

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

В. А. ЗАХАРОВ

Базирование и базы
при сборке авиационных
газотурбинных двигателей

Учебное пособие

САМАРА 1995 [10963]

Базирование и базы при сборке авиационных газотурбинных двигателей. Учебное пособие / В. А. Захаров; Самарский гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1995. 40 с.
ISBN 5-230-17008-5

Рассмотрены основы базирования элементов при сборке изделий. Показаны виды баз и типовые схемы базирования элементов, используемые при сборке ГТД. Сформулированы требования к силовому замыканию элементов при базировании в процессе сборки. Проведен анализ погрешностей базирования в зависимости от применяемых способов базирования при сборке. Показаны способы математического описания схем базирования и состава сборочных баз.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 13.02. Может быть использовано студентами при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также слушателями ФПК инженеров. Выполнено на кафедре ПДЛА.

Табл. 1. Ил. 12. Библиогр.: 5 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева

Рецензенты: *Е. В. Бурмистров, В. В. Николаев*

© В. А. Захаров

ISBN 5-230-17008-5

© Самарский государственный
аэрокосмический университет,
1995

1. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ И ОСНОВЫ БАЗИРОВАНИЯ

Каждое изделие или сборочная единица имеет определенное служебное (функциональное) назначение. Служебное назначение определяет кинематические цепи изделия или его механизмов, законы движения звеньев, характер и величину действующих на каждое звено сил и ряд других факторов. Все эти факторы определяют конструктивные формы каждого элемента и всего изделия в целом, требуемое положение одного элемента относительно другого, закон их относительного движения или, иначе, пространственное взаимодействие элементов.

Выбор структуры технологического процесса сборки и средств оснащения сборочных работ зависит прежде всего от пространственного взаимодействия элементов сборочной единицы. Элементарной моделью любого пространственного взаимодействия является пара элементов (деталей). Только при наличии пары элементов появляется возможность говорить о их взаимодействии, аналитически описывать и регламентировать результат такого взаимодействия. Элементы взаимодействуют друг с другом при соприкосновении (контактировании) по своим поверхностям. Контактирование элементов сопровождается наложением двухсторонних геометрических связей. Эта связь будет устойчивой при приложении к элементам сил или моментов сил.

Для нахождения закономерностей взаимодействия пары элементов необходимо выявить то свойство сопрягаемых поверхностей, от которого зависит характер их контакта. Таким свойством является кривизна поверхности. Каждому виду кривизны может соответствовать конкретное геометрическое тело, обладающее аналогичными свойствами контакта — это сфера (шар), цилиндр

и призма (параллелепипед). При всех возможных вариантах контактов пары поверхностей число контактируемых точек может изменяться от одной до трех. Это обстоятельство необходимо учитывать при составлении модели пространственного взаимодействия для любого конкретного случая контакта элементов, особенно в процессе определения и описания относительного положения элементов при их функционировании в системе машины.

Определение относительного положения элементов может быть осуществлено только при наличии системы или базы отсчета. В геометрическом смысле база отсчета (или база) — это система координат, в которой описывается или реализуется пространственное взаимодействие элементов. Однако при этом необходимо ввести относительность в указанные взаимодействия либо прямым, либо косвенным способом. С этих позиций под базированием понимается введение относительности во взаимодействие пары элементов путем использования системы отсчета. Поэтому при осуществлении базирования предполагается выполнение следующих действий: выбор способа введения относительности (прямой или косвенный); выбор базового элемента, принимаемого за начало отсчета; выбор системы координат; увязка системы координат с базовым элементом.

При анализе относительного положения элементов, условий стабильности этого положения и возможных вариантов относительного положения элементов используются понятия *с в я з и и с т е п е н и с в о б о д ы*. Действительно, какое положение будет занимать элемент, зависит от ограничений, которые накладывает на него среда в виде элементов, с которыми рассматриваемый элемент взаимодействует при данной системе действующих сил или в общем случае силового поля.

Чтобы рассмотреть особенности связей, накладываемых на элемент другими элементами, нужно вскрыть механизм контакта элементов. Контактное взаимодействие двух элементов удобнее всего рассматривать в так называемой естественной системе координат (ЕСК). Каждому конкретному взаимодействию элементов соответствует определенная ЕСК, которая может строиться на одной, двух или трех точках контакта с учетом приложения силы, обеспечивающей данный контакт.

На рис. 1, а показана естественная система координат, построенная на одной точке контакта. Координатная плоскость XOY — это касательная плоскость в точке контакта, ось Z совпадает с направлением действия силы P , перпендикулярна плоскости и является линией пересечения координатных плоскостей XOY и YOZ .

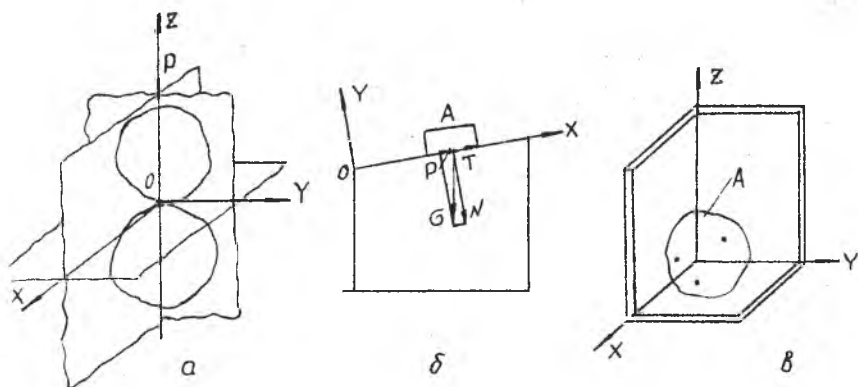


Рис. 1. Способы построения системы координат при базировании элементов

При наличии двух или трех точек контакта проводят соответственно две или три касательные плоскости, которые при пересечении образуют трехгранный угол ЕСК [4].

Понятие о степени свободы элемента можно более полно раскрыть через определение свободного тела, на которое не наложено никаких связей (ограничений) и имеющего в трехмерном геометрическом пространстве шесть степеней свободы. Применительно к декартовой системе координат — это три перемещения вдоль осей и три вращения вокруг осей координат.

Рассмотрим, какие связи наложены на тело при одной точке контакта (рис. 1, а). Элемент не может перемещаться вдоль оси Z , все остальные движения в принципе возможны. Однако при действии силы P элемент занимает неподвижное положение за счет сил трения, возникающих в зоне контакта. Таким образом, можно заключить, что одни связи накладывают ограничения и на положение, и на подвижность элемента (по оси Z), а другие — только на подвижность элемента. Наглядно это ограничение можно пояснить на примере контакта пары элементов на плоскос-

ти, наклоненной к горизонтали (рис. 1, б). Действительно, в выбранной системе координат XOY элемент A не может перемещаться в направлении оси Y (из-за действия силы N) и занимает определенное и неизменное положение по этой оси. В направлении оси X на элемент A действует система сил P и T , где P — составляющая силы веса, а T — сила трения. При условии, что $T \geq P$, элемент A также не перемещается. В этом смысле он лишен подвижности. Однако эта неподвижность может быть реализована в любой точке в пределах наклонной плоскости. Поэтому положение элемента A можно считать неопределенным как в направлении оси X , так и вокруг оси, параллельной оси OY .

Таким образом, при контактном взаимодействии элемента с реальными поверхностями на него может быть наложено шесть связей. Три из этих связей — перемещения вдоль осей координат, а три другие связи — вращения вокруг координатных осей. В зависимости от характера контакта одного элемента с другим и действующих сил можно получить три связи вдоль осей координат, которые накладывают ограничения и на положение, и на подвижность элемента, а три других связи вокруг осей координат лишают элемент только подвижности, но не определяют его положение. В технической литературе, например [4], первые три связи принято называть конечными геометрическими связями (КГС), а три других — неконечными геометрическими связями (НГС). Примером такого контактирования можно считать взаимодействие тела в виде шара с тремя взаимно перпендикулярными плоскостями (рис. 1, в). Любая конкретная схема контакта данного элемента всегда является определенным сочетанием наложенных конечных и неконечных геометрических связей, которых в сумме всегда шесть. С этой точки зрения контакт элемента по одной точке — это случай наложения одной КГС и пяти НГС. Первая определяется характером контакта элемента, а остальные — действующими силами.

Решая практические задачи пространственного взаимодействия элементов a_i и a_j сборочной единицы, мы часто ставим условие придания элементу a_i требуемого положения относительно элемента a_j . В теоретическом плане такое условие означает наложение на элемент шести КГС. Однако для элемента a_i ,

имеющего произвольную форму, выполнение такого условия физически не всегда возможно, так как часть связей будет относиться к числу НГС, а им не присуще свойство точности положения элемента.

Для решения поставленной задачи необходимо в первую очередь все возможное разнообразие форм элементов попытаться свести к конечному числу геометрических образов и, кроме того, применить к элементам идеализированную модель пространственного взаимодействия. Суть этой модели состоит в том, что контактируемые элементы считаются абсолютно твердыми и принимается условие о возможности существования шести КГС, т. е. реальную модель пространственного взаимодействия, в которой могут иметься три КГС и три НГС, переводим в модель с шестью КГС. Очевидно, что такое допущение вызывает необходимость введения в реальную модель взаимодействия дополнительных ограничений и условий. Одним из таких ограничений, которое дает возможность представить все связи в виде КГС, является идеализация формы поверхности тел. В этом случае, например, цилиндрический валик представляется оформленным одной цилиндрической и двумя плоскими поверхностями, а корпусную деталь представляют в виде параллелепипеда, ограниченного плоскими гранями и т. п. Кроме того, рассматривая элемент в прямоугольной системе координат, мы фактически идеализируем и элемент, принятый за начало отсчета. При этом естественная система координат заменяется декартовой прямоугольной системой. Предполагается также, что для каждой системы контакта элементов существует система сил, ее обеспечивающая. Все это приводит к тому, что реальный механизм контакта элементов отражается идеализированной моделью неадекватно.

Одним из приемов представления естественной картины связей в виде шести КГС является введение так называемых скрытых баз. Скрытая база — это воображаемая координатная плоскость, мысленно проводимая относительно имеющихся у детали конструктивно оформленных поверхностей. Скрытыми базами, т. е. несуществующими на детали в виде каких-то ее поверхностей, являются, например, две плоскости координат, которые образуют при пересечении ось цилиндрического валика.

Используя указанный наглядный прием построения полной системы координат, нужно всегда помнить, что фактически взаимодействие тел происходит в ЕСК. Поэтому введение скрытых баз

— это, по сути, переход к искусственно созданной системе координат, а следовательно, все последствия такой замены должны обязательно учитываться.

В ряде задач относительно невысокого уровня точности в отношении пространственных взаимодействий элементов такая идеализированная модель вполне может быть использована, так как она упрощает описание механизма контакта элементов. Однако с возрастанием требований к качеству машин и их деталей мы все чаще оказываемся в ситуации, когда недопустимо использовать указанную модель.

2. СТАТИКА И КИНЕМАТИКА БАЗИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СБОРКЕ

Все элементы изделия при своем взаимодействии образуют либо неподвижную систему тел, либо кинематические пары. Поэтому процесс базирования элементов изделия при сборке распространяется не только на случаи, когда взаимодействующие элементы образуют неподвижную систему, но и на те случаи, когда элементы при своем взаимодействии образуют кинематические пары, например, в подшипниках скольжения, качения и др. Тогда перемещения элементов интерпретируются как кинематические движения, характер которых определяется наложенными связями. Аналогом требуемого положения элемента здесь становится требуемый закон движения. Наличие двух видов задач по обеспечению требуемого положения для неподвижного элемента или закона движения для подвижного элемента позволяет говорить о статике и кинематике базирования элементов при сборке. В кинематике базирования рассматриваются вопросы, связанные с геометрическими свойствами механического движения. При этом могут решаться два типа задач: 1) по наложенным на элемент связям определяют траекторию движения элемента; 2) по траектории движения элемента устанавливают характер наложенных связей. При этом связи записываются в форме, явно зависящей от времени, например $D_x = f_1(t)$ и $D_y = f_2(t)$. Относительное положение и движение элементов определяются другими элементами, с которыми они взаимодействуют, а также системой действующих сил.

При решении задачи об образовании неподвижной системы тел, кроме придания каждому элементу требуемого положения, необходимо еще обеспечить неизменность положения элемента во времени. Это можно сделать только при условии нейтрализации действующих сил, нарушающих требуемые условия данного взаимодействия. То есть необходимо обеспечить фиксацию или замыкание элемента.

Для фиксирования положения элемента в линейном и угловом направлении используют силовое и геометрическое замыкания. Силовое замыкание проявляется в виде действия силы или момента силы. Примеры такого замыкания показаны на рис. 2, а, б, в. Геометрическое замыкание проявляется в виде ограничений для движения тела в определенных направлениях (рис. 2, г, д).

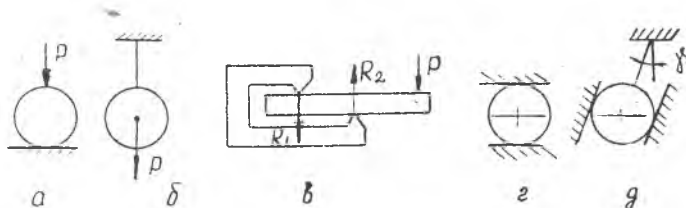


Рис. 2. Виды силового (а, б, в) и геометрического (г, д) замыканий

Во всех случаях элемент фиксируется в требуемом положении. Безусловно, что в реальных взаимодействиях элементов указанные виды замыкания проявляются совместно в различных формах сочетаний. Отметим важное свойство замыкания: каждому данному относительному положению или движению взаимодействующих элементов изделия соответствует вполне определенная структура замыкания, и наоборот. Иначе говоря, положение (движение) элемента и структура замыкания взаимоднозначны.

3. ВИДЫ БАЗ И СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СБОРКЕ

В соответствии с определениями, принятыми в нормативно-справочной и технической литературе (ГОСТ 21495-76 и др.), базой называют поверхность или сочетание поверхностей, ось, точку, принадлежащую элементу изделия и используемую для базирования. Примеры использования баз показаны на рис. 3.

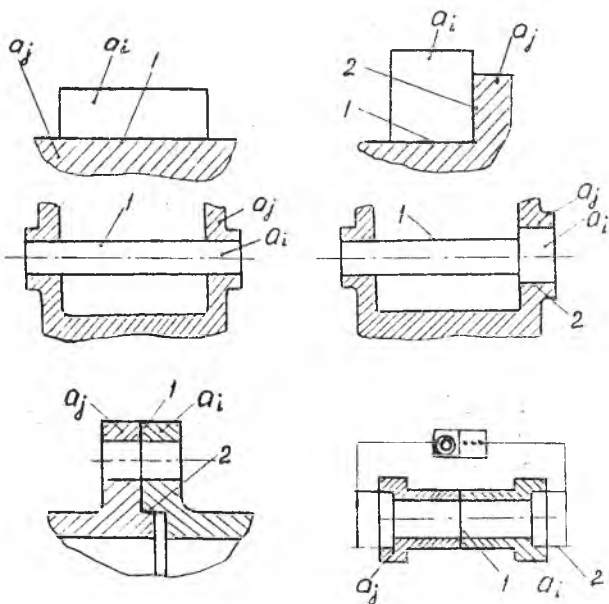


Рис. 3. Примеры использования баз для деталей: a_i — базируемая деталь; a_j — базовая деталь; 1, 2 — базы

Ранее было показано, что элемент изделия, ограниченный реальными поверхностями, может контактировать с другими элементами, определяющими его положение в общем случае лишь по отдельным макро- и микроплощадкам, условно называемыми точками контакта или опорными точками. Только при идеализации геометрической формы поверхностей соединяемых элементов считается, что они полностью контактируют по соприкасающимся поверхностям. Тогда наличие реальных связей между элементами символизируется точками контакта, имеющими теоретический характер.

Шесть связей, лишаящих элемент движения в шести направлениях, могут быть созданы контактом соединяемых элементов в шести точках. Для удобства анализа расположения точек контакта при соприкосновении элементов и соответственно связей, лишаемых этими точками, используется схема расположения опорных точек на базах элемента (схема базирования). На этой схеме все опорные точки изображают условными знаками и нумеруют

порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек. При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую изображается одна точка и около нее проставляются соответствующие номера. На рис. 4 представлены теоретические схемы базирования элементов, оформленных типовыми поверхностями, и названия этих схем, принятые в [4].

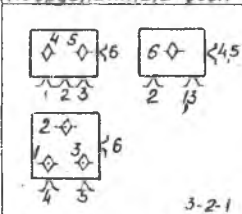
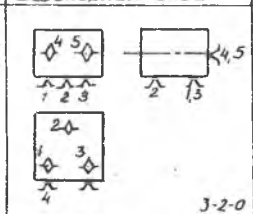
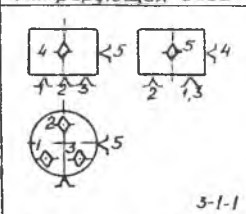
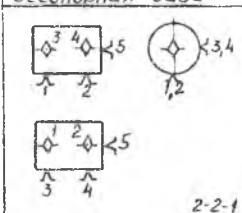
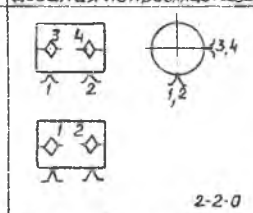
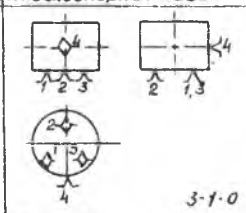
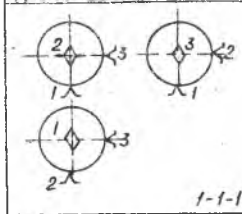
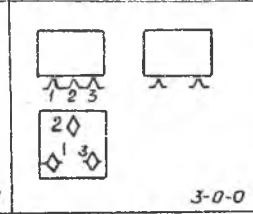
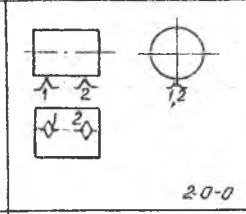
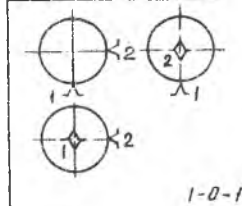
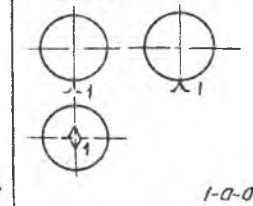
Координатный угол	Безопорная база	Центрирующая база
		
Осевая база	Двойная направляющая база	Плоскоопорная база
		
Трёхопорная база	Установочная база	Направляющая база
		
Двухопорная база	Опорная база	
		

Рис. 4. Схемы базирования элементов изделия

Для придания элементу изделия положения с использованием скрытых баз, т. е. его плоскостей симметрии и осей поверхностей, связи должны быть наложены непосредственно на плоскости симметрии, оси, линии или точки их пересечения. Например, базирование призматического элемента (рис. 5, а) с использованием плоскости симметрии пов. 1 и 2 можно осуществить с использованием двух самоцентрирующих кулачков. Базирование втулки, имеющей $l/d > 1$, на вале (рис. 5, б) с использованием скрытой базы в виде оси цилиндрической поверхности может быть достигнуто с помощью установки ее на вал с натягом или посадки на конусную поверхность. Базирование детали типа кольца (рис. 5, в) с использованием скрытой базы в виде точки (центра окружности в плоскости торца кольца) может быть достигнуто с помощью установки ее на конусную поверхность вала.

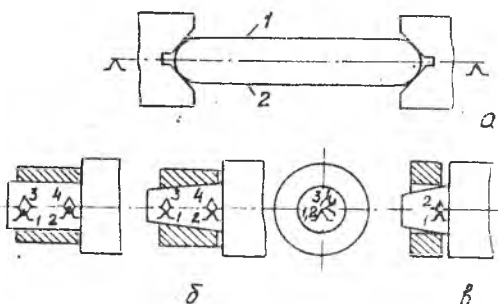


Рис. 5. Схемы базирования деталей с использованием скрытой базы

При сборке изделия положение базируемого элемента относительно базового элемента рассматривается через определение положения системы координат $oxuz$ относительно системы координат $OXYZ$ (или в общем случае относительно избранной системы координат). Жесткая связь системы $oxuz$ с базируемым элементом дает возможность отнести связи, налагаемые на элемент, к самой системе $oxuz$ (рис. 6, а). При рассмотрении вопросов базирования целесообразно координатные плоскости системы $oxuz$ строить на базах элемента таким образом, чтобы одна из них, принимаемая за начало отсчета (рекомендуется $хоу$), была лишена одного перемещения и двух поворотов, другая ($хоz$) была перпендикулярна к $хоу$ и лишала элемент одного перемещения и одного поворота, третья $уoz$ была перпендикулярна к $хоу$ и $хоz$ и лишала элемент одного перемещения (рис. 6, а). В теории и практике базирования такие базы получили название соответственно установочной,

направляющей и опорной. Расположение опорных точек в этом случае показано на рис. 6, б. Совокупность трех баз, образующих систему координат элемента изделия, называют комплектом баз.

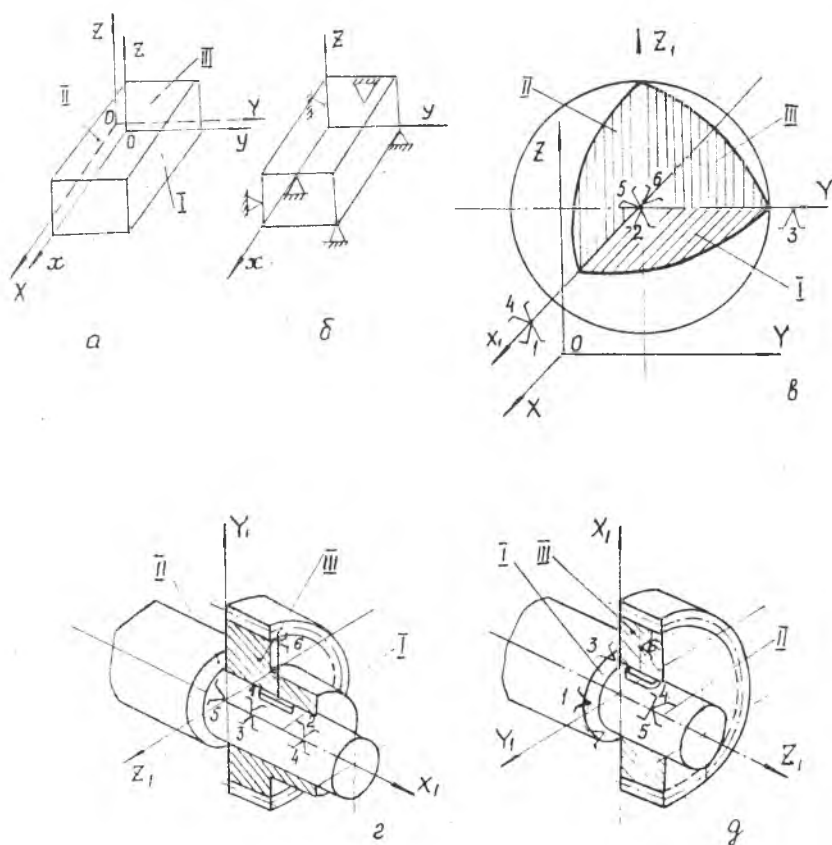


Рис. 6. К определению системы координат базируемого элемента

Материализация координатных плоскостей точками контакта исходит из физической сущности сопряжения по поверхностям, имеющим отклонения формы от идеальной. Положение элемента, устанавливаемого на реальные поверхности, определяется через координаты точек контакта, возникающих на базах. При идеализации геометрической формы базирующих поверхностей

за координатные плоскости принимаются сами базирующие поверхности.

К мысленному построению координатных плоскостей приходится прибегать, когда требуется определить положение тела, используя его центр, оси поверхностей и плоскости симметрии, а также в случае ориентации визуально. Мысленно создаваемые координатные плоскости совмещаются с центром или осями поверхности тела. В качестве их используются плоскости симметрии, а при отсутствии таковых координатные плоскости связываются с характерными поверхностями или сечениями, позволяющими судить о положении тела. На координатных плоскостях мысленно размещаются опорные точки, символизирующие необходимые связи. На рис. 6, в показан пример построения системы координат для шара с использованием его центра. В этом случае плоскость I будет являться установочной скрытой базой, плоскость II — направляющей скрытой базой, плоскость III — опорной скрытой базой.

В практике сборки изделий довольно часто систему координат *охуз* приходится создавать комбинированным способом. В этих случаях роль одних баз выполняют оси поверхностей, плоскости симметрии и т. п., а других баз — сами поверхности элементов. Так, например, при базировании зубчатого колеса с длинной ступицей ($l/d > 1$) система координат строится способом, показанным на рис. 6, г. В этом случае прямая I будет являться двойной направляющей скрытой базой, плоскость II (для колеса) — опорной базой, а поверхность III — опорной скрытой базой. При базировании узкого зубчатого колеса ($l/d < 1$) построение системы координат показано на рис. 6, д. Здесь плоскость I есть установочная база, II — двойная опорная скрытая база, III — опорная скрытая база.

Анализ схем базирования элементов проводится на всех стадиях создания изделия: конструирования, изготовления (сборки), измерения, а также при рассмотрении положения какого-либо элемента в собранном изделии. Многообразие задач, решаемых при анализе схем базирования, вызывает необходимость разделения баз по назначению на три вида: конструкторская база используется для определения положения элемента (детали, сборочной единицы) в изделии; технологическая — для определения положения элемента относительно поверхностей приспособления в процессе его изготовления или сборки; измерительная — для определения положения элемента и средств измерения.

Группу конструкторских баз составляют основные и вспомогательные базы. Основная конструкторская база принадлежит

базируемому элементу и используется для определения положения этого элемента в изделии. Вспомогательная конструкторская база принадлежит также рассматриваемому элементу, но используется для определения положения присоединяемого к нему элемента. Примеры разделения конструкторских баз на основные и вспомогательные показаны на рис. 7. Необходимость подразделения конструкторских баз на основные и вспомогательные вытекает из различия роли этих баз и важности их учета при конструировании (выборе конструктивных форм поверхностей, элементов, задании их относительного положения, простановке размеров, разработке норм точности и т. д.), а также при разработке и осуществлении технологического процесса сборки.

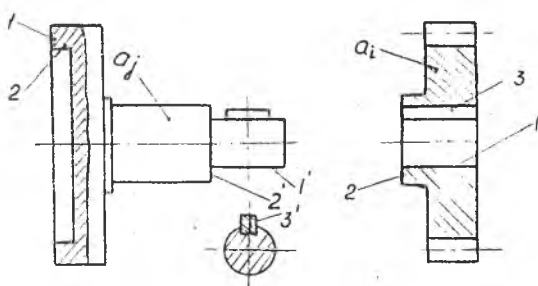


Рис. 7. К понятию основной и вспомогательной конструкторских баз:

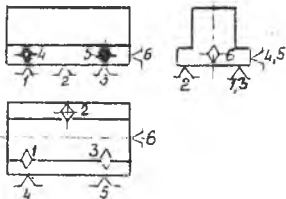
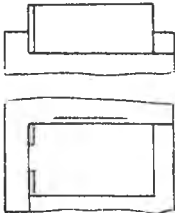
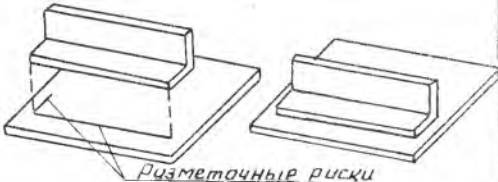

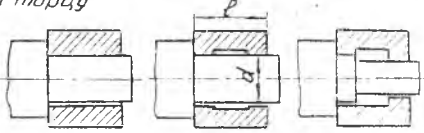
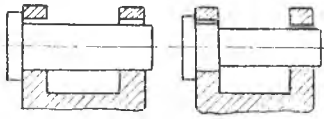
a_i — базиремая деталь; a_j — базовая деталь; 1, 2, 3 — основная конструкторская база; 1', 2', 3' — вспомогательная конструкторская база

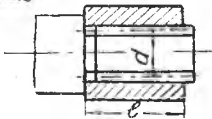
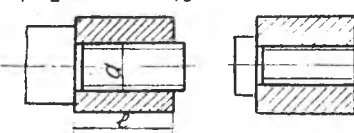
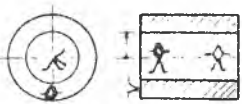
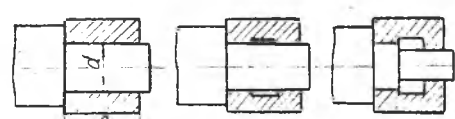
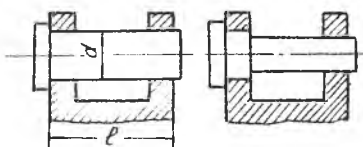
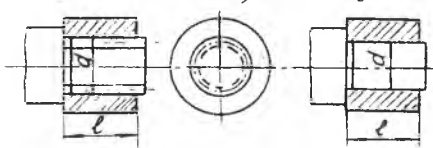
4. СПОСОБЫ БАЗИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СБОРКЕ АВИАЦИОННЫХ ГТД

В соответствии с классификацией баз на конструкторские, технологические и измерительные при разработке технологических процессов сборки авиадвигателей выделяют три способа базирования элементов: по поверхностям изделия; по поверхностям изделия и сборочного приспособления; по поверхностям сборочного приспособления. Рассмотрим все эти способы более подробно.

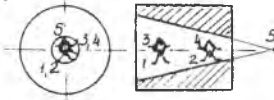
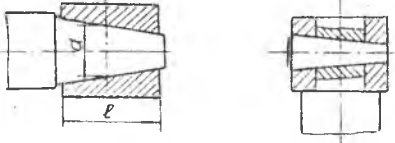
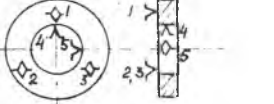

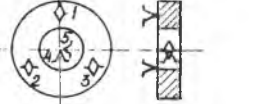

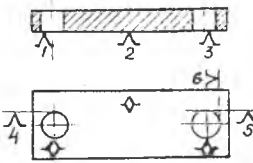
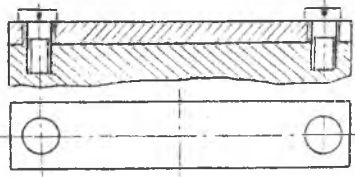
Базирование элемента по поверхности изделия применяется тогда, когда у базиремого элемента существуют базы в направлении всех трех осей координат. Типовые схемы такого базирования, используемые при сборке авиадвигателей, приведены в таблице.

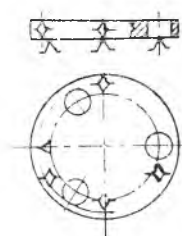
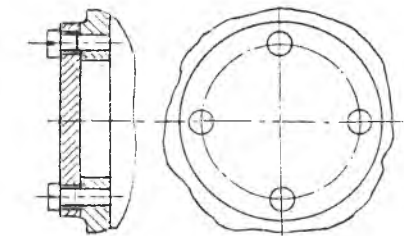
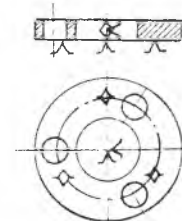
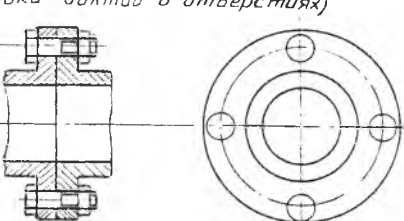
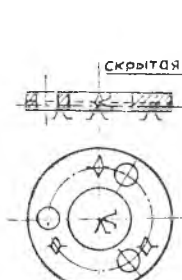
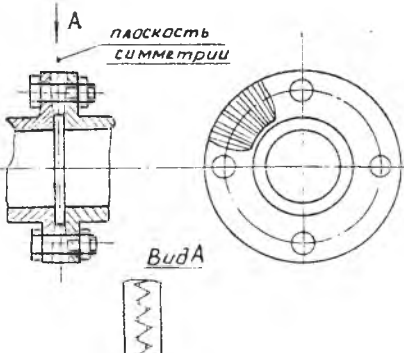
Таблица
Типовые схемы базирования элементов по поверхностям изделий

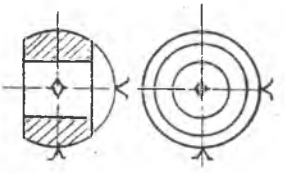
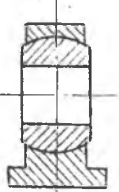
№ п/п	Наименование и теоретическая схема базирования	Варианты конструктивного исполнения
1	2	3
1	<p>Базирование элемента по установочной, направляющей и опорной явным базис</p> 	<p>а) Базирование элемента по плоскости основания и двум боковым плоскостям</p>  <p>б) Базирование элемента по плоскости основания и двум разметочным рискам</p> 
2	<p>Базирование элемента по двойной направляющей и опорной явной базе</p> 	<p>а) Базирование втулки ($e/d > 1$) по цилиндрической поверхности вала (с зазором) и торцу</p>  <p>б) Базирование оси ($e/d > 1$) по цилиндрическим поверхностям отверстия (с зазором) и торцу</p> 

1	2	3
2.	<p>Базирование элемента по двойной направляющей и опорной явной базе</p>	<p>в) Базирование шлицевой втулки на валу (с зазором) и торцу</p>  <p>г) Базирование втулки ($l/d > 1$) по резьбе вала (с зазором) или винта в отверстии корпуса и торцу</p> 
3.	<p>Базирование элемента по двойной направляющей скрытой базе и опорной явной базе</p> 	<p>а) Базирование втулки ($l/d > 1$) по цилиндрической поверхности вала (с натягом) и торцу</p>  <p>б) Базирование пальца ($l/d \geq 1$) по цилиндрическим поверхностям отверстия (с натягом) и торцу</p>  <p>в) Базирование шлицевой втулки ($l/d \geq 1$) по шлицевому валу (с натягом) и торцу</p> <p>г) Базирование резьбовой втулки ($l/d \geq 1$) по резьбе вала (с натягом) и торцу</p> 

Продолжение таблицы

1	2	3
4	<p>Базирование элемента по двойной направляющей и осе-опорной скрытым базам</p> 	<p>Базирование втулки ($l/d \geq 1$) по конической поверхности вала или конического штифта в отверстии</p> 
5	<p>Базирование элемента по установочной явной базе и двойной опорной явной базе</p> 	<p>Базирование кольца ($l/d < 1$) по цилиндрической поверхности вала (с зазором) и торцу или базирование фланца в отверстии корпуса</p> 
6	<p>Базирование элемента по установочной явной базе и двойной опорной скрытой базе</p> 	<p>Базирование кольца ($l/d < 1$) по цилиндрической поверхности вала (с натягом) и торцу или базирование фланца в отверстии корпуса</p> 
7	<p>Базирование элемента по установочной явной базе, а также направляющей и опорной явной базе (в виде двух отверстий)</p> 	<p>Базирование фланца по плоскости основания и двум отверстиям (при наличии зазора между каждым винтом и отверстием)</p> 

1	2	3
8	<p>Базирование элемента по установочной явной базе и двойной опорной явной базе (в виде группы отверстий)</p> 	<p>Базирование фланца по плоскости основания и группе отверстий, расположенных по окружности (при наличии зазора между каждым винтом и отверстием)</p> 
9	<p>Базирование элемента по установочной явной базе и двойной опорной скрытой базе</p> 	<p>Базирование фланца по плоскости основания и группе отверстий, расположенных по окружности (при наличии плотной посадки валов в отверстиях)</p> 
10	<p>Базирование элемента по установочной скрытой базе и двойной опорной скрытой базе</p>  <p>скрытая база</p>	<p>Базирование фланца по треугольным торцовым шлицам</p>  <p>плоскость симметрии</p> <p>Вид А</p>

1	2	3
11	<p><i>Базирование элемента по двойной опорной явной базе и по опорной скрытой базе</i></p> 	<p><i>Базирование сферического подшипника в корпусе</i></p> 

Базирование элемента по поверхностям изделия и сборочного приспособления применяется тогда, когда у базиремого элемента конструкторская база, реализуемая за счет контакта поверхностей сопрягаемых элементов, существует только по одной или двум осям базовой системы координат. Недостающие базы по другим осям дополняются с помощью поверхностей приспособления. Рассмотрим несколько примеров такого базирования. При установке штифта a_1 (рис. 8, а) в отверстие корпуса a_2 с натягом по $\varnothing d$ базой в направлении координатных осей X и Y будет ось штифта (скрытая база). По оси Z основной конструкторской базой элемента a_1 будет являться торцевая поверхность штифта, располагаемая на расстоянии L относительно плоскости T корпуса. В этом случае при установке штифта взаимосвязь основной конструкторской базы штифта и вспомогательной конструкторской базы корпуса в направлении оси Z (плоскость T) осуществляется с помощью поверхностей сборочного приспособления (рис. 8, б).

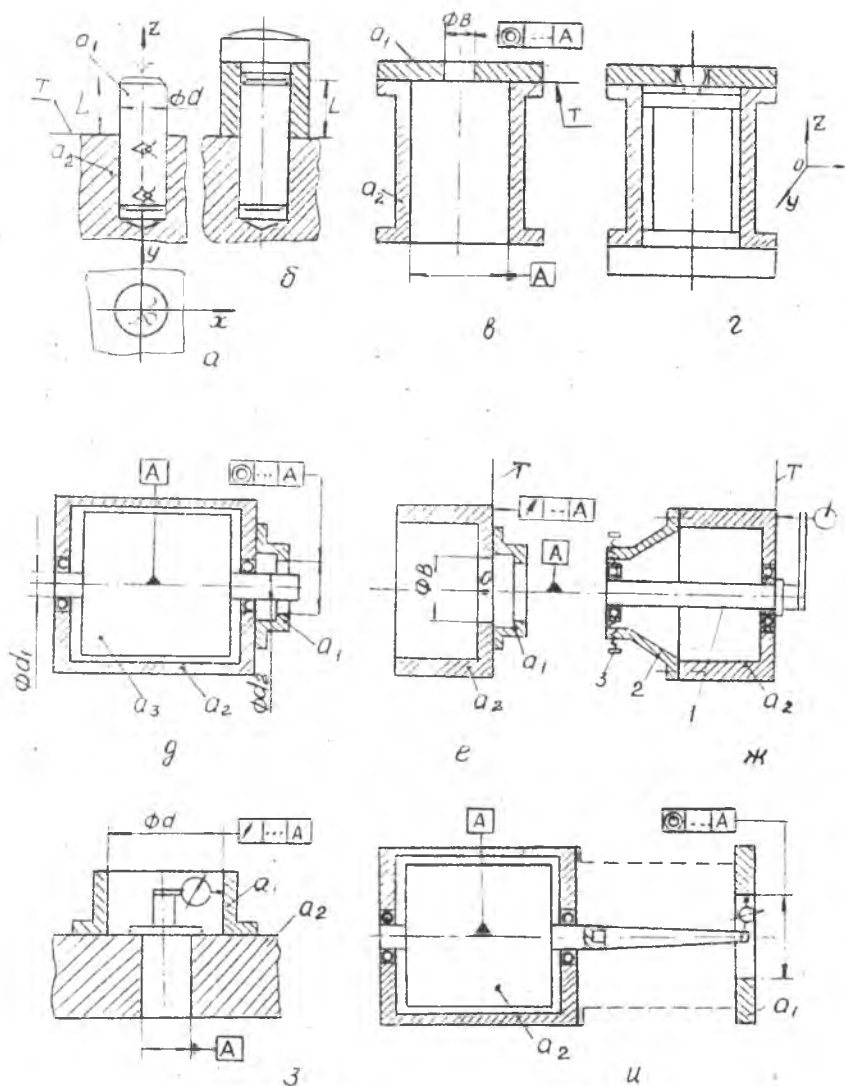


Рис. 8. Примеры базирования элементов с помощью поверхностей изделия и сборочного приспособления

При установке крышки a_1 на фланец цилиндра a_2 (рис. 8, в) базирование крышки в направлении оси Z осуществляется по поверхности T , принимаемой в качестве основной и вспомогательной конструкторских баз соответственно для элементов a_1 и a_2 . Положение крышки в направлении координатных осей X и Y определяется с помощью основной конструкторской базы — поверхности $\emptyset B$ отверстия, связанной размером с поверхностью $\emptyset A$ цилиндра, являющейся в данном случае вспомогательной конструкторской базой. Непосредственного контакта поверхности $\emptyset A$ и $\emptyset B$ не имеют. Поэтому при сборке взаимосвязь основной и вспомогательной конструкторских баз элементов a_1 и a_2 в направлении координатных осей X и Y осуществляется с помощью поверхностей сборочного приспособления, схема которого показана на рис. 8, г.

При базировании устанавливаемого элемента изделия в качестве вспомогательной конструкторской базы может использоваться общая ось двух цилиндрических поверхностей. Так, например, положение втулки a_1 (рис. 8, д) при установке ее на корпус a_2 определяется по отношению к оси вращения ротора a_3 , являющейся общей осью двух поверхностей $\emptyset d_1$ и $\emptyset d_2$ (вспомогательная конструкторская скрытая база).

При сборке изделий встречаются случаи, когда конструктору не удастся использовать ось какой-либо поверхности вращения базового элемента в качестве вспомогательной конструкторской базы для базируемого элемента, как это имело место в предыдущем случае. Поэтому в роли вспомогательной конструкторской базы конструктор может назначить условную ось (скрытую базу), оговорив ее положение рядом требований. Например, на рис. 8, е при установке элемента a_1 на элемент a_2 в качестве вспомогательной конструкторской базы (A) используется мнимая прямая, проходящая через центр окружности в среднем по длине сечения отверстия $\emptyset B$ и расположенная перпендикулярно к плоскости T

элемента a_2 . Для реализации этого требования используется приспособление, схема которого показана на рис. 8, ж. Здесь вал 1 приспособления имеет две опоры со сферическими шарикоподшипниками. Правый подшипник располагается в отверстии $\varnothing B$ элемента a_2 . Левый подшипник располагается в корпусе 2 приспособления, закрепляемого на элементе a_2 изделия. Положение левой опоры вала 1 приспособления в радиальном направлении может быть изменено с помощью винтов 3 по результатам измерения торцевого биения поверхности T индикаторными часами 4.

В рассмотренных на рис. 8, б, — 8, г схемах осуществляется так называемое "жесткое" (принудительное) базирование элемента a_1 через поверхности сборочного приспособления. Однако в практике сборки двигателей нередко применяются варианты "нежесткого" базирования, когда элемент a_1 устанавливается в требуемом положении относительно вспомогательной конструкторской базы элемента a_2 путем радиального перемещения элемента a_1 непосредственно самим сборщиком. Это перемещение производится на основе информации о положении основной конструкторской базы элемента a_1 относительно вспомогательной конструкторской базы элемента a_2 , полученной в результате измерения. Так, например, на рис. 8, з элемент a_1 базируется по оси поверхности $\varnothing A$ элемента a_2 , являющейся вспомогательной конструкторской скрытой базой этого элемента. Положение элемента a_1 контролируется при измерении радиального биения по поверхности $\varnothing d$ с помощью индикаторных часов, входящих в комплект приспособления.

На рис. 8, и показан другой вариант "нежесткого" базирования элемента a_1 относительно вспомогательной конструкторской базы элемента a_2 — оси вращения ротора.

Базирование элемента по поверхностям сборочного приспособления применяется при сборке изделий, где используются сварные, паяные, клепаные соедине-

ния. В таких соединениях часто отсутствуют базы в виде поверхностей элементов, располагаемых непосредственно в зоне соединения. Поэтому пространственное расположение базируемого элемента a_i относительно базового элемента a_j регламентируется в сборочном чертеже с помощью баз, расположенных вне пределов самого соединения. Пример такого базирования показан на рис. 9, а для двух патрубков, соединяемых с помощью сварки. Здесь для базируемого элемента a_1 в качестве комплекта основных конструкторских баз используется плоскость T_1 и цилиндрическая поверхность отверстия $\varnothing d_1$. Базовый элемент a_2 имеет комплект вспомогательных конструкторских баз в виде плоскости T_2 и цилиндрической поверхности отверстия $\varnothing d_2$. Использование таких баз при сборке возможно только при наличии сборочного приспособления. Для приведенной на рис. 9, а конструкции сборочной единицы схема сборочного приспособления показана на рис. 9, б. Здесь оба собираемых элемента a_1 и a_2 базируются по поверхностям сборочного приспособления, имеющего комплект поверхностей, аналогичный базам элементов a_1 и a_2 . Сами эти базовые поверхности обычно располагаются на ступельных плитах, фиксаторах, упорах, кронштейнах и других элементах приспособления. Крепление устанавливаемых элементов a_1 и a_2 сборочной единицы осуществляется прижатием их к базовым элементам приспособления с помощью болтов, прижимов, струбцин и т. п. Механическая связь всех элементов приспособления, обеспечивающая определенность базирования элементов сборочной единицы, осуществляется с помощью системы несущих элементов: силового каркаса или корпуса приспособления. Из-за большого разнообразия конструктивно-технологических свойств сборочных единиц и поверхностей, применяемых в качестве конструкторских баз, конструкция сборочных приспособлений и их элементов также весьма разнообразна. Для примера на рис. 9, в показана схема трубопровода, изготавливаемая путем сварки трех элементов a_1, a_2, a_3 . Для базирования этих элементов в процессе сварки используется приспособление, схема которого показана на рис. 9, г.

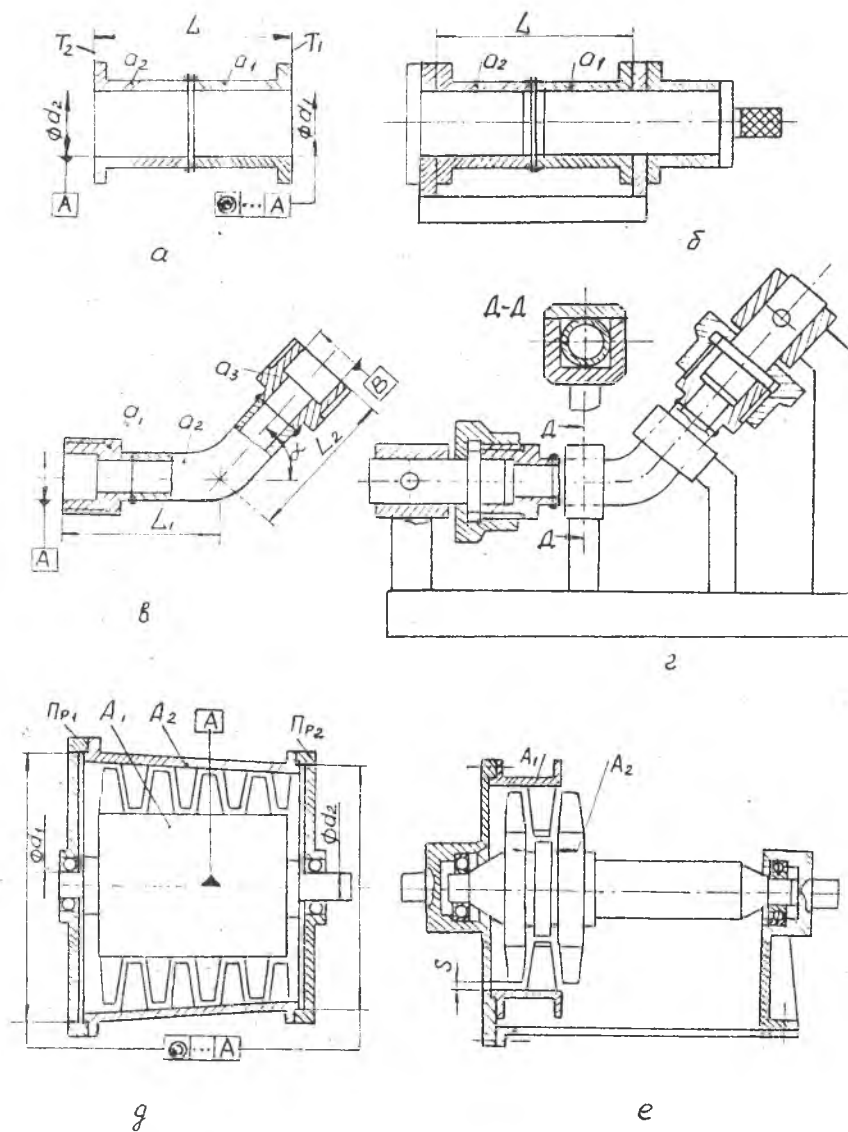


Рис. 9. Примеры базирования элементов изделия с помощью поверхностей сборочного приспособления

Кроме рассмотренных примеров, базирование элементов изделия с помощью приспособления применяется в тех случаях, когда в период сборки какой-либо сборочной единицы временно отсутствует элемент изделия, который базирует одновременно отдельные составные части этой сборочной единицы. Так, например, в конструкции ГТД положение сборочной единицы A_1 — ротора компрессора и сборочной единицы A_2 — статора компрессора (рис. 2, д) определяется путем базирования элементов A_1 и A_2 с помощью двух корпусов опор изделия. Однако при сборке компрессора указанные корпуса опор не могут быть использованы, так как они участвуют в сборке других сборочных единиц. Поэтому сборка компрессора и последующая балансировка ротора осуществляется с помощью двух приспособлений $Пр_1$ и $Пр_2$, имеющих комплект баз, аналогичный корпусам опор. Так, в качестве основной конструкторской базы при балансировке ротора используется общая ось (A) двух поверхностей $\varnothing d_1$ и $\varnothing d_2$ (скрытая база). На рис. 9, е показан еще один пример приспособления для базирования соплового аппарата A_1 турбины относительно ротора A_2 с целью обеспечения равномерного зазора S при балансировке ротора.

Анализируя конструктивные схемы различных приспособлений, предназначенных для базирования элементов сборочной единицы, можно отметить следующее. Основными элементами сборочного приспособления являются: комплект поверхностей базирующих элементов приспособления, представляющих собой отраженный вид сопрягаемых поверхностей базируемых элементов изделия; каркас (или корпус) приспособления, обеспечивающий пространственную взаимосвязь и силовое замыкание между всеми элементами сборочного приспособления.

По отношению комплекта выбранных баз к формированию геометрического параметра, указанного в сборочном чертеже, каждый из рассмотренных способов базирования относится либо к косвенному, либо к прямому методу базирования. При косвенном методе базирования сборочная единица формируется в результате последовательного базирования каждого вновь устанавливаемого элемента относительно предшествующего элемента, входящего в сборочную единицу. В этом случае базирование вновь устанавливаемого элемента производится обычно непосредственно по поверхностям предшествующего элемента.

При прямом методе базирования сборочная единица формируется так, чтобы обеспечить заданное по чертежу положение базируемого элемента относительно элемента, выбранного в качестве базового, независимо от положения промежуточных элементов. В этом случае обычно используется базирование с помощью поверхностей сборочного приспособления.

5. ТРЕБОВАНИЯ К СИЛОВОМУ ЗАМЫКАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ БАЗИРОВАНИИ

Для сохранения неизменного положения базируемого элемента a_i относительно вспомогательной конструкторской базы базового элемента a_j необходимо к базируемому элементу приложить силу или систему сил, обеспечивающих силовое замыкание. Эта система сил должна отвечать определенным требованиям, несоблюдение которых приводит к смене базы. Если система действующих сил не соответствует принятой схеме базирования, происходит изменение положения базируемого элемента по отношению к базовому. В идеальном случае силы крепления должны прикладываться строго напротив опорных точек элемента, чтобы исключить появление моментов сил. По условиям равновесия эта система сил должна быть сходящейся, т. е. приводимой к равнодействующей силе P , приложенной в одной точке. Однако крепление элемента в местах расположения опорных точек часто оказывается невозможным по конструктивным соображениям или по другим причинам. Поэтому любой другой вариант схемы крепления элемента (с другой системой точек приложения сил) должен быть эквивалентным исходному.

Возможны два варианта разложения исходной силы P по схеме двухплечевого (рис. 10, а) и трехплечевого (рис. 10, б) рычагов, а также их сочетания. Каждая последующая схема разложения силы P должна отвечать условиям равновесия рычага. Варьируя длиной плеч (l_1, l_2, l_3) и модулями локальных сил (P_1, P_2, P_3), можно обеспечить

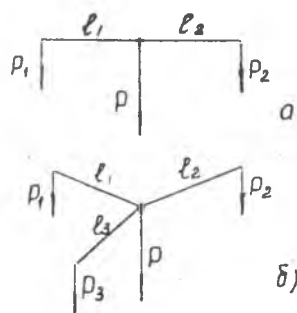


Рис. 10. Схема разложения сил крепления

любую необходимую и практически реализуемую схему крепления. Может быть поставлена и обратная задача. Если по каким-то причинам строго регламентированы значения и место приложения сил крепления, то можно определить соответствующую им схему расположения опорных точек элемента изделия или приспособления.

При реализации конкретных схем установки элемента приходится считаться с нестабильностью положения фактических точек контакта на опорах приспособления. Эти опоры часто выполняются в виде плоских пластин относительно большой площади. При неправильном расположении точек приложения сил образуются моменты, поворачивающие базируемый элемент на опорах приспособления во время крепления. Происходит и н в е р с и я б а з, заключающаяся в том, что схема с замыканием по силе переходит в схему с замыканием по моменту. Элемент при этом изменяет свое первоначальное положение. Рассмотрим это на примере. На рис. 11, а показано положение элемента a_i на опорах I, II, III, IV приспособления (размеры этих опор ограничены заштрихованными участками). До приложения сил закрепления положение элемента a_i можно выразить схемой базирования, показанной на рис. 11, б. Теперь примем условие, что контакт элемента a_i с опорами приспособления происходит фактически в точках, обозначенных на схеме звездочками. При действии силы закрепления (P_1), созданной в точке А зажимом приспособления, из-за момента $M = P_1 \cdot l$ происходит поворот элемента a_i на опорах I — IV. При действии на элемент a_i силы P_2 от второго зажима (в точке В) начнется взаимодействие моментов от сил P_1 и P_2 и, в конечном итоге, элемент a_i займет некоторое промежуточное положение. При этом первоначальная схема базирования, показанная на рис. 11, б точками 1, 2, 3, перейдет в схему, показанную на рис. 11, в точками 1, 2, 3'. Дополнительно в элементе a_i может возникнуть деформация. Если бы элемент a_i закреплялся вначале зажимом, создающим силу P_2 в точке В, то элемент a_i сразу бы прижался к опорам, на которых элемент находился первоначально и инверсия баз не наблюдалась. Рассмотренный пример показывает, что в реальных схемах установки элементов необходимо применять такие конструктивные решения, которые исключали бы инверсию баз. В частности, этому

может способствовать заданная очередность действия зажимов приспособления. Можно также заранее определять зоны расположения зажимов приспособления, гарантирующие при любом возможном положении фактических точек контакта на опорах создание условий определенности базирования. Схема определения таких зон показана на рис. 11, г. Цифры 1, 2, 3, 4 показывают зоны приложения сил крепления, гарантирующие отсутствие инверсии баз при любом возможном (в пределах участков а, б, в, г) расположении точек контакта на опорах приспособления. Следует также отметить, что для обеспечения определенности базирования необходимо, чтобы в комплект сборочных баз входили достаточно жесткие элементы конструкции изделия или сборочного приспособления, способные воспринимать фиксирующие силы.

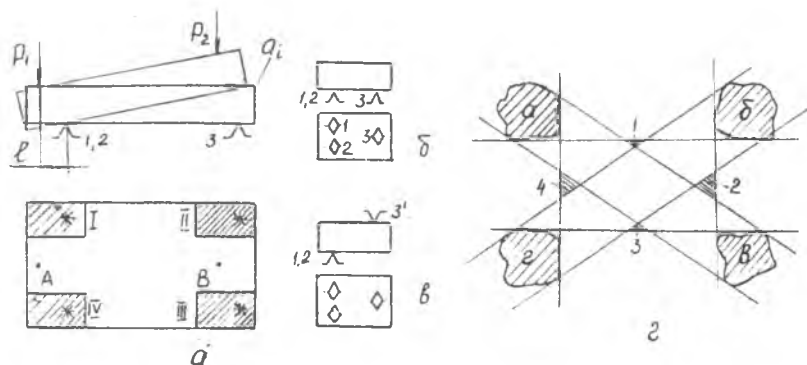


Рис. 11. Влияние расположения точек приложения сил крепления на инверсию баз

6. ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ И УСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СБОРКЕ

Формирование сборочной единицы при сборке происходит путем последовательной установки элементов, составляющих эту единицу. Установка каждого элемента включает действия по базированию и последующему его закреплению. Поэтому точность пространственного положения устанавливаемого элемента a_i относительно предшествующего (базового) элемента a_j определяется погрешностью установки. При сборке единичного экзем-

пляра сборочной единицы погрешность установки $\Delta_{уст}$ представляет собой сумму погрешностей базирования $\Delta_{баз}$ и закрепления $\Delta_{закр}$, т. е.

$$\Delta_{уст} = \Delta_{баз} + \Delta_{закр}. \quad (1)$$

Для партии сборочных единиц имеют дело с полями рассеяния погрешностей. При этом

$$\omega_{уст} = \omega_{баз} + \omega_{закр}. \quad (2)$$

Погрешность базирования ($\omega_{баз}$) представляет собой отклонение фактически достигнутого положения базируемого элемента от требуемого. Эта погрешность, в свою очередь, представляет собой сумму погрешности расположения вспомогательной и основной конструкторских баз для базового элемента a_j ($\omega_{р.кб}$) и погрешности положения базируемого элемента относительно базового ($\omega_{пол}$). В общем случае погрешность $\omega_{пол}$ представляет собой отклонение системы координат, построенных на основной конструкторской базе элемента a_i , относительно системы координат, построенных на вспомогательной конструкторской базе элемента a_j :

$$\omega_{баз} = \omega_{р.кб} + \omega_{пол}. \quad (3)$$

Под погрешностью закрепления ($\omega_{закр}$) понимается отклонение положения элемента от достигнутого при базировании из-за деформаций, происходящих в отдельных звеньях соединения при воздействии сил закрепления. Для партии сборочных единиц имеет место поле рассеяния погрешности, что связано с изменением силы закрепления, а также физико-механическими свойствами поверхностного слоя на поверхностях контактируемых элементов.

Если сборочная единица состоит из ряда элементов, последовательно устанавливаемых на первый базовый элемент, то поле рассеяния суммарной погрешности установки какого-либо элемента a_k относительно первого базового элемента определится по формуле, составленной на базе уравнения размерной цепи:

$$\omega_{\Delta_{уст}} = \sum_{i=1}^k \omega_{i_{уст}}. \quad (4)$$

Как следует из формулы (4), поле рассеяния $\omega_{\Delta \text{уст}}$ зависит от числа составляющих звеньев размерной цепи и величины полей рассеяния $\omega_{i \text{уст}}$. Количество составляющих звеньев обусловлено, в основном, конструкцией сборочной единицы и видом соединения элементов между собой. Однако в практике сборки изделий существенное уменьшение суммарной погрешности установки элемента a_k относительно первого базового элемента может быть получено за счет уменьшения количества составляющих звеньев размерной цепи, участвующих в формировании $\omega_{\Delta \text{уст}}$. Это может быть достигнуто технологическими средствами, например, путем замены метода косвенного (последовательного), характеризуемого уравнением (4), на прямой метод базирования. При этом методе базирования устанавливаемый элемент a_k непосредственно базируется относительно первого базового элемента с помощью сборочного приспособления. Тогда погрешности установки других элементов ($\omega_{i \text{уст}}$), участвующих при косвенном методе базирования, не будут входить в сборочную размерную цепь. Составляющими звеньями здесь будут только погрешность расположения основной и вспомогательной конструкторских баз сборочного приспособления ($\omega_{\text{пр1(пр2)}}$) и погрешность, возникающая в результате сопряжения элементов приспособления с элементами сборочной единицы. Метод прямого базирования применим в тех случаях, когда в соединениях элементов сборочной единицы имеется возможность компенсации погрешности расположения устанавливаемых элементов. Следует заметить, что после выполнения операции установки элементов сборочной единицы методом прямого базирования все погрешности, участвующие в косвенном методе базирования, также будут существовать, но они не окажут влияния на погрешность расположения устанавливаемого элемента a_k . Таким образом, при прямом методе базирования размерная цепь включает в себя меньше составляющих звеньев, чем при косвенном методе.

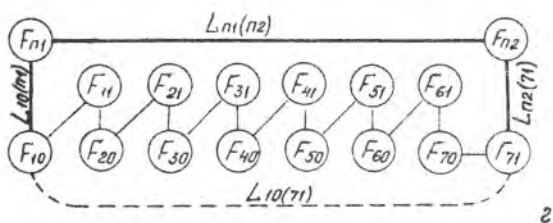
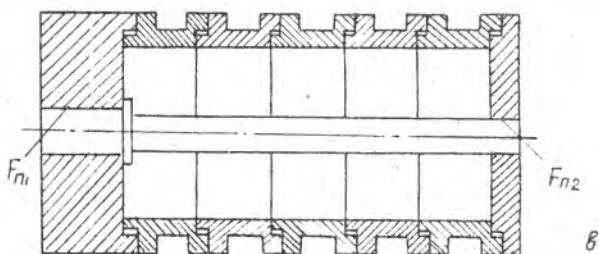
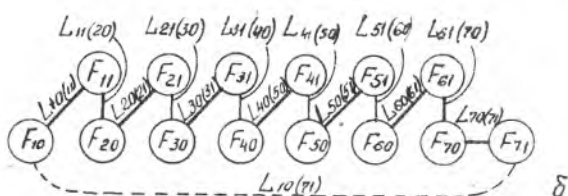
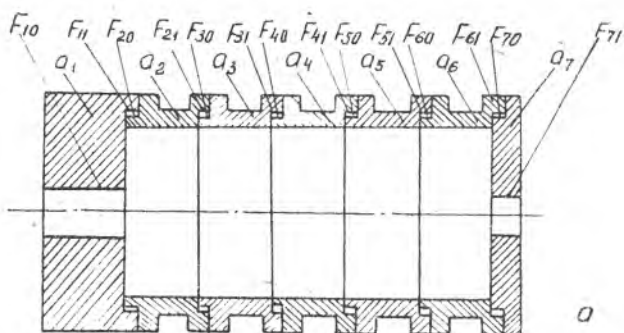


Рис. 12. Схемы размерных цепей (графы) при косвенном и прямом способах базирования

Для примера рассмотрим сборочные размерные цепи при различных способах базирования элементов статора компрессора газотурбинного двигателя (рис. 12, а). Статор состоит из корпусов a_1 и a_7 , а также колец a_2, a_3, \dots, a_6 . При сборке статора особое внимание уделяется обеспечению соосности поверхностей F_{10} и F_{71} для подшипников качения, являющихся опорами для ротора. Величина погрешности расположения осей этих поверхностей будет зависеть от метода базирования элементов. При косвенном методе базирования, когда каждый последующий элемент базируется по предыдущему элементу (т. е. элемент a_2 базируется по элементу a_1 , элемент a_3 по a_2 и т. д.), величина погрешности расположения осей поверхностей F_{10} и F_{71} будет определяться из размерной цепи (размерного графа), показанной на рис. 12, б. Составляющими звеньями этой размерной цепи будут размеры $L_{10(11)}, L_{20(21)}, L_{30(31)}, L_{40(41)}, L_{50(51)}, L_{60(61)}, L_{70(71)}$, представляющие собой погрешности взаимного расположения (в радиальном направлении) основной и вспомогательной конструкторских баз для каждого элемента, и размеры $L_{11(20)}, L_{21(30)}, L_{31(40)}, L_{41(50)}, L_{51(60)}, L_{61(70)}$, представляющие собой размеры сопряжений (зазор между буртом и расточкой двух смежных элементов). Следует отметить, что в реальных условиях сборки статора компрессора кроме указанных погрешностей на несоосность поверхностей F_{10} и F_{71} будет оказывать влияние еще одна группа погрешностей, связанных с непараллельностью торцов колец a_2, \dots, a_6 и вызывающих угловые отклонения осей поверхностей F_{10} и F_{71} в пространстве. Для упрощения рассматриваемой задачи эта группа погрешностей условно не рассматривается.

При прямом методе базирования, когда поверхности F_{10} и F_{71} базируются по валу сборочного приспособления (рис. 12, в), величина погрешности расположения осей указанных поверхностей будет определяться из размерной цепи, показанной на рис. 12, г. Составляющими звеньями в этой цепи будут только размеры $L_{п1(п2)}$ сборочного приспособления и размеры сопряжения вала с поверхностями F_{10} и F_{71} .

При сборке статора компрессора размеры $L_{10(11)}$ и другие также будут существовать, но они не окажут влияния на погрешность замыкающего звена размерной цепи. Таким образом, при методе прямого базирования размерная цепь включает в себя меньшее количество составляющих звеньев, чем при косвенном методе. Поэтому точность прямого базирования значительно выше. Однако, чтобы сохранить достигнутую точность базирования в процессе эксплуатации изделия, необходимо соответствующими конструктивными способами обеспечить хорошую фиксацию сопрягаемых деталей относительно друг друга.

7. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ И СОСТАВА СБОРОЧНЫХ БАЗ

При проектировании технологического процесса сборки с помощью средств вычислительной техники необходимо имеющиеся механические и геометрические связи между элементами изделия и технологической системой сборки представить в виде математических моделей, основанных на использовании теории множеств, теории графов и математической логики.

При рассмотрении вопросов статистики базирования схемы базирования и состав баз элементов конструкции относительно принятой системы координат в формализованном виде можно описать с помощью единичных баз $B_{i(j)}^\alpha$ [2,5]. Каждая единичная база

представляет собой векторную величину, обусловленную существованием активной силы или реакцией связи, действующей на элемент a_i в направлении оси α , относительно базового элемента a_j . Элемент, лишенный всех возможных перемещений, будет иметь двенадцать единичных баз:

шесть поступательных $\left(B_{i(j)}^{+x}, B_{i(j)}^{-x}, \dots, B_{i(j)}^{-z} \right)$ и шесть вращательных $\left(B_{i(j)}^{+x}, B_{i(j)}^{-x}, \dots, B_{i(j)}^{-z} \right)$. Состав единичных баз, возникающих

под воздействием активных сил и реакций связи на рассматриваемый элемент, можно определить, решая уравнение равновесия этого элемента в базовой системе координат.

Одной из важнейших задач, возникающих при проектировании технологического процесса сборки, является определение требуемых составов сборочных баз $B_{i(j)} = \{a_k, \dots, a_m\}$, обеспечивающих определенность базирования устанавливаемого элемента a_i . При решении этой задачи единичная база представляется как логическая величина, значение которой $B_{i(j)}^\alpha = 1$, если существует механическая связь, обеспечивающая определенность базирования в направлении α . Состояние a_i при базировании характеризуется логическим уравнением $B_{(a_i)}$ состава сборочных баз; $B_{(a_i)} = 1$ — если определенность базирования обеспечена, и $B_{(a_i)} = 0$ — в противном случае.

Если базирование элемента a_i производится не только по базам элементов a_j сборочной единицы, но и элементов сборочного приспособления, то в уравнении состава сборочных баз должен быть введен элемент приспособления b_j . Например, при базировании элемента a_i с помощью элементов a_k, a_m и элемента приспособления b_j уравнение состава сборочных баз представляется следующим образом:

$$B_{(a_i)} = b_j \wedge a_k \wedge a_m.$$

При рассмотрении вопросов кинематики базирования описание характера движения элемента сборочной единицы разделяют на описание траектории движения и описание состава и взаимосвязи возможных движений. На количественном уровне траекторию описывают методами аналитической геометрии. На теоретико-множественном и логических уровнях весьма удобным методом, хорошо приспособленным для выполнения расчетов на ЭВМ, является описание траектории с помощью матриц перемещения

$\left| D_{i(j)}^\alpha \right|$, [2, 3, 5]. Матрица $\left| D_{i(j)}^\alpha \right|$ получается из системы уравнений, описывающих ортогональное преобразование координат точек тела из начального состояния (x_1, y_1, z_1) в конечное (x_2, y_2, z_2) . При переходе к одномерным координатам x, y, z, t , удовлетворя-

ющим условиям $x_i / t = X_i$; $y_i / t = Y_i$; $z_i / t = Z_i$; $t=1$, эта система уравнений в матричной форме примет вид

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Такое преобразование можно истолковать как ортогональное преобразование координат твердого тела в четырехмерном пространстве, определяемое оператором:

$$|D^\alpha| = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Этот оператор и представляет собой матрицу перемещения. При отсутствии поворотов численные значения коэффициентов составляют $a_{ii}=1$; $a_{ij}=0$, если $i \neq j$, $i, j=1, 2, 3$. При отсутствии поступательных перемещений $a_{14}=a_{24}=a_{34}=0$. Матрица $|D^\alpha|$ описывает движения как векторную величину — возможное перемещение D^α , имеющее модуль d^α .

Отсутствие возможного перемещения обусловлено наличием механической связи, препятствующей данному перемещению. Поэтому на логическом уровне возможное перемещение есть величина, обратная единичной базе: если $B_{i(j)}^\alpha=1$, то $D_{i(j)}^\alpha=0$ и, наоборот, — если $D_{i(j)}^\alpha=1$, то $B_{i(j)}^\alpha=0$. В декартовой системе координат существует двенадцать различных векторов возможных перемещений, коллинеарных осям координат: шесть поступательных D^{+x} , D^{-x} , ..., D^{-z} и шесть вращательных $D^{+\dot{x}}$, $D^{-\dot{x}}$, ..., $D^{-\dot{z}}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / Под ред. Д. В. Хронина; С. А. Вьюнов, Ю. И. Гусев, А. В. Карпов и др. — М.: Машиностроение, 1989. — 368 с.
2. Павлов В. В. Моделирование технологических систем и проектирование сборочных процессов // Проектирование оптимальных технологических систем машин: Сб. науч. тр. — М.: Машиностроение, 1989. — С. 297—309.
3. Технологичность конструкции изделия: Справочник. 2-е изд. / Под ред. Ю. Д. Амирова; Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферова, П. Н. Волкова и др. — М.: Машиностроение, 1990. — 768 с.
4. Технологические основы ГПС / Под ред. Ю. М. Соломенцева. — М.: Машиностроение, 1991. — 240 с.
5. Технология сборки самолетов / В. И. Ершов, В. В. Павлов, М. Ф. Каширин и др. — М.: Машиностроение, 1986. — 456 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Пространственное взаимодействие элементов сборочной единицы и основы базирования	3
2. Статика и кинематика базирования элементов при сборке	8
3. Виды баз и схемы базирования элементов при сборке	9
4. Способы базирования элементов при сборке авиационных ГТД	15
5. Требования к силовому замыканию элементов при базировании	27
6. Погрешности базирования и установки элементов при сборке	29
7. Математическое описание схем базирования и состава сборочных баз	34
Библиографический список	37

Учебное издание

Захаров Василий Андреевич

**БАЗИРОВАНИЕ И БАЗЫ ПРИ СБОРКЕ
АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ**

Учебное пособие

Редактор Т. К. К р е т и н и н а
Техн. редактор Н. М. К а л е н ю к
Корректор Т. И. Щ е л о к о в а

Подписано в печать 11.01.96. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 2,32.
Усл.кр.-отт. 2,4. Уч.-изд.л. 2,5. Тираж 300 экз.
Заказ **13**.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.