемещение конической шестерни?

стерни относительно корпуса подшипника? Как осуществляется такой контроль?

4. Какова методика контроля бокового зазора в зацеплении конических и цилиндрических шестерен?

5. Какова функциональная связь между изменением величины бокового зазора и изменением толщины регулировочной прокладки для конической зубчатой передачи?

6. Где размещаются регулировочные прокладки для шестерни привода топливного насоса, маслоснабсатора, стартера и центрифуги? Какое влияние на боковой зазор оказывает каждая регулировочная прокладка при увеличении и уменьшении ее толщины?

7. Какова методика контроля величины и расположения пятна контакта в зацеплении конических шестерен?

8. Каким образом можно исправить получившиеся при контроле отпечатки краски типа «д» и «е» (рис. 17).

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование:

Подставка поворотная для сборки коробки приводов.

П р и с п о с о б л е н и я:

Л4-01 — съемник для выпрессовки ведомой шестерни стартера;

Л4-02 — съемник для выпрессовки привода ведущей шестерни стартера;

Л4-03 — приспособление для запрессовки ведомой конической шестерни стартера;

Л4-04 — приспособление для стопорения ведущей цилиндрической шестерни стартера;

Л4-05 — приспособление для стопорения ведомой конической шестерни стартера;

Л4-06 — приспособление для замера бокового зазора в зубьях конических и цилиндрических шестерен;

Л4-07 — приспособление для стопорения шестерни привода топливного насоса;

Л4-08 — съемник ударного типа для выпрессовки привода центрифуги;

Л4-09 — кронштейн с индикатором для замера бокового зазора в зацеплении шестерен стартера;

Л4-10 — оправка цанговая для замера бокового зазора в зацеплении шестерен стартера;

Л4-11 — рукоятка для вращения шестерен коробки приводов;

Л4-12 — оправа для запрессовки привода ведущей шестерни стартера;

Л4-13 — оправа для запрессовки привода топливного насоса.

Слесарно-сборочный инструмент:

Л4-14 — ключ специальный $S=6 \times 6$ для винтов привода маслоснасоса;

Л4-15 — ключ специальный для гайки крепления роликоподшипника на центральном валике;

пневмогайковерт;

ключ динамометрический $M=2$ кгс·м;

ключи плоские $S=9 \times 11$; $S=17 \times 19$;

ключи торцовые $S=9$; $S=11$;

оправа свинцовая;

отвертка;

молоток 200 г.

Контрольно-измерительный инструмент:

индикатор часового типа (с ценой деления 0,01 мм);

индикатор рычажный (с ценой деления 0,01 мм);

микрометр 0—25 мм;

штангенциркуль;

штанген-глубиномер;

щуп наборный;

стойка для индикатора.

§ 5. ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА РОТОРА ДВИГАТЕЛЯ

ВИДЫ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТИ РОТОРОВ

Согласно ГОСТ 19534-74, неуравновешенность ротора — это состояние, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах ротора и его изгиб.

Неуравновешенность ротора появляется вследствие наличия в роторе отдельных неуравновешенных масс. Векторная величина, равная произведению неуравновешенной массы на ее эксцентриситет, называется дисбалансом. Вектор дисбаланса перпендикулярен оси вращения ротора. Он проходит через центр неуравновешенной массы и вращается вместе с ротором.

Дисбаланс q_{Σ} собранного ротора можно представить как сумму следующих составляющих:

$$\bar{q}_{\Sigma} = \bar{q}_1 + \bar{q}_2 + \bar{q}_3,$$

где q_1 — дисбаланс ротора, возникший вследствие неравномерной плотности материала отдельных деталей, входящих в ротор (пористость литья, газовые раковины и т. д.), а также за счет несимметричного распределения материала в объеме детали (например, неодинаковая толщина ребер крыльчаток, полученная при литье, и др.);

q_2 — дисбаланс ротора, возникший вследствие погрешностей изготовления деталей при механической обработке (радиальное биение поверхностей, непараллельность торцев и т. п.);

q_3 — дисбаланс ротора, возникший в результате погрешностей сборки из-за допустимых перекосов и смещения сопряженных деталей.

Имеющиеся в роторе отдельные составляющие векторы дисбалансов в зависимости от их расположения вдоль оси вращения ротора в ряде случаев могут быть приведены к одному главному вектору, проходящему через центр масс ротора. Тогда ротор будет иметь только статическую неуравновешенность. Если составляющие векторы дисбалансов приводятся к одному главному моменту, получается моментная неуравновешенность, а при наличии одновременно главного вектора и главного момента — динамическая неуравновешенность.

Процесс определения значений и углов дисбалансов ротора, а также уменьшения их корректировкой масс ротора называется балансировкой.

Статическую неуравновешенность ротора можно выявить как при статических, так и при динамических методах балансировки. Моментная и динамическая неуравновешенности выявляются только при динамических методах балансировки, для которых создано несколько типов специальных балансировочных машин. Одним из наиболее распространенных типов является машина с электрической измерительной частью.

СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ БАЛАНСИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ

На рис. 21 представлена схема балансировочной машины. Балансируемый ротор 1 установлен на подвижных опорах 3 и 4. Опоры жестко связаны посредством стержней с катушками 5 и 6, находящимися в поле сильных постоянных магнитов 7. Вращение ротора 1 производится электродвигателем с помощью плоского приводного ремня 2. Плоскости 1—1 и 2—2 являются плоскостями коррекции, перпендикулярными оси вращения ротора, в них будут расположены центры кор-

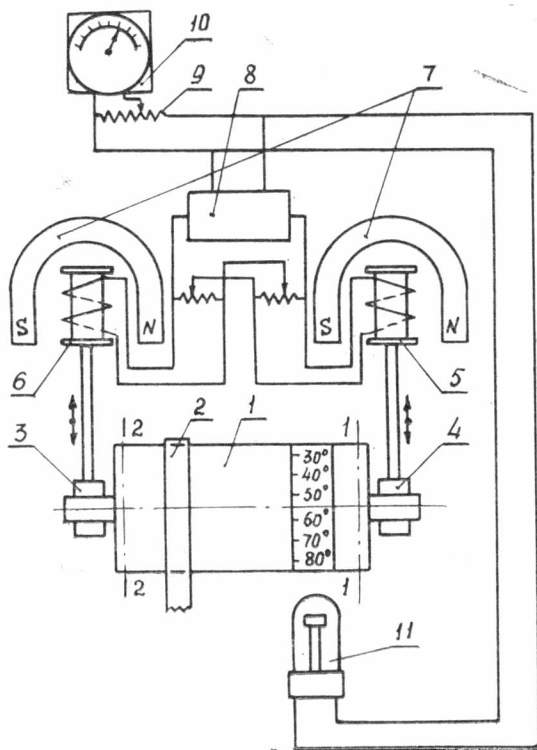


Рис. 21. Схема балансировочной машины: 1 — ротор; 2 — ремень приводной; 3 — опора левая; 4 — опора правая; 5, 6 — катушки датчиков, 7 — постоянные магниты; 8 — усилитель; 9 — сопротивление; 10 — индикатор значения дисбаланса

ректирующих масс. При вращении ротора имеющиеся в нем дисбалансы вызывают колебания опор. Эти колебания передаются через стержни на катушки 5 и 6, вызывая перемещение их в магнитном поле. При этом в катушках возникают напряжения E_1 и E_2 , прямо пропорциональные амплитудам колебания опор. Эти напряжения через потенциометрические устройства поступают в усилитель 8 и далее через сопротивление 9 на индикатор значения дисбаланса 10, предварительно оттарированного в единицах измерения дисбаланса.

Для определения угла дисбаланса используется стробоскопический эффект, позволяющий зрительно остановить вращающийся ротор, если частота вспышек лампы совпадает с частотой вращения балансируемого ротора. Для этой цели машина снабжена строботроном 11. Лампа строботрона вспыхивает каждый раз, когда на управляющую сетку попадает определенной величины отрицательный импульс. Поскольку за один оборот ротора такой импульс в датчике возникает только один раз, то частота импульсов соответствует частоте вращения ротора при балансировке. Вспышка лампы происходит в момент совпадения вектора дисбаланса с плоскостью качания опор, так как в этот момент в катушках датчиков возбуждается наибольшее значение ЭДС. Если на поверхность ротора нанести метку или шкалу, то при вспышке лампы строботрона эта метка зрительно остановится в определенном положении, которое можно отметить относительно корпуса машины. Если выключить двигатель, остановить ротор и совместить метку на роторе с отмеченным положением, то дисбаланс будет располагаться в плоскости качания опор.

Для конкретных балансировочных машин вследствие погрешности работы электронной аппаратуры может иметь место сдвиг фазы вспышки лампы с положением вектора дисбаланса относительно плоскости качания опор. В этих случаях действительная плоскость вспышки уточняется индивидуально во время настройки балансировочной машины.

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

На пульте управления машиной (рис. 22) имеются две панели: левая и правая. Левая панель с рукоятками предназначена для настройки пульта и закрывается впоследствии крышкой. Правая панель имеет органы управления машиной в процессе балансировки, т. е. рукоятки 11, 12, 13, 14, 15 и тумблер включения пульта с сигнальной лампой. Сверху на пульте установлен прибор-индикатор значения дисбаланса.

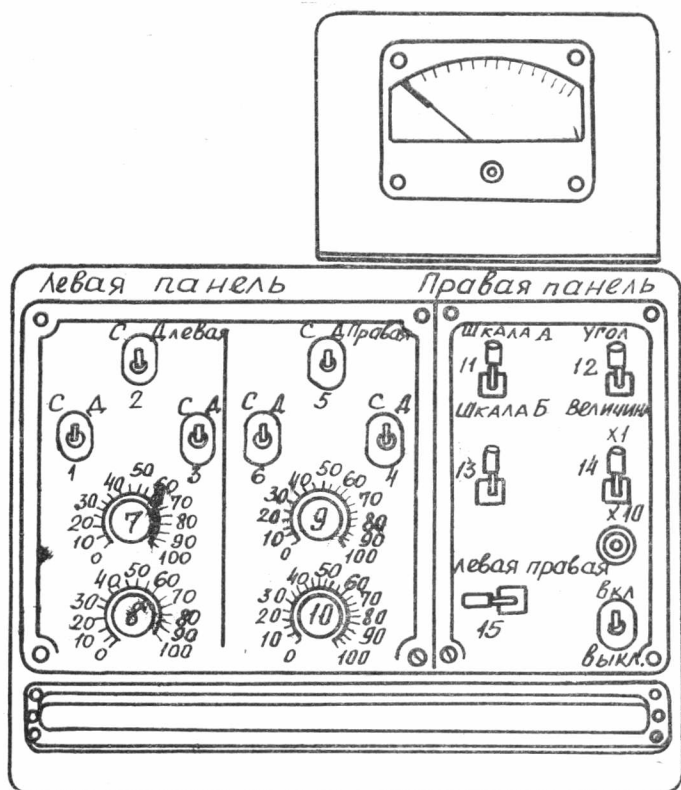


Рис. 22. Внешний вид пульта управления

КОНСТРУКЦИЯ БАЛАНСИРУЕМОГО РОТОРА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ НА БАЛАНСИРОВКУ

Изучение конструкции балансируемого ротора производится по натурному образцу или плакату. При этом обращается внимание на следующие элементы:

- а) конструктивная схема ротора. Наличие на роторе сосредоточенных масс и их расположение относительно опор;
- б) базовые поверхности ротора, используемые при балансировке.

Для рассматриваемой конструкции ротора устанавливаются следующие технические требования на балансировку:

1. Ротор отбалансировать динамически в двух плоскостях

коррекции, т. е. со стороны колеса турбины и крыльчатки насоса. Допустимый дисбаланс определяется расчетом (методика приведена ниже).

2. Дисбаланс устранять за счет удаления металла с поверхности «С» со стороны колеса турбины и «S» со стороны крыльчатки насоса (рис. 23).

3. В местах снятия металла поверхность тщательно заполлировать.

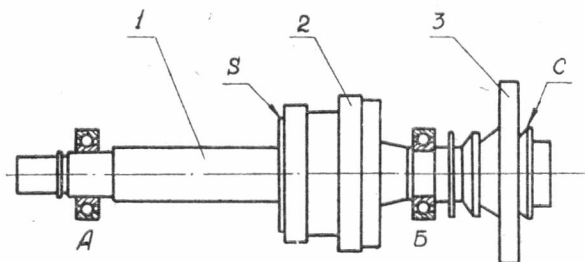


Рис. 23. Конструктивная схема ротора: 1 — вал; 2 — крыльчатка насоса; 3 — колесо турбины

Допустимый дисбаланс определяют, исходя из отношения величины центробежной силы $P_{ц}$, возникающей от дисбаланса, к весу G ротора. Это отношение для роторов авиадвигателей обычно выбирается в пределах $\frac{P_{ц}}{G} = 0,1—0,3$ или $P_{ц} = (0,1—0,3) G$.

Величина $P_{ц} = m \omega^2 e$,

где m — масса ротора;

ω — круговая (циклическая) частота вращения;

e — смещение центра масс от оси вращения ротора.

Формулу (19) можно выразить следующим образом:

$$P_{ц} = \frac{G}{g} \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 e, \quad (20)$$

где G — вес ротора, кгс;

g — ускорение силы тяжести, мкм/с²;

n — номинальная частота вращения ротора, об/мин.

Решив уравнение (20) относительно e , получим допустимый эксцентриситет центра масс ротора

$$e = \frac{P_{ц}}{G} \frac{g}{\left(\frac{\pi n}{30} \right)^2} = (0,1—0,3) \frac{9 \cdot 10^8}{n^2} \text{ мкм}. \quad (21)$$

Тогда допустимый дисбаланс ротора в гсм будет

$$q = me \cdot 10^{-1} \text{ гсм.} \quad (22)$$

(здесь m , кг; e , мкм).

ЗАДАЧА ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ

В задачу экспериментальной работы по балансировке ротора входит: расчет величины допустимого дисбаланса ротора; определение величины и угла дисбаланса ротора; устранение дисбаланса ротора.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ

Получить необходимые исходные данные о массе и рабочей частоте вращения балансируемого ротора.

Пользуясь формулами (21) и (22), рассчитать величину допустимого дисбаланса ротора и записать в отчет.

Провести динамическую балансировку ротора.

ВНИМАНИЕ! Процесс балансировки должен обязательно выполняться под наблюдением лаборанта или преподавателя. В отсутствие этих лиц запрещается переключать рукоятки на пульте управления и включать электропривод машины.

Динамическую балансировку ротора следует производить в определенной последовательности:

1. Проверить от руки легкость вращения ротора.
2. Закрыть крышку кожуха и замок кожуха.
3. Одеть на вал ротора и шкив приводной ремень и создать натяжение ремня.
4. Тумблером, расположенным в правом нижнем углу пульта, включить питание пульта. Сигнальная лампа должна загореться.
5. Нажатием кнопки «пуск» привести во вращение балансируемый ротор. Сделать выдержку в течение 2—3-х минут для набора оборотов.

6. Рукоятки на пульте управления поставить в следующие положения (рис. 22):

№ 15 в положение «левая»;

№ 11 в положение «шкала «Б»;

№ 12 в положение «величина»;

№ 13 в положение «—» (минус);

№ 14 в положение « $\times 1$ ».

7. Растормозить подвижные опоры машины.

8. По указателю дисбаланса определить величину дисбаланса и записать в отчет.

ПРИМЕЧАНИЕ. Если стрелка прибора уходит за пределы шкалы, что указывает на наличие большой неуравновешенности, то нужно дополнительно установить ручку 14 в положение « $\times 10$ ».

9. Рукоятку 12 перевести в положение «угол». Вспышка строботрона осветит на угловой шкале соответствующий угол дисбаланса. Записать полученный угол в отчет.

10. Перевести рукоятку 12 в нейтральное положение.

11. Затормозить подвижные опоры машины поворотом рукояток вверх и затем нажатием кнопки «стоп» выключить электродвигатель привода. Сделать выдержку до полной остановки ротора.

12. Со стороны, противоположной дисбалансу ротора, в левой плоскости коррекции, наклеить кусочек пластилина, соответствующий величине дисбаланса.

13. Включить электродвигатель привода и аналогичным образом проверить, что остаточный дисбаланс ротора не превышает допустимого предела, найденного путем расчета. В противном случае балансировку повторить.

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

14. Переключатель 15 поставить в положение «правая» и произвести балансировку ротора в правой плоскости коррекции.

15. Затормозить опоры и выключить электродвигатель привода.

16. Снять приводной ремень с роликов леникса.

17. Выключить пульт управления машиной.

18. Снять уравнивающие грузы, взвесить их на лабораторных весах с точностью до 0,1 г и записать в отчет.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В отчете должен быть приведен расчет допустимого дисбаланса, указана величина начального и остаточного дисбаланса по левой и правой плоскости коррекции, а также должно даваться заключение о точности балансировки.

Сделать эскизы участков ротора с указанием поверхностей, за счет которых устраняется дисбаланс при балансировке.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чем состоит различие между неуравновешенностью и дисбалансом ротора?
2. Какие существуют причины возникновения дисбаланса ротора?
3. Какие существуют виды неуравновешенности ротора?
4. Какова методика расчета допустимого дисбаланса ротора?
5. Каков принцип работы датчика балансировочной машины? Существует ли связь между ЭДС, возбуждаемой в катушке датчика, и дисбалансом ротора?
6. Каков принцип работы строботрона, определяющего угол дисбаланса?
7. Какова последовательность работы на балансировочной машине при определении значения дисбаланса и угла дисбаланса?
8. Можно ли сделать заключение о виде неуравновешенности ротора, пользуясь данными о значении и угле дисбаланса для каждой плоскости коррекции?
9. Каков способ устранения дисбаланса для конкретного ротора?

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ, ОСНАСТКИ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ

ДБ-51 – машина для динамической балансировки;
приводной ремень;
весы аналитические;
разновесы;
пластилин.

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ГАЗОВ

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГАЗОВ*

Качество неразъемных и разъемных соединений сборочных единиц, внутренние полости которых подвержены воздействию давления жидкости, пара или газа, обычно проверяется при выполнении операции «Контроль герметичности соединений». Основанием для проведения такой операции являются сборочные чертежи или другая техническая документация, где обычно указываются требования к свойствам контрольного газа, величине давления, времени выдержки, допустимой неплотности и другим параметрам.

До последнего времени наиболее распространенными в производстве являлись пневматические методы контроля. В этом случае во внутренней полости изделия создается избыточное давление воздуха, а негерметичность соединения обнаруживается либо по образованию пузырьков воздуха при погружении испытываемого изделия в жидкость или при нанесении на поверхность проверяемого соединения мыльной эмульсии, либо по величине спада давления в замкнутом объеме. Однако возможности этих методов контроля ограничены из-за недостаточной их чувствительности. Всевозрастающие требования к герметичности соединений таких изделий, как двигатели летательных аппаратов, привели к разработке новых, более чувствительных методов контроля с применением сложной электронной аппаратуры. К таким методам контроля относятся, например, методы течения с применением специальных приборов — течеискателей (галоидных, масс-спектрометрических и др.).

При контроле герметичности соединений газами, размер канала течи часто характеризуется количеством газа, проходящим через канал в единицу времени из внутренней полости изделия в атмосферу и измеряемым в единицах потока газа в литрах за 1 секунду. Этот поток приводится к определенному

* Более подробные сведения о сущности и характеристиках методов контроля герметичности с помощью газов даны в учебном пособии [4].

давлению, выражаемому обычно в миллиметрах (или их долях) ртутного столба. Чаще всего используются следующие размерности для потока газа: л. мм.рт.ст/с; л.мкм.рт.ст/с.

Наиболее употребительной в технике является размерность л.мкм.рт.ст/с или сокращенно л.мкм/с. Поток в 1 л.мкм/с означает, что за 1 секунду через канал течи протекает 1 литр газа при давлении 1 мкм ртутного столба, или поток, который в объеме 1 литра вызывает изменение давления на 1 мкм ртутного столба. За последнее время стала использоваться размерность потока газа в системе СИ — $1 \text{ мм}^3 \text{ МПа/с}$ (МПа — Мега-Паскаль); $1 \text{ мм}^3 \text{ МПа/с} = 7,53 \text{ л.мкм рт. ст/с}$.

Следует отметить, что величина потока газа еще не дает количественной оценки неплотности соединения, так как этот поток будет зависеть от величины избыточного давления в полости проверяемого изделия и от свойств газа. Уравнение, связывающее величину течи B , измеренную величиной потока при стандартных условиях, с потоком газа через течь при других условиях истечения из внутренней полости изделия в атмосферу имеет вид:

$$Q = B \frac{\eta_B}{\eta} (P^2 - 1). \quad (23)$$

Если контрольный газ-воздух, то

$$Q = B (P^2 - 1) \quad (24)$$

или

$$B = \frac{Q}{P^2 - 1}, \quad (25)$$

где η_B — коэффициент вязкости воздуха;

η — коэффициент вязкости контрольного газа;

P — абсолютное давление газа во внутренней полости изделия.

Стандартными условиями принято считать условия, когда контрольный газ-воздух при избыточном давлении 1 кгс/см^2 натекает через канал течи в вакуумную емкость, имеющую абсолютное давление, близкое к нулю.

ЗАДАЧА ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В задачу лабораторного эксперимента входит определение и сравнительная оценка точностных и эксплуатационных характеристик, наиболее часто применяемых в производстве методов контроля герметичности соединений с помощью

газов, а также приобретение некоторых навыков по эксплуатации специального оборудования и аппаратуры.

МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТА И КОНСТРУКЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сущность методики сравнения различных методов контроля герметичности соединений по их точностным и эксплуатационным характеристикам заключается в том, что одна и та же течь, имеющаяся в соединении деталей проверяемого изделия, контролируется последовательно различными методами. Оценка точности метода производится по величине минимального потока газа в л. мкм/с, который можно зарегистрировать этим методом. Чем меньшая величина потока регистрируется данным методом, тем выше его чувствительность (точность). Оценка эксплуатационных характеристик методов дается с учетом трудоемкости выполнения операции контроля, сложности применяемого оборудования и другим параметрам. При сравнении методов в качестве базового условно принят метод погружения изделия в воду. При этом, для имеющейся в изделии течи определяется величина давления, при котором регистрируется визуально минимальный поток газа через течь. Зависимость между потоком газа Q_0 и количеством выделившихся пузырьков выражается формулой

$$Q_0 = 0,4 \frac{n d^3}{\Delta t}, \quad (26)$$

где n — количество выделившихся пузырьков;

Δt — промежуток времени (в секундах), за который выделились пузырьки;

d — диаметр пузырька, мм.

Зная поток Q_0 и величину давления P , по формуле (25) определяется величина течи B для стандартных условий.

Если для другого исследуемого метода контроля герметичности минимальный поток через течь регистрируется при другом избыточном давлении, то величина этого потока Q может быть определена через поток Q_0 по формуле

$$Q = Q_0 \frac{P^2 - 1}{P_0^2 - 1}, \quad (27)$$

где P — абсолютное давление воздуха в полости изделия для исследуемого метода;

P_0 — абсолютное давление воздуха в полости изделия при методе погружения изделия в воду.

При методе измерения спада давления поток воздуха определяется по формуле

$$Q_{\text{сп}} = \frac{V \Delta P 760 \cdot 10^3}{\Delta t}, \quad (28)$$

где V — объем проверяемого изделия, л;

ΔP — изменение величины давления, кгс/см²;

Δt — время, с.

Из формулы (28) следует: величина спада давления при одном и том же значении потока газа $Q_{\text{сп}}$ пропорциональна объему проверяемого изделия. Эта зависимость проверяется и при выполнении лабораторного эксперимента.

При проведении экспериментальных исследований используется воздушно-распределительный щиток промышленного изготовления. Внешняя панель щитка показана на рис. 24. Он обладает большой универсальностью в работе, обеспечивая выполнение самых разнообразных по назначению операций.

Для обеспечения условий проведения лабораторного эксперимента схема щитка в отличие от проектной несколько видоизменена: часть магистралей полностью выключена из работы, а в оставшейся части изменена разводка трубопрово-

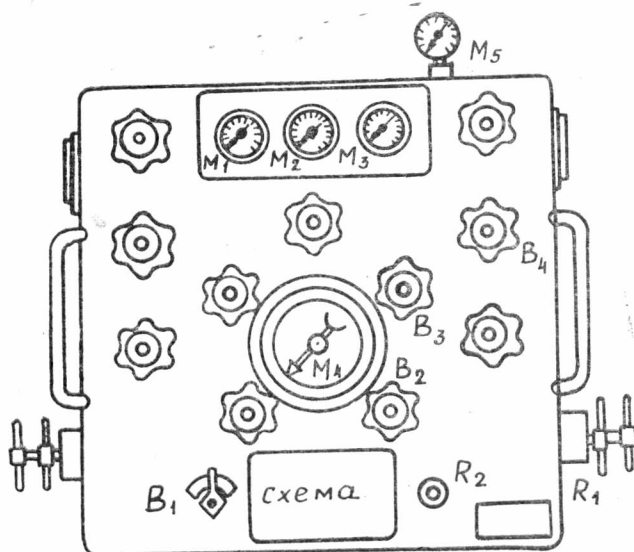


Рис. 24. Внешний вид панели воздушно-распределительного щитка

дов. В измененном виде схема воздушно-распределительного щитка показана на рис. 25. К входному штурцеру пневмошланга от баллона 3 подводится воздух давлением 40—50 кгс/см².

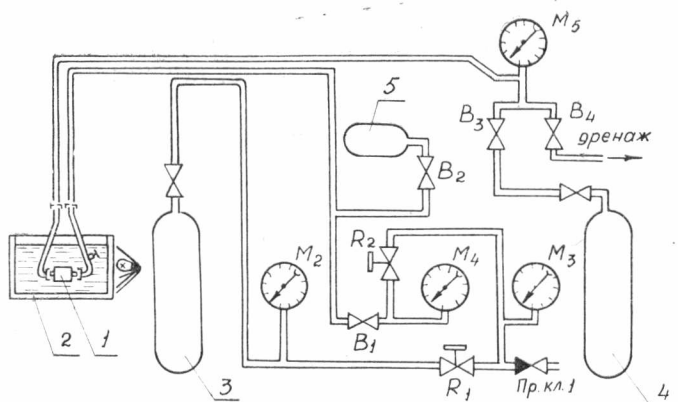


Рис. 25. Схема контроля герметичности: 1 — изделие; 2 — ванна с водой; 3 — баллон воздушный; 4 — баллон с газом «Фреон-12»

Давление на входе в щиток измеряется манометром M_2 . Давление на выходе из щитка регулируется настройкой двух последовательно установленных редукторов R_1 высокого давления и R_2 — низкого давления. Настройка редукторов на необходимое давление контролируется соответственно манометрами M_3 и M_4 . Для защиты от перегрузок перед редуктором R_2 установлен предохранительный клапан (Пр. кл. 1). На выходе из щитка установлен запорный вентиль B_1 , за которым смонтирована магистраль, состоящая из трубопровода, вентили B_2 и баллона 5 емкостью 3 литра, служащих для искусственного увеличения объема в системе проверяемого изделия. Подвод воздуха от щитка к контролируемому изделию 1 осуществляется с помощью гибкого шланга. Другой гибкий шланг, подсоединенный к изделию и пневмошлангу, служит для контроля фактического давления в изделии при помощи манометра M_5 более высокого класса точности.

Газ «Фреон 12» подается из специального баллона 4 через вентиль B_3 в магистраль контрольного манометра и далее по шлангу в изделие. Такая схема встречного подвода газа «Фреон-12» и воздуха способствует лучшему перемешиванию при

получении смеси определенной концентрации. Дренаж давления из изделия производится путем открытия вентиля B_4 . При этом воздух или газ «Фреон-12» удаляется из изделия по трубопроводу за пределы помещения.

Ванна для контроля герметичности соединений изделия представляет собой емкость, выполненную из прозрачного материала (оргстекла). На одной из боковых стенок ванны установлена электролампа с экраном для подсветки жидкости. Ванна заливается водой, в которую добавляется 0,3% хром-пика для предохранения поверхностей проверяемого изделия от коррозии.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ

Этот этап работы производится в следующей последовательности:

1. Открыть вентиль на воздушном баллоне. Проверить по манометру M_2 давление в баллоне (давление должно быть 35—50 кгс/см²).

2. Проверить по манометру M_3 настройку редуктора (избыточное давление должно быть 35—40 кгс/см²).

3. При закрытом вентиле B_1 настроить редуктор R_2 на избыточное давление 5,5 кгс/см² (давление контролировать по манометру M_5).

4. Включить лампу подсветки у ванны с водой.

5. Медленно открывая вентиль B_1 , плавно подать избыточное давление 3 кгс/см² в проверяемое изделие, после чего закрыть вентиль B_1 . Давление контролировать по манометру M_5 .

6. Опустить проверяемое изделие в ванну с водой и проверить герметичность соединений изделия.

7. При наличии течи в соединении с помощью секундомера замерить промежуток времени (в секундах) между выходом двух соседних пузырьков. Промежуток времени определять как среднее значение, полученное по пяти или шести пузырькам.

8. Последовательно понижая давление (с помощью дренажного вентиля B_4) каждый раз на 0,5 кгс/см² от предыдущего значения, установить величину давления, при которой регистрируется минимальный поток газа через течь. За критерий минимально регистрируемого потока газа для метода по-

гружения изделия в жидкость обычно принимают поток, образующий один пузырек за время, равное 30 с. Такой поток, проходящий через канал течи, очень трудно контролировать, если течь расположена за пределами непосредственного визуального наблюдения. Найденное значение давления записать в отчет.

9. Вынуть изделие из ванны и протереть его поверхность салфеткой.

10. Выключить лампу подсветки ванны.

11. При давлении, установленном, как указано в п. 8, произвести контроль герметичности соединений проверяемого изделия путем нанесения на место предполагаемой течи мыльной эмульсии. При четком появлении мыльных пузырьков указать об этом в отчете.

12. Медленно снизить давление в проверяемом изделии на $0,5 \text{ кгс/см}^2$ и вновь проконтролировать течь с помощью мыльной эмульсии. Указать в отчете, можно ли зарегистрировать поток газа при этом давлении.

13. При давлении, установленном, как указано в п. 12, и закрытых вентилях B_1 и B_2 , проверить спад давления в изделии по манометру M_5 за промежуток времени 5 мин. Если спад давления составляет меньше $0,5$ наименьшего деления шкалы манометра, то последовательным повышением давления каждый раз на $0,5 \text{ кгс/см}^2$ (но не выше 5 кгс/см^2) установить значение давления, при котором регистрируется минимальный поток газа. За критерий условно принять поток, создающий спад давления на $0,5$ наименьшего деления шкалы манометра за промежуток времени 5 мин. Найденное значение давления записать в отчет.

14. Незначительным отвертыванием винта шарикового клапана, установленного на трубопроводе у проверяемого изделия, искусственно увеличить течь в системе изделия так, чтобы спад давления составлял 4—5 наименьших делений по манометру за 1 минуту (при начальном избыточном давлении 5 кгс/см^2).

Записать в отчет величину спада по количеству делений шкалы манометра за 1 минуту.

15. Открыть ventиль B_2 на пневмошитке, подключив тем самым дополнительную емкость объемом 3 литра к системе проверяемого изделия (рис. 25).

16. Открытием ventиля B_1 установить в полости проверяемого изделия и дополнительной емкости избыточное давление, равное 5 кгс/см^2 , после чего закрыть ventиль B_1 .

17. Определить величину спада давления (по числу делений шкалы манометра) и записать в отчет.

18. Открыть дренажный вентиль B_4 , снизить давление в полости изделия и дополнительной емкости до 0 кгс/см². По окончании дренажа воздуха закрыть вентили B_2 и B_4 .

19. Завернуть полностью винт шарикового клапана у входа в проверяемое изделие.

20. Подготовить аппаратуру течейскаателя ГТИ-3 к работе: подключить к электросети и настроить в соответствии с техническим описанием прибора (осуществляется лаборантом).

21. Открыть запорный вентиль на баллоне с газом «Фреон-12».

22. Медленным открытием вентиля B_3 плавно поднять давление в полости проверяемого изделия до значения, установленного, как указано в п. 12.

23. Отыскать течь в проверяемом изделии с помощью течейскаателя ГТИ-3. Величину отклонения стрелки прибора записать в отчет.

24. Медленно понижая давление газа в полости проверяемого изделия, попытаться установить значение давления, при котором регистрируется минимальный поток газа через канал течи. За критерий минимально регистрируемого потока газа принять поток, при котором стрелка прибора отклоняется не более 1 деления шкалы и наблюдается еле заметное увеличение частоты звуковых сигналов.

Записать найденное значение давления в отчет.

25. Выключить из работы течейскаатель ГТИ-3.

26. Закрыть вентиль на баллоне с газом «Фреон-12».

27. Закрыть вентиль на воздушном баллоне.

28. Открыть вентиль B_4 и полностью сдренажировать газ «Фреон-12» из полости проверяемого изделия.

29. При открытом вентиле B_4 открыть вентиль B_1 и полностью сдренажировать сжатый воздух из магистралей пневмопитка.

30. Закрыть вентили B_1 , B_4 и полностью разгрузить пружину редуктора R_2 .

31. Используя экспериментальные данные, приведенные в п. 8, по формуле (26) определить минимально-регистрируемый поток газа Q_0 для метода контроля герметичности погружением изделия в жидкость.

32. Определить по формуле (25) величину течи для стандартных условий истечения.

33. Используя экспериментальные данные, приведенные в

п. 12 и 13, определить по формулам (27), (28) минимально-регистрируемый поток газа для методов контроля герметичности соответственно с помощью нанесения мыльной эмульсии и измерения спада давления (т. е. Q_m и $Q_{сп}$).

При определении $Q_{сп}$ объем V находится суммированием следующих слагаемых:

- объем проверяемого изделия — 60 см³;
 - объем подводящего и контрольного шлангов — 100 см³;
 - объем трубопроводов пневмошланга — 40 см³;
- т. е. $V = 200$ см³.

34. Используя экспериментальные данные, приведенные в п. 24, определить по формуле (27) минимально регистрируемый поток газа для метода течеискания, т. е. $Q_{теч}$.

35. Определить коэффициент чувствительности каждого метода по отношению к базовому методу контроля герметичности (погружение изделия в воду) по формуле

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_0},$$

где Q_0 — минимально регистрируемый поток для базового метода;

Q_i — минимально регистрируемый поток для i -го метода.

36. Для метода контроля герметичности путем измерения спада давления подтвердить зависимость

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_1} = \frac{V_1}{V} = \frac{n \text{ дел./мин}}{n_1 \text{ дел./мин}},$$

где ΔP и ΔP_1 — величина спада давления, полученная, как указано в п. 14 и 17 соответственно и измеренная по числу делений n и n_1 шкалы манометра;

V и V_1 — объем проверяемого изделия, см³.

Объем $V = 200$ см³ (см. п. 33).

Объем V_1 увеличен по сравнению с V на 3000 см³.

Следовательно, $V_1 = 3200$ см³.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

В отчете должны быть указаны результаты экспериментов по всем рассмотренным методам контроля герметичности, проведен анализ точностных характеристик методов по коэффициенту чувствительности и эксплуатационных характеристик по трудоемкости выполнения операции и по сложности применяемого оборудования.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чем сущность, каковы преимущества и недостатки пневматических методов контроля герметичности (погружение изделия в воду, нанесение мыльной эмульсии и измерение спада давления)?
2. В чем сущность, каковы преимущества и недостатки методов контроля герметичности с помощью течеискателей?
3. Каким образом характеризуется величина течи в соединении? Что такое стандартные условия для характеристики течи?
4. Какая существует связь между величиной потока газа через течь и давлением внутри изделия?
5. В чем сущность методики проведения эксперимента?
6. Какова схема и каков принцип работы воздушно-распределительного щитка?
7. Каков принцип работы галоидного течеискателя?
8. Какие критерии оценки приняты для минимально-регистрируемой течи при каждом методе контроля герметичности?
9. Почему при увеличении объема проверяемого изделия величина спада давления уменьшается при одной и той же течи?

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

пневмораспределительный щиток;
ванна с водой;
баллон с газом «Фреон-12»;
баллон со сжатым воздухом;
баллон $V=3$ л;
течеискатель ГТИ-3;
банка с мыльной эмульсией;
кисть волосяная;
салфетка.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы выполняются студентами самостоятельно согласно методическим указаниям.

Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентами содержания работы и порядка ее выполнения.

Студенты должны ознакомиться с заданием и изучить самостоятельно методику проведения данной работы; ознакомиться с рабочим местом, с оборудованием и технологической оснасткой, а также с правилами техники безопасности, касающимися данного рабочего места; составить схему сборки и план операций по сборке данной сборочной единицы (для случаев, где это предусмотрено методикой) и представить ее преподавателю для утверждения; провести работу согласно методическим указаниям или утвержденному плану. Результаты измерения занести в отчет; провести анализ полученных данных и сделать выводы по работе; оформить отчет и предъявить его преподавателю; привести в порядок рабочее место.

Отчет оформляется на бланке установленной формы, куда заносятся результаты замеров зазоров, натягов, биений и т. д., а также графики и эскизы, выполняемые в соответствии с методикой данной работы.

Предъявляя преподавателю отчет о работе, студент обязан знать целевое назначение работы и уметь объяснить порядок и технику ее выполнения, знать приемы обращения со сборочными и контрольными инструментами и приспособлениями, объяснить значение измеряемых (контролируемых) параметров и причины возникновения погрешностей.

После выполнения всех предусмотренных графиком работ и сдачи отчетов студент получает зачет.

Отчеты по лабораторным работам хранятся в лаборатории.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ РАБОТАЮЩИХ В ЛАБОРАТОРИИ СБОРКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

1. Разборку и сборку изделия производить только в последовательности, указанной в методических рекомендациях к лабораторной работе или операционных картах.

2. При отсутствии требуемой технологической оснастки для разборки или сборки следует обратиться к лаборанту или преподавателю.

3. Нельзя производить работу неисправным инструментом (значительная выработка или деформация губок ключа, трещины на ключе или приспособлении, скол или деформация лезвия отвертки и т. д.). При появлении неисправностей необходимо немедленно прекратить работу и сообщить об этом лаборанту.

4. Все детали, снятые с изделия при разборке, хранить на верстаке в устойчивом положении.

5. В процессе поворота изделия на вращающейся подставке все время поддерживать его руками до момента надежного фиксирования поворотной части подставки.

ПРИ РАБОТЕ НА БАЛАНСИРОВОЧНОЙ МАШИНЕ

1. Нельзя включать машину без разрешения преподавателя. Процесс балансировки должен проводиться обязательно в присутствии лаборанта или преподавателя.

2. Работающим на балансировочной машине необходимо перед началом работы привести в порядок одежду, спрятать волосы под берет или косынку.

3. Перед включением машины проверить, надежно ли закрыты защитные кожухи балансируемого узла (у колеса турбины и у крыльчатки насоса).

4. Запрещается касаться руками поверхностей вращающегося ротора.

5. Балансируемый ротор при остановке нельзя тормозить рукой.

ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ «КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ»

1. Нельзя производить подачу воздуха или газа «фреон» в пневмошток, а также включать галлоидный теческатель ГТИ-3 без разрешения преподавателя. Включение пневмошток и настройка теческателя делается только в присутствии лаборанта или преподавателя.

2. Запрещается изменять положение рукояток на пневмошток и теческателе ГТИ-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов В. Н., Никитин А. Н. Сборка авиационных двигателей. М., «Машиностроение», 1971, с. 236.

2. Биргер И. А., Иосилевич Г. Б. Резьбовые соединения. Библиотека конструктора. М., «Машиностроение», 1973, с. 256.

3. Захаров В. А. Суммирование погрешностей взаимного расположения цилиндрических поверхностей при сборке узлов авиадвигателей. Труды КуАИ, вып. XXVII, 1967, с. 71—76.

4. Захаров В. А. Контроль герметичности соединений при сборке авиационных двигателей. Учебное пособие. Куйбышев, 1970, с. 35.

5. Захаров В. А. Лабораторный практикум по курсу «Технология двигателей летательных аппаратов». Сборка двигателей. Куйбышев, 1968, с. 108.

6. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов. Издание 4-е, М., «Машиностроение», 1969, с. 632.

7. Старостин И. Г. К оценке методов затяжки ответственных резьбовых соединений. Труды, вып. XXVII, КуАИ, Куйбышев, 1967, с. 77—88.

8. Шевелев А. С., Федорченко Г. П. К определению точности центрирования деталей при сборке. «Известия высших учебных заведений», «Машиностроение», 1962, № 12.

СОДЕРЖАНИЕ

§ 1. Особенности проектирования технологического процесса сборки изделия или сборочной единицы	3
§ 2. Определение погрешности центрирования деталей в сборочной единице	11
§ 3. Определение точностных характеристик методов контроля усилия затяжки резьбовых соединений	24
§ 4. Сборка зубчатых передач в коробке приводов агрегатов	36
§ 5. Динамическая балансировка ротора двигателя	49
§ 6. Определение точностных и эксплуатационных характеристик методов контроля герметичности с помощью газов	58
Приложение 1. Общие указания по проведению лабораторных работ	68
Приложение 2. Инструкция по технике безопасности для работающих в лаборатории сборки двигателей	69
Литература	70

Захаров Василий Андреевич

СБОРКА ДВИГАТЕЛЕЙ

Учебное пособие

Редактор О. Б. Хнырева

Технический редактор Н. М. Каленюк

Корректор Т. В. Полякова

Сдано в набор 02.01.78 г.

Подписано в печать 13.02.78 г. ЕО 01233.

Литературная гарнитура. Высокая печать.

Усл. п. л. 4,3. Уч.-изд. л. 4,2.

Тираж 700 экз. Заказ № 2. Цена 15 коп.

Темплан 1978, поз. 1155.

Куйбышевский авиационный институт им. С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, Куйбышев, Ульяновская, 18,