

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

В. А. ЗАХАРОВ

ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ
ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА
ПРИ СБОРКЕ ГТД

Учебное пособие

Пути достижения заданного качества при сборке ГТД:
Учебное пособие / В. А. Захаров; Куйбышевский авиационный институт. Куйбышев, 1988 — 68 с.

Рассматриваются вопросы о путях формирования качества сборки изделий как на этапе проектирования технологического процесса сборки, так и при выполнении отдельных сборочных операций, таких как сборка резьбовых соединений, сборка зубчатых передач, балансировка роторов и т. п. Большое внимание уделено способам контроля и обеспечения точности геометрических и физических сборочных параметров, являющихся важнейшими характеристиками качества сборки изделий. Показаны примеры разработки методики проведения лабораторного эксперимента по определению факторов, влияющих на качество выполнения сборочных операций.

Пособие предназначено для углубленного изучения курса технологии сборки ГТД студентами, обучающимися по технологической специализации, а также студентами, обучающимися в группах ЦИПС. Оно может быть использовано инженерно-техническими работниками предприятий, проходящими обучение на ФПК.

Табл. 5. Ил. 30. Библиогр.: 6 назв.

Печатается по разрешению редакционно-издательского совета института

Рецензенты: В. В. Николаев, Н. К. Крючков

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ ИЗДЕЛИЯ

1.1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ СБОРКИ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Под технологическим процессом сборки понимается технологический процесс, содержащий действия по установке и образованию соединений составных частей изделия (ГОСТ 23887—79). В соответствии с этим определением для технологического процесса сборки характерными являются только два типа операций: установка составных частей и образование соединений. Все остальные операции, включаемые в технологический процесс сборки, такие как расконсервация, промывка, технический контроль, испытание, обработка резанием, нанесение покрытий и т. п. не являются специфичными только для процесса сборки, так как входят в состав других технологических процессов. Такие операции относятся к числу сопровождающих технологический процесс сборки.

Важной характеристикой технологического процесса сборки является его качество, т. е. совокупность свойств технологического процесса, обуславливающих его пригодность обеспечивать требуемое качество изделий и выполнение программы их выпуска без превышения установленных затрат.

Проектирование технологического процесса сборки изделия является одним из важных составных элементов технологической подготовки производства. Для обеспечения надлежащего качества технологического процесса в период его проектирования должны быть найдены и приняты такие технологические решения, которые наряду с качеством сборки изделия обеспечивают высокую производительность труда на базе максимального использования средств механизации и автоматизации производства.

Задача проектирования технологического процесса сборки характеризуется многовариантностью возможных решений, каждое из которых может обеспечить заданные требования чертежа.

При наличии нескольких вариантов выбор оптимального должен проводиться с учетом критериев оптимизации, которыми могут быть, например, себестоимость, производительность, количество рабочих, площади сборочного цеха и т. д.

Проектирование технологического процесса сборки в настоящее время может производиться как неавтоматизированным (ручным) способом, так и автоматизированным способом с помощью ЭВМ. В алгоритме проектирования технологического процесса оба этих способа имеют много общих элементов. Поэтому последовательность проектирования можно рассмотреть в едином плане. Обычно устанавливается следующая последовательность проектирования технологического процесса сборки:

- 1) технологический анализ сборочного чертежа;
- 2) определение типа производства, уточнение критериев оптимизации проектируемого технологического процесса;
- 3) составление схемы сборки изделия;
- 4) определение состава и последовательности выполнения сборочных операций, разработка маршрутной технологии;
- 5) выбор сборочного оборудования и технологической оснастки;
- 6) назначение технических требований к сборке;
- 7) выбор методов и средств контроля качества сборки;
- 8) нормирование операций технологического процесса и синхронизация операций в соответствии с тактом выпуска;
- 9) оформление документации на технологический процесс;
- 10) расчет потребного количества рабочих, оборудования и производственных площадей;
- 11) технологическая планировка цеха.

Следует отметить, что все перечисленные этапы взаимосвязаны, поэтому изменение, внесенное на каком-либо этапе проектирования технологического процесса, вызывает изменения на многих предыдущих этапах. Взаимосвязанность этапов разработки технологических процессов приводит к необходимости решения задачи проектирования процесса методом последовательных приближений. В начале проектирования намечается как бы предварительная схема. На последующих этапах проектирования на основе подробного анализа и расчетов производится уточнение отдельных решений, что вызывает необходимость некоторого изменения уже разработанных предыдущих этапов. Таких уточнений при проектировании технологического процесса может быть произведено несколько.

Ниже приводятся пояснения к некоторым этапам проектирования технологического процесса.

Технологический анализ сборочного чертежа. Этот этап ставит своей целью получить представление о назначении изделия,

о его конструктивно-технологических характеристиках, о видах соединений и способах их осуществления и т. п. На этом этапе подробно изучаются технические требования, выявляется номенклатура и заданная точность как геометрических, так и физических сборочных параметров, производится анализ возможных методов достижения заданной точности сборочных параметров.

Значительное место в технологическом анализе чертежа отводится оценке технологичности конструкции изделия в сборке. Под этим термином понимается совокупность свойств изделия, обеспечивающих его приспособленность к технической подготовке производства и сборке и характеризующимся минимальными затратами труда, средств, материалов и времени (по сравнению с изделиями-аналогами). Показатели для оценки технологичности подробно рассматриваются в соответствующих ГОСТах.

В результате технологического анализа чертежа делается заключение о возможности для данной конструкции изделия применить технологические процессы, обеспечивающие выполнение заданной программы выпуска, установленного качества в установленных условиях производства.

Определение типа производства. Уточнение критериев оптимизации. Тип производства определяется с помощью так называемого «коэффициента закрепления операций» в соответствии с ГОСТ 3.1121—84. Полученные данные о типе производства позволяют более обоснованно подходить к выбору организационной формы сборки, формулировать требования к сборочному оборудованию и технологической оснастке.

В этом же этапе производится выбор (или уточнение) критериев оптимизации проектируемого технологического процесса.

Составление схемы сборки изделия. Схема сборки изделия представляет собой графическое изображение в виде условных обозначений последовательности сборки изделия из отдельных составных частей: деталей и сборочных единиц. 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. п.).

Различают сборочные единицы конструктивные, технологические и конструктивно-технологические. Если сборочная единица выполняет в изделии определенную функцию (как, например, компрессор, турбина и т. п.), то она носит название конструктивной, независимо от того, позволяет ли конструкция этой единицы собрать ее самостоятельно, независимо от других единиц. Сборочная единица, обеспечивающая возможность сборки

независимо от других сборочных единиц, носит название технологической сборочной единицы. Если конструктивная сборочная единица удовлетворяет еще и условию самостоятельной, независимой сборки, она получает название конструктивно-технологической. Конструкция изделия, обеспечивающая расчленение его на конструктивно-технологические сборочные единицы, отвечает одному из основных требований технологичности конструкции.

Составление схемы сборки — один из важных этапов проектирования технологического процесса. Схема создает основу для последующего выбора состава и последовательности выполнения сборочных операций, а также дает наглядное представление о формировании изделия из отдельных деталей и сборочных единиц. Схема сборки дает информацию о возможности параллельного проектирования техпроцессов на отдельные сборочные единицы, которые устанавливаются при общей сборке изделия обособленно, независимо друг от друга.

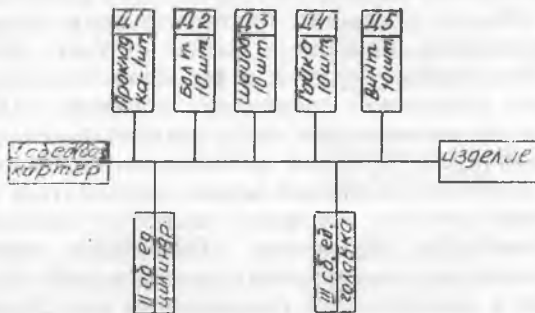
Построению схемы сборки предшествует большая работа по анализу различных вариантов схем членения изделия, схем сопряжения, схем базирования, выбора целесообразных методов достижения точности сборочных параметров, проверки возможности доступа к местам осуществления соединений на всех этапах сборки изделия, возможности проведения контроля качества сборки и т. п. То есть составленная схема сборки — это результат оптимизации большого количества вариантов решений технического и экономического порядка. Помощь в этом анализе и оптимизации может оказать ЭВМ.

При составлении схемы сборки большое значение имеет выбор базовой детали или базовой сборочной единицы, с которой начинается сборка изделия и относительно которой ориентируются другие составные части изделия. В качестве базовой обычно выбирается сборочная единица или деталь, имеющая для связи со сборочным приспособлением достаточную жесткость, прочность и точные поверхности и позволяющая выполнять большое число операций без смены этих связей.

Для сложных изделий целесообразно строить схему в два этапа. Вначале составляется схема общей сборки изделия, а затем схемы узловой сборки составных частей изделия.

На первом этапе построения схемы (рис. 1.1) в промежутке между прямоугольниками с обозначениями базовой сборочной единицы и изделия наносится горизонтальная линия. Снизу к этой линии последовательно наносят прямоугольники с обозначением сборочных единиц первого порядка, непосредственно входящих в состав изделия, а сверху — прямоугольники с обозначениями деталей, устанавливаемых при общей сборке.

Первый этап построения схемы



Второй этап построения схемы

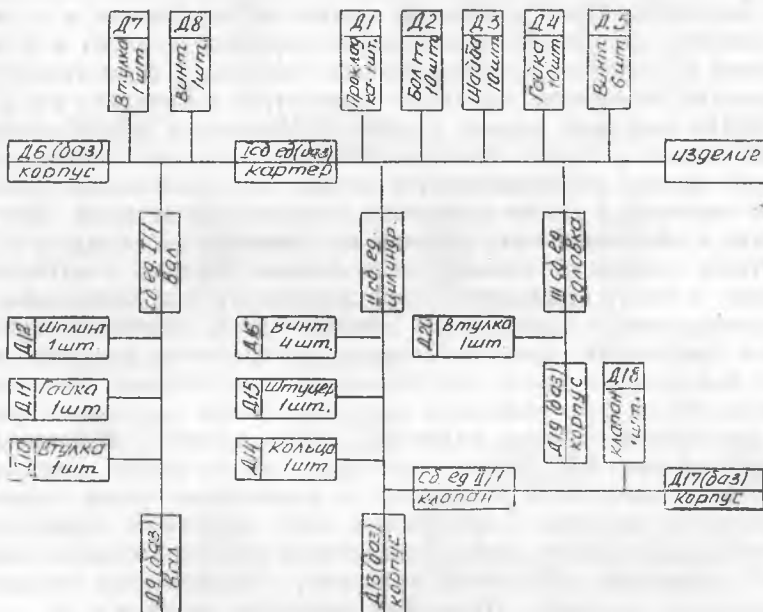


Рис. 1.1. Последовательность построения схемы сборки изделия

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

Определение состава и последовательности выполнения операций. Сборочной операцией (согласно ГОСТ 3.1109—82) называется законченная часть технологического процесса сборки, выполняемая на одном рабочем месте. Операция над изделием или сборочной единицей может выполняться одним рабочим или группой рабочих. Операция включает несколько переходов.

Переходом называется законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, соединяемых при сборке (то есть поверхностей, образующих одно соединение).

Технологический процесс сборки обычно включает три характерные группы операций: подготовительные (комплектование, расконсервация, промывка, сушка, маркирование и т. п.), сборочные (связанные с процессом соединения деталей) и контрольные по оценке качества сборки (контроль герметичности соединений, измерение выходных параметров устройства и т. д.).

Состав операций второй группы определяется ранее составленной схемой сборки. Необходимость в операции первой или третьей группы устанавливается исходя из технических требований чертежа, а также состояния поверхности деталей, поступающих в сборочный цех, условий их хранения на складе и т. п.

Чтобы облегчить процесс определения состава подготовительных и контрольных операций, рекомендуется использовать уже составленную ранее схему сборки. После изучения технических требований, предъявляемых к собираемому изделию, на схеме выбираются точки, где эти требования должны быть выполнены, после чего наносится выносная линия с соответствующим указанием. Пример нанесения таких линий с указаниями показан на рис. 1.2. Далее, анализируя объем работ, который необходимо выполнить в каждой из отмеченных точек схемы, принимается решение о включении либо отдельных переходов в сборочные операции, либо о выделении самостоятельных операций, например: «Прокачка каналов», «Определение посадок в соединении деталей», «Проверка соосности опор» и т. д.

При определении состава 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 име-

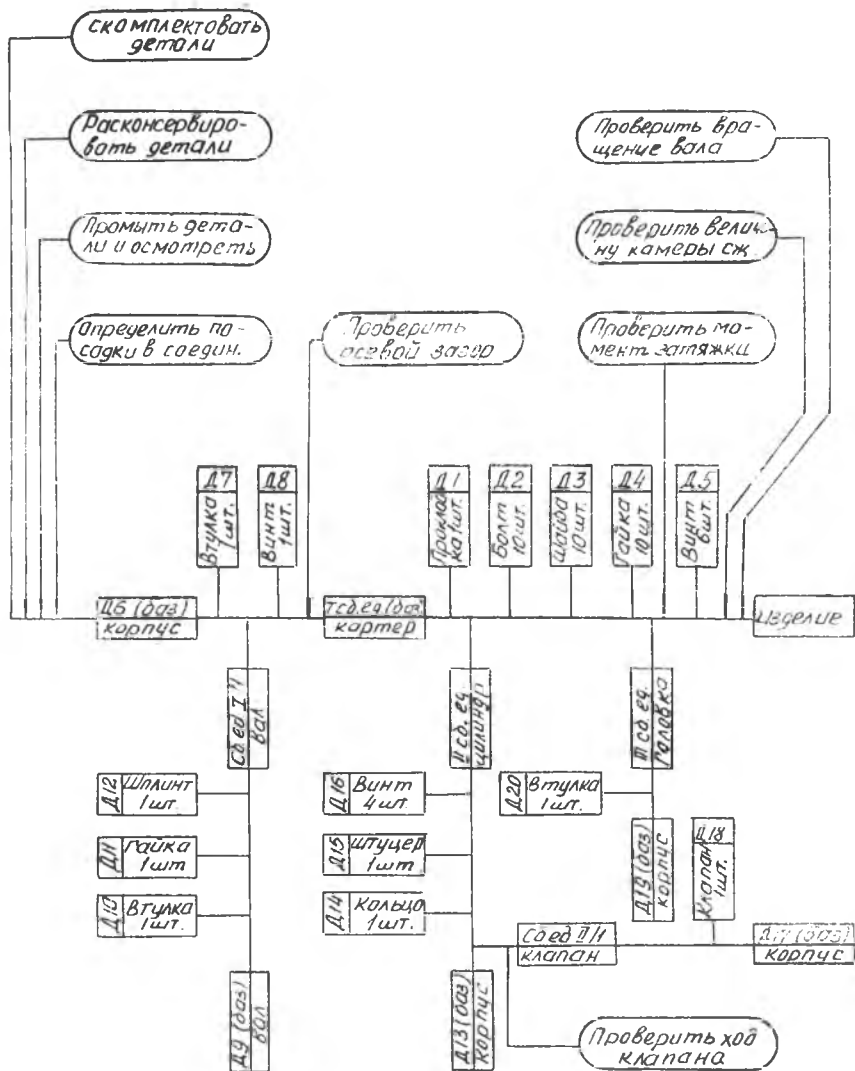


Рис. 1.2. Пример оформления схемы сборки изделия вместе с технологическими указаниями

ют в виду то, что предшествующие операции не должны затруднять выполнение последующих.

После определения состава и последовательности выполнения операций оформляется маршрутная карта с присвоением каждой операции соответствующего порядкового номера.

Выбор сборочного оборудования и технологической оснастки. Каждая операция технологического процесса оснащается необходимым оборудованием, приспособлениями и инструментом. Выбор оборудования и оснастки проводится исходя из условия обеспечения заданной точности сборки, а также получения высоких технико-экономических показателей работы. При этом стремятся максимально использовать стандартное или нормализованное оборудование, приспособления и инструмент. В случае необходимости применяют специальную технологическую оснастку и оборудование. Номенклатура выбранного оборудования и оснастки вносится в соответствующие графы маршрутной карты.

Назначение технических требований к сборке. При назначении технических требований к сборке за основу берутся 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 принятых методов сборки.

Выбор методов и средств контроля качества сборки. При выполнении этого этапа проектирования технологического процесса выбирают такие методы и средства контроля качества сборки, которые позволяют получить наиболее доступными и производительными способами достоверные данные о величинах сборочных параметров.

Оформление технологической документации. На разработанный технологический процесс сборки оформляется техническая документация в виде маршрутной карты, операционных карт, карт эскизов, карт контроля. Формы этих карт должны соответствовать ГОСТам ЕСТД.

В операционной карте записывается наименование операции и содержание переходов. Против каждого перехода указывается шифр и наименование используемых приспособлений и инструмента. Сборочное оборудование заносится в отдельную графу операционной карты. Название операции дается кратким в повествовательной форме. Переходы записываются в повелительной форме. В конце операционной карты записываются технические требования к операции.

В карте эскизов изображается сборочная единица или ее часть, подлежащая сборке в данной операции.

1.2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью лабораторного эксперимента является определение характера влияния конструктивных свойств собираемого изделия на характеристики технологического процесса сборки (т. е. состав и последовательность выполнения операций).

В соответствии с поставленной целью в эксперименте решаются следующие задачи:

оценка влияния конструкции собираемого изделия (сборочной единицы) и технических требований на состав и последовательность сборочных операций;

оценка влияния выбранной базовой сборочной единицы на характеристики технологического процесса сборки;

приобретение навыков проектирования технологического процесса сборки для типовой сборочной единицы.

1.3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

При выполнении лабораторного эксперимента студентам выдается задание спроектировать технологический процесс сборки для конкретной типовой сборочной единицы. В качестве объекта сборки выбираются несложные сборочные единицы типа гидронасоса, воздушного редуктора, клапана и т. п. При этом прилагаются: сборочный чертеж, описание конструкции и технические требования на сборку. Используя полученную техническую документацию, студенты проводят технологический анализ чертежа. Для более глубокого изучения конструкции студенты проводят разборку сборочной единицы в соответствии с имеющейся операционной картой разборки.

При составлении схемы сборки вначале студенты намечают несколько вариантов схем с выбором различных базовых деталей. Каждый из намеченных вариантов анализируется с точки зрения выполнения заданных технических требований, удобства сборки, номенклатуры применяемого оборудования и технологической оснастки. После обоснования наиболее целесообразного варианта схемы она изображается в отчете. Далее на составленной схеме сборки в соответствующих точках вносятся технологические указания о выполнении работ, связанных с подготовкой детали к сборке и контролю сборочных параметров (пример показан на рис. 1.2).

На основе составленной схемы сборки формируется состав операций и определяется их последовательность с последующим оформлением маршрутной карты.

Для сборочных операций оформляются операционные карты сборки, в которых указываются необходимое оборудование и

технологическая оснастка, а также назначаются технические требования к операции.

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

1.4. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть даны схема сборки, результаты контрольных измерений, проводимых в процессе сборки, и заключение о соответствии сборочных параметров требованиям чертежа. К отчету должны быть приложены маршрутная карта сборки и операционные карты сборки.

1.5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что понимается под технологическим процессом сборки? Какие основные операции характеризуют технологический процесс сборки?

2. Какова последовательность проектирования технологического процесса сборки?

3. Какие задачи решаются на этапе технологического анализа чертежа?

4. В чем отличие конструктивной, технологической и конструктивно-технологической сборочной единицы?

5. Что такое схема сборки? Каково назначение схемы сборки? Какова последовательность составления схемы сборки?

6. Из каких основных групп операций состоит технологический процесс сборки изделия? Какими исходными данными руководствуются при выборе групп операций и отдельных операций сборки?

7. Какие технические требования предъявляются к сборке заданного изделия (сборочной единицы) при выполнении лабораторного эксперимента?

8. Какие характеристики положены в основу при обосновании выбранного варианта схемы сборки для заданной сборочной единицы?

9. Каким способом контролируются сборочные параметры при сборке заданной сборочной единицы?

10. Какие ваши предложения о возможных вариантах контроля сборочных параметров и способах обеспечения заданной точности сборочных параметров?

1.6. ПЕРЕЧЕНЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

Приспособления:

подставка для сборки;
приспособление для удержания вала от вращения.

Сборочный инструмент:

ключи специальные (комплект);
ключи плоские $S = 9, 10, 11$;
ключи торцовые $S = 9, 10, 11$.

Мерительный инструмент:

микрометр 0...25 мм;
нутромер индикаторный 10...25 мм;
комплект колец для настройки индикаторных часов нутро-
мера;
глубиномер индикаторный;
щуп наборный.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ДЛЯ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ С ВЕКТОРНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В конструкции многих роторов и статоров двигателей летательных аппаратов предусматривается наличие одного или нескольких поперечных технологических разъемов, обеспечивающих возможность сборки этих единиц из отдельных составных частей (т. е. рабочих колес для ротора или отдельных корпусов для статора). Определенность расположения составных частей относительно друг друга в этом случае достигается за счет использования одной или нескольких базовых поверхностей. В зависимости от совокупности базовых поверхностей имеются следующие способы взаимного базирования (центрирования) составных частей: с помощью цилиндрических, конических и шлицевых поверхностей, радиальных штифтов (или шпонок), призматических болтов (или штифтов).

Наличие технологического разъема в сборочной единице является источником возникновения погрешности базирования (центрирования) составных частей, которая приводит, в конечном итоге, к появлению погрешности расположения поверхностей вращения относительно конструкторских баз сборочной еди-

ницы. К числу этих погрешностей относится отклонение от соосности двух или нескольких поверхностей вращения, радиальное биение поверхностей относительно базовой оси и т. п.

Получающаяся при сборке погрешность расположения поверхностей вращения приводит к неравномерному распределению радиального зазора в уплотнениях, появлению дисбаланса ротора и другим дефектам. Поэтому в сборочных чертежах для погрешностей расположения поверхностей вращения устанавливаются допустимые нормы, которые и определяют характеристики точности выполнения сборочного параметра.

С целью обеспечения заданной точности расположения поверхностей при проектировании технологического процесса сборки проводятся точностные расчеты с применением размерных цепей. Следует отметить, что в этом случае используются размерные цепи с векторными звеньями. Отличительная особенность векторных звеньев от линейных (скалярных) состоит в том, что каждое звено изменяется как по величине, так и по направлению. Наличие в характеристике каждого звена двух переменных величин приводит к тому, что закономерность распределения размера замыкающего звена в размерной цепи с векторными звеньями значительно отличается от той, которая имеется в размерных цепях с линейными звеньями. Поэтому возникает необходимость более подробного ознакомления с особенностями расчета таких цепей.

Рассмотрим пример определения погрешности расположения одной из поверхностей вращения относительно базовой оси при сборке ротора одноступенчатой турбины, схема которого показана на рис. 2.1,а. Ротор вращается в опорах А и Б. Поэтому за базовую ось ротора можно принять ось 0—0 вращения ро-

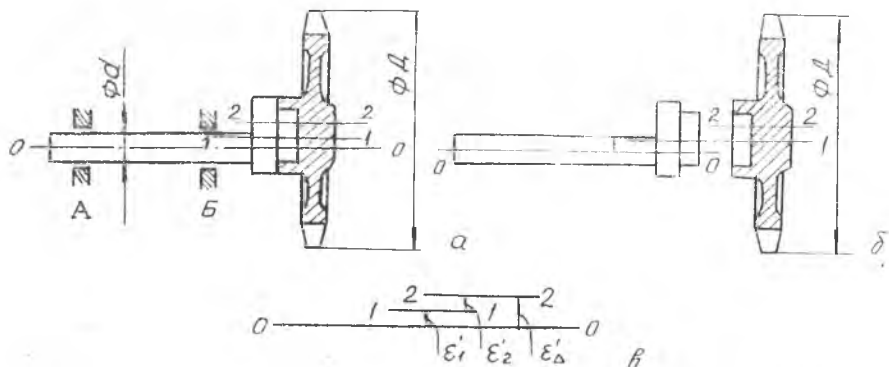


Рис. 2.1. Схема определения суммарной погрешности расположения осей поверхностей вращения для ротора турбины

тора, совпадающую с осью поверхности $\varnothing d$ вала. Центрирование рабочего колеса относительно вала производится с помощью цилиндрического пояска вала и расточки в диске рабочего колеса. Предположим, что диск и вал соединяются между собой по посадке, исключающей наличие зазора в соединении. Одним из основных требований, предъявляемых к сборке ротора, является установление жесткого допуска на смещение оси поверхности $\varnothing D$ рабочего колеса относительно оси 0—0. Анализ конструктивной схемы ротора показывает, что величина смещения осей зависит от погрешностей ε_1' и ε_2' , где ε_1' — действительное значение погрешности расположения оси 1—1 поверхности центрирующего пояска вала относительно оси 0—0 (рис. 2.1,б); ε_2' — действительное значение погрешности расположения оси 2—2 поверхности $\varnothing D$ рабочего колеса относительно оси центрирующей расточки в диске рабочего колеса.

На рис. 2.1,в приведена схема суммирования этих погрешностей. Если предположить, что направление погрешностей ε_1' и ε_2' совпадает, то суммарное смещение ε_{Δ}' оси 2—2 относительно оси 0—0 будет равно арифметической сумме составляющих погрешностей, т. е.

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

Если обозначить наибольшую допустимую величину составляющих погрешностей как ε_1 и ε_2 , то наибольшая суммарная погрешность расположения осей поверхностей при сборке ротора составит

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

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 в виде размерной цепи может быть представлена следующим образом (рис. 2.2): 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 $(0 \dots 2\pi)$ относительно неподвижной прямой OX , взятой в плоскости расположения этих векторов. Величина (модуль) каждого из этих векторов либо постоянна, либо распределена с произвольной плотностью.

Из рис. 1.2 видно, что вектор замыкающего звена размерной цепи равен

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

Кроме того, модуль вектора замыкающего звена размерной цепи 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 модуль вектора замыкающего звена определяется из следующего равенства:

$$\varepsilon_{\Delta} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 - 2 \varepsilon_1 \varepsilon_2 \cdot \cos \gamma}. \quad (1)$$

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

Для большого числа независимых случайных векторов схема размерной цепи может быть представлена следующим образом (рис. 2.3). Дано $n-1$ независимых случайных вектора: $\varepsilon_1 = (\varepsilon_1', \varphi_1')$; $\varepsilon_2 = (\varepsilon_2', \varphi_2')$; ...; $\varepsilon_{n-1} = (\varepsilon_{n-1}', \varphi_{n-1}')$. Углы φ_i распределены произвольно в интервале $0 \dots 2\pi$ относительно неподвижной прямой OX , взятой в плоскости расположения этих векторов. Величина каждого вектора либо постоянна, либо распределена с произвольной плотностью в поле рассеивания.

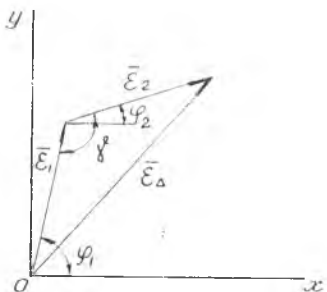


Рис. 2.2. Схема суммирования двух независимых случайных векторов

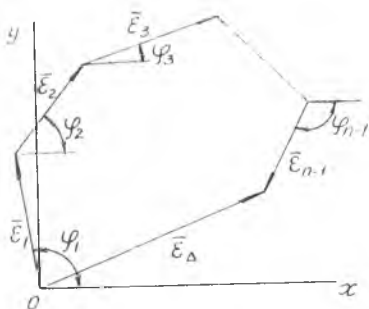


Рис. 2.3. Схема размерной цепи с n -векторными звеньями

Наибольшее (предельное) значение модуля вектора замыкающего звена размерной цепи, т. е. величина его поля рассеивания при расчете методом «максимум—минимум» равна

$$\varepsilon_{\Delta(\text{макс-мин})} = \sum_{i=1}^{n-1} \varepsilon_i, \quad (2)$$

где ε_i — наибольшее значение модуля вектора составляющего звена размерной цепи (величина поля рассеивания).

Для определения поля рассеивания модуля вектора замыкающего звена размерной цепи ε_{Δ} на базе теории вероятностей необходимо знать график плотности распределения этого звена

В границах поля. Теоретические исследования, проведенные по данной проблеме [6], показывают, что для приведенной схемы размерной цепи с векторными звеньями при условии, что $n \rightarrow \infty$, векторы составляющих звеньев случайны по модулю, среди них нет доминирующих, а углы распределены равномерно в пределах $0 \dots 2\pi$, график плотности распределения модуля вектора замыкающего звена ε_{Δ} приближается к теоретическому закону Релея с плотностью вероятностей, определяемой выражением

$$\varphi(\varepsilon_{\Delta}) = \frac{\varepsilon_{\Delta}}{\sigma_{\varepsilon}^2} e^{-\frac{\varepsilon_{\Delta}^2}{2\sigma_{\varepsilon}^2}}, \quad (3)$$

где σ_{ε} — параметр закона распределения.

Плотность распределения вероятностей для закона Релея описывается кривой, показанной на рис. 2.4. Из рисунка следует, что кривая располагается только вправо от начала координат и асимметрична по форме. Благодаря тому, что на конечном участке кривая асимптотически приближается к оси абсцисс, вероятность появления модуля вектора замыкающего звена, равного наибольшему предельному значению $\varepsilon_{\Delta} = \sum \varepsilon_i$, очень мала. Поэтому за предельное значение поля рассеивания $\varepsilon_{\Delta(\text{вер})}$ может быть принята

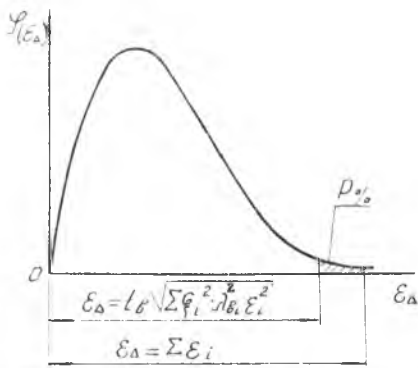


Рис. 2.4. Форма кривой плотности распределения вероятностей для закона Релея

величина меньшая, чем $\varepsilon_{\Delta} = \sum \varepsilon_i$, если в качестве допустимой принять величину риска $P\%$ выхода модуля вектора замыкающего звена за установленные границы поля. Отсюда следует, что при определении поля рассеивания модуля вектора замыкающего звена вероятностным способом верхняя граница этого поля не имеет постоянного значения, так как эта граница зависит от принятого процента риска P . Формула, устанавливающая связь между величиной ε_{Δ} поля рассеивания модуля вектора замыкающего звена размерной цепи, принятым процентом риска P и величинами ε_i полей рассеивания составляющих звеньев цепи, может быть записана:

$$\varepsilon_{\Delta(\text{вер})} = t_B \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \xi_i^2 \lambda_{вi}^2 \varepsilon_i^2}, \quad (4)$$

где t_b — коэффициент риска, функционально связанный с процентом риска [$t_b = f(P)$] (например, при $P = 0,15\%$ $t_b = 3,6$; при $P = 0,5\%$, $t_b = 3,25$);

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

λ_{bi} — коэффициент относительного рассеивания модуля вектора составляющего звена размерной цепи, зависящий от закона распределения модуля этого звена. Если график плотности распределения для звена e_i соответствует закону Релея, то $\lambda_{bi}^2 = 1/13$; для закона Гаусса $\lambda_{bi}^2 = 1/7$; для закона равной вероятности $\lambda_{bi}^2 = 1/6$.

Следует иметь в виду, что при сборке одного и того же изделия распределение компонентов модуля вектора каждого составляющего звена размерной цепи может принимать различный характер в зависимости от стадии сборки (первая сборка, переборка изделия и т. п.). Ниже рассматриваются два характерных варианта:

1. При серийной сборке новых изделий чаще всего имеет место следующий вариант: векторы составляющих звеньев случайны по модулю и по углу взаимного расположения. Тогда график плотности распределения модуля вектора замыкающего звена цепи будет приближаться к кривой закона Релея, начиная уже с двух составляющих звеньев.

2. При повторной переборке одного и того же изделия (сборочной единицы) векторы составляющих звеньев размерной цепи будут постоянны по модулю и случайны по углу взаимного расположения. В этом случае форма кривой плотности распределения модуля вектора замыкающего звена будет в значительной мере зависеть от количества составляющих звеньев размерной цепи. Как показывают результаты исследований, при числе составляющих звеньев три и более график плотности распределения модуля вектора замыкающего звена будет приближаться к закону Релея тем сильнее, чем больше количество составляющих звеньев. Однако если число составляющих звеньев равно двум, то при постоянных значениях модулей e_1 и e_2 этих звеньев кривая плотности распределения модуля вектора замыкающего звена резко отличается от кривой закона Релея и будет располагаться 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 $\gamma = \pi$. Формула для плотности распределения модуля вектора замыкающего звена имеет вид:

$$\varphi(\varepsilon_\Delta) = 0 \quad (5)$$

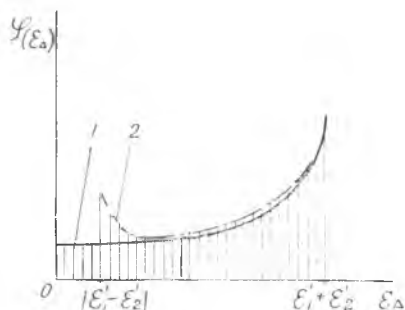
при $\varepsilon_\Delta < |\varepsilon_1 - \varepsilon_2|$; $\varepsilon_\Delta > \varepsilon_1 + \varepsilon_2$;

$$\Gamma(\varepsilon_{\Delta}) = \frac{2 \varepsilon_{\Delta}}{\pi \sqrt{4 \varepsilon_1^2 \cdot \varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2 + (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_{\Delta}^2)^2}} \quad (6)$$

при $|\varepsilon_1 - \varepsilon_2| \leq \varepsilon_{\Delta} \leq \varepsilon_1 + \varepsilon_2$.

График плотности распределения модуля вектора замыкающего звена размерной цепи для этого случая показан на рис. 2.5.

Рис. 2.5. График плотности распределения вероятностей модуля суммы двух векторов, случайных по углу взаимного расположения и постоянных по модулю:
1 — $a_1 = a_2$; 2 — $a_1 \neq a_2$



2.2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью лабораторного эксперимента является проверка закономерности распределения модуля вектора замыкающего звена размерной цепи в зависимости от различных конструктивно-технологических факторов.

В соответствии с поставленной целью в эксперименте решаются следующие задачи:

выявление влияния количества составляющих звеньев (с постоянными значениями модулей) на закономерность распределения модуля вектора замыкающего звена размерной цепи;

оценка эффективности суммирования векторов составляющих звеньев в размерной цепи в зависимости от количества составляющих звеньев;

приобретение навыков проведения исследований в области технологии сборки двигателей.

2.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА. КОНСТРУКЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ ОСНАСТКИ

Сущность лабораторного эксперимента состоит в том, что проверка закономерности распределения модуля вектора замыкающего звена размерной цепи производится по результатам многократной сборки модели сборочной единицы—ротора, имею-

щего последовательно соединенные друг с другом детали. При выполнении эксперимента одновременно моделируются и производственные условия сборки, обеспечивающие случайность сочетания направления погрешностей радиального расположения поверхностей деталей относительно друг друга.

Конструкция модели сборочной единицы показана на рис. 2.6. Модель состоит из вала с конусной поверхностью и фланцем для крепления его к шпинделю приспособления и комплекта сменных колец 2, 3, 4, 5, 6, также имеющих внутреннюю и наружную коническую поверхность, обеспечивающую беззазорное соединение деталей при сборке.

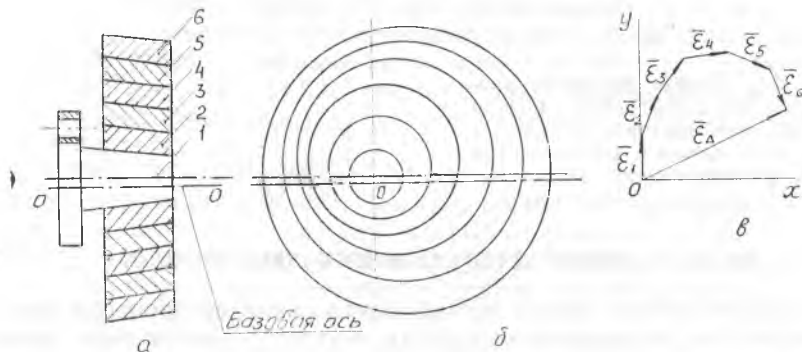


Рис. 2.6. Схема модели сборочной единицы

Все детали модели сборочной единицы имеют специально созданную погрешность радиального расположения поверхностей вращения. С этой целью в каждом кольце наружная коническая поверхность кольца выполнена со смещением ее оси относительно оси внутренней поверхности, принимаемой за базовую. Ось конической поверхности вала также смещается на определенную величину относительно базовой оси $0-0$ шпинделя, на котором устанавливается модель.

Таким образом, после сборки модели сборочной единицы все погрешности радиального расположения поверхностей вращения деталей образуют в совокупности систему погрешностей, которую можно представить в виде размерной цепи (рис. 2.6, в). Каждое составляющее звено этой цепи представляет собой вектор $\bar{\varepsilon}_i$, характеризуемый модулем и направлением относительно выбранной системы координат. Замыкающее звено цепи $\bar{\varepsilon}_\Delta$ представляет собой вектор суммарного смещения оси наружной поверхности внешнего кольца модели сборочной единицы относительно базовой оси (оси вращения).

В процессе выполнения эксперимента величина модуля вектора замыкающего звена цепи непосредственно определяется путем измерения радиального биения наружной поверхности внешнего кольца (при вращении модели сборочной единицы) относительно базовой оси. Измеренная величина радиального биения составляет $2\epsilon_{\Delta}$. Путем многократной сборки модели сборочной единицы с различным сочетанием направления векторов составляющих звеньев и измерения величины вектора замыкающего звена получают экспериментальные данные для последующего построения графика плотности распределения модуля вектора замыкающего звена. Количество составляющих звеньев в размерной цепи варьируется за счет изменения количества деталей (колец) при сборке модели сборочной единицы.

Кроме модели сборочной единицы для проведения лабораторного эксперимента используется приспособление, внешний вид которого показан на рис. 2.7. Приспособление состоит из шпиндельной головки 1, закрепленной на кронштейне 2. В кор-

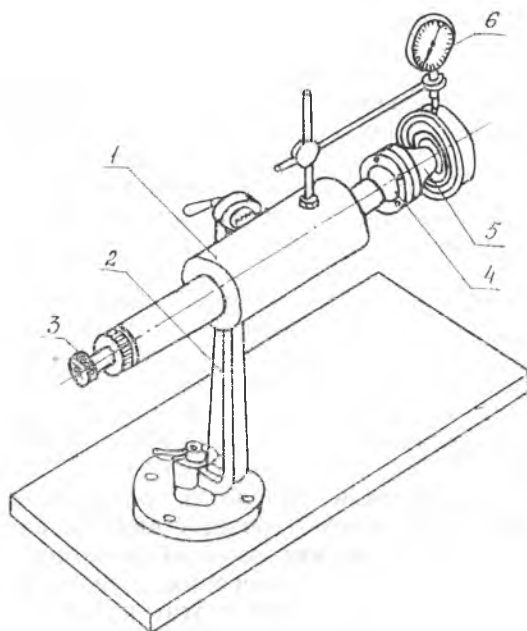


Рис. 2.7. Схема приспособления для проведения лабораторного эксперимента

пуге шпиндельной головки на точных шариковых подшипниках вращается шпиндель. На его левом конце закрепляется рукоятка 3, обеспечивающая удобство вращения шпинделя от руки. Правый конец шпинделя заканчивается фланцем 4, к которому с помощью трех винтов крепится фланец вала модели сборочной единицы 5. Необходимое радиальное смещение оси конической поверхности вала относительно оси шпинделя достигается перемещением фланца вала относительно фланца шпинделя вследствие зазора между отверстиями фланца и винтами.

Измерение радиального биения наружной поверхности внешнего кольца модели сборочной единицы производится с помощью индикаторных часов 6, закрепленных с помощью державки на корпусе шпиндельной головки. Такая схема крепления индикаторных часов позволяет устранить влияние возможных погрешностей, возникающих от упругих деформаций кронштейна и других элементов приспособления в ходе проведения эксперимента.

2.4. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

Лабораторный эксперимент производится в следующей последовательности:

1. Установить вал модели сборочной единицы на фланец шпинделя приспособления так, чтобы радиальное биение конической поверхности вала составляло $2 \varepsilon_1 = 0,2$ мм, после чего закрепить вал окончательно тремя винтами.

2. Подобрать комплект из пяти колец для модели сборочной единицы 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 вала модели сборочной единицы.

4. Замерить величину радиального биения наружной поверхности установленного кольца. Измеренная величина радиального биения представляет собой удвоенную величину ($2 \varepsilon_\Delta$) модуля суммарного вектора в размерной цепи из двух составляющих векторов.

5. Занести полученный результат радиального биения в табл. 2.1 отчета. Для этого в соответствии со значением радиального биения в начале нужно определить номер интервала, в который попадает результат измерения, а затем зафиксировать попадание результата измерения в этот интервал постановкой цифры «1» в графе частот.

6. Снять кольцо с конической поверхности вала, положить его на вращающийся круг и дать возможность повернуться коль-

Таблица 2.1

Номер 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— —0,28	0,24— —0,28	0,28— —0,32	0,32— —0,36	0,36— —0,40
Частоты m_i	1+1+ +1	1+1+ +1+1								
	$m_1=3$	$m_2=4$	$m_3=$	$m_4=$	$m_5=$	$m_6=$	$m_7=$	$m_8=$	$m_9=$	$m_{10}=$
Частоты m_i/N	0,06	0,08								

Таблица 2.2

Номер 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	$m_1=$	$m_2=$	$m_3=$	$m_4=$	$m_5=$	$m_6=$	$m_7=$	$m_8=$	$m_9=$	$m_{10}=$
Частоты m_i/N										

Таблица 2.3.

Номер 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	$m_1 =$	$m_2 =$	$m_3 =$	$m_4 =$	$m_5 =$	$m_6 =$	$m_7 =$	$m_8 =$	$m_9 =$	$m_{10} =$
Частоты m_i/N										

цу на произвольное число оборотов (от двух до десяти) с целью создания элемента случайности в относительном угловом положении кольца при последующей постановке.

7. Взять кольцо с вращающегося круга, вновь установить его на коническую поверхность вала и измерить радиальное биение по наружной поверхности кольца с последующим занесением результата измерения в табл. 2.1 отчета.

8. Повторить работу по пп. 6 и 7 до получения измерений, равных 50.

9. Подсчитать в табл. 2.1 отчета частоту попаданий величин радиального биения в каждый интервал, т. е. m_1 , m_2 , m_3 и т. д.

10. Пользуясь данной методикой, повторить эксперимент для следующего количества составляющих векторов:

$$2 \bar{\epsilon}'_{\Delta} = 2 \bar{\epsilon}'_1 + 2 \bar{\epsilon}'_2 + 2 \bar{\epsilon}'_3 + 2 \bar{\epsilon}'_4;$$

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

При проведении этих работ необходимо стремиться к тому, чтобы в относительное угловое положение векторов ϵ_i колец при каждом новом их взаимном сочетании всегда вносился элемент случайности. Результаты измерения заносить в табл. 2.2 и 2.3 отчета.

11. По полученным значениям частот в отчете построить графики плотности распределения модуля вектора замыкающего звена для двух, четырех и шести составляющих векторов.

12. На основе данных, полученных из табл. 2.1, 2.2, 2.3, и графиков оценить эффективность суммирования векторов составляющих звеньев в размерной цепи путем определения риска $P\%$ выхода модуля вектора замыкающего звена за пределы поля, равного $0,8 \sum \varepsilon_i$, по формуле

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

2.5. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть указаны результаты проведенных экспериментов по форме табл. 2.1, 2.2, 2.3; построены графики плотности распределения модуля вектора замыкающего звена размерной цепи; определена величина риска $P\%$ за пределами поля рассеивания, равного $0,8 \sum \varepsilon_i$ для разного количества составляющих звеньев цепи; сделан вывод об эффективности суммирования модулей векторов составляющих звеньев при разном их количестве.

2.6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие можно привести примеры конструкций сборочных единиц, для которых требуется определять погрешности расположения поверхностей вращения?

2. В чем отличие сборочных размерных цепей с векторными звеньями от цепей с линейными (скалярными) звеньями?

3. Каков общий вид схемы сборочной размерной цепи для большого числа независимых случайных составляющих векторов-звеньев?

4. Из каких предположений составляется расчетная формула для определения предельного значения поля рассеивания модуля вектора замыкающего звена размерной цепи при расчете по методу «максимум—минимум»?

5. К какому теоретическому закону приближается кривая плотности распределения модуля вектора замыкающего звена размерной цепи? При каких условиях имеет место такая закономерность?

6. Какая расчетная формула используется для определения величины поля рассеивания модуля вектора замыкающего звена размерной цепи при расчете вероятностным методом? Какие величины входят в расчетную формулу?

7. В чем отличие графика плотности распределения модуля вектора замыкающего звена размерной цепи для двух и более двух составляющих звеньев с постоянными значениями модулей векторов?

8. Каковы задачи лабораторного эксперимента?
9. Какова методика лабораторного эксперимента?
10. Каким образом оценивается эффективность суммирования векторов составляющих звеньев размерной цепи?
11. Какие выводы можно сделать по эффективности суммирования векторов составляющих звеньев цепи с увеличением их количества?
12. Какие ваши предложения по изменению методики проведения лабораторного эксперимента по проверке закономерности распределения модуля вектора замыкающего звена размерной цепи с векторными звеньями?

2.7. ПЕРЕЧЕНЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

1. Плита с подставкой.
2. Шпиндельная головка с кронштейном.
3. Модель сборочной единицы (ротора).
4. Индикаторные часы.

3. СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ УСИЛИЯ ЗАТЯЖКИ ПРИ СБОРКЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Практика эксплуатации двигателей летательных аппаратов и других машин показывает, что одной из основных причин разрушения резьбовых соединений является значительное отклонение усилия затяжки болтов, винтов и шпилек от оптимального значения, обеспечивающего их нормальную работу. Это вызвано тем, что создание необходимого усилия затяжки резьбового соединения связано с трудностью контроля этого усилия при сборке. Поэтому возникает необходимость в оценке точностных и других технологических характеристик применяемых способов контроля усилия затяжки резьбовых соединений. Это позволит более обоснованно подходить к выбору того или иного способа контроля исходя из конструктивно-технологических факторов резьбового соединения.

В настоящее время в условиях производства получили наибольшее распространение три способа контроля усилия затяжки резьбового соединения: по величине крутящего момента, создаваемого ключом; по величине угла поворота гайки или винта; по величине удлинения болта или шпильки.

Все эти способы косвенные. Поэтому контролируемый при затяжке крутящий момент, угол поворота гайки или удлинение болта имеют функциональную связь с усилием затяжки.

Затяжка с контролем величины крутящего момента

Такой способ затяжки осуществляется с помощью предельных или динамометрических ключей, которые позволяют обеспечить необходимый момент затяжки ($M_{\text{зат}}$). Этот момент может быть выражен в виде суммы трех составляющих:

$$M_{\text{зат}} = M_1 + M_2 + M_3, \quad (8)$$

где M_1 — момент, необходимый для создания растягивающих напряжений в болте;

M_2 — момент трения в резьбе;

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

Сумма моментов $M_1 + M_2$ определяется по следующей зависимости:

$$M_1 + M_2 = Q_3 \frac{d_2}{2} \left(\frac{p}{\pi d_2} + f'_p \right) \quad (9)$$

где Q_3 — усилие затяжки резьбового соединения;

d_2 — средний диаметр резьбы;

p — шаг резьбы;

f'_p — приведенный коэффициент трения в резьбе. Он определяется из равенства

$$f'_p = \frac{f_p}{\cos d/2}, \quad (10)$$

где f_p — коэффициент трения для плоских трущихся поверхностей.

Для метрической резьбы угол профиля $\alpha = 60^\circ$, поэтому

$$f'_p = 1,15 f_p.$$

Момент M_3 выражается зависимостью

$$M_3 = Q_3 f_T R_T, \quad (11)$$

где f_T — коэффициент трения по торцу гайки;

R_T — средний радиус трения торцевой поверхности гайки.

Принимая приближенно $R_T = 1/4 (D + d_0)$, получим

$$M_3 = 0,25 Q_3 f_T (D + d_0), \quad (12)$$

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

Таким образом, согласно (8) суммарный момент затяжки будет

$$M_{\text{зат}} = Q_3 \left[\frac{d_2}{2} \left(\frac{p}{\pi d_2} + 1,15 f_p \right) + 0,25 f_T (D + d_0) \right]. \quad (13)$$

Формула (13) свидетельствует о наличии функциональной связи $M_{\text{зат}} = f_1(Q_3)$ или $Q_3 = f_2(M_{\text{зат}})$. Однако, как показывают исследования [5], зависимость $M_{\text{зат}} = f_1(Q_3)$ не является достаточно устойчивой, что приводит к погрешности усилия затяжки до 25%. Это объясняется главным образом большим рассеиванием значений коэффициентов трения f_p и f_t , которые в реальных резьбовых соединениях могут изменяться в пределах от 0,05 до 0,5. Наибольшее влияние на коэффициенты трения оказывают род материала сопрягаемых деталей, шероховатость поверхностей сопряжения, сорт смазки и вид антикоррозионного покрытия (оксидирование, цинкование, кадмирование, серебрение, омеднение и др.). Поэтому достоверность определения необходимого крутящего момента (точность рассматриваемого способа контроля усилия затяжки) будет зависеть от того, насколько принятые для расчета коэффициенты трения соответствуют их действительным значениям. Повысить точность данного способа возможно за счет экспериментального определения коэффициентов трения с учетом всех конструктивно-технологических особенностей конкретного вида резьбового соединения и принятия мер к стабилизации коэффициентов трения в более узком диапазоне рассеивания.

К преимуществам рассматриваемого способа можно отнести: большую производительность, простоту выполнения и возможность механизации процесса затяжки с помощью пневмо- и электрогайковертов, имеющих устройства для контроля момента. К числу преимуществ этого способа следует отнести также независимость $M_{\text{зат}}$ от длины резьбового соединения (13).

Затяжка с контролем угла поворота гайки

Данный способ затяжки выполняется в следующем порядке: с помощью обычного ключа гайка затягивается (с целью обмятия микронеровностей на контактных поверхностях), после чего гайка отвертывается на 1—2 оборота и вновь наворачивается от руки до плотного соприкосновения с опорной поверхностью. Затем гайка затягивается ключом на заданный угол $\varphi_{\text{зат}}$. Для контроля угла поворота ключ снабжается указательной стрелкой, а на поверхность соединяемых деталей устанавливается шкала с делениями в угловых единицах (градусах).

Расчетный угол поворота гайки (или винта) для обеспечения заданного усилия Q_3 определяется по формуле

$$\varphi_p^0 = 360 \frac{\zeta_3}{p} \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (14)$$

где i — номер детали в соединении ($i = 1, 2, \dots, n$; для болта $i = 1$);

n — число деталей в соединении;

p — шаг резьбы;

$\sum_{i=1}^n \lambda_i$ — суммарная податливость болта и стягиваемых деталей.

Податливость болта и соединяемых деталей находится по формулам:

$$\lambda_b = \frac{l_b}{F_b E_b}, \quad (15)$$

$$\lambda_d = \frac{l_d}{F_d E_d}, \quad (16)$$

где l_b , l_d — расчетные длины болта и соединяемых деталей соответственно. Приблизительно принимают, что $l_b = l_d$ (рис. 3.1);

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

F_b , F_d — площадь сечения болта и соединяемых деталей.

Площадь F_b определяется достаточно просто по формуле

$$F_b = \pi d^2 / 4.$$

Площадь F_d обычно определяется в предположении, что напряжения сжатия от усилия затяжки распределены в пределах конусов давления (рис. 3.1). Обычно принимают $\operatorname{tg} \gamma = 0,5$. Если для упрощения расчета заменить рассматриваемый конус «эквивалентным цилиндром» с наружным диаметром D_3 , то площадь сечения F_d определяется по формуле

$$F_d = \frac{\pi}{4} [(D + h \cdot \operatorname{tg} \gamma)^2 - d_0^2]. \quad (17)$$

Анализ формул (14), (15), (16) показывает, что функциональная связь $\varphi_p^\circ = f(Q_3)$ не зависит от коэффициентов трения в резьбовой паре. Это одно из основных преимуществ способа контроля усилия затяжки по углу поворота. К другим преимуществам этого способа следует отнести простоту выполнения операции, не требующей сложных специальных ключей (как при предыдущем способе).

Однако точность рассматриваемого способа зависит от специфических причин, к числу которых относятся:

1. Погрешность субъективного характера, вызванная приближенным определением начального углового положения гайки

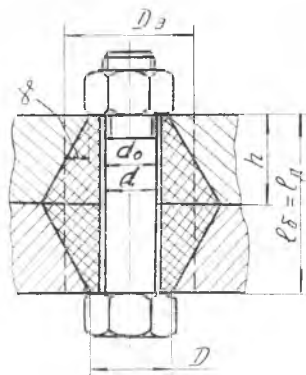


Рис. 3.1. Схема резьбового соединения

(по субъективному ощущению момента плотного соприкосновения гайки с поверхностью закрепляемой детали).

2. Появление большой нелинейности на графике зависимости усилия затяжки от угла поворота гайки в начальный период затяжки. Если по экспериментальным данным построить график зависимости $Q_3 = f(\varphi_{\text{зат}}^0)$, то в начальный период затяжки (рис. 3.2) изменение усилия Q_3 проходит сначала по кривой до точки m , а далее сравнительно линейно. Заменяв криволинейный участок графика прямой линией (на рис. 3.2 показана пунктиром), получим значение угла φ_0 , при котором поворот гайки как бы не вызывает усилия затяжки. Тогда необходимое значение угла поворота гайки

$$\varphi_{\text{зат}}^0 = \varphi_p^0 + \varphi_0^0. \quad (18)$$

Величина угла φ_0 может достигать 25...30% от $\varphi_{\text{зат}}^0$. Влияние этой погрешности значительно возрастает для относительно коротких болтов ($l/d = 1...3$). На практике φ_0 определяется экспериментально для конкретного типа резьбового соединения. Основными причинами нелинейной зависимости Q_3 от $\varphi_{\text{зат}}^0$ на начальном участке являются упругие контактные деформации в стыках деталей, деформации деталей вследствие макронеровностей стыковых поверхностей сопрягаемых деталей, деформация отдельных элементов резьбы и др.

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

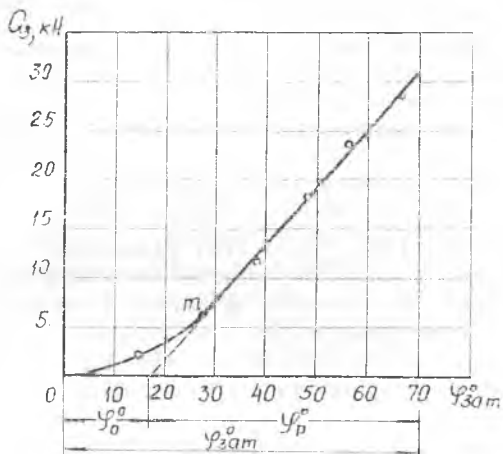


Рис. 3.2. График зависимости Q_3 от $\varphi_{\text{зат}}^0$

точные данные по углу конуса γ , условная замена конуса давления «эквивалентным цилиндром» и т. д.). Повышение точности данного способа достигается за счет повышения точности расчета податливости λ_d , экспериментального определения угла φ_0 и его стабилизации (технологическими средствами).

Затяжка с контролем удлинения болта

При этом способе в процессе затяжки измеряется удлинение болта или шпильки. Связь между удлинением болта Δl_6 и усилием затяжки выражается зависимостью

$$\Delta l_6 = Q_3 \lambda_6 . \quad (19)$$

Величина податливости болта (λ_6)- определяется по формуле (15).

Как следует из зависимости (19), на расчетную величину Δl_6 совершенно не оказывают влияния ни коэффициенты трения, ни податливость соединяемых деталей. Благодаря наличию прямой связи между удлинением болта и усилием затяжки данный способ может считаться наиболее точным из всех рассмотренных. Однако, как показывают результаты исследований [5], высокая точность этого способа имеет место только при затяжке болтов значительной длины, у которых $l/d \geq 10$. При затяжке относительно коротких болтов, у которых $l/d = (1..3)$, погрешность способа значительно возрастает из-за малой величины измеряемого удлинения. Кроме того, увеличивается влияние погрешности расчета податливости болта. Обычно при расчете λ_6 величину l_6 принимают равной толщине стягиваемых деталей, а сечение болта постоянным на всей 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. Происходит также деформация (прогиб) головки болта. Поэтому с целью повышения точности расчета λ_6 деформируемый участок болта, на котором происходит удлинение, необходимо определять по формуле

$$l_6 = l_{гд} + l_p + 3p , \quad (20)$$

где $l_{гд}$ — длина гладкой части стержня болта;

l_p — длина деформируемой резьбовой части стержня (расположенной в зоне соединяемых деталей);

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

Для коротких шпилек следует учитывать еще деформированный участок шпильки, находящейся в резьбовом отверстии корпуса.

К недостаткам способа следует отнести необходимость создания измерительных баз для болта (шлифование торцов с обеспечением их параллельности или изготовление центровых гнезд), зависимость точности способа от квалификации исполнителя, практическая неосуществимость способа контроля в случае расположения болтов в труднодоступных местах и другие.

В двигателях летательных аппаратов этот способ используется при затяжке наиболее ответственных резьбовых соединений (стяжные болты роторов компрессора и турбины, силовые шпильки и т. п.) при условии, что $l/d \geq 10$.

3.2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью лабораторного эксперимента является определение и сравнительная оценка точностных и других технологических характеристик наиболее распространенных способов контроля усилия затяжки резьбовых соединений.

В соответствии с поставленной целью в эксперименте решаются следующие задачи:

подтверждение основных теоретических зависимостей, характеризующих функциональную связь между усилием затяжки и контролируемым параметром;

оценка степени влияния отдельных технологических факторов на погрешность контроля усилия затяжки;

приобретение навыков проведения исследований в области технологии сборки и использования экспериментальной оснастки.

3.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА. КОНСТРУКЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

Сущность сравнения рассматриваемых способов затяжки по их точности состоит в том, что затяжка одного и того же соединения осуществляется одновременно всеми тремя способами, т. е. при затяжке контролируется крутящий момент ($M_{\text{зат}}$), угол поворота гайки φ° и удлинение болта Δl_6 . По известным значениям $M_{\text{зат}}$, φ° и Δl рассчитывают осевое усилие затяжки Q_3 исходя из следующих формул:

$$Q_{3(M)} = M_{\text{зат}} \left[\frac{1}{\frac{d_2}{2} \left(\frac{P}{\pi d_2} + 1,15 f_p \right) + 0,25 f_T (D + d_0)} \right] = M_{\text{зат}} A_M, \quad (21)$$

$$Q_{3(\varphi)} = \varphi^\circ \left[\frac{1}{\frac{360}{P} \sum \lambda_i} \right] = \varphi^\circ A_\varphi, \quad (22)$$

$$Q_{з(\Delta l)} = \Delta l_6 \frac{1}{\lambda_6} = \Delta l_6 A_{\Delta l}. \quad (23)$$

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

$$Q_{з(м)} = Q_{з(\varphi)} = Q_{з(\Delta l)} = Q_{з(л)}, \quad (24)$$

где $Q_{з(л)}$ — действительное значение усилия затяжки, измеренное специальным прибором в ходе эксперимента (на основе данных тарировки).

Тарировка болта производится с помощью динамометра и тензометрической аппаратуры (рис. 3.3). Результаты тарировки выражаются в виде таблицы или графика зависимости усилия затяжки от числа условных единиц тензометрической аппаратуры.

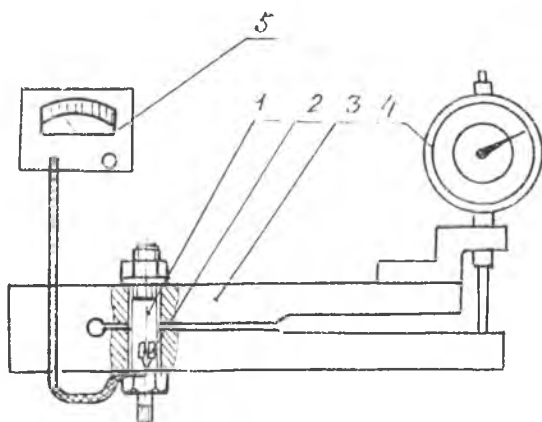


Рис. 3.3. Схема тарировки болта с помощью динамометра: 1 — болт; 2 — тензорезисторы; 3 — динамометр; 4 — индикаторные часы; 5 — регистрирующая тензоаппаратура

Если равенство (24) не выполняется, то относительная погрешность метода вычисляется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \varepsilon_m &= \frac{Q_{з(м)} - Q_{з(л)}}{Q_{з(л)}} 100\% , \\ \varepsilon_\varphi &= \frac{Q_{з(\varphi)} - Q_{з(л)}}{Q_{з(л)}} 100\% , \\ \varepsilon_{\Delta l} &= \frac{Q_{з(\Delta l)} - Q_{з(л)}}{Q_{з(л)}} 100\% , \end{aligned} \quad (25)$$

При проведении экспериментальных работ используется приспособление (рис. 3.4), состоящее из втулки 1, жестко закрепленной на подставке. В отверстие втулки устанавливается испытуемый болт 3, препарированный тензорезисторами 2. Со стороны головки болт имеет хвостовик с резьбой для крепления

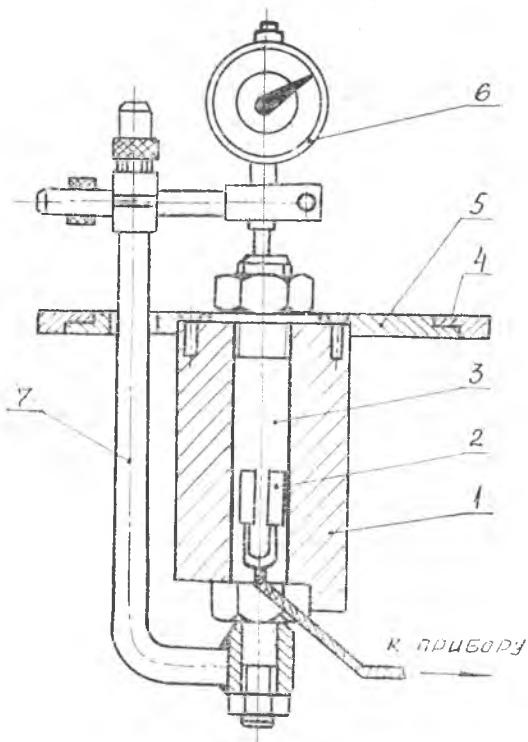


Рис. 3.4. Конструкция приспособления для проведения лабораторного эксперимента

кронштейна 7 с индикаторными часами 6, измеряющими удлинение болта. На верхнем торце втулки с помощью винтов закреплен диск 5 с вращающейся шкалой 4 для измерения угла поворота гайки. Затяжка гайки производится динамометрическим ключом, позволяющим измерить момент затяжки в Н·м. Ключ предварительно тарируется и результаты тарировки заносятся в таблицу или график, прилагаемые к ключу. Для отсчета угла поворота гайки динамометрический ключ дополнительно снабжен указательной стрелкой.

При проведении лабораторного эксперимента используется болт с резьбой $12 \times 1,5$, $l_6 = 83$ мм, материал болта — сталь 30ХГСА.

3.4. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

Лабораторный эксперимент проводится в следующей последовательности:

1. Проверить правильность установки болта во втулку приспособления согласно рис. 3.4. Провода от тензорезисторов должны быть подключены к регистрирующей тензоаппаратуре.

2. С помощью простого ключа затянуть гайку с целью смятия микронеровностей на контактных поверхностях гайки, болта и втулки, после чего отвернуть гайку на 1—2 оборота и вновь вернуть ее от руки до плотного соприкосновения со втулкой.

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

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

5. Установить шкалу индикаторных часов 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 5, 10, 15, 20 кН. Для каждого значения усилия $Q_{з(д)}$ определяется момент затяжки $M_{зат}$, удлинение болта Δl_6 и угол затяжки $\varphi_{зат}$. При определении момента затяжки необходимо показания индикаторных часов ключа с помощью тарифовочного графика или таблицы перевести в величину момента в Н·м. Все полученные данные заносится в табл. 3.1 отчета.

8. Отвернуть гайку на 1—2 оборота, снять ключ, после чего повторить эксперимент еще раз с занесением результатов замеров в табл. 3.1 отчета.

9. Для каждого значения усилия затяжки найти среднеарифметическую величину $M_{зат}$, Δl_6 , $\varphi_{зат}^0$ и записать в таблицу отчета.

10. По полученным значениям величин $\varphi_{зат}^0$ и $Q_{з(д)}$ построить график зависимости $Q_{з(д)} = f(\varphi_{зат}^0)$, аналогичный изображенному на рис. 3.2, и определить величину начального угла φ_0 .

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

$$\varphi_p = \varphi_{зат} - \varphi_0. \quad (26)$$

Полученную величину φ_p занести в табл. 3.1 отчета.

Таблица 3.1

Номер измеряемой точки	Уси- лие за- тяги ки $Q_{з(д)}$, кН	Момент затяжки				Удлинение болта $\Delta l_б$, мм		Угол затяжки $\varphi^{\circ}_{зат}$		$\varphi_p =$ $= \varphi_{зат}$ $- \varphi_0$
		показания индикатор- ных часов ключа		момент затяжки $M_з$, Н·м						
1	5	$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$	сред- нее	$\frac{1}{2}$	сред- нее	$\frac{1}{2}$	сред- нее	
2	10	$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$	сред- нее	$\frac{1}{2}$	сред- нее	$\frac{1}{2}$	сред- нее	
3										

12. В соответствующие графы табл. 3.2 отчета перенести из табл. 3.1 величины усилия затяжки $Q_{з(д)}$ и соответствующие этим усилиям значения момента $M_{зат}$, удлинения болта $\Delta l_б$ и углов φ_p .

Таблица 3.2

Номер измеряемой точки	$Q_{з(д)}$, кН	$M_{зат}$, Н·м	$Q_{з(M)}$	$\Delta l_б$, мм	$Q_{з(\Delta l)}$	φ°_p	$Q_{з(\varphi)}$
1	5						
2	10						
3							

13. Для каждого значения $M_{зат}$, φ_p , $\Delta l_б$ вычислить расчетные значения усилия затяжки по формулам (21), (22), (23):

$$Q_{з(M)} = A_M M_{зат};$$

$$Q_{з(\Delta l)} = A_{\Delta l} \Delta l_б,$$

$$Q_{з(\varphi)} = A_{\varphi} \varphi_p.$$

С целью сокращения времени вычислений рекомендуется использовать заранее рассчитанные значения коэффициентов A_M , $A_{\Delta l}$, A_{φ} или графики зависимостей, имеющиеся на рабочем месте. Полученные данные заносятся в графы табл. 3.2 отчета.

14. На основе полученных данных в отчете построить график зависимостей $Q_{з(д)}$, $Q_{з(м)}$, $Q_{з(\Delta l)}$, $Q_{з(\varphi)}$ от удлинения Δl_6 , аналогичный рис. 3.5.

15. На построенном графике провести ординату, которая пересекла бы все кривые зависимости (рис. 3.5), и для точек a , b , c , d определить значения усилия затяжки $Q_{з(д)}$, $Q_{з(м)}$, $Q_{з(\Delta l)}$, $Q_{з(\varphi)}$.

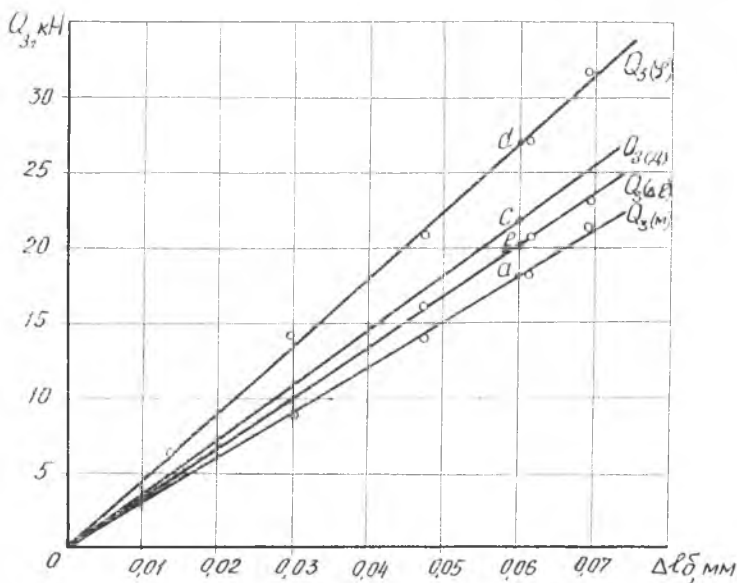


Рис. 3.5. График зависимости $Q_{з(д)}$, $Q_{з(м)}$, $Q_{з(\Delta l)}$, $Q_{з(\varphi)}$ от удлинения болта Δl

16. Определить относительную погрешность величины усилия затяжки для каждого способа по формулам (25).

17. Определить относительную величину угла φ_0 от значения $\varphi_{зат}$ по формуле

$$\varepsilon = \frac{\varphi_0}{\varphi_{зат(макс)}} \cdot 100\% . \quad (27)$$

3.5. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть указаны результаты проведенного эксперимента по форме табл. 3.1 и 3.2, построены графики зависимостей по форме рис. 3.2 и рис. 3.5, определены погрешности измерения усилия затяжки при контроле $M_{зат}$, Δl_6 , $\varphi_{зат}$ и сле-

ланы выводы о точностных характеристиках всех рассматриваемых способов контроля усилия затяжки.

3.6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие факторы оказывают наибольшее влияние на погрешность способов контроля (по величине момента $M_{зат}$, угла поворота $\varphi_{зат}$ и удлинения болта Δl_b)?

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

3. Какие преимущества и недостатки имеет каждый из рассматриваемых способов контроля усилия 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 синдикаторными часами закрепляется на головке болта? Сохранятся ли условия эксперимента, если кронштейн будет закреплен на втулке?

8. Каковы причины расхождения экспериментальных зависимостей с теоретическими?

9. Какие ваши предложения о возможности применения других способов контроля усилия затяжки или комбинации способов из числа рассмотренных?

3.7. ПЕРЕЧЕНЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

1. Приспособление для проведения эксперимента.

2. Динамометрический ключ.

3. Ключ плоский ($S=17 \times 19$).

4. Тензометрическая аппаратура.

4. СБОРКА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Зубчатые передачи в двигателях летательных аппаратов, особенно ГТД, получили достаточно широкое распространение. Надежность и долговечность работы зубчатых передач в большой мере зависит от точности изготовления деталей передачи и точности сборки, так как наличие погрешностей изготовления деталей и сборки вызывает динамические нагрузки, шум, вибрации, нагрев, концентрацию напряжений на отдельных участках зубьев, а также несогласованность углов поворота ведущего и ведомого звена.

Качество работы зубчатой передачи достигается путем обеспечения при сборке следующих характеристик точности: кинематической точности, плавности работы, полноты контакта зубьев и бокового зазора в передаче. В настоящее время нормы точности регламентируются ГОСТ 1643—81 для цилиндрических передач и ГОСТ 1758—81 для конических и гипоидных передач. В этих ГОСТах предусмотрено 12 степеней точности и 6 видов сопряжений по боковому зазору. Для каждой степени точности установлены комплексные показатели точности для собранных зубчатых передач и поэлементные показатели для зубчатых колес, корпусов и других деталей.

Выбор степени точности передачи и вида сопряжения (по боковому зазору) производится конструктором на основе конкретных условий работы передачи и тех требований, которые к ней предъявляются (окружной скорости, передаваемой мощности, режима работы, требований к кинематической точности плавности и бесшумности работы, долговечности и т. д.). Так, например, кинематическая точность является основным требованием для делительных передач, а также планетарных передач с несколькими сателлитами. Плавность работы — основное требование для высокоскоростных передач. Полнота контакта зубьев имеет наибольшее значение для тяжело нагруженных тихоходных передач.

Следует также учитывать, что обеспечение того или иного показателя точности зависит от различных технологических факторов, отлаженности производства и т. п. Так, конструктор может в отдельных случаях не назначать контроль отдельных комплексных показателей точности передачи, если точность зубчатых колес по элементным показателям для норм кинематической точности, плавности работы и т. д. соответствует требованиям стандартов.

Для зубчатых передач двигателей летательных аппаратов в качестве контролируемых часто назначают следующие комплексные показатели: боковой зазор в зацеплении, относительные размеры суммарного пятна контакта зубьев колес, а в некоторых быстроходных передачах, где особое значение имеет плавность вращения, вводится контроль разности шагов зацепления для пары колес. В качестве дополнительных параметров может быть назначен контроль радиального и торцового биения зубчатого венца.

Боковой зазор передачи j_n (рис. 4.1) — это наименьшее расстояние между профильными поверхностями двух соседних зубьев колес в передаче, обеспечивающее свободный поворот одного колеса при неподвижном втором колесе. По ГОСТ гарантированный боковой зазор в передаче достигается за счет уменьше-

ния толщины зуба каждого колеса на соответствующую величину.

В цилиндрических зубчатых передачах ДЛА межцентровое расстояние a_w при сборке обычно не изменяется. Поэтому корректировка бокового зазора может быть произведена за счет замены одного или пары колес, имеющих различную толщину зубьев в пределах установленных допусков. Следует отметить, что на колебание бокового зазора (за один оборот колеса) большое влияние может оказать радиальное биение зубчатого венца.

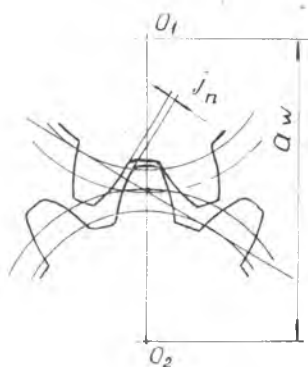


Рис. 4.1. Схема образования бокового зазора в зацеплении зубчатых колес

В конических зубчатых передачах корректировка величины бокового зазора может быть достигнута за счет перемещения зубчатых колес в осевом направлении. С этой целью в конструкции передачи предусматриваются компенсаторы в виде шайб, колец, прокладок и т. п., размещаемых по варианту I и II (рис. 4.2). Функциональная связь между изменением величины бокового зазора Δj_n передачи и осевым перемещением ΔB одного из колес выражается следующим образом:

$$\Delta j_n = \Delta B \cdot 2 \sin \alpha \cdot \sin \delta, \quad (28)$$

где α — угол зацепления;

δ — угол начального конуса перемещаемого колеса.

Необходимо иметь в виду, что при взаимном осевом перемещении конических зубчатых колес вместе с боковым зазором изменяются размеры и расположение суммарного пятна контак-

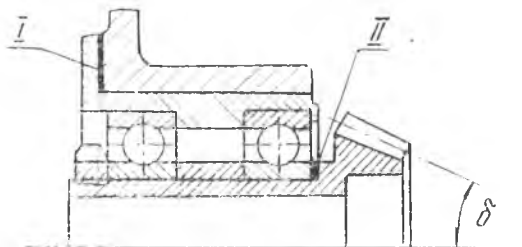


Рис. 4.2. Примеры расположения компенсаторов для обеспечения бокового зазора в зацеплении конических зубчатых колес

та в зацеплении зубьев. Это обстоятельство нужно учитывать при выборе колеса, подлежащего осевому смещению.

Боковой зазор измеряют на расстоянии от оси вращения, равном радиусу делительной окружности колеса. Измерение производят либо с помощью пластин наборного щупа, либо при помощи индикаторных часов. При открытом доступе к зубьям колес ножка индикаторных часов прижимается непосредственно к зубу колеса (рис. 4.3,а). Другое колесо закрепляется неподвижно. Покачивая свободное колесо, измеряют с помощью индикаторных часов боковой зазор. Если доступ к зубу закрыт, применяются специальные приспособления — поводки, закрепляемые на валах зубчатых колес (рис. 4.3,б), или другие аналогичные приспособления. Для оценки величины бокового зазора в сопряжении других пар зубьев измерение производится не менее чем в четырех точках, равнорасположенных по окружности с поворотом зубчатых колес на 90° .

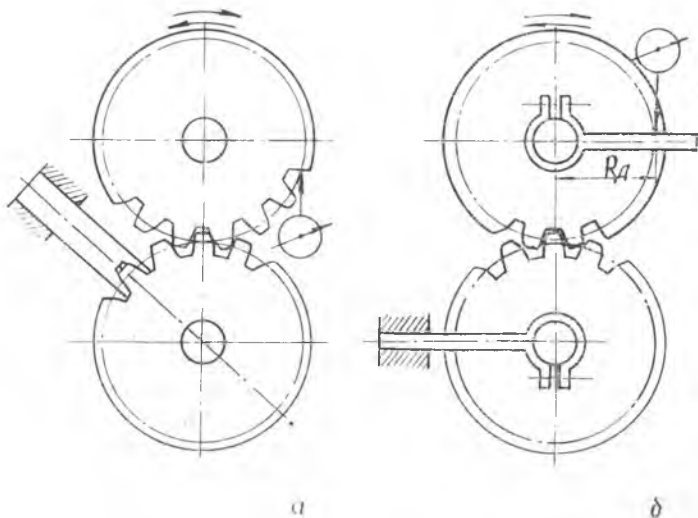


Рис. 4.3. Схема контроля бокового зазора в зацеплении зубчатых колес

Суммарное пятно контакта — часть активной боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания его к зубьям парного колеса после вращения передачи под рабочей нагрузкой (или в соответствии со специальными требованиями по нагрузке). Относительные размеры пятна контакта (рис. 4.4,а,б) устанавливаются в зависимости от степени точ-

ности передачи и при сборке определяются следующим образом: по длине $\frac{a-c}{b} \cdot 100\%$; по высоте $h_m/h_p \cdot 100\%$.

Контроль суммарного пятна контакта производят следующим образом: на поверхность зубьев колеса с меньшим числом зубьев z_1 наносится тонкий слой специальной краски, после чего колесо поворачивается, а второе колесо z_2 притормаживается; при полном обороте колеса z_2 краска с колеса z_1 переносится на поверхность всех зубьев колеса z_2 , образуя на них отпечаток, который затем измеряют.

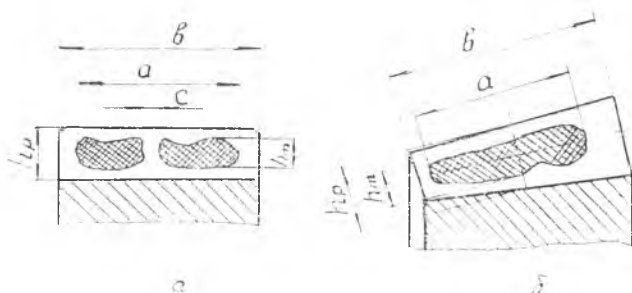


Рис. 4.4. Схема определения размеров суммарного пятна контакта

В отличие от цилиндрических зубчатых колес, где допустимое пятно контакта должно располагаться симметрично по длине зуба как при нагружении рабочей нагрузкой, так и при нагрузке меньше рабочей, в конических зубчатых передачах при нагрузке значительно меньше рабочей (легком торможении от руки) пятно контакта обычно располагается со смещением в сторону более тонкой части зуба. С учетом этого при деформации зуба под рабочей нагрузкой пятно контакта будет располагаться более равномерно по длине зуба. Образцы допустимых и недопустимых вариантов расположения суммарного пятна контакта конических зубчатых колес обычно оказываются в конструкторской документации. На рис. 4.5 приведены примеры допустимых (рис. 4.5, а, б, в) и недопустимых (рис. 4.5, г, д, е) вариантов расположения суммарного пятна контакта. Расположение пятна контакта по варианту «г» не может быть исправлено при сборке без замены деталей. Расположение пятна контакта по варианту «д» (смещение пятна ближе к ножке зуба) и по варианту «е» (смещение пятна ближе к головке зуба), хотя и является недопустимым, но могут быть исправлены изменением взаимного положения вершин начальных конусов для пары колес, т. е. размеров f_{AM1} и f_{AM2} (рис. 4.6). Так, контакт по варианту «д» может

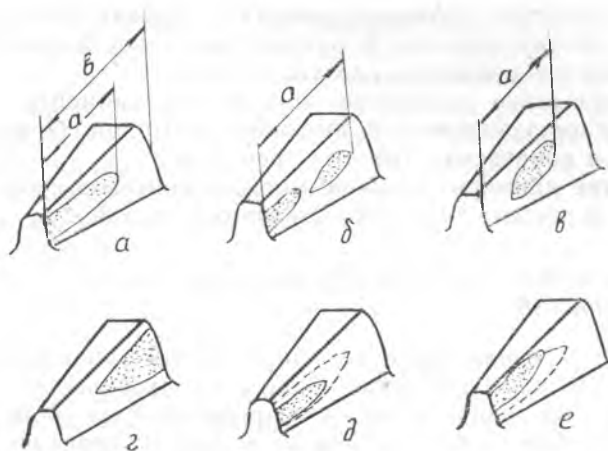


Рис. 4.5. Примеры допустимых (а, б, в) и недопустимых (г, д, е) вариантов расположения суммарного пятна контакта в зацеплении конических зубчатых колес

быть приведен к допустимому расположению либо смещением ведомого колеса в сторону точки пересечения вершин начальных конусов колес (что вызывает одновременно уменьшение бокового зазора), либо перемещением ведущего колеса по направлению от точки пересечения вершин начальных конусов (что вызывает одновременно увеличение бокового зазора). Для сохранения бокового зазора без изменения следует производить одновременное перемещение зубчатых колес пары.

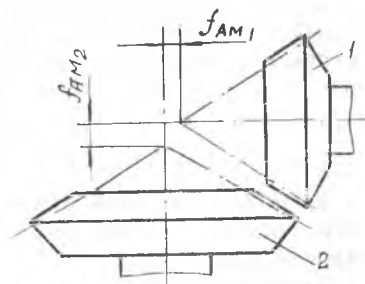


Рис. 4.6. Схема взаимного расположения вершин начальных конусов для конических зубчатых колес

Пятно контакта по варианту «е» может быть приведено к допустимому действиями, обратными по сравнению с предусмотренными для варианта «д» (то есть смещением ведомого колеса в сторону от точки пересечения вершин начальных конусов колес или перемещением ведущего колеса по направлению к точке пересечения вершин начальных конусов).

4.2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью лабораторного эксперимента является определение основных технологических характеристик сборки цилиндриче-

ских и конических зубчатых передач и практическое освоение процесса сборки передач. В соответствии с поставленной целью в эксперименте решаются следующие задачи:

подтверждение на основе данных эксперимента основных теоретических зависимостей, имеющих место при сборке цилиндрических и конических зубчатых передач;

привитие навыков в выборе методов контроля сборочных параметров и средств технологического оснащения.

4.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

На основе ознакомления с конструкцией типовой сборочной единицы, включающей цилиндрические и конические зубчатые передачи, и изучения технических требований на сборку составляется последовательность сборки зубчатых передач, производится выбор соответствующих методов контроля сборочных параметров и методов достижения заданной точности сборки. Далее производится непосредственная сборка зубчатых передач с одновременным измерением сборочных параметров и выполнением работ по обеспечению заданной точности. По окончании сборки и обработки результатов подтверждаются основные теоретические положения и зависимости, а также проводится анализ погрешностей, влияющих на конкретный сборочный параметр.

4.3.1. Конструкция коробки приводов агрегатов

Коробка приводов является редуктором для понижения частоты вращения приводов вспомогательных агрегатов, обслуживающих двигатель.

Корпус коробки *1* (рис. 4.7) представляет отливку из магниевого сплава. Внутри коробки приводов смонтированы конические зубчатые передачи, а снаружи корпуса имеются фланцы для установки и крепления вспомогательных агрегатов, получающих вращение от соответствующих зубчатых колес. К нижнему фланцу крепится на шпильках коробка масляных насосов. Вращение от ротора двигателя передается на ведущее цилиндрическое колесо *15* через промежуточную шлицевую рессору *14*. Ведущее колесо вращается с частотой вращения ротора двигателя. В средней части валика ведущего цилиндрического колеса на двух шариковых подшипниках установлено свободно ведомое коническое колесо стартера *11*. Это колесо находится в зацеплении с ведущим коническим колесом *5*, передающим вращение от стартера, расположенного на фланце коробки приводов справа (если смотреть на коробку со стороны крышки *21*).

Ведомое коническое колесо стартера имеет внутри храповой механизм 13, который связан с валником ведущего цилиндрического колеса 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.

Ведущее цилиндрическое колесо 15 находится в зацеплении с двумя ведомыми цилиндрическими колесами 9 и 16. Каждое из этих колес посажено на хвостовики ведущих конических колес 10 и 17, расположенных внутри коробки. Верхнее ведущее коническое колесо 10 передает вращение колесу 2 привода верхнего топливного насоса, установленному на фланце коробки приводов слева. От колеса привода верхнего топливного насоса вращение передается на колесо 3 запасного привода 22 коробки.

Во внутренние шлицы конического колеса 2 верхнего топливного насоса вставлена рессора привода тахометра 4. Фланец привода тахометра расположен на правой стороне коробки приводов. Нижнее ведущее коническое колесо 17 передает вращение колесу 2 привода нижнего топливного насоса, установленного также на фланце коробки приводов слева. В свою очередь, от конического колеса 2 привода нижнего топливного насоса вращение передается на колесо 7, выполненное совместно с валником привода маслонасоса. Одновременно сдвоенное колесо 7 передает вращение колесу 8 ротора центрифуги, служащей для отделения воздуха от масла.

4.3.2. Технические требования на сборку коробки приводов

1. Боковой зазор в зацеплении цилиндрических зубчатых колес должен быть в пределах 0,2—0,35 мм. Обеспечить зазор заменой зубчатых колес.

2. Боковой зазор в зацеплении конических зубчатых колес должен быть в пределах 0,12—0,24 мм. Зазор обеспечить за счет изменения толщины регулировочных прокладок и колец, устанавливаемых в следующих местах: для пары зубчатых колес привода верхнего и нижнего топливного насоса — под торцом ведущего конического зубчатого колеса и под фланцем корпуса подшипников ведомого конического колеса; для пары конических колес привода стартера — под торцом ступицы храповой муфты для ведомого конического колеса и под фланцем стакана подшипников для ведущего конического колеса; для пары зубчатых колес привода маслонасоса — под фланцем корпуса подшипников для ведущего конического колеса и под фланцем стакана подшипника для ведомого конического колеса; для пары зубчатых колес привода ротора центрифуги — под фланцем стакана подшипника для ведущего конического колеса и под торцом ведомого конического колеса (рис. 4.7).

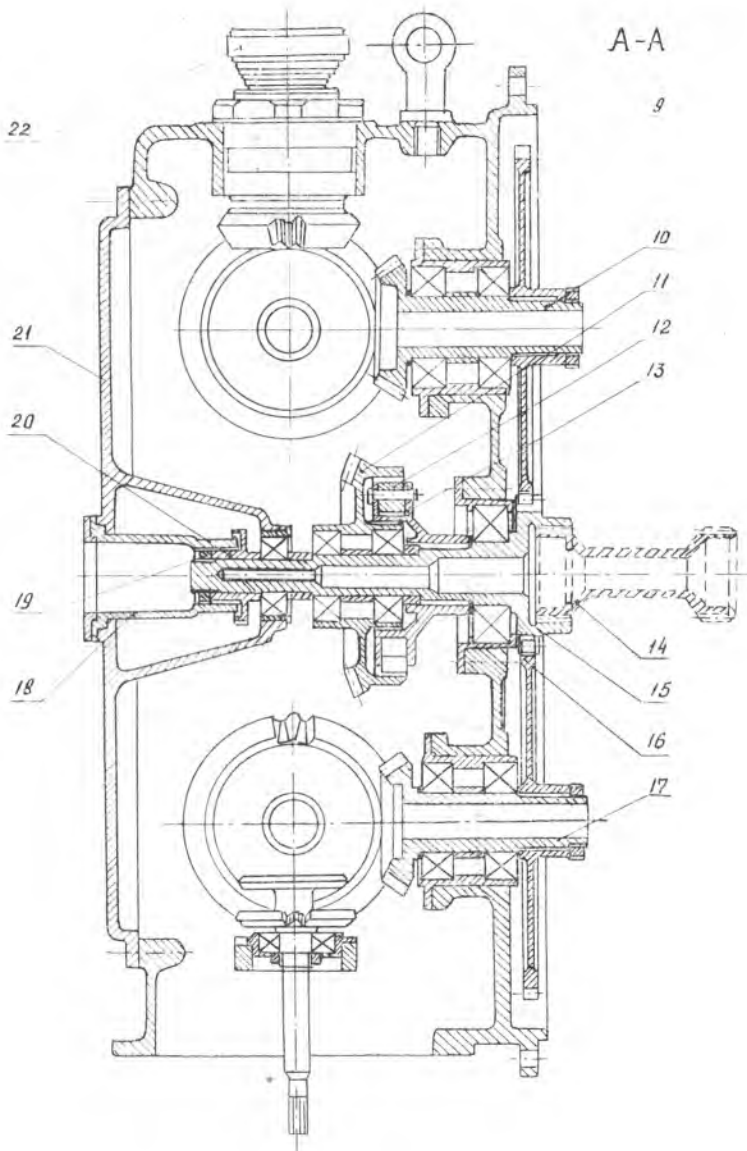
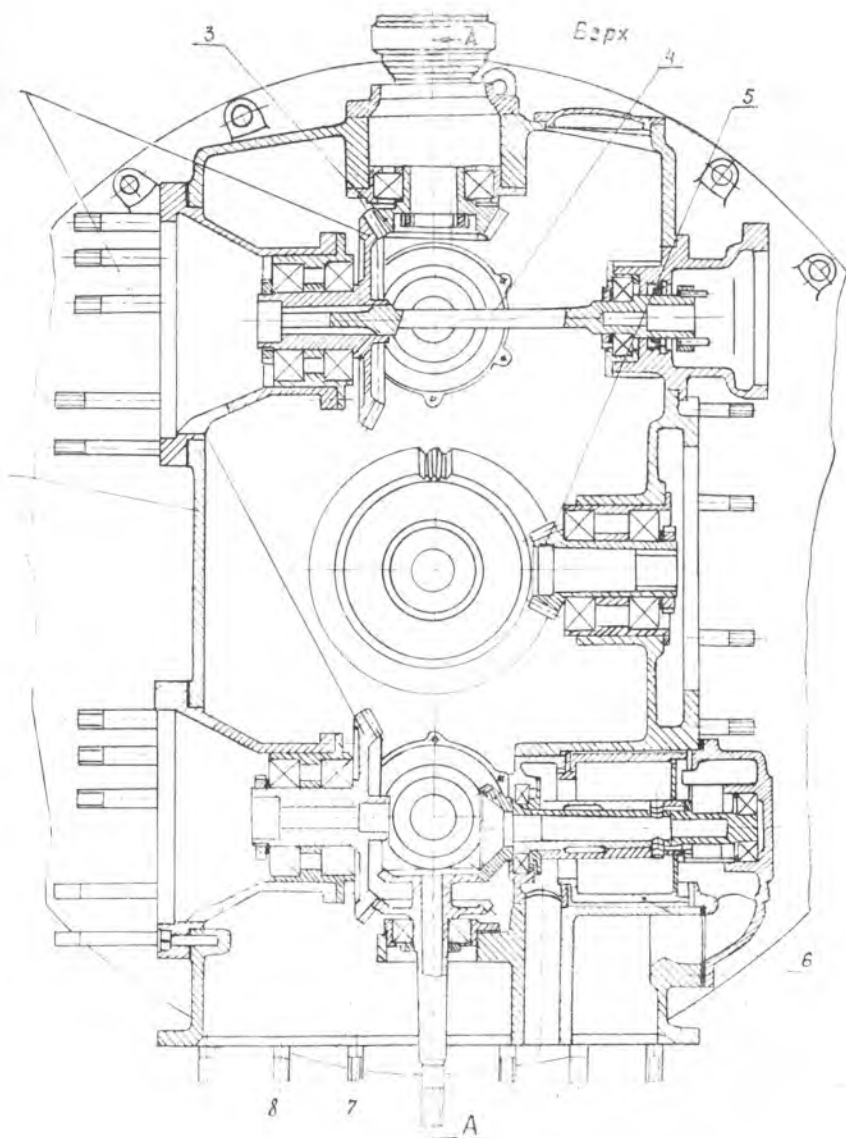


Рис. 4.7. Конструкция коробки приводов агрегатов: 1 — корпус; 2 — коническое колесо запасного привода; 4 — рессора привода тахометра; 7 — ведомое коническое колесо привода маслонасоса; 8 — ведомое колесо верхнее; 10—ведущее коническое колесо верхнее; 11—ведомое механизм; 14 — рессора; 15 — ведущее цилиндрическое колесо; 16 — колесо нижнее; 18 — втулка суфлера; 19—гайка;



ведомые конические колеса привода топливных насосов; 3 — ведомое
 5 — ведущее коническое колесо стартера; 6 — ротор центрифуги;
 коническое колесо привода центрифуги; 9 — ведомое цилиндрическое
 коническое колесо стартера; 12 — собачка храповика; 13 — храповой
 ведомое цилиндрическое колесо нижнее; 17 — ведущее коническое
 20 — втулка; 21 — крышка; 22 — запасной привод

3. Относительные размеры суммарного пятна контакта в зацеплении конических зубчатых колес по длине и высоте зуба должны быть не менее 70%. Расположение пятна контакта должно соответствовать рис. 4.5 (варианты а, б, в). При расположении пятна контакта по вариантам «д» и «е» (рис. 4.5, д, е) провести исправление за счет изменения взаимного расположения зубчатых колес в осевом направлении.

4. Осевой зазор A_{Δ} (рис. 4.8) между торцом стакана 1 ротора центрифуги и торцом крышки 3 должен быть 0,2...0,4 мм. Обеспечить зазор за счет изменения толщины регулируемой прокладки 2 под торцом крышки.

5. Вращение зубчатых передач должно быть легким, плавным, без заедания и резкого шума.

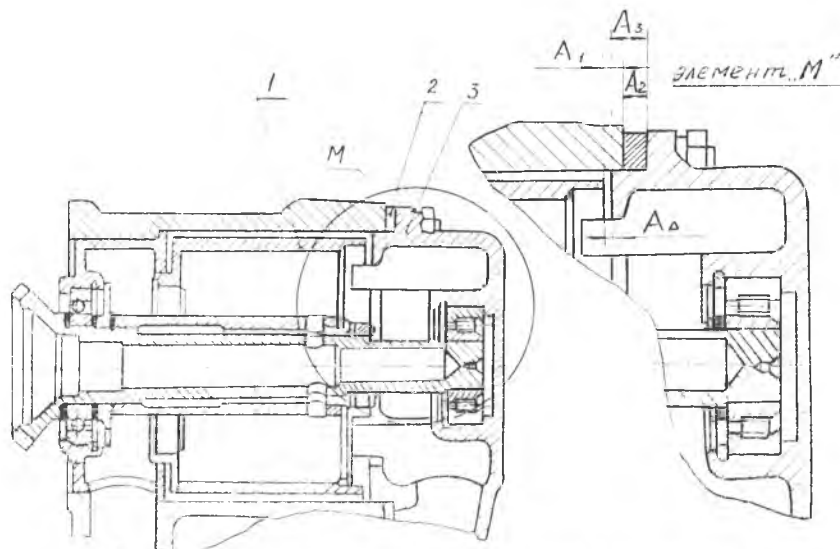


Рис. 4.8. Схема определения осевого зазора в центрифуге

4.4. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Лабораторный эксперимент проводится в соответствии с операционными картами на разборку и сборку зубчатых передач. При этом используется технологическая оснастка, указанная в перечне. Полученные при эксперименте результаты измерений, методика расчета размера компенсаторов и другие данные заносятся в отчет.

К числу особенностей сборки коробки приводов можно отнести следующее. При установке крышки центрифуги на корпус коробки в соответствии с ТТ должен быть проконтролирован

и обеспечен осевой зазор A_{Δ} (рис. 4.8). Наличие этого зазора гарантирует отсутствие касания вращающейся детали о неподвижную деталь при работе узла. Необходимая толщина компенсатора (размер A_2 регулировочной прокладки) рассчитывается по формуле

$$A_2 = A_3 + A_{\Delta \text{ср}} - A_1, \quad (29)$$

где размеры A_1 и A_3 определяются путем непосредственного измерения.

Сборка коробки заканчивается операцией установки и крепления крышки. Фланец крышки крепится с помощью 22 гаек. Для устранения перекосов и коробления крышки в процессе ее крепления затяжка гаек производится в соответствии со схемой на рис. 4.9 (позиции на рисунке показывают очередность затяжки).

Для механизации процесса затяжки используется гайковерт.

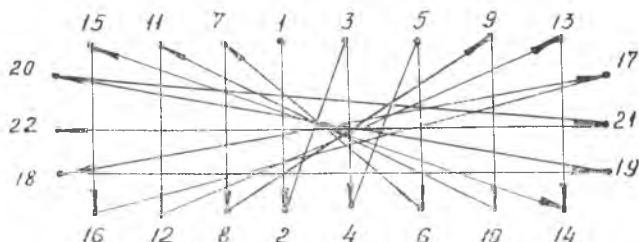


Рис. 4.9. Схема затяжки гаек крепления крышки

4.5. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ

В отчете по лабораторному эксперименту должны быть указаны:

величина бокового зазора в зацеплении цилиндрических и конических зубчатых колес;

методика расчета величины компенсаторов для обеспечения величины бокового зазора в зацеплении конических зубчатых колес;

схема и методика исправления суммарного пятна контакта в одной из пар конических зубчатых колес (по указанию преподавателя);

схема и методика расчета толщины регулировочной прокладки под крышкой центрифуги;

оценка влияния погрешностей изготовления зубчатых колес, корпуса и других деталей на величину бокового зазора и раз-

меры суммарного пятна контакта для конкретной пары зубчатых колес. К числу основных погрешностей, включаемых для анализа, следует отнести следующие: отклонение межосевого расстояния E_a ; непараллельность рабочих осей зубчатых колес f_x ; перекося рабочих осей зубчатых колес f_y ; погрешность направления (перекося) зуба F_β ; погрешность профиля зуба f_f ; радиальное биение зубчатого венца F_r ; торцовое биение зубчатого венца F_T ; отклонение средней длины общей нормали E_w ; отклонение толщины зуба E_c ; колебание межосевого угла конической зубчатой передачи E_v ; осевое смещение зубчатого венца конического колеса f_{AM} .

4.6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие характеристики точности регламентируются для зубчатых передач по ГОСТу?

2. Какие комплексные показатели точности назначаются при контроле зубчатых передач в процессе сборки?

3. Что такое боковой зазор? Какой способ достижения гарантированного бокового зазора рекомендуется по ГОСТу?

4. Какой применяется способ корректировки бокового зазора в цилиндрической передаче и конической зубчатой передаче?

5. Какие факторы включаются в функциональную зависимость между величиной бокового зазора в конической зубчатой передаче и осевым перемещением зубчатого колеса?

6. Какие способы применяются для контроля бокового зазора в зацеплении зубчатых колес?

7. Что такое суммарное пятно контакта зубьев в передаче? Каким образом нормируется суммарное пятно контакта по ГОСТу?

8. Какие существуют способы исправления расположения пятна контакта в конической зубчатой передаче, если пятно смещено к вершине или ножке зуба?

9. Каково назначение отдельных зубчатых передач в коробке приводов? Где эти передачи конструктивно размещены?

10. Какова номенклатура сборочных параметров, которые необходимо обеспечить при сборке коробки приводов?

11. Какова последовательность сборки зубчатых передач в коробке приводов и чем обуславливается эта последовательность?

12. Какова методика контроля бокового зазора и применяемая технологическая оснастка при сборке зубчатых передач коробки приводов?

13. В каких местах размещаются регулировочные элементы для корректировки бокового зазора в конических зубчатых передачах коробки приводов?

14. Какие погрешности могут оказать непосредственное влияние на величину бокового зазора и размеры суммарного пятна контакта при сборке зубчатых передач коробки приводов?

15. Каковы методика контроля осевого зазора A_d в центрифуге коробки приводов и способы обеспечения этого зазора?

4.7. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Оборудование:

подставка поворотная для сборки коробки приводов.

Приспособления:

- Л4-01 — съемник для выпрессовки ведомого конического зубчатого колеса стартера;
- Л4-02 — съемник для выпрессовки привода ведущего конического зубчатого колеса стартера;
- Л4-03 — приспособление для запрессовки ведомого конического зубчатого колеса стартера;
- Л4-05 — приспособление для стопорения ведущего цилиндрического колеса;
- Л4-06 — приспособление для измерения бокового зазора в зацеплении цилиндрических зубчатых колес и конических зубчатых колес привода топливных насосов;
- Л4-07 — приспособление для стопорения конического зубчатого колеса привода топливного насоса;
- Л4-08 — съемник ударного типа для выпрессовки привода центрифуги;
- Л4-09 — кронштейн с индикатором для измерения бокового зазора в зацеплении конических зубчатых колес стартера;
- Л4-10 — оправка цанговая для измерения бокового зазора в зацеплении конических зубчатых колес стартера;
- Л4-11 — рукоятка для вращения зубчатых передач коробки приводов;
- Л4-12 — оправка для запрессовки привода ведущего конического зубчатого колеса стартера;
- Л4-13 — оправка для запрессовки привода топливного насоса.

Сборочный инструмент:

- Л4-14 — ключ специальный $S = 6 \times 6$ для винтов привода маслоснабжения;
- Л4-15 — ключ специальный для гайки крепления роликоподшипника на центральном валике;

пневмогайковерт;
ключи плоские $S = 9 \times 11$, $S = 17 \times 19$;
ключи торцовые $S = 9$, $S = 11$;
оправа свинцовая;
отвертка;
молоток 500 г.

Контрольно-измерительный инструмент:
индикаторные часы (с ценой деления 0,01 мм);
индикаторные часы рычажные (с ценой деления 0,01 мм);
микрометр 0—25 мм;
штангенциркуль;
штангенглубиномер;
щуп наборный;
стойка для индикаторных часов.

5. ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСРОВКА РОТОРА

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.1.1. Понятие о неуравновешенности ротора. Виды неуравновешенности

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

$$\bar{D}_i = m_i \bar{r}_i. \quad (30)$$

Направление вектора дисбаланса D_i всегда совпадает с направлением радиуса вектора \bar{r}_i .

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

$$\bar{D}_\Sigma = \sum_{i=1}^n \bar{D}_i = \sum_{i=1}^n m_i \bar{r}_i. \quad (31)$$

Появление неуравновешенных масс (и, следовательно, дисбалансов) связано с первичными производственными погрешно-

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

Кроме дисбалансов от производственных причин в роторе может появиться так называемый эксплуатационный дисбаланс как следствие неравномерного износа поверхностей, образования кавитационных каверн, коррозии, релаксации материала деталей, ослабления присадок и соединений и т. п.

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

В зависимости от характера расположения неуравновешенных масс вдоль оси ротора его неуравновешенность может быть трех видов: статическая, моментная и динамическая. При статической неуравновешенности вся совокупность дисбалансов ротора приводится к одной равнодействующей, проходящей через центр масс ротора и называемой главным вектором дисбалансов — $\vec{D}_{ст}$ (рис. 5.1,а).

При моментной неуравновешенности вся совокупность векторов дисбалансов ротора приводится к равнодействующему моменту, называемому главным моментом дисбалансов — M_d (рис. 5.1,б).

При динамической неуравновешенности вся совокупность векторов дисбаланса ротора приводится к главному вектору $\vec{D}_{ст}$

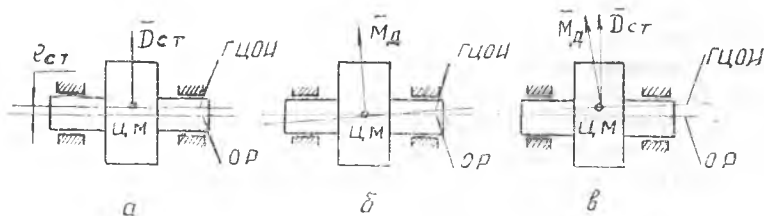


Рис. 5.1. Виды неуравновешенности ротора: а — статическая, б — моментная, в — динамическая

и главному моменту \bar{M}_d (рис. 5.1,в). Каждому из рассмотренных видов неуравновешенности соответствует свое характерное расположение главной центральной оси инерции (ГЦОИ) ротора относительно его оси вращения (ОР) (рис. 5.1).

5.1.2. Влияние отдельных произвольно расположенных дисбалансов на дисбаланс ротора

В роторе, имеющем на валу несколько дисков, дисбаланс в одном из дисков вызывает статическую и моментную составляющую дисбаланса для всего ротора. Рассмотрим пример. Пусть ротор (рис. 5.2) имеет 6 отдельных дисков и в диске IV

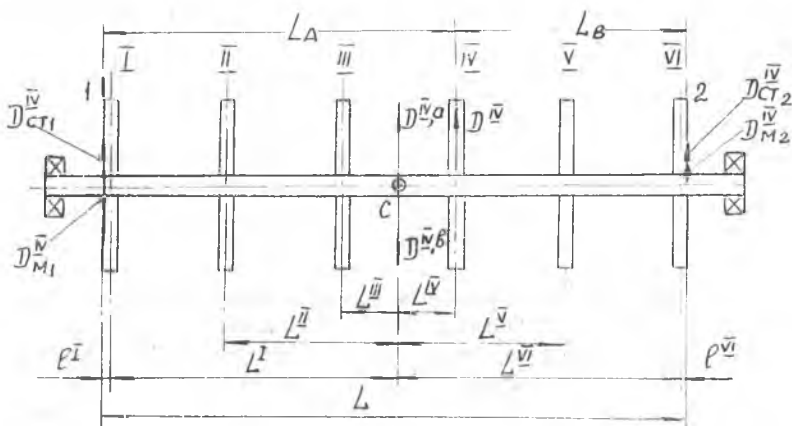


Рис. 5.2. Схема образования статической и моментной неуравновешенности ротора от дисбаланса одного диска

имеется дисбаланс \bar{D}^{IV} . Приложим в центре масс ротора (точке C) два взаимно уравновешивающих вектора $\bar{D}^{IV,a}$ и $\bar{D}^{IV,b}$. Причем каждый из них равен по модулю вектору \bar{D}^{IV} и находится в одной и той же осевой плоскости. В полученной системе векторов вектор $\bar{D}^{IV,a}$ будет выражать главный вектор дисбаланса ротора, т. е. $\bar{D}_{ст} = \bar{D}^{IV,a}$, а векторы \bar{D}^{IV} и $\bar{D}^{IV,b}$ выражают главный момент дисбалансов $\bar{M}_d = \bar{D}^{IV} \cdot L^{IV}$. Главный вектор $\bar{D}_{ст}$ и главный момент \bar{M}_d можно представить в виде двух составляющих, расположенных в двух заранее выбранных плоскостях, перпендикулярных оси вращения. Так, например, в плоскостях 1 и 2 (рис. 5.2) главный вектор дисбалансов дает

$$\bar{D}_{ст1}^{IV} = \bar{D}_{ст} \frac{L^{VI} + l^{VI}}{L}; \quad \bar{D}_{ст2}^{IV} = \bar{D}_{ст} \frac{L^I + l^I}{L}. \quad (32)$$

В этих же плоскостях главный момент дисбалансов дает составляющие

$$\bar{D}_{M1}^{IV} = \bar{D}_{M2}^{IV} = \frac{\bar{M}_A}{L} \quad (33)$$

Все составляющие дисбаланса будут находиться в одной осевой плоскости, в которой расположен вектор \bar{D}^{IV} . Для плоскости 1 составляющие $\bar{D}_{\sigma 1}^{IV}$ и \bar{D}_{m1}^{IV} имеют противоположное направление и результирующая дисбаланса в этой плоскости будет равна разности векторов $\bar{D}_1^{IV} = \bar{D}_{\sigma 1}^{IV} - \bar{D}_{m1}^{IV}$. Для плоскости 2 составляющие $\bar{D}_{\sigma 2}^{IV}$ и \bar{D}_{m2}^{IV} имеют одинаковое направление, поэтому результирующая дисбаланса в этой плоскости будет равна сумме векторов $\bar{D}_2^{IV} = \bar{D}_{\sigma 2}^{IV} + \bar{D}_{m2}^{IV}$.

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

$$\bar{D}_1^{IV} = \bar{D}^{IV} \frac{L_B}{L_A + L_B}, \quad (34)$$

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

Если теперь предположить, что в каждом диске ротора будут иметься дисбалансы D^I, D^{II}, D^{III} и т. д., то в этом случае для каждой из двух плоскостей 1 и 2 вначале можно расчетно-графически определить составляющие $\bar{D}_1^I, \bar{D}_1^{II}, \bar{D}_1^{III}, \dots$ и $\bar{D}_2^I, \bar{D}_2^{II}, \dots$, после чего найти суммарный вектор $\bar{D}_{\Sigma 1}$ и $\bar{D}_{\Sigma 2}$ (рис. 5.3).

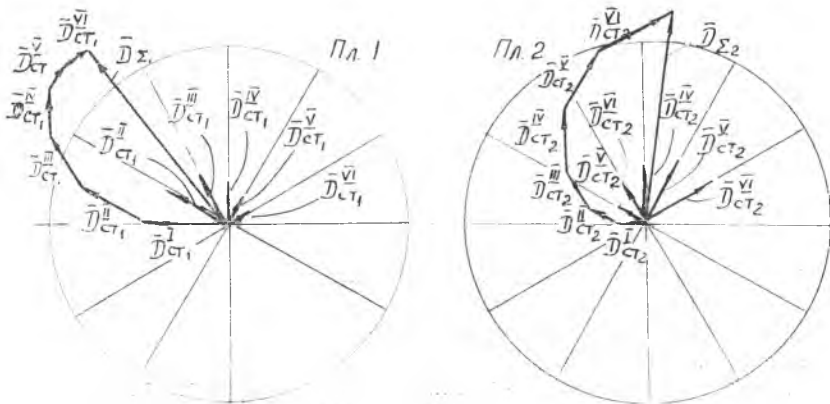


Рис. 5.3. Графическое определение составляющих дисбаланса ротора в левой и правой плоскости коррекции

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

Станки для динамической балансировки дают информацию о дисбалансах, приведенных к двум или нескольким плоскостям коррекции. Эти станки могут использоваться также и для статической балансировки. Одним из наиболее распространенных типов станков для динамической балансировки является станок с электрической измерительной частью (рис. 5.5).

Балансируемый ротор 1 установлен на подвижных опорах 3 и 5 (для станка типа ДБ, используемого в лабораторной работе, опоры подвижны в горизонтальной плоскости). Опоры жестко связаны посредством стержней с катушками 4 и 6, находя-

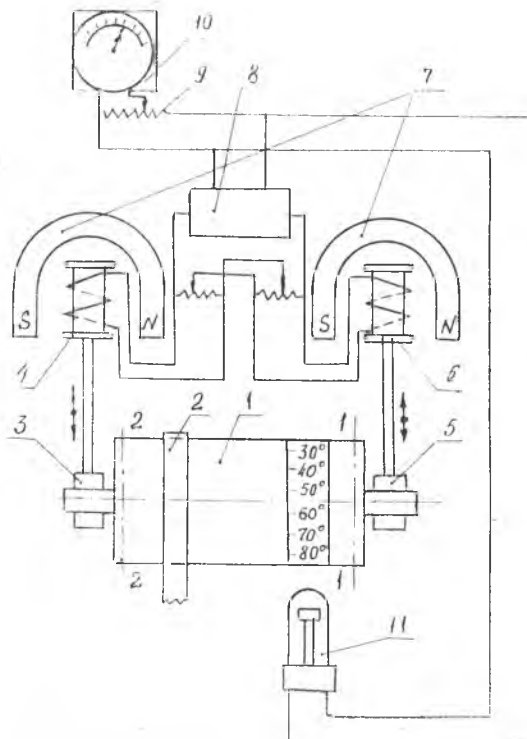


Рис. 5.5. Схема работы балансировочного станка с электрической измерительной частью

шимися в поле постоянных магнитов 7. Катушка и магнит в совокупности образуют датчик.

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

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

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

Для конкретных балансировочных станков вследствие погрешностей работы механизма станка и электронной аппаратуры может иметь место сдвиг фазы вспышки лампы с положением вектора дисбаланса относительно плоскости качания опор. В этих случаях действительная плоскость вспышки лампы уточняется экспериментально во время настройки балансировочного станка.

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

На пульте управления станком (рис. 5.6) имеются две панели: левая и правая. Левая панель с рукоятками предназна-

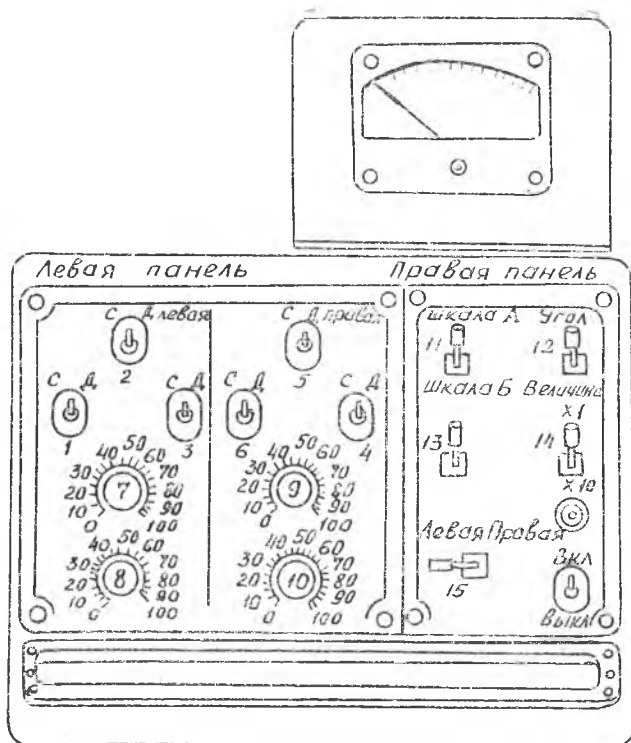


Рис. 5.6. Внешний вид пульта управления

чена для настройки пульта каждый раз, когда изменяется конструктивная схема ротора. После настройки левая панель пульта закрывается крышкой. Правая панель имеет органы управления станком в процессе балансировки, т. е. рукоятки 11, 12, 13, 14, 15 и тумблер включения пульта с сигнальной лампой. Сверху на пульте установлен прибор — указатель значения дисбаланса.

5.2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

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

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

теоретическое и экспериментальное определение составляющих дисбаланса в каждой из двух плоскостей коррекции ротора; устранение дисбаланса ротора до допустимого уровня.

5.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА. КОНСТРУКЦИЯ ОСНАСТКИ

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

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

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

При проведении лабораторного эксперимента используется ротор, схема которого показана на рис. 5.7. Он состоит из вала с установленными на нем шестью дисками. В таком виде ротор имитирует многоступенчатый ротор ГТД дисковой конструкции.

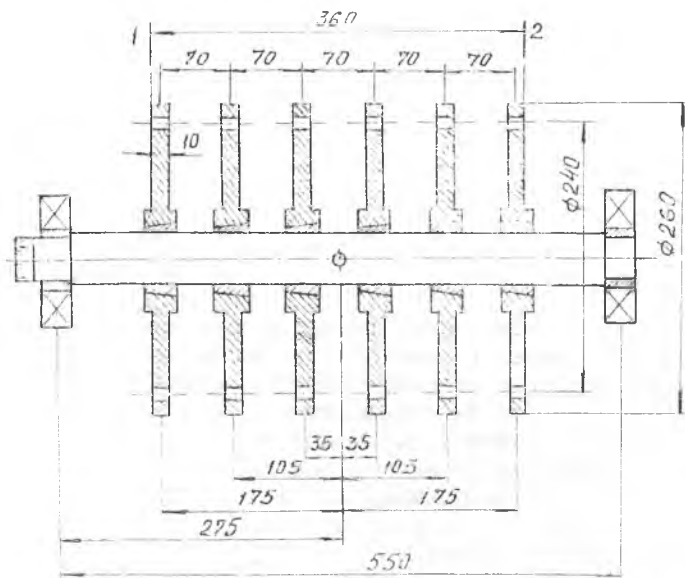


Рис. 5.7. Схема балансируемого ротора

Конструкция ротора обеспечивает проведение с его помощью ряда экспериментов по балансировке ротора. Так, например, диски ротора могут при необходимости перемещаться по валу в осевом направлении с последующим их закреплением на вале. Это дает возможность изменять расстояние между дисками и, следовательно, расположение центра масс ротора относительно опор. На каждом диске имеется 36 равномерно расположенных отверстий (через 10°). В эти отверстия можно устанавливать болты различной массы и имитировать таким образом различные варианты пространственного расположения неуравновешенных масс в роторе.

Для лабораторного эксперимента используется схема ротора с симметрично расположенными дисками, расстояния между которыми указаны на рис. 5.7. Плоскостями коррекции ротора являются внешние торцовые поверхности дисков 1 и 6. На этих поверхностях выполнены по одной кольцевой канавке. Радиус расположения канавок соответствует радиусу установки корректирующих масс при балансировке. Масса ротора ориентировочно составляет 40 кг. Наибольшая эксплуатационная частота вращения принята равной $n_{\text{эmax}} = 6000 \text{ мин}^{-1}$.

5.4. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Лабораторный эксперимент следует проводить в следующей последовательности:

1. Определить допустимый дисбаланс ротора в каждой плоскости коррекции, используя в качестве исходных данных конструктивные характеристики ротора, показанного на рис. 5.7. При расчете принять 4-й класс точности балансировки, т. е. $(e_{\text{ст}}^{\omega_{\text{эmax}}})_{\text{табл}} = 6,3 \text{ мм} \cdot \text{рад/с}$.

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

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

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

4. Проверить от руки легкость вращения ротора.

5. Закрыть крышку кожуха и замок кожуха.

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

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

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

9. Рукоятки на пульте управления поставить в следующее положение (рис. 5.8):

15 — в положение «Левая»;

11 — в положение «Шкала «Б»»;

12 — в положение «Величина»;

13 — в положение «—» (минус);

14 — в положение « $\times 1$ ».

10. Растормозить подвижные опоры станка.

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

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

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

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

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

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

15. Перевести рукоятку 12 в нейтральное положение.

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

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

18. Со стороны, противоположной направлению вектора дисбаланса, в левой или правой плоскости коррекции наклеить на торцовую поверхность диска (на радиусе расположения канав-

ки) кусочек пластилина, соответствующий величине устраняемого дисбаланса.

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

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

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

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

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

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

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

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

27. Снять приводной ремень с роликов лентки станка.

28. Выключить пульт управления станком.

5.5. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены следующие сведения:

схема экспериментального ротора;

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

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

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

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

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

остаточный дисбаланс ротора после его балансировки с помощью наклеек пластилина;

фактическая масса налепок пластилина в левой и правой плоскости коррекции;

заключение о соответствии расчетных и экспериментальных значений.

5.6. 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? Всегда ли имеются в наличии главный вектор и главный момент дисбалансов при каждом виде неуравновешенности?

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

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

6. В чем состоит сущность балансировки ротора?

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

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

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

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

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

5.7. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ, ОСНАСТКИ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

1. ДБ-51 станок для динамической балансировки.

2. Приводной ремень.

3. Весы аналитические.

4. Разновесы.

5. Пластилин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

Приложение

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Лабораторные эксперименты выполняются студентами самостоятельно в соответствии с методическими указаниями.

Перед выполнением эксперимента студенты изучают основные теоретические положения, цель и задачи лабораторного эксперимента, методику проведения эксперимента, знакомятся с рабочим местом, оборудованием и технологической оснасткой, а также правилами техники безопасности, касающимися данного рабочего места. Для случаев, где это предусмотрено методикой выполнения экспериментов, студент вначале составляет схему сборки и маршрутную карту сборки для заданной сборочной единицы и представляет ее преподавателю на утверждение, после чего проводит экспериментальную работу в соответствии с утвержденной маршрутной картой.

Результаты измерений, выполненные в процессе эксперимента, заносятся в отчет установленной формы, проводится анализ полученных результатов и делаются выводы. Окончательно оформленный отчет предъявляется преподавателю.

Предъявляя преподавателю отчет о выполнении экспериментальной работы, студент обязан знать теоретические положения по данной работе, цель и задачи выполнения лабораторного эксперимента, уметь объяснить методику и технику выполнения эксперимента, знать приемы обращения со сборочными и контрольными инструментами, приспособлениями и оборудованием, объяснить значение измеряемых сборочных параметров, причины возникновения погрешностей и т. д.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Проектирование технологического процесса сборки изделия	3
2. Определение характеристик точности расположения поверхностей вращения для сборочных единиц с использованием размерных цепей с векторными звеньями	13
3. Способы контроля усилия затяжки при сборке резьбовых соединений	26
4. Сборка зубчатых передач	38
5. Динамическая балансировка ротора	52
Библиографический список	66
Приложение. Общие указания по выполнению лабораторных экспериментов	67

Василий Андреевич Захаров

ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА ПРИ СБОРКЕ ГТД

Редактор Т. К. Крeт и н и н а
Техн. редактор Н. М. Калeн ю к
Корректор Н. С. Куприянова

Свод. тем. пл. № 70

Сдано в набор 6.06.88 г. Подписано в печать 15.07.88 г.
ЕО 00238. Формат 60×84 1/16. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Усл. п. л. 4,2. Уч.-изд. л. 4,0.
Т. 500 экз. Заказ 709. Цена 15 коп.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография ЭОЗ КуАИ. г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.