

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ХА ВАН ЧЬЕН

**ФОРМИРОВАНИЕ СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ ПРИ
РАЗРАБОТКЕ ОСНАСТКИ ДЛЯ СБОРКИ УЗЛОВ ИЗ
МАЛОЖЁСТКИХ ДЕТАЛЕЙ**

Специальность 05.02.08 – «Технология машиностроения»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент Ахатов Р. Х.

Иркутск – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА СБОРОЧНЫХ БАЗ ДЛЯ СБОРКИ УЗЛОВ ИЗ МАЛОЖЁСТКИХ ДЕТАЛЕЙ	16
1.1 База и базирование в машиностроении	16
1.1.1 Состав сборочных баз в машиностроении	16
1.1.2 Методы сборки в самолетостроении	19
1.1.3 Основные факторы, влияющие на выбор метода сборки	25
1.2 Методики автоматизированного выбора состава сборочных баз	28
1.2.1 Анализ существующих методов определения состава сборочных баз	28
1.2.2 Методы выбора баз при автоматизированном проектировании технологических процессов	34
1.3 Цели и задачи исследования	41
2. МЕТОД ФОРМАЛИЗОВАННОГО АНАЛИЗА ОСНОВНЫХ БАЗ МАЛОЖЁСТКОЙ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ	44
2.1 Задачи и методика исследования при анализе основных баз маложёсткой сборочной единицы	44
2.1.1 Основная задача исследования	44
2.1.2 Методика исследования	45
2.2 Понятие поверхности сопряжения между сборочными единицами изделия	46
2.3 Анализ геометрической формы сборочной единицы	48
2.3.1 Основные геометрические характеристики, которые влияют на степени свободы сборочной единицы	48
2.3.2 Минимальный состав базовых точек и их минимальные расстояния в одной поверхности базирования	54
2.4 Условия обеспечения требуемой фиксации сборочной единицы	57
2.5 Выводы по главе 2	58

3. МЕТОД ВЫБОРА ОПОРНЫХ БАЗОВЫХ ТОЧЕК ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ МАЛОЖЁСТКОЙ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ	60
3.1 Анализ типовых элементов в конструкции планера самолета	60
3.1.1 Классификация сборочных единиц	60
3.1.2 Основные характеристики для выбора опорных базовых точек в деталях сборочной единицы	65
3.1.3 Основные типовые элементы в конструкции планера самолета	67
3.2 Метод определения шага размещения опорных базовых точек детали из прессованных профилей типа балки	70
3.3 Метод определения шага размещения опорных базовых точек плоской детали	71
3.4 Метод определения шага размещения опорных базовых точек детали типа обшивки одинарной кривизны	73
3.5 Метод определения шага размещения опорных базовых точек детали типа обшивки двойной кривизны	77
3.6 Метод определения шага размещения опорных базовых точек детали типа подкрепленных обшивок	80
3.7 Выводы по главе 3	81
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА БАЗИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СБОРКИ МАЛОЖЁСТКОГО ИЗДЕЛИЯ	84
4.1 Основные задачи при определении состава базирующих элементов сборочного приспособления	84
4.2 Методы выбора расположения базовых точек в пространстве, определяющие вспомогательные и установочные базы изделия	86
4.3 Определение метода сборки в зависимости от конструктивно-технологических характеристик объектов сборки	89
4.4 Определения основных факторов, влияющих на выбор метода сборки	90

4.4.1	Анализ жесткости элементов конструкции сборочной единицы	90
4.4.2	Анализ геометрической формы собираемых конструкций сборочной единицы	91
4.4.3	Анализ конструктивного оформления внутреннего набора сборочной единицы	93
4.4.4	Анализ характера соединения каркаса с обшивкой	94
4.4.5	Анализ степени точности геометрических размеров и форм сборочной единицы	96
4.5	Принципы выбора типовых базирующих элементов сборочного приспособления	96
4.5.1	Выбор типовых базирующих элементов сборочного приспособления в зависимости расположения базовых точек	96
4.5.2	Выбор типовых базирующих элементов сборочного приспособления по основным типам сборочных баз	99
4.6	Определение состава базирующих элементов сборочного приспособления по его конструктивно-геометрическим характеристикам	100
4.7	Выводы по главе 4	102
5.	АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ	104
5.1	Разрабатываемая система автоматизированного проектирования элементов сборочной оснастки	104
5.2	Система автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления	107
5.3	Используемые модули системы автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления	116
5.4	Последовательность выполнения программы для автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления	120

5.5 Выводы по главе 5	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	130
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	134
ПРИЛОЖЕНИЕ А	148
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	149

ВВЕДЕНИЕ

Экономическая мощь государства определяется совершенством и инновационным развитием базовых отраслей экономики. К числу базовых отраслей экономики любого государства относится машиностроение. Сборочные процессы в машиностроении это заключительная часть производства новых изделий и от их совершенства зависит качество производимой продукции.

Современное машиностроение характеризуется повышением требований к качеству изделий, увеличением их сложности при одновременном требовании сокращения цикла производства и снижения себестоимости продукции. Для обеспечения высокой точности сборки таких изделий требуется сборочная оснастка, что приводит к увеличению трудоёмкости и длительности цикла технологической подготовки производства.

Областью технологии машиностроения как науки о сущности процессов производства является технология самолётостроения. Конструкция планера самолёта отличается большим количеством маложёстких деталей и сравнительно высокими требованиями к точности сборки при значительных габаритах изделия. При этом очень важной проблемой является повышение качества сборочной оснастки при снижении трудоёмкости её проектирования.

Одной из главных задач при проектировании сборочной оснастки является определение состава сборочных баз. На сегодняшний день, выбор состава сборочных баз основывается на анализе типовых технологических процессов, которые концентрируют опыт технолога. Таким образом, качество принятия решений зависит от опыта технолога. Эти методы слабо формализованы, они удобны для человека, но неудобны для автоматизированного проектирования при помощи электронных вычислительных машин (ЭВМ).

В современных условиях необходимо разрабатывать новые технологические процессы сборки, с применением современных информационных технологий и автоматизированного оборудования. Автоматизация сборочных процессов возможна только на основе комплексного использования математических моделей всех объектов производства: изделия, технологических процессов, инструмента и технологического оборудования. Поэтому проблема выбора и согласования сборочных баз всех объектов производства на весь период выполнения сборочных работ является особенно актуальной для самолётостроения.

В настоящей работе рассмотрены проблемы формализованного определения состава сборочных баз, возникающих на этапах автоматизированной сборки маложестких деталей, на примере самолётостроительной отрасли машиностроения. Единым источником геометрической информации об изделии является его конструктивный электронный макет (КЭМ), выполненный в CAD (Computer-Aided Design) системе объёмного моделирования.

Общая постановка задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка методики автоматизированного выбора состава сборочных баз и схемы базирования на основе CAD модели изделия и данных PDM системы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать методику анализа геометрических характеристик изделия непосредственно по его электронному макету, построенному в принятой CAD системе, для построения дискретных математических моделей маложестких деталей сборочной единицы;
- 2) на основе дискретной математической модели маложесткой детали выявить минимальный состав базовых точек, определяющих ее основные базы с учетом задания ограничивающих связей,

позволяющих задать ее пространственное положение, удовлетворяющее условию допустимых деформаций;

- 3) выбрать внешние базирующие элементы сборочного приспособления, базы которых соответствуют выявленному составу основных сборочных баз устанавливаемой маложесткой детали;
- 4) выбрать фиксирующие элементы сборочного приспособления, установочные базы которых задают необходимые ограничивающие связи на пространственное положение маложесткой детали;
- 5) реализовать систему автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления.

Объектом исследования является состав сборочных баз для маложестких изделий в наукоемком машиностроении.

Предметом исследования является формализованная методика построения дискретных математических моделей маложестких деталей сборочной единицы на основе их CAD моделей и данных PDM системы для автоматизированного выбора состава их сборочных баз и схем базирования.

Методы исследования. В качестве общей методологической основы использован системный подход, заключающийся в анализе закономерностей выбора состава сборочных баз изделий, и исследовании способов математического описания сборочных баз, а так же математических методов их анализа. При выполнении работы использовались положения технологии сборки в машиностроении и самолётостроении, теории множеств, теории графов, алгебры логики и аналитической геометрии.

Научная новизна заключается в следующем:

- 1) предложена методика выбора элементарной поверхности на детали в зоне сопряжения ее с другой деталью сборочной единицы, дифференциально-геометрические свойства всех точек которой признаются равными в пределах удовлетворения принятым критериям;

- 2) разработана методика анализа и выбора ограничивающих связей на взаимное расположение сопрягаемых деталей сборочной единицы на основе анализа дифференциально-геометрических характеристик локальных зон их поверхностей сопряжения;
- 3) разработана методика построения дискретной математической модели маложесткой детали сборочной единицы на основе определения базовых точек на ее поверхности, задающих основные базы необходимые и достаточные для полного ограничения всех степеней свободы;
- 4) разработан алгоритм определения состава базирующих элементов сборочного приспособления, использующий дискретную математическую модель маложесткой детали сборочной единицы.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- 1) сокращение цикла технологической подготовки производства и повышение качества проектных решений за счет использования формализованных алгоритмов определения состава сборочных баз и построения автоматизированной системы проектирования элементов СП;
- 2) снижение влияния субъективного фактора при принятии решений в ходе автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления для сборки маложестких изделий, благодаря использованию выявленных формальных критериев выбора состава сборочных баз;
- 3) математическая модель реализована в информационной среде предприятия внедрения, включающей базовую CAD/CAM/CAE систему NX 7.5 Siemens PLM Software, а также средства программного расширения NX/Open API, среду программирования C++ с сохранением данных в СУБД Oracle;

- 4) разработан алгоритм и программное обеспечение автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления по принятой модели базирования;
- 5) предложен математический аппарат, применимый для решения ряда задач технологической подготовки сборочного производства:
 - выбор состава сборочных баз изделия;
 - выбор состава базирующих элементов сборочной оснастки.

Основные положения, выносимые на защиту:

- 1) классификаторы поверхностей сопряжения и база знаний экспертной системы для автоматизированного анализа степеней свобод деталей сборочной единицы непосредственно по КЭМ изделия;
- 2) классификаторы типовых деталей конструкции планера самолета для анализа относительной жесткости СЕ при сборке;
- 3) методика построения дискретных математических моделей маложестких деталей сборочной единицы на основе автоматизированного выбора сборочных баз с использованием метода анализа конструкции непосредственно по КЭМ изделия, основанного на сравнении текущей деформации пакетов деталей в зоне выбора базовых точек с допустимыми значениями;
- 4) алгоритм выбора состава базирующих элементов сборочной оснастки для сборки конкретной сборочной единицы;
- 5) методику автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления по принятой модели базирования.

Реализация работы. Диссертационная работа выполнена в рамках НИР №334/10 «Разработка и внедрение высокоэффективных технологий проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолета МС-21», тема по дополнительному соглашению №4 «Система автоматизированного проектирования сборочной оснастки с использованием экспертных систем» (06.10.2010 г. – 31.12.2012 гг.), а также

№ 389/12 «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий авиатехники нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета», тема по дополнительному соглашению №12 «Разработка подсистемы поддержки принятия решений в системе автоматизированного проектирования объектов сборочного производства» (15.11.2012 г. – по настоящее время).

Результаты работы использованы при выполнении НИРС и в учебном процессе кафедры «Самолётостроение и эксплуатация авиационной техники» Иркутского государственного технического университета в виде лекций и лабораторных работ по дисциплинам «Проектирование сборочных приспособлений», «Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологических процессов». Имеется один акт внедрения в ИрГТУ.

Апробация работы. Диссертация прошла апробацию на конференциях и семинарах кафедры «Самолётостроение и эксплуатация авиационной техники» Иркутского государственного технического университета, на Всероссийской научно-технической конференции «Новые материалы и технологии-НМТ-2012» в 2012 г. (МАТИ, г. Москва), на второй всероссийской научно-технической конференции, приуроченной ко Дню космонавтики «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (11-13 апреля 2012г, ИрГТУ, г. Иркутск), на Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона» (НПО-2013) в 2013 г. (НГТУ, г. Новосибирск), на третьей всероссийской научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (11-13 апреля 2013 г, ИрГТУ, г. Иркутск), на всероссийском научно-практическом семинаре «Высокоэффективные технологии проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолетов» в 2013 г (Иркутский авиационный завод, г. Иркутск), на международной

научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития науки» (14 февраль 2014 г, г. Уфа).

Проводились обсуждения на семинарах, посвященных аттестации аспирантов, кафедры «Самолётостроение и эксплуатация авиационной техники» института авиамашиностроения и транспорта Иркутского государственного технического университета.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 11 научных работ, из них 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, а также 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад: Все выносимые на защиту результаты получены лично автором или при его непосредственном участии.

Структура и объём. Настоящая работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Основное содержание диссертации насчитывает 147 страниц, содержит 5 таблиц, 50 рисунков, библиографии 111 наименований, копия 1 свидетельства, копия 1 акта внедрения. Общий объём работы 149 страниц.

В **первой главе** рассмотрены существующие методы определения схемы базирования для изделий из маложёстких деталей на основании действующих стандартов и работ А.И. Бабушкина, В.П. Григорьева, Ш.Ф. Ганиханова, В.В. Бойцова, В.А. Барвинка, А.И. Пекарша, К.А. Однокурцева, П.Е.Чимитова и других ученых. Дано определение маложесткой детали, под которой понимается конструкция, которая при свободном размещении на опорной поверхности способна деформироваться под собственным весом так, что величина этой деформации превышает допустимое значение.

Приведен краткий обзор литературы, где рассмотрены существующие математические модели и методы, разработанные В.В. Павловым, Т.А. Сагдиевым, О.С. Самсоновым, А.Г. Громашевым, Ю.М. Соломенцевым, Н.М. Капустиным, П.Е.Чимитовым и др. для выбора состава сборочных баз и типовых элементов сборочной оснастки. В них используется математический аппарат теории множеств, теории графов и алгебры логики. Однако

использование известных методик при подготовке математической модели по табличным классификаторам требует непосредственного участия инженера-технолога. Рассмотрены существующие математические модели и методы, предложенные Б.С. Балакшиным, Б.М. Базровым, Д.А. Журавлёвым, Б.П. Сандалски, А.В. Скворцовым, В.В. Кузьминым, Ю.Л. Шурыгиным, К.А. Однокурцевым, для описания сборочных баз с допусками, выбора сборочных размерных цепей и расчёта пространственных допусков. Однако рассмотренные модели основаны на ручной подготовке данных, что требует специализированной подготовки персонала и увеличивает цикл ТПП.

Проведен анализ возможности применения современных САПР при проектировании конструкции сборочной оснастки и технологических процессов сборки изделий. В них автоматизировано большинство рутинных операций, что позволяет выполнять разработку типовой сборочной оснастки в диалоговом режиме. Однако, подготовка расчётных моделей и принятие решений, в особенности на начальных этапах технологического проектирования, требует непосредственного участия высококвалифицированных технолога и конструктора оснастки.

По результатам выполненного выше обзора в **пункте 1.4** сформулирована цель и задачи исследования.

Во **второй главе** рассматриваются вопросы, связанные с разработкой математического представления состава основных баз сборочной единицы с использованием электронного макета конструкции, построенного в CAD системе.

Построение модели элементарной поверхности основано на выявлении дифференциально-геометрических характеристик в дискретных точках поверхности сопряжения между элементами конструкции в сборочной единице. Полученные данные позволяют выявить степени свободы сопрягаемых деталей и назначить необходимые связи для обеспечения однозначного базирования. Результаты анализа позволяют произвести выбор состава основных баз рассматриваемой сборочной единицы.

В **третьей главе** исследуются вопросы, связанные с разработкой метода выбора опорных базовых точек при определении схемы базирования сборочной единицы с использованием КЭМ конструкции, построенного в CAD системе. Метод основан на сравнении текущей деформации пакетов деталей в зоне выбора базовых точек с допусковым значением. Полученные данные позволяют определить расстояния между опорными базовыми точками или расстояния между базовыми фиксирующими элементами.

В **четвертой главе** рассматривается метод выбора состава базирующих элементов сборочного приспособления. Метод основан на определении соответствия упорядоченной совокупности базовых точек на поверхности базируемой детали с выявленными в них значениями дифференциально-геометрических характеристик с соответствующими свойствами базовых точек нормализованных базирующих элементов сборочной оснастки. При наличии множества допустимых вариантов задания базирующих элементов в конструкции сборочного приспособления предлагается методика их рационального выбора по сочетаемости схемы базирования сборочной единицы и операций технологического процесса сборки.

В **пятой главе** рассматривается метод автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления по выбранным базам. Метод представляет собой процесс, основанный на типовых процедурах конструктора по проектированию конструктивных элементов с помощью средства программного расширения NX/Open API, выполняющего алгоритмы построения запрограммированные на языке программирования C++ с сохранением данных при помощи СУБД Oracle.4

Основная цель разработки системы автоматизированного проектирования заключается в создании программного продукта способного самостоятельно, создавать электронный макет элементов СП, в идеале, без участия, но под контролем конструктора.

Использование этой системы позволяет:

- обеспечить доступ к объектам геометрической модели сборочного приспособления для программных приложений разработчиков или программ отдельных пользователей;
- определить возможность программным способом создавать геометрические модели конструктивных элементов сборочной оснастки, получать информацию об этих объектах, формировать сборки, генерировать чертежную документацию и т.д.

Работа выполнена на кафедре «Самолётостроение и эксплуатация авиационной техники» института авиамашиностроения и транспорта Иркутского государственного технического университета.

Глава 1

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА СБОРОЧНЫХ БАЗ ДЛЯ СБОРКИ УЗЛОВ ИЗ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

1.1 База и базирование в машиностроении

1.1.1 Состав сборочных баз в машиностроении

Под базой понимается поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования [11, 13, 32].

При базировании изделия возможно использование различных баз, классификационная схема которых приведена на рисунке 1.1.

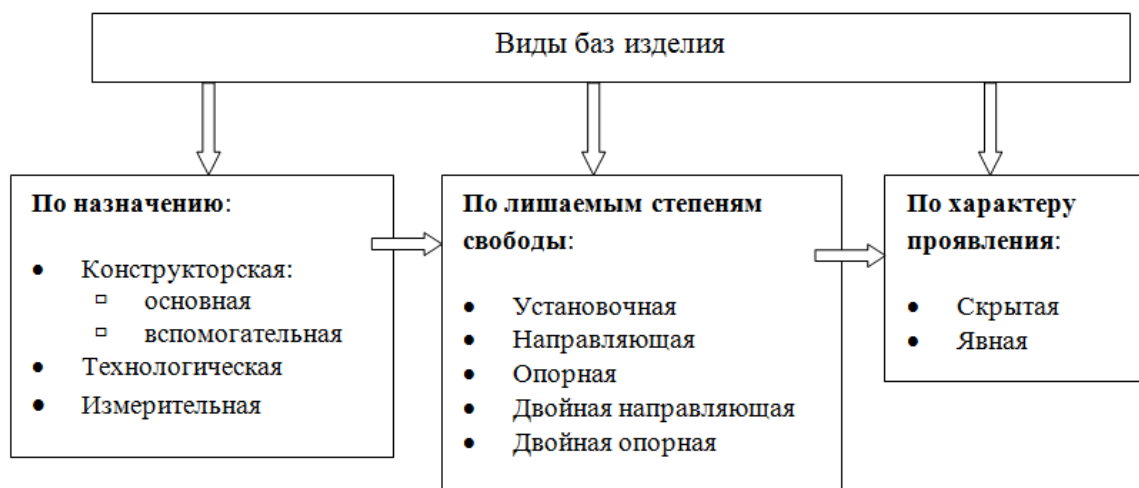


Рисунок 1.1 – Классификация баз изделия

Базы, с помощью которых базируются детали или сборочные единицы (СЕ) в изделии, называют конструкторскими. Конструкторские базы делятся на основные и вспомогательные.

Основной называют конструкторскую базу, принадлежащую детали или СЕ, используемую для определения их положения в изделии.

Вспомогательной называют конструкторскую базу, принадлежащую детали или СЕ и используемую для определения положения присоединяемой

к ним детали или СЕ.

Технологической называют базу, используемую для определения положения заготовки, детали или изделия в процессе изготовления, сборки или ремонта. Понятие технологической базы распространяется на все стадии процесса изготовления изделия (изготовление детали механической обработкой, сборку изделия и т.д.).

Измерительной называют базу, используемую для определения относительного положения заготовки, детали или изделия и средств измерения, её применяют при оценке точности детали, настройке станка и т.д.

Установочной называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их трёх степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг других осей. Установочная база отличается большой площадью, чтобы можно было по возможности дальше разнести опорные точки, для придания детали большей устойчивости.

Направляющей называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой.

Направляющая база отличается большой протяженностью, что позволяет расположить опорные точки на максимальном удалении друг от друга и тем самым увеличить точность направления.

Опорной, называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси. Для опорной базы не требуется поверхности больших размеров.

Двойной направляющей называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их четырёх степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

Двойной опорной называют базу, используемую для наложения на

заготовку или изделие связей, лишаящих их двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей.

Явной называют базу, материализованную в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисков.

Скрытой называют базу в виде воображаемой плоскости, оси или точки. К скрытым базам прибегают тогда, когда у детали или заготовки отсутствуют необходимые поверхности.

Число баз, распределенных на поверхностях собираемых деталей, может изменяться в зависимости от конструкции изделия и требований к степени обеспечения точности выдерживания геометрических размеров собираемых изделий [11].

Для автоматизации проектирования сборочных приспособлений (СП) необходимо в первую очередь формализовать выбор сборочных баз. Он зависит от множества факторов, важными из которых являются:

- структуры и формы деталей и изделия;
- жёсткости конструкции деталей и изделия;
- требований к точности собираемого узла;
- опорного метода базирования и принятой последовательности сборки;
- области рабочей зоны выполнения операций сборки и соединения.

Поэтому формализация выбора и анализа сборочных баз имеет следующие преимущества [9, 106, 107, 108]:

- позволяет выполнять многовариантный анализ;
- позволяет выполнять оптимизацию сборочной схемы базирования по различным критериям (точности, технологичности и др.);
- не ограничивает выбор типовыми решениями;
- реализацию автоматизированного проектирования сборочной оснастки;

- уменьшает влияние субъективного фактора, что повышает стабильность качества принимаемых решений;
- позволяет снизить длительность и трудоёмкость проектирования СП.

На сегодняшний день, выбор состава сборочных баз основывается на анализе типовых технологических процессов, которые концентрируют опыт технолога, таким образом, качество принятия решений зависит от опыта технолога. Эти методы слабо формализованы, удобны для человека, но неудобны для автоматизированного проектирования, поэтому формализация процедур определения состава сборочных баз при автоматизации технологического проектирования сборочных процессов является важной задачей. Эта задача усложняется при проектировании технологического процесса сборки СЕ включающих маложесткие детали.

При этом под маложесткой деталью понимается конструкция, которая при свободном размещении на опорной поверхности способна деформироваться под собственным весом так, что величина этой деформации превышает допустимое значение. При таких условиях для базирования детали недостаточно шести опорных точек, как это определяется в классической теории базирования, при базировании детали являющейся твердым телом [32]. Для наложения ограничивающих связей необходим выбор дополнительных опорных точек, совокупность которых определяет состав сборочных баз детали.

Состав сборочных баз для конкретного изделия существенно зависит от особенностей конструкции сборочной единицы, а также от метода сборки. Поэтому задача определения метода сборки так же является важной задачей в настоящей диссертационной работе.

1.1.2 Методы сборки в самолетостроении

Для самолёта как объекта производства характерны следующие особенности, определяющие специфику выполнения сборочных работ [81]:

- многодетальность конструкции (до 1500-2000 деталей на 1 тонну массы);
- малая жёсткость деталей и СЕ вследствие больших габаритов и требований по минимизации массы;
- сложность форм поверхностей;
- высокие требования к точности реализации указанных выше поверхностей (порядка $\pm 0,1 \dots 1$ мм для дозвуковых и $\pm 0,01 \dots 0,1$ мм для сверхзвуковых самолётов);
- большое количество соединений и разнообразие их конструктивного исполнения;
- большая плотность работ в единице объёма конструкции и значительный объём ручных операций (доля ручного труда составляет около 90%);
- высокие требования к качеству сборки каждой СЕ и всего изделия в целом.

В самолётостроении применяются различные методы сборки, в зависимости от конструкции СЕ и требований к точности их изготовления. Под методом сборки в самолётостроении понимается основной способ базирования деталей при сборке СЕ, обеспечивающий выполнение замыкающего звена сборочной размерной цепи. На основе выбранного метода сборки строится весь комплекс технологической подготовки производства: выбор схемы базирования и схемы сборки, технологической оснастки, обеспечивающих изготовление деталей и сборку СЕ с заданной точностью, процессов изготовления и монтажа технологической оснастки для производства деталей и сборки СЕ.

Классификация методов сборки, используемых в самолётостроении, приведена на схеме (рисунок. 1.2) [11]. К ним относятся следующие методы:

Сборка по сопрягаемым поверхностям деталей (сборка по чертежу) – процесс, при котором одну из деталей принимают за базовую и к которой, в

определенной последовательности, присоединяют другие детали, входящие в собираемый узел. Этот метод применяется при сборке изделий из жестких деталей, сохраняющих под действием собственного веса свою форму и размеры. При этом, входящие в изделие детали разделяют на несколько сборочных групп, каждую из которых собирают по базовой детали, входящей в данную группу. Точность размеров, при данном методе сборки достигается применяемой системой допусков и посадок, принятой в общем машиностроении

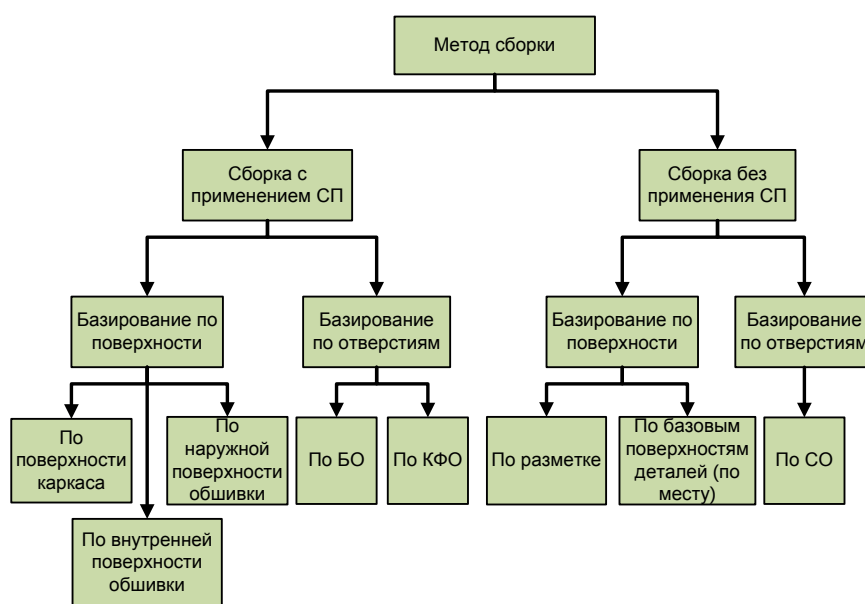


Рисунок 1.2 – Классификация методов сборки самолетных конструкций

Область применения данного метода сборки ограничена незначительной частью СЕ летательного аппарата (ЛА), К числу таких СЕ относятся жесткие узлы шасси, пневмо- и гидроцилиндры, бустерные устройства, узлы тяг управления и др. Для большинства самолетных конструкций, детали которых не обладают достаточной относительной жесткостью, сборка методом по базовой детали затруднительна. При использовании данного метода сборки для деталей малой жесткости невозможно достичь высокой точности собираемого узла, а так же взаимозаменяемости. По базовой детали, как правило, изделия собирают на

верстаках, иногда используются поддерживающие устройства, что так же требует высокой квалификации исполнителей.

Сборка по базовым линиям на деталях (по разметке) – процесс, при котором взаимное положение деталей (входящих в узел), определяют непосредственно измерением расстояний между ними и рисками, нанесенным на деталях при разметке. Сборка по разметке производится при помощи универсальных слесарных инструментов и приспособлений. Операции установки деталей в сборочное положение по разметке трудоемки и длительны, при этом взаимозаменяемость узлов и панелей при таком методе сборки практически невозможна.

Сборка по сборочным отверстиям (СО) – процесс, при котором взаимное расположение собираемых деталей определяется положением имеющихся на них взаимно увязанных отверстий. При базировании по СО собираемые детали совмещают друг с другом, вставляя в сборочные отверстия технологические нормали (фиксаторы), на период соединения деталей. Метод базирования по СО применяется при образовании обводов агрегата и установке в сборочное положение элементов продольного и поперечного набора (каркаса). Использование отверстий в качестве сборочных баз, в отличие от других баз, требует не только правильного положения баз отверстий в пространстве, но и определенного положения их по отношению к контурам деталей, только в этом случае можно обеспечить выполнение заданных геометрических параметров собираемого объекта. Сборка с базированием по СО плоских узлов (панелей) производится на столах или с применением поддерживающих приспособлений, не влияющих на точность образования форм и обводов изделия. Специфика этого метода такова, что для сборки маложестких деталей выбор положения СО с достаточной точностью очень затруднен, что практически ограничивает применение этого метода для этой группы деталей.

Сборка с применением СП – процесс, при котором базовые поверхности деталей совмещаются с опорными поверхностями

приспособления. При таком методе детали на сборку поступают в законченном виде (отформованные, обработанные по контуру в окончательные размеры).

В самолетостроении, при сборке узлов и агрегатов, в приспособлениях применяют специфические способы базирования, которые во многом зависят от местонахождения и назначения, собираемых деталей в изделии.

При сборке с базированием СЕ по поверхности конструктивных элементов СЕ в приспособлениях используют три основные схемы базирования:

- за базу принимается внешняя поверхность изделия, выходящая на теоретический контур самолета;
- в качестве основной базы используются поверхности деталей каркаса изделия (без учета обшивки);
- в качестве основной базы принимают внутреннюю поверхность обшивки.

Использование в самолетостроении метода сборки в приспособлении обусловлено сложной конфигурацией и сравнительно малой жесткостью собираемых изделий. Малая жесткость и сложная форма собираемых деталей приводит к накоплению дополнительных погрешностей при базировании, обусловленных тем, что при повторной установке одних и тех же деталей в приспособлениях для сборки узла, а затем для сборки агрегата, происходит несовпадение поверхностей базируемых деталей и фиксаторов приспособления.

Однако, сборка в СП позволяет добиваться заданной точности окончательных форм и размеров изделий, вследствие принудительного перемещения деталей при сборке до совпадения их базовых поверхностей с базовыми поверхностями СП. Перемещение деталей при сборке с совмещением баз может осуществляться как без деформирования деталей путем линейного перемещения, так и с принудительным упругим деформированием деталей до полного совпадения их базовых поверхностей с

базовыми поверхностями СП. Компенсация перемещения позволяет получать заданные линейные размеры, а упругая компенсация исправлять форму контуров деталей, входящих в СЕ и, тем самым, выдержать заданную форму изделия.

Сборка по базовым поверхностям отверстий. Базирование при данном методе осуществляется аналогично методу сборки по СО, но базовые отверстия расположены на специальных базово-фиксирующих устройствах СП. Базы-отверстия в СП используются для установки и фиксации собираемых деталей. Данные методы сборки получили название – сборка по координатно-фиксирующим отверстиям (КФО) и базирование по отверстиям под стыковые болты (ОСБ). Сущность базирования деталей и узлов при базировании по КФО заключается в том, что базы-отверстия расположены на плоских поверхностях деталей и могут быть заданы системой линейных размеров в плоской системе координат с последующим переносом осей отверстий на оснастку и детали. Координаты осей отверстий, расположенных в узлах СП, могут быть получены универсальными инструментальными средствами.

Определяющим параметром при выборе носителя баз отверстий – является жесткость деталей, входящих в конструкцию собираемого изделия. Если по базам отверстиям собирают узел, в состав которого входит жесткая деталь, то она выбирается в качестве опорной, при этом положение входящих деталей определится опорной деталью. В том случае если объект сборки состоит из маложестких элементов, то для придания опорным деталям неизменности форм и положения используется специальное приспособление.

Таким образом, классификация описанных выше методов сборки самолетных конструкций производится по двум ключевым параметрам: использование специализированных (уникальных) сборочных приспособлений; задание типа носителя базовой поверхности. К первому типу носителей баз, относятся базовые поверхности приспособления, либо деталей СЕ. Ко второму типу носителей баз относятся поверхности базовых

отверстий (рисунок 1.2).

1.1.3 Основные факторы, влияющие на выбор метода сборки

Как отмечено выше, для определения метода сборки предлагается использование данных CAD/PDM системы, чтобы анализировать КЭМ СЕ. Однако не все параметры, содержащиеся в КЭМ необходимы для решения задачи выбора метода сборки, вследствие чего возникает задача селекции доступных данных с целью выделения значимых.

Выбор того или иного метода сборки обуславливается комплексом факторов, зависящих от конструктивно-технологических характеристик объектов сборки, экономической целесообразности их применения и производственных условий их выполнения.

К числу основных (значимых) факторов относятся следующие:

- конструктивные особенности самолета как объекта сборки;
- объем производства, определяющий экономическую целесообразность затрат на технологическое оснащение производства при различных методах сборки;
- технический и технологический уровень современного производства и перспективы их развития с учетом возможностей комплексной механизации и автоматизации сборочных работ.

При запуске в производство нового изделия важным критерием, оказывающим влияние на выбор метода сборки, является учет объема и продолжительности выпуска изделия.

Затраты, приходящиеся на период подготовки производства, обеспечивающие заданный уровень качества изделий и их выпуск к определенному сроку при заданных количествах, должны быть такими, чтобы достигалась общая экономическая эффективность производства.

Экономическую целесообразность метода сборки определяет величина технологической себестоимости, рассчитанная для конкретных объемов выпуска изделия по годам. Технологическая себестоимость при равных условиях зависит от принятого метода сборки, так как метод сборки,

предопределяя затраты живого и материального труда, вносит значительную долю в себестоимость выпускаемых изделий.

Стоит заметить, что обеспечение заданных требований качества собираемого изделия, является более важным фактором при выборе метода сборки, если сравнивать с фактором обеспечения минимальной технологической себестоимости.

Расчет технологической себестоимости в первую очередь основан на сравнении затрат различных методов сборки, это означает, что выбор метода сборки (нескольких вариантов при различных методах сборки) уже произведен. Это приводит к возникновению задачи выбора метода сборки на основе неэкономических факторов, таких как конструктивно-технологические факторы.

Технология сборки и монтажа самолетных конструкций, включая схемы сборки, выбор метода сборки, технологической последовательности выполнения операций, количества и структуры оснастки, оборудования и инструмента, в большинстве своем, зависит от конструкции собираемых изделий и ее особенностей. Таким образом, на основе теоретических исследований и практики применения различных методов сборки, можно сделать вывод, что значительное влияние на их выбор оказывают конструктивно-технологические факторы (таблица 1.1 [11]).

Таблица 1.1 – Влияние конструктивно-технологических факторов на выбор метода сборки

Фактор	Характеристика объекта сборки	Влияние на выбор метода сборки
1	2	3
Членение планера самолета	На агрегаты	Сборка в приспособлении с базированием по поверхности
	На агрегаты, отсеки, секции	Любой метод сборки Сборка по УФО ограничена применением КФО и БФО

Приложение таблицы 1.1

1	2	3
	Агрегаты, секции, панели	Любой метод сборки, предпочтительно использование метода сборки по УФО
Жесткость элементов конструкции	Элементы сборки жесткие	Сборка по разметке (чертежу) и по УФО
	Элементы сборки маложесткие	Сборка в СП с базированием по поверхности деталей или по СО
Геометрическая форма собираемых конструкций	Элементы сборки нежесткие	Сборка в СП по поверхности деталей
	Одинарная кривизна	Сборка по СО и КФО
	Двойная и знакопеременная	Сборка в приспособлениях и по УФО (характеризуется повышением стоимости СП)
Конструктивное оформление внутреннего набора	С продольным набором деталей каркаса	Широко применяется сборка по СО
	С поперечным набором деталей каркаса	Возможна сборка по КФО
	Смешанной конструкции	Сборка по СО и КФО, а также сборка по поверхности СП
Характер соединения каркаса с обшивкой	Детали каркаса соединяются с обшивкой непосредственно	Сборка по УФО и другие методы сборки
	Детали к каркасу соединяются с обшивкой через детали компенсаторы	Сборка в СП по поверхности обшивки. Сборка по УФО затруднена
Степень точности геометрических размеров и форм	Объекты сборки первой зоны точности	Предложена сборка в приспособлениях с базированием по поверхности деталей
	Объекты сборки второй зоны точности	Возможна сборка по УФО наряду с другими методами сборки

Таким образом, выделяются следующие параметры, влияющие на выбор, как класса метода сборки, так и варианта метода сборки:

- степень членения (в данной работе используется допущение, при котором влияние степени членения планера самолета не учитывается, так как данный параметр, заданный при проектировании летательного аппарата, при технологической подготовке практически не изменяется);
- характер соединения каркаса с обшивкой, являющегося структурной характеристикой собираемого изделия;
- жесткость;
- геометрическая форма;
- наличие и направление силового набора (этот параметр в данной работе косвенно рассмотрен в процедуре выбора сборочных баз, в частности при анализе подкрепленных обшивок [4]);
- степень точности геометрических размеров и форм.

Вышеперечисленные параметры влияют не только на выбор метода сборки, но и непосредственно влияют на состав сборочных баз СЕ, поэтому их определение является важной проблемой в современном машиностроении. При этом проблемы выбора сборочных баз для маложестких авиационных конструкций становятся особенно актуальными.

1.2 Методики автоматизированного выбора состава сборочных баз

1.2.1 Анализ существующих методов определения состава сборочных баз

Выбор сборочных баз является одним из наиболее сложных и ответственных этапов проектирования технологических процессов сборки. Поэтому разработка научной методики выбора сборочных баз – одна из основных задач технологии машиностроения и самолетостроения.

Вопрос о базах в машиностроении и приборостроении неоднократно освещался в технической литературе, посвященной вопросам технологического проектирования.

Одной из первых работ, содержащих рекомендации по выбору баз, была работа Б.С. Балакшина [14,15], где он, анализируя цепной и координатный методы достижения точности обработки, показал, что целесообразность смены баз (цепной метод) для получения более высокой точности взаимного положения поверхностей зависит от величины ошибок, получаемых в результате применяемых методов обработки. Если величина этих ошибок одного порядка, то целесообразность смены баз очевидна, в противном случае вопрос должен решаться путем надлежащего подсчета. Таким образом, точность взаимного положения поверхностей в общем случае определяется не "длиной путей", то есть числом звеньев размерных цепей, а суммарной погрешностью операционных размеров, и, следовательно, при выборе баз необходимо строить цепи, обеспечивающие наименьшие погрешности замыкающих звеньев - исходных размеров детали. Так же, Б.С. Балакшин рассматривает базы с точки зрения тех степеней свободы, которых лишается деталь при её установке в приспособление. В соответствии с этим даются определения установочной, направляющей, опорной, двойной направляющей, двойной опорной и скрытой баз. Впоследствии эти определения баз были приняты государственным стандартом СССР [32].

Данный метод не обеспечивает достаточной адекватности модели при анализе изделий из маложестких деталей, поскольку не позволяет учесть возможные деформации деталей при различных условиях базирования и закрепления.

В. В. Павлов [79, 80] в своих работах отмечает, что структура информационных потоков технической подготовки производства (конструкторской и технологической) должна быть рассмотрена как единая система. Предполагается комплексное решение всех задач в рамках единой автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП) на основе единого математического обеспечения. Для этого использован математический аппарат теории множеств, математической

логики и теории графов. Описание множеств и графов осуществляется на основе их матричного представления.

Базовым понятием предложенной модели служит «контур», являющийся частью информационно-логической системы, используемой при описании свойств изделия и производственной системы. Контур F совокупность свойств объекта A , выполняющих определённую функцию Z . Он определяется множеством охватываемых им свойств E или параметров M объекта и представлен в виде булевой переменной. Для параметров: контур $F=1$, если для каждого параметра m_i поле рассеяния находится в пределах поля допуска (значение m_i лежит в допустимом диапазоне), иначе $F=0$. Для свойств: контур $F=1$, если каждое из свойств объекта (в булевом виде) $e_i=1$ (контур существует, если у объекта существуют все свойства e_i , необходимые для этого контура), иначе $F=0$; причём свойство $e_i=1$ (существует для данного объекта), если для каждого параметра m_i , определяющего это свойство, поле рассеяния находится в пределах поля допуска. Следует отметить, что все множество параметров объектов (как изделий, так и средств технологического оснащения) автор (в своих работах) замещает соответствующими контурами. Контур $F(A)$ сборочной единицы разделяются на основные, непосредственно определяющие заданные функции A и вспомогательные, обеспечивающих существование основных контуров. Основные и вспомогательные контуры A называются функциональными, все остальные контуры, не влияющие на реализацию заданной функции – свободными.

С помощью множеств и графов выполняется моделирование состава деталей, структуры изделия, состава баз. Для представления структуры изделия используется информационно-логическая (иерархическая) система описания:

- теория графов и теория множеств используются при описании структуры системы и состава её элементов;

- методы математической логики – при описании логических связей между элементами системы: количественных и качественных условий существования элементов множества как логических переменных;

- алгебраические или дифференциальные уравнения или неравенства – при описании количественных отношений между свойствами и параметрами системы и её элементов.

Несмотря на достаточно широкий круг задач, решаемых информационно-логической моделью предложенной В. В. Павловым, можно выделить ряд недостатков, из которых наиболее значимыми являются:

- конструкции изделия;
- трудоемкий этап подготовки исходных данных, сопряженный с большим объемом ручного труда;
- исходные данные (классификации изделий, процессов, контуров) формируются на основе знаний и опыта технолога.

Поэтому эта методика не имеет достаточных средств для определения состава сборочных баз при автоматизированной сборке маложестких деталей.

В. В. Григорьев [34] выбор баз и состава баз рекомендует проводить на основе анализа различных методов базирования и последующей оценки последствий сделанного выбора.

Для выбора варианта базирования детали анализируется чертеж изделия, после чего группируют основные детали, узлы, панели в «обобщенные» – условные детали и сборочные единицы. К таким «обобщенным» деталям и сборочным единицам предъявляют одинаковые требования по точности, они имеют одинаковый характер установки в сборочное положение, подход в зону выполнения соединений и вид соединения между собой. «Обобщенные» детали и сборочные единицы обладают теми же свойствами, что и реальные детали и сборочные единицы, но их применение позволяет составить в математическом и графическом виде модель базирования.

После определения возможных вариантов состава баз производится выбор схемы базирования для конкретного технологического процесса. Выбор осуществляется по точности обводов собранного агрегата и по технико-экономическим показателям технологического процесса сборки. Оптимальным составом баз считают тот, который удовлетворяет требованиям по точности наружных обводов собираемого изделия и имеет лучшие технико-экономические показатели в сравнении с другими составами баз, обеспечивающими такую же точность обводов.

Однако последовательный перебор и анализ всех возможных вариантов базирования является весьма трудоёмким и поэтому малоэффективным процессом и может быть использовать лишь для относительно простых деталей с небольшим числом поверхностей.

Анализ же лишь некоторых из возможных вариантов базирования не гарантирует получение наилучшего решения задачи, поскольку среди отобранных для анализа вариантов его может и не быть.

Б.М. Базров решает задачу моделирования сборочных баз с пространственными допусками, используя метод координатных систем с деформирующимися связями [13]. В основе метода положено описание технологической системы как совокупности координатных систем, построенных на её деталях, с наложенными на эти координатные системы связями – эквивалентной схемы (рисунок 1.3). Отличительной чертой данного метода являются деформируемые связи, приложенные к деталям и определяющие ограничения их степеней свободы.

Метод координатных систем с деформирующимися связями позволяет выполнять математическое описание технологических процессов обработки деталей и сборки изделий, а также выполнять пространственный размерный анализ методом суммирования векторов линейных и угловых отклонений, заданных по шести пространственным координатам. Эквивалентная схема как математическая модель технологической системы согласуется с комплексным подходом к проектированию технологических систем,

рассмотренным выше. Однако в рамках описанного метода не формализовано принятие инженерных решений на начальных этапах проектирования технологической системы, а подготовка расчётной модели требует непосредственного участия инженера.

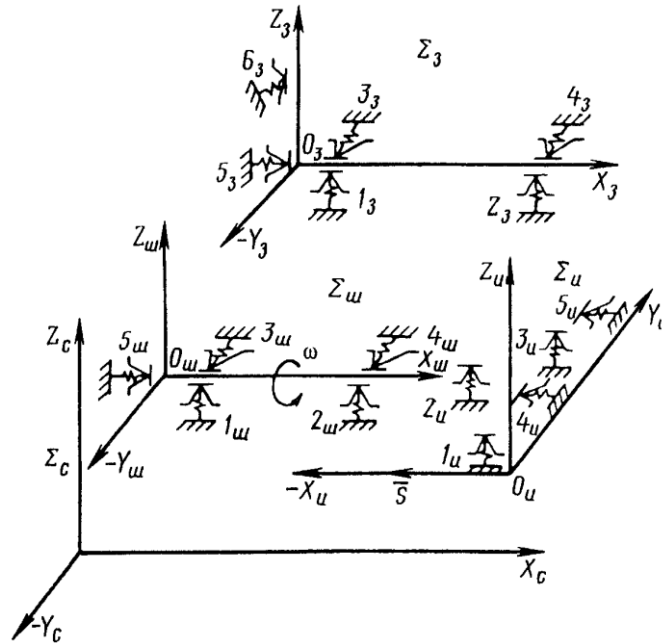


Рисунок 1.3 – Эквивалентная схема технологической системы токарного станка

К.А. Однокурцев решает задачу моделирования сборочных баз с дискретной структурно-геометрической моделью, названной координатной моделью, для представления сборочных баз изделия и сборочной оснастки, алгоритмы её построения и анализа [64]. Она состоит из конечного множества базовых точек с заданными в них конструктивно-технологическими параметрами изделия и связями между ними. Структура и состав данных координатной модели зависят от конструктивно-технологических свойств изделия и от поставленной задачи технологического проектирования. Так, при выборе состава сборочных баз на координатной модели отражаются все существенные характеристики каждой сборочной базы и связи между ними. Это позволяет использовать

методы анализа сборочных баз и выбора конструктивной компоновки сборочной оснастки, основанные на формальных критериях и условиях.

Однако, последовательный подбор и анализ исходных данных для координатной модели является весьма трудоёмким и поэтому малоэффективным процессом и может быть использован лишь для относительно простых деталей с небольшим числом поверхностей.

1.2.2 Методы выбора баз при автоматизированном проектировании технологических процессов

В настоящее время существует большое количество программных инструментальных систем технологического проектирования, как в зарубежном, так и отечественном машиностроении. Рассмотрим наиболее известные из них.

Система автоматизированного проектирования технологических процессов САПР ТП "Технолог-Гепард" [71]. Здесь автоматизация технологического проектирования базируется на представлении закономерностей и связей между конструктивно-технологическими свойствами изделия и технологической системы выполненной в виде математических зависимостей, объединяемых в математические модели изделия и технологической системы. Эти зависимости отражают реальное содержание процессов производства, поэтому необходимы не только при автоматизированном, но и при неавтоматизированном проектировании.

Система автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) предназначена для проектирования технологических процессов на различные виды технологий:

- механическая сборка;
- механическая обработка и обработка с числовым программным управлением (ЧПУ);
- электромонтажная сборка;
- прессование и литье неметаллов;

- изготовление установочных приспособлений;
- гальваническое производство;
- термическое производство;
- другие технологии, которые возможно задать с помощью модуля базы данных технологий.

На ряде предприятий разработан и внедрен модуль трудового нормирования изготовления печатных плат на базе САПР ТП «Технолог-Гепард», ведутся работы по внедрению модулей трудового нормирования технологий механической обработки, электромонтажной сборки. Система позволяет повысить производительность труда технолога и нормировщика, сократить сроки и трудоемкость технологической подготовки производства.

Среди отечественных разработок можно отметить такие системы как ТеМП [73]. Система ТеМП предназначена для автоматизированного проектирования технологических процессов сборки – монтажа летательных аппаратов, в конструкции которых применяются заклепочные, резьбовые, сварные и комбинированные соединения, а также монтажи трубопроводных и электрических систем.

В качестве исходных данных для проектирования технологических процессов и средств технологического оснащения используется КЭМ изделия.

ПО ТеМП позволяет решать следующие основные задачи проектирования:

- отработка технологичности изделий на основе анализа электронных макетов сборочно-монтажных единиц;
- формирование и анализ технологических моделей сборочно-монтажных единиц;
- проектирование и нормирование укрупненных технологических процессов, цикловых графиков сборки и монтажа изделий;

- проектирование и нормирование рабочих технологических процессов;
- анализ рабочих зон сборочно-монтажных единиц с использованием электронных макетов средств технологического оснащения и антропометрических макетов исполнителей;
- формирование комплекта технологической документации;
- просмотр конструкторско-технологической спецификации;
- просмотр электронных объектов изделия;
- разработка и ведение комплектовочных карт, технологических паспортов;
- ведение базы оборудования и инструмента;
- формирование эскизов на основе моделей;
- формирование печатных форм документов.

Проектирование технологического процесса сборки в системе ТеМП реализуется на трех основных уровнях: уровень схемы сборки и выбора, принципиальных конструктивно-технологических решений; уровень укрупненных технологических процессов; уровень рабочих технологических процессов.

Следует отметить преимущества ПО ТеМП, которые заключаются в существенное сокращение времени разработки технологического процесса сборки с указанием всех атрибутов (правил безопасного выполнения операций, средств защиты, номеров устанавливаемых деталей, сборочных баз, последовательности выполнения работ, состав оборудования, оснастки, инструмента, профессии и квалификации персонала, трудовых приемов, трудоемкости и др.), визуализация технологического процесса, автоматическое формирование комплекта технологических документов.

Система ТеМП не исключает технолога из процесса проектирования, наоборот, освобождает его в значительной степени от рутинной нетворческой работы.

В самолетостроении традиционно применяются САПР высокого уровня, предназначенные для моделирования и анализа сложных изделий. Они нередко совмещают в себе возможности CAD, CAE, CAM и PDM систем. Кроме того, в настоящее время существуют различные АСТПП, предназначенные для автоматизации технологических процессов в машиностроении.

– CAD (Computer-Aided Design) – система автоматизированного проектирования конструкции изделий. CAD-системы используются для автоматизированного проектирования геометрической модели собираемого изделия и соответствующей сборочной оснастки. Это позволяет реализовать один из основных принципов CALS – электронное определение изделия [16, 110, 111]. Современные CAD-системы высокого уровня позволяют не только строить твердотельные модели изделия, но и исследовать их геометрические свойства (координаты заданных точек, направления нормалей к поверхностям, габариты и радиусы кривизны поверхностей, сопряжения с другими объектами геометрической модели, некоторые дифференциальные и интегральные характеристики геометрических объектов). Эти возможности используются при анализе конструкции деталей и структуры изделия в ходе определения метода сборки и выбора состава сборочных баз;

– CAE (Computer-Aided Engineering) – автоматизированные системы для инженерных расчётов. CAE-системы используются для анализа прочности, жёсткости и кинематики подвижных элементов конструкции сборочной оснастки. С их помощью также выполняется анализ жёсткости базирования и фиксации деталей изделия по выбранному составу баз;

– CAM (Computer-Aided Manufacturing) – автоматизированные системы проектирования производственных процессов. CAM-системы в контексте автоматизированного проектирования сборочной оснастки используются косвенно, при выборе последовательности выполнения основных операций технологического процесса сборки. Принятие решения на данном этапе выполняется на основе принятого метода сборки. От

выбранной последовательности зависит не только порядок установки деталей в сборочное положение, но и состав сборочных баз СЕ;

- PDM (Product Data Management) – системы для управления данными об изделии. PDM-системы при автоматизированном проектировании сборочной оснастки обеспечивают связь между применяемыми на предприятии CAD/CAM/CAE и другими системами автоматизированного проектирования, использование производственных баз данных при принятии решений и передачу информации между этапами проектирования.

Известна также CAD/CAM/CAPP – система сквозного проектирования ADEM [69] от ADEM Technologies. CAD/CAM/CAPP система ADEM предназначена для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. Это единый программный комплекс, в состав которого входят инструменты для автоматизации:

- проектирования, конструирования и моделирования изделий;
- оформления чертежно-конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД;
- проектирование техпроцессов и оформления технологической документации в соответствии с требованиями ЕСТД;
- программирования оборудования с ЧПУ;
- управления архивами и проектами;
- реновации накопленных знаний (бумажных чертежей, перфолент).

Для автоматизации проектирования технологических процессов система ADEM поддерживает практически все существующие виды технологий, включая технологии механообработки, сборки, сварки, термической обработки и прочие. При этом выпуск технологической документации может осуществляться как на стандартных картах и формах (ГОСТ), так и на картах и формах предприятия (СТП). В качестве важного

дополнения выступают подсистемы нормирования и оснащения, а также библиотеки материалов, оборудования и инструментов.

Особую роль интегрированная система ADEM играет для подготовки технических кадров, так как охватывает все важнейшие этапы конструкторско-технологической подготовки производства от первого эскиза до выпуска детали на станке.

Опыт внедрения системы в авиастроительной, аэрокосмической, приборостроительной и атомной промышленности показывает высокую эффективность использования оборудования, кратчайшие сроки его запуска и быструю окупаемость уже с первых дней эксплуатации системы ADEM. Однако в системе ADEM отсутствуют средства автоматизации начальных этапов проектирования технологического процесса сборки и выбора состава сборочных баз при сборке.

Группа программных продуктов T-FLEX PLM от компании «Топ Системы» включает средства T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM для автоматизации различных этапов конструкторской и технологической подготовки производства [70, 84], T-FLEX PLM включает в себя:

- PDM T-FLEX DOCs 2010 – современный российский программный PLM-комплекс для решения задач конструкторско-технологического документооборота, организационно-распорядительного документооборота и комплексного управления инженерными данными предприятия. Все системы комплекса T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM функционируют на единой информационной платформе T-FLEX DocsLine PLM-системы T-FLEX DOCs 2010;

- CAD T-FLEX CAD – система автоматизации черчения, параметрического проектирования и трехмерного параметрического твердотельного и поверхностного моделирования. Высокая функциональность и уникальные параметрические технологии являются отличительными особенностями САПР T-FLEX CAD;

- САПР T-FLEX Технология 2010 – система для автоматизации технологической подготовки производства, обладающая гибкими современными средствами разработки технологических проектов любой сложности. САПР T-FLEX Технология позволяет выпускать качественную технологическую документацию на любые типы изделий. Нормирование технологических процессов осуществляется с помощью системы T-FLEX Нормирование;

- САМ Модули подготовки программ для станков с ЧПУ – T-FLEX ЧПУ, T-FLEX NC Tracer;

- САЕ Расчетные инженерные программы – T-FLEX Анализ, T-FLEX Динамика, T-FLEX Расчеты/ Зубчатые передачи, T-FLEX Пружины и другие.

Поскольку схема компоновки сборочной оснастки во многом определяется технологическим процессом сборки СЕ, особый интерес представляет продукт T-FLEX PLM «Технология». В нём автоматизированы основные этапы проектирования типовых процессов сборки. Тем не менее, возможностей существующей версии системы недостаточно для автоматизации принятия решения при выборе метода сборки и состава сборочных баз, в особенности для сложных авиационных СЕ.

На сегодняшний день корпорация «Вектор-Альянс» предлагает новую трехуровневую структуру комплекса технологического проектирования и подготовки производства, входящего в общий комплекс САПР на предприятиях различных отраслей практически во всех регионах России [74]. Комплекс ТехноПро позволяет добиться ускорения подготовки производства, ощутимого снижения себестоимости, реального планирования сроков, эффективного использования ресурсов, значительного упрощения работы технолога, полной автоматизации работ по проектированию технологии, технологическим и экономическим расчетам. Система автоматизации технологической подготовки производства в «ТехноПро» обладает уникальными возможностями проектирования любых технологий

(заготовительные процессы, механическая, термическая обработка, сборка, сварка, покрытия, литье, строительство, услуги, вспомогательные операции, любые другие), расчета любых технологических и экономических параметров (режимы обработки, нормы времени, расход, затраты, себестоимость,). В процессе проектирования система может анализировать данные (или запрашивать ввести их значения), и в зависимости от различных ситуаций автоматически формировать маршрут (технологию) изготовления и сборки. Тем не менее, этих средств недостаточно для автоматизации принятия решений на этапах выбора метода сборки, состава сборочных баз схемы компоновки сборочной оснастки.

Применение экспертных систем и диалоговых человеко-машинных процедур позволяет рассмотреть различные варианты и выбрать наиболее рациональный из них, но не обеспечивает автоматизации начальных этапов процесса технологического проектирования: выбора метода сборки, состава сборочных баз и схемы компоновки сборочной оснастки.

1.3 Цели и задачи исследования

По результатам обзора литературы по теме диссертационной работы, существующие методы автоматизированного выбора и согласования сборочных баз всех объектов производства на весь период выполнения сборочных работ можно условно разделить на два направления:

- традиционно выбор состава сборочных баз основывается на анализе типовых технологических процессов, которые концентрируют опыт технолога;
- методы автоматизированного выбора и согласования сборочных баз, основанные на применении экспертных систем и диалоговых процедур ввода-вывода.

В первом направлении технолог должен правильно классифицировать изделие и технологический процесс, а также ввести необходимые параметры. Кроме того, соответствующий типовой технологический процесс и

конструкция технологической оснастки должны содержаться в базе данных предприятия. Таким образом, качество принятия решений зависит от опыта технолога. Эти методы слабо формализованы, удобнее для человека, но неудобны для автоматизированного проектирования.

Второе направление находит применение при определении сборочных баз при автоматизированной сборке деталей и изделий из маложёстких деталей, в частности, планера самолёта. Это направление наиболее перспективно, но в то же время, выбор сборочных баз выполняет инженер, владеющий знаниями и навыками конструктора оснастки и технолога. Таким образом, качество принятия решений, а так же рациональность выбора сборочных баз полностью зависит от знания и навыков конструктора и технолога. Это в свою очередь сопряжено с невысокой скоростью принятия решений, вероятностью принятия неверного или нерационального решения, отсутствие типизации и стандартизации самого процесса определения сборочных баз и т.д. Так же применение этих программных систем требует высокой квалификации инженера, зависит от его субъективных оценок и не гарантирует принятия оптимального решения при выборе состава сборочных баз. Для развития методов автоматизации выбора сборочных баз конструкции изделия необходимо максимальная формализация этих процедур.

В соответствии с вышеизложенным целью данной работы является разработка методики автоматизированного выбора состава сборочных баз и схемы базирования на основе CAD модели изделия и данных PDM системы.

Для решения проблемы формирования схемы базирования при разработке оснастки для сборки узлов из маложёстких деталей, с учётом существующих формализованных методов и возможностей современных САПР и АСТПП, требуется решить следующие задачи:

- 1) разработать методику анализа геометрических характеристик изделия непосредственно по его электронному макету,

построенному в принятой CAD системе, для построения дискретных математических моделей маложестких деталей сборочной единицы;

- 2) на основе дискретной математической модели маложесткой детали выявить минимальный состав базовых точек, определяющих ее основные базы с учетом задания ограничивающих связей, позволяющих задать ее пространственное положение, удовлетворяющее условию допустимых деформаций;
- 3) выбрать внешние базирующие элементы сборочного приспособления, базы которых соответствуют выявленному составу основных сборочных баз устанавливаемой маложесткой детали;
- 4) выбрать фиксирующие элементы сборочного приспособления, установочные базы которых задают необходимые ограничивающие связи на пространственное положение маложесткой детали;
- 5) реализовать систему автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления.

Решение поставленных задач позволяет выполнить выбор сборочных баз конструктивных элементов изделия при минимальном участии технолога, что обеспечит возможность сокращения цикла подготовки сборочного производства и повышения качества проектных решений.

Глава 2

МЕТОД ФОРМАЛИЗОВАННОГО АНАЛИЗА ОСНОВНЫХ БАЗ МАЛОЖЁСТКОЙ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ

2.1 Задачи и методика исследования при анализе основных баз маложёсткой сборочной единицы

2.1.1 Основная задача исследования

В традиционном производстве при решении задачи базирования элементов конструкции сборочной единицы, выбор сборочных баз определяет технолог, основываясь на своих знаниях, что затрудняет формализацию и автоматизацию процедуры выбора сборочных баз [3]. В современных условиях при технологической подготовке сборочного производства необходима разработка методики автоматизированного выбора состава сборочных баз и схемы базирования на основе CAD модели изделия и данных PDM (Product Data Management) системы предприятия. Для автоматизированной сборки необходимо оформление математической модели состава сборочных баз сборочной единицы (СЕ).

В общем случае в машиностроении деталь рассматривается как твёрдое тело, имеющее шесть степеней свободы: три поступательные и три вращательные, заданные по осям прямоугольной системы координат. Ограничение каждой степени свободы исключает возможность перемещения или поворота детали относительно данной оси в обоих направлениях. Они описаны булевыми векторами $B_{\alpha j}$. В общем случае степень фиксации B положения твердого тела относительно некоторой координатной системы может быть описана формулой [80]:

$$B = \bigcup_{\alpha=1}^2 \left(\bigcup_{j=1}^6 B_{\alpha j} \right), \quad (2.1)$$

где $B_{\alpha j}$ – значение свойства: «тело обладает α -й степенью свободы относительно j -й оси координат»;

α – вид перемещения, α принимает значения 1 и 2 соответственно для поступательного и вращательного движения;

j – номер оси координат: $j=1\div 6$;

$B_{\alpha j}=1$, если тело обладает возможностью α -го перемещения вдоль (вокруг) j -й оси координат. В противном случае $B_{\alpha j}=0$.

Для каждой пары сопрягаемых деталей СЕ поверхность сопряжения совпадает с поверхностями контакта общих тел (зазоры от погрешностей изготовления и деформации от внешних сил не учитываются). В самом общем виде сопряжение двух тел происходит по криволинейной поверхности. Число степеней свободы рассматриваемых деталей СЕ зависит от наличия или отсутствия ограничений на перемещение поверхности сопряжения относительно некоторой оси j или зависит от направления нормали к поверхности сопряжения и оси j .

Следовательно, требуется определить такой минимальный состав сборочных баз, при котором выполняются требования однозначности и адекватности математического представления сборочных баз, а также обеспечивается однозначное базирование и достаточная жёсткость фиксации при установке каждой детали изделия в сборочное положение.

2.1.2 Методика исследования

В предлагаемой работе при исследовании структуры изделия, анализе его КЭМ, а также при моделировании и анализе основных баз изделия использован математический аппарат теории множеств. В соответствующих формализованных алгоритмах, кроме того, использован математический аппарат алгебры логики, при выполнении расчётов на всех этапах исследования твердотельной модели изделия, выбора и анализа состава сборочных баз применяются элементы векторной алгебры.

При математическом моделировании и анализе основных баз изделия в данной работе широко применяются вычисления по эмпирическим зависимостям, выведенным в результате проведённых экспериментальных

исследований [4, 6]. Эти исследования проводились на КЭМ типовых сборочных единиц конструкции планера самолёта. Исследованные модели были выполнены в CAD-системе UGS NX 7.5.

В процессе моделирования и анализа сборочных баз изделия используются следующие возможности CAD-системы:

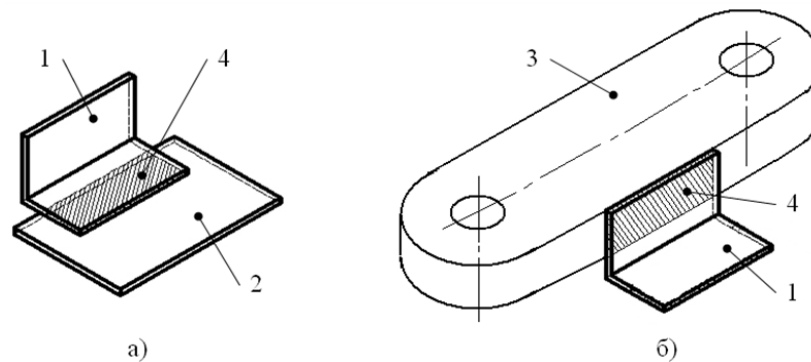
- а) построение параметризованной твердотельной модели изделия;
- б) идентификация геометрических элементов КЭМ (тел, поверхностей и плоскостей, рёбер и линий, точек) по индивидуальному идентификационному номеру (ID);
- в) анализ связей принадлежности между геометрическими элементами КЭМ;
- г) анализ геометрических характеристик элементов КЭМ:
 - абсолютных и локальных пространственных координат (X, Y, Z);
 - радиусов кривизны кривых линий и поверхностей;
 - характеристика кривизны поверхности SE.
- д) анализ дифференциальных и интегральных характеристик элементов твердотельной модели:
 - координат вектора нормали к поверхности в заданной точке;
 - моментов инерции и радиусов инерции твёрдых тел.

Таким образом, при определении состава сборочных баз в практике может быть использована любая CAD-система, в которой реализованы перечисленные функции. Этому требованию отвечают большинство из существующих CAD-систем верхнего уровня: NX 7.5, CATIA, Inventor и др.

2.2 Понятие поверхности сопряжения между сборочными единицами изделия

На твердотельной модели изделия каждая поверхность сопряжения представлена множеством точек, принадлежащих соответствующей грани твёрдого тела. Поскольку детали в КЭМ изделия моделируются по их номинальным размерам, геометрические места соответствующих точек пары

сопрягаемых поверхностей совпадают. Следовательно, модель поверхности сопряжения в КЭМ изделия представляет собой геометрическое место точек, принадлежащих одновременно сопрягаемым поверхностям двух твёрдых тел: рассматриваемой детали и сопрягаемой с ней детали изделия, либо базирующего элемента сборочной оснастки (рисунок 2.1). Значит, множества всех точек двух сопрягаемых поверхностей взаимно пересекаются [9].



а – по сопряжению с деталью изделия (сборочная база совпадает с конструкторской); б – по сопряжению с элементом сборочной оснастки (сборочная база является технологической); 1 – присоединяемая деталь; 2 – сопрягаемая деталь; 3 – базирующий элемент сборочной оснастки; 4 – поверхность базирования

Рисунок 2.1 – Поверхности сопряжения деталей

Таким образом, i -тая поверхность базирования математически описывается как множество точек P_{C6i} , образованное пересечением двух множеств поверхностей сопрягаемых деталей:

$$P_{C6i} = P_{П1} \cap P_{П2}, \quad (2.2)$$

где P_{C6i} – множество точек поверхности базирования;

$P_{П1}$ – множество точек поверхности рассматриваемой детали изделия;

$P_{П2}$ – множество точек поверхности сопрягаемой детали изделия или базирующего элемента сборочной оснастки.

Надо отметить, что в таком виде ни одна из точек множества не может иметь адресной идентификации. При математическом моделировании и

анализе основных баз изделия, на данном этапе будем рассматривать только дифференциально-геометрические характеристики поверхности сопряжения.

2.3 Анализ геометрической формы сборочной единицы

2.3.1 Основные геометрические характеристики, которые влияют на степени свободы сборочной единицы

Поверхность сопряжения разбивается на элементарные поверхности так, что на каждой элементарной поверхности можно выбрать одну опорную точку контакта, дифференциальные свойства которой будут аналогичны свойствам остального множества точек этой элементарной поверхности по принятым критериям. Для геометрических свойств поверхности критерием аналогичности (близости) принимаем равенство всех дифференциально-геометрических характеристик поверхности в каждой точке с допустимой величиной отклонения.

Для каждой элементарной поверхности сопряжения определяются условия выполнения ограничений на перемещения (поступательные и вращательные) по всем координатным направлениям по методу анализа расположения нормали к поверхности сопряжения и характеристики кривизны в выбранной точке (рисунок 2.2).

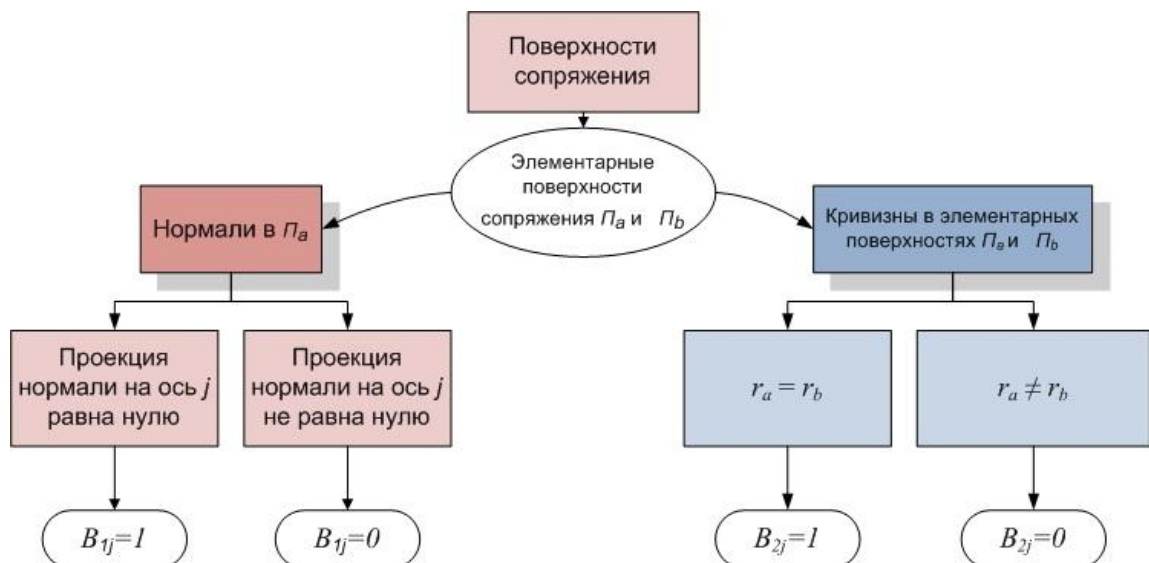


Рисунок 2.2 – Алгоритм определения состава основных баз

Обозначим a -ую элементарную поверхность сопряжения через Π_a , а нормаль к этой элементарной поверхности в некоторой точке O – $\vec{n}$ (рисунок 2.3):

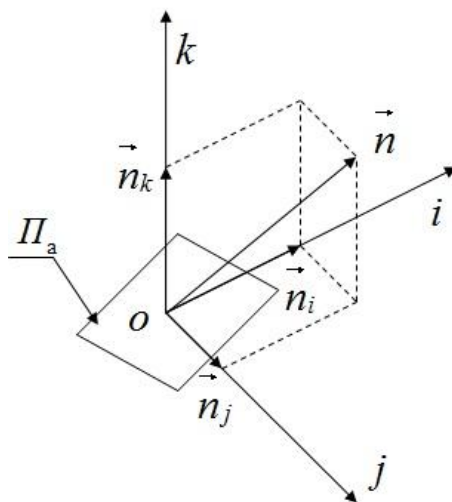


Рисунок 2.3 – Дифференциально-геометрические характеристики элементарной поверхности сопряжения

Каждую нормаль к касательной плоскости в точке O можно единственным образом разложить по двум определённым неколлинеарным векторам этой плоскости, а каждую нормаль трёхмерного евклидова пространства можно единственным образом разложить по трём определённым некомпланарным векторам [41]. Эти векторы, взятые в определённом порядке, называются базисом плоскости (пространства). Сопоставлением каждому вектору данной плоскости (пространства) его коэффициенты, в таком его разложении определяется аффинная система координат на плоскости (в пространстве). Если векторы, по которым производится разложение, ортогональны и единичны, то получаем прямоугольную декартову систему координат на плоскости (в пространстве). Разложение геометрического вектора по базису есть упорядоченная совокупность проекций вектора на базисные вектора.

По этому методу можно разложить нормаль $\vec{n}$ на осях i, j, k по трём определённым некопланарным векторам $\vec{n}_i, \vec{n}_j, \vec{n}_k$ (рисунок 2.3) получаем $\vec{n} = \vec{n}_i + \vec{n}_j + \vec{n}_k$, тогда:

- если $\vec{n}_j \neq 0$ то $B_{Ij}=0$ ($j=1\div 6$);
- наоборот если $\vec{n}_j = 0$ то $B_{Ij}=1$.

Следовательно, если тело, сопрягающееся с опорными поверхностями, обладает возможностью движения вдоль некоторой оси j , то проекция нормали к элементарной поверхности сопряжения по этой оси должна быть равна нулю (силы трения в точке сопряжения не учитываются). Высказывание: «элементарная поверхность Π_a , которая имеет проекцию нормали к ней относительно оси j равную нулю», обозначим через F_j^{Π} . Число опорных точек на элементарных поверхностях обозначим через n_a .

Условия расположения опорных точек на поверхности сопряжения определяются типом поверхности, которая может быть определена заданием ее родового имени, например: «линейчатая поверхность», или «поверхность люка отсека фюзеляжа Ф-2» (это подразумевает линейчатую поверхность). Исследуем форму поверхности сопряжения методом сечений плоскостями, параллельными плоскостям её локальной системы координат.

Из множества существующих видов поверхностей рассмотрим несколько видов поверхностей, применяемых в машиностроительных, особенно в авиационных конструкциях:

- плоские, (поверхности стенки нервюры, поверхность прилегания стрингера, поверхность стенки лонжерона, поверхность плоской обшивки и другие элементы конструкции планера самолета);
- линейчатые одинарной кривизны (поверхности одинарной кривизны обшивки фюзеляжа и крыла, другие элементы конструкции планера самолета);

- линейчатые в виде косо́й плоскости (поверхности косо́й обшивки фюзеляжа и крыла, и другие элементы конструкции планера самолета);
- поверхности двойной кривизны (поверхности двойной кривизны обшивки фюзеляжа, поверхность люка, поверхность мотогондолы двигателя и другие элементы конструкции планера самолета);
- заметим также, что к перечисленным видам поверхности относятся не только квадратичные поверхности, но и поверхности, образующими которых могут быть сложные кривые, например, сплайны (поверхности сложной конфигурации фюзеляжа, поверхности мотогондолы двигателя, и другие элементы конструкции планера самолета).

У плоской поверхности сопряжения, первая производная кривой сечения в каждой точке постоянна, а вторая производная равна нулю. Следовательно, нормали в каждой точке взаимно параллельны (рисунок 2.4, а).

У цилиндрической поверхности одинарной кривизны и так же для обобщенного цилиндра, первая производная кривой сечения по одному из направлений постоянна, а вторая – равна нулю. При сечении по прочим направлениям первая производная изменяется, а вторая – отлична от нуля. При цилиндрической форме поверхности нормали к данной поверхности лежат в параллельных плоскостях, а сами плоскости перпендикулярны к направлению, по которому равна нулю вторая производная (рисунок 2.4, б). Таким образом, исследование поверхности одинарной кривизны выполняется при помощи набора параллельных сечений.

У конической поверхности (рассмотрим круговой конус, т.е. квадратичную поверхность), в том числе обобщенной конической поверхности, где коника задана по одному направлению, первая производная кривой сечения по обоим направлениям (i и j) меняется, а вторая производная равна нулю, но все сечения поверхности одинаковы, поэтому исследование выполняется на одном любом сечении, взятом по взаимно

перпендикулярным плоскостям, проходящим через вершину конуса (рисунок 2.4, в).

У поверхности двойной кривизны первая производная кривой сечения по обоим направлениям (i и j) меняется, а вторая – отлична от нуля. Такая поверхность имеет параболическую, гиперболическую, сферическую или другую сравнительно сложную форму (тора, эллипсоида и др.). Нормали к поверхности в общем случае не лежат во взаимно параллельных плоскостях, и для полноценного исследования формы поверхности следует рассмотреть её сечения по двум направлениям (рисунок 2.4, г). Таким образом, исследование выполняется на двух наборах параллельных сечений, взятых по взаимно перпендикулярным плоскостям.

У косой плоскости по поверхности первая производная кривой сечения по одному из направлений постоянна, а вторая – равна нулю. При сечении по прочим направлениям первая производная изменяется, а вторая – отлична от нуля. При кривой форме поверхности нормали к данной поверхности лежат в параллельных плоскостях, а сами плоскости не перпендикулярны к направлению, по которому равна нулю вторая производная (рисунок 2.4, д). Таким образом, исследование выполняется при помощи двух наборов параллельных сечений, взятых по взаимно перпендикулярным плоскостям.

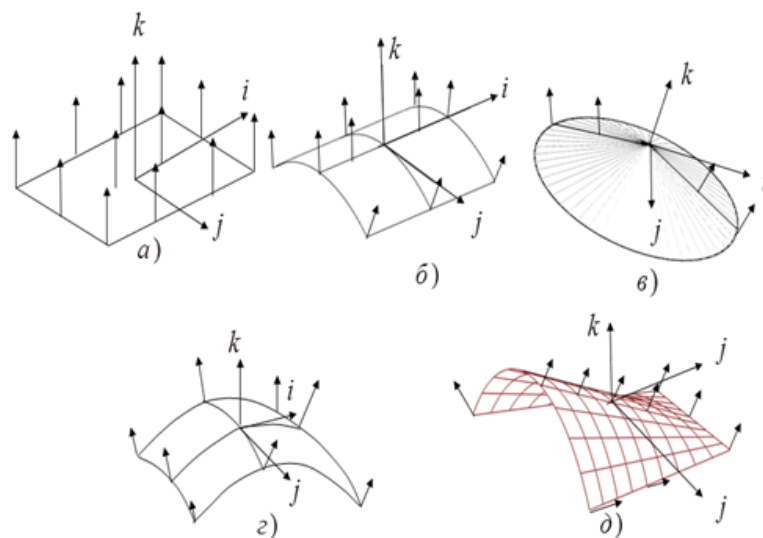


Рисунок 2.4 – Вида поверхности сопряжения и их нормали

Требования к базам детали для $B_{ij}=1$ и $B_{ij}=0$ могут быть записаны следующими формулами:

$$(B_{1j}=1) \rightarrow \forall \Pi_a \{F_j^\Pi\}, \quad (2.3)$$

$$\exists \Pi_a \{\overline{F_j^\Pi}\} \rightarrow (B_{1j}=0). \quad (2.4)$$

Высказывание (2.3) означает: «Тело обладает возможностью перемещения вдоль оси j , если проекции нормалей во всех опорных точках элементарных поверхностей сопряжения равны нулю».

Высказывание (2.4) означает: «Если во всех опорных точках элементарных поверхностей сопряжения существует точка, проекция нормали в которой к элементарной поверхности сопряжения относительно оси j не равна нулю, тело имеет ограничение на перемещение».

При вращении тела вокруг некоторой оси j его точки перемещаются по окружностям в плоскостях, перпендикулярных оси j . Следовательно, тело обладает возможностью вращения вокруг оси j , если его элементарные поверхности сопряжения имеют одинаковую кривизну.

Выберем a -ую и b -ую смежные элементарные поверхности сопряжения, опорные точки которых находятся в одном сечении, перпендикулярном оси j , и имеют касательные плоскости Π_a и Π_b . Если кривизны r_a и r_b в опорных точках каждой элементарной поверхности равны между собой, то для этой оси $B_{2j}=1$, наоборот $B_{2j}=0$ (рисунок 2.5).

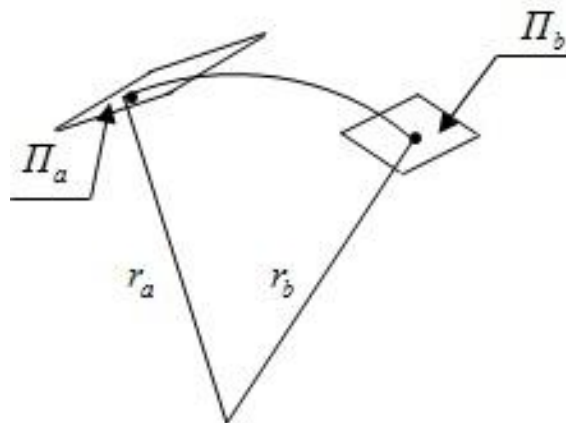


Рисунок 2.5 – Свойства опорных точек для B_{2j}

Обозначим высказывание: «элементарная поверхность сопряжения имеет одинаковую кривизну», через F_j^B .

Тогда рассмотренное выше положение будет иметь вид истинного сложного высказывания:

$$(B_{2j} = 1) \rightarrow \forall P_a P_b \{F_j^B\} \quad (2.5)$$

Преобразовав (2.5), получим формулу для $B_{2j}=0$

$$\exists P_a \exists P_b \{\overline{F_j^B}\} \rightarrow (B_{2j} = 0). \quad (2.6)$$

Наличие или отсутствие ограничения на перемещение в каждой элементарной поверхности не определяет соответствующих ограничений на перемещение всего тела относительно всей поверхности сопряжения. Вывод о существовании или отсутствии ограничений на перемещение всего тела принимается только после анализа сочетания всех свойств элементарных поверхностей взятых на поверхности сопряжения по всем осям i, j, k .

2.3.2 Минимальный состав базовых точек и их минимальные расстояния в одной поверхности базирования

Теоретически плотность дискретных точек для анализа ограничений на перемещение может быть очень велика (чем плотнее, тем точнее), но это снижает производительность вычислений. Поэтому выбор плотности распределения точек выполняется с учетом технологических ограничений накладываемых на конструкцию детали и определяется экспертными правилами. Например, для плоской поверхности сопряжения (рисунок 2.6, а), производится анализ минимального состава базовых точек по экспертным правилам, рассмотренным ниже.

По вышеприведенному анализу для этой плоскости сопряжения, нормали в каждой точке взаимно параллельны, их проекции на осях i и j равны нулю, проекции на оси k отличны от нуля, радиусы кривизны для всех элементарных поверхностей сопряжения равны друг другу и бесконечны по величине, перемещение по оси k допустимы только для тела позиционно

расположенного в положительном направлении, для оси $-k$ все наоборот, поэтому:

$$B_{1i} = 1; B_{1-i} = 1; B_{1j} = 1; B_{1-j} = 1; B_{1k} = 1; B_{1-k} = 0;$$

$$B_{2i} = 1; B_{2-i} = 1; B_{2j} = 1; B_{2-j} = 1; B_{2k} = 0; B_{2-k} = 0.$$

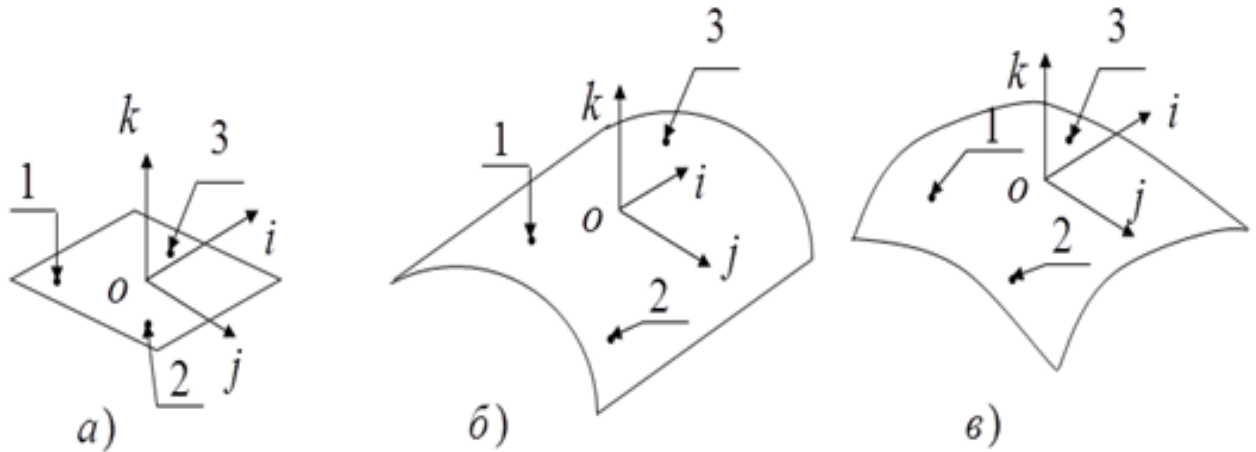


Рисунок 2.6 – Минимум числа опорных точек для разных типов поверхностей

Если вместо поверхности сопряжения выбрать одну опорную точку, тогда:

$$B_{1i} = 1; B_{1-i} = 1; B_{1j} = 1; B_{1-j} = 1; B_{1k} = 1; B_{1-k} = 0;$$

$$B_{2i} = 0; B_{2-i} = 0; B_{2j} = 0; B_{2-j} = 0; B_{2k} = 0; B_{2-k} = 0.$$

Так как, условие не выполнено, надо добавить вторую опорную точку, тогда:

$$B_{1i} = 1; B_{1-i} = 1; B_{1j} = 1; B_{1-j} = 1; B_{1k} = 1; B_{1-k} = 0;$$

$$B_{2i} = 1; B_{2-i} = 1; B_{2j} = 0; B_{2-j} = 0; B_{2k} = 0; B_{2-k} = 0.$$

Условие так же не выполнено, надо добавить третью точку, тогда:

$$B_{1i} = 1; B_{1-i} = 1; B_{1j} = 1; B_{1-j} = 1; B_{1k} = 1; B_{1-k} = 0;$$

$$B_{2i} = 1; B_{2-i} = 1; B_{2j} = 1; B_{2-j} = 1; B_{2k} = 0; B_{2-k} = 0.$$

Значит, для поверхности сопряжения в виде плоскости, надо минимум три опорных точки. Выполняя аналогичные рассуждения, мы получаем условия для всех вышеперечисленных видов поверхностей сопряжения, которые определяют наличие как минимум трёх опорных точек не

находящихся на одной прямой, т.е. удаленные одна от другой на некоторую величину $L_{u \neq j}^u(K_1, K_2)$, (рисунок 2.7). Данное условие выполняется для регулярной поверхности, для поверхности, состоящей из фрагментов различного вида, анализ ведется для каждого фрагмента. Практически это означает, что поверхность сопряжения разбивается на зоны с учетом технологии построения её электронного макета.

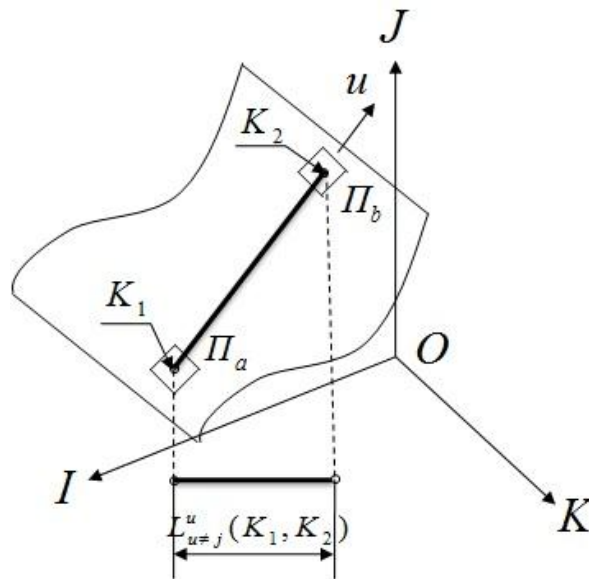


Рисунок 2.7 – Свойства опорных точек для $B_{2j}=0$

Для получения возможно меньшей погрешности при установке сопрягаемых деталей в сборочной единице необходимо, чтобы расстояние между элементарными поверхностями детали было достаточно протяженным. Поэтому величина $L_{u \neq j}^u(K_1, K_2)$ должна быть достаточно большой, т.е. должно выполняться условие:

$$L_{u \neq j}^u(K_1, K_2) > L_{\min}^u, \quad (2.7)$$

где: $L_{u \neq j}^u(K_1, K_2)$ – проекция расстояния между точками K_1 и K_2 на плоскость, перпендикулярную оси j ;

$L_{\min}^u$ – наименьшее расстояние $L_{u \neq j}^u(K_1, K_2)$, при котором обеспечивается требуемая точность взаимной установки сопрягаемых деталей без перекоса.

При невыполнении условия (2.7), то есть выборе в качестве опорной базы слишком коротких поверхностей, возможен перекося и опрокидывание одной детали относительно другой под действием силы от технологических воздействий при сборке или даже собственного веса.

Величина $L_{\min}^u$ зависит от геометрических характеристик поверхностей сопрягаемых деталей, их взаимной ориентации и др. При исследовании электронного макета СЕ, определим $L_{\min}^u$ по формуле:

$$L_{\min}^u = \sqrt{r_S^2 - r_{Uc}^2}. \quad (2.8)$$

где: r_S – сферический радиус инерции (центроид) СЕ;

r_{Uc} – максимальный радиус инерции СЕ в направлении перпендикулярном оси u .

Данная зависимость выбрана по результатам проведённых эмпирических исследований электронных макетов конструкций различных изделий, при которых r_S и r_{Uc} определяется по электронному макету СЕ [6].

2.4 Условия обеспечения требуемой фиксации сборочной единицы

Обозначим a -ую, b -ую и c -ую элементарные поверхности детали через Π_a , Π_b и Π_c ; протяженность элементарных поверхностей Π_a и Π_b – через L_{ab}^u ; протяженность поверхностей Π_a и Π_c в направлении оси u – через L_{ac}^u ; протяженность поверхностей Π_b и Π_c в направлении оси u – через L_{bc}^u .

Тогда требование к реальным базам детали для $B_{2j}=0$ можно записать следующей формулой:

$$\exists \Pi_a \exists \Pi_b \{ (L_{ab}^u > L_{\min}^u) \wedge (L_{ac}^u > L_{\min}^u) \wedge (L_{bc}^u > L_{\min}^u) \wedge \overline{F_j^B} \} \rightarrow (B_{2j} = 0) \quad (2.9)$$

Таким образом, задание нужного значения свойства B_{aj} возможно при выполнении требований (2.3, 2.4, 2.5, 2.9) к геометрической форме, размерам и взаимному расположению поверхностей деталей, выбранных в качестве баз. Обозначим эти требования через W_{aj} .

Для обеспечения требуемой фиксации положения детали относительно выбранной системы координат необходимо выполнение всех частных требований W_{aj} , то есть:

$$W_K = W_{11} \wedge W_{12} \wedge W_{13} \wedge W_{14} \wedge W_{15} \wedge W_{16} \wedge W_{21} \wedge W_{22} \wedge W_{23} \wedge W_{24} \wedge W_{25} \wedge W_{26}, \quad (2.10)$$

где W_K – совокупность требований к ориентации поверхностей сопряжения относительно системы координат и к геометрической форме установочных поверхностей тела, которые необходимо выполнить для обеспечения заданной фиксации положения тела относительно выбранной координатной системы.

Для известного значения B (2.1) структуру W_K можно вычислить по формулам (2.3, 2.4, 2.5, 2.6).

При оценке того или иного комплекта баз в формулу (2.10) подставляются соответствующие параметры элементарных поверхностей детали, выбранных за базы, и вычисляется значение W_K .

Истинность W_K будет означать, что выбранный комплект баз обеспечивает устойчивость деталей при их взаимной установке друг относительно друга. Если же окажется, что $W_K=0$, то это будет означать, что выбранный комплект баз не обеспечивает лишение детали заданных степеней свободы, и необходимо, либо выбрать другой комплект баз, либо назначить дополнительные базы.

После определения всех ограничений на перемещение выбираются основные базы для полного ограничения всех необходимых степеней свободы (с учетом функциональных связей конструкции сборочной единицы).

2.5 Выводы по главе 2

Для математического представления сборочных баз предложено использовать метод анализа поверхности сопряжения между сборочными единицами. Для анализа поверхности сопряжения, они разбиваются на смежные элементарные поверхности, что позволяет привести задачу к

анализу геометрических характеристик элементарной поверхности. Для её анализа используются формализованные методы выбора и получения исходных данных. Источником данных служит КЭМ изделия, выполненный в CAD-системе, а также связанные с ним данные из PDM-системы предприятия и результаты выполнения инженерного анализа в CAE-системах.

Таким образом, с использованием геометрических характеристик элементарных поверхностей разработана методика анализа и выбора ограничивающих связей на взаимное расположение сопрягаемых деталей на основе анализа дифференциально-геометрических характеристик локальных зон их поверхности сопряжения. Также определены условия задания базовых точек на поверхности маложесткой детали, задающих ее основные базы для полного ограничения всех необходимых степеней свободы.

Полученные решения позволяют достичь сокращения цикла технологической подготовки производства и повышение качества проектных решений за счет использования формализованных алгоритмов определения состава сборочных баз и построения автоматизированной системы проектирования элементов СП.

Глава 3

МЕТОДЫ ВЫБОРА ОПОРНЫХ БАЗОВЫХ ТОЧЕК ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ МАЛОЖЁСТКОЙ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ

3.1 Анализ типовых элементов в конструкции планера самолета

3.1.1 Классификация сборочных единиц

Системный подход к разработке любой сложной в техническом отношении проблемы требует проведения предварительных подготовительных работ, обязательным элементом которых является разработка классификаторов [11].

Учитывая многообразие конструктивных решений и их оформления при проектировании самолетов, а также объективные пределы применимости методов сборки в зависимости от конструктивного исполнения объектов сборки и характеристик точности, целесообразно располагать такой классификацией объектов сборки, которая соответствовала бы основным требованиям методов сборки и позволяла бы произвести разработку типовых технологических процессов сборки и типовых конструктивных схем технологической оснастки для изготовления деталей и сборки изделий, а также не противоречила общепринятым правилам.

Из всего множества признаков классификации объектов сборки планера самолета наиболее приемлемыми признаками, оказывающими влияние на метод сборки, являются следующие:

- выполняемые сборочными единицами функции в конструкции изделия;
- геометрические формы объектов сборки;
- характер сопрягаемых поверхностей сборочных единиц;
- участие в образовании теоретических контуров;
- характер связей деталей корпуса с обводообразующими обшивками.

С учетом указанных признаков на рисунке 3.1 приведена классификация всех объектов сборки планера самолета.

Традиционно в конструкции планера самолета выделяют следующие части: узлы, панели, секции, отсеки и агрегаты. В предлагаемом классификаторе объектов сборки эти части планера самолета составляют самостоятельные классы. В том случае, если на самолетостроительном заводе производится изготовление и сборка органов приземления – шасси, то их выделяют в отдельный класс.

Силовые установки (двигатели различной конструкции), электрооборудование, радиооборудование и другое оборудование, предназначенное для выполнения пилотажно-навигационных работ, представляют собой самостоятельные изделия, изготавливаемые на специализированных предприятиях и для их классификации должны быть использованы иные системы.

Особый класс представляют собой монтажи, производимые на самолете для установки оборудования и коммуникаций всех систем самолета.

Первый класс объектов сборки составляют узлы планера самолета. По принятой в самолетостроении терминологии под *узлом* понимают часть конструкции планера самолета, законченную в технологическом отношении и состоящую из двух или более элементарных деталей, соединяемых между собой одним из видов соединения (сваркой, склеиванием, заклепками, болтами, винтами и др.). Согласно этому определению к числу узлов относится большая номенклатура частей конструкции планера самолета: нервюры и шпангоуты, балки и лонжероны, стеллажи и полки, сборные кронштейны и другие сборные конструкции. Узлы могут быть плоскими и объемными, длинномерными и короткими, сложной и простой конфигурации, силовыми и несиловыми, герметичными и негерметичными,

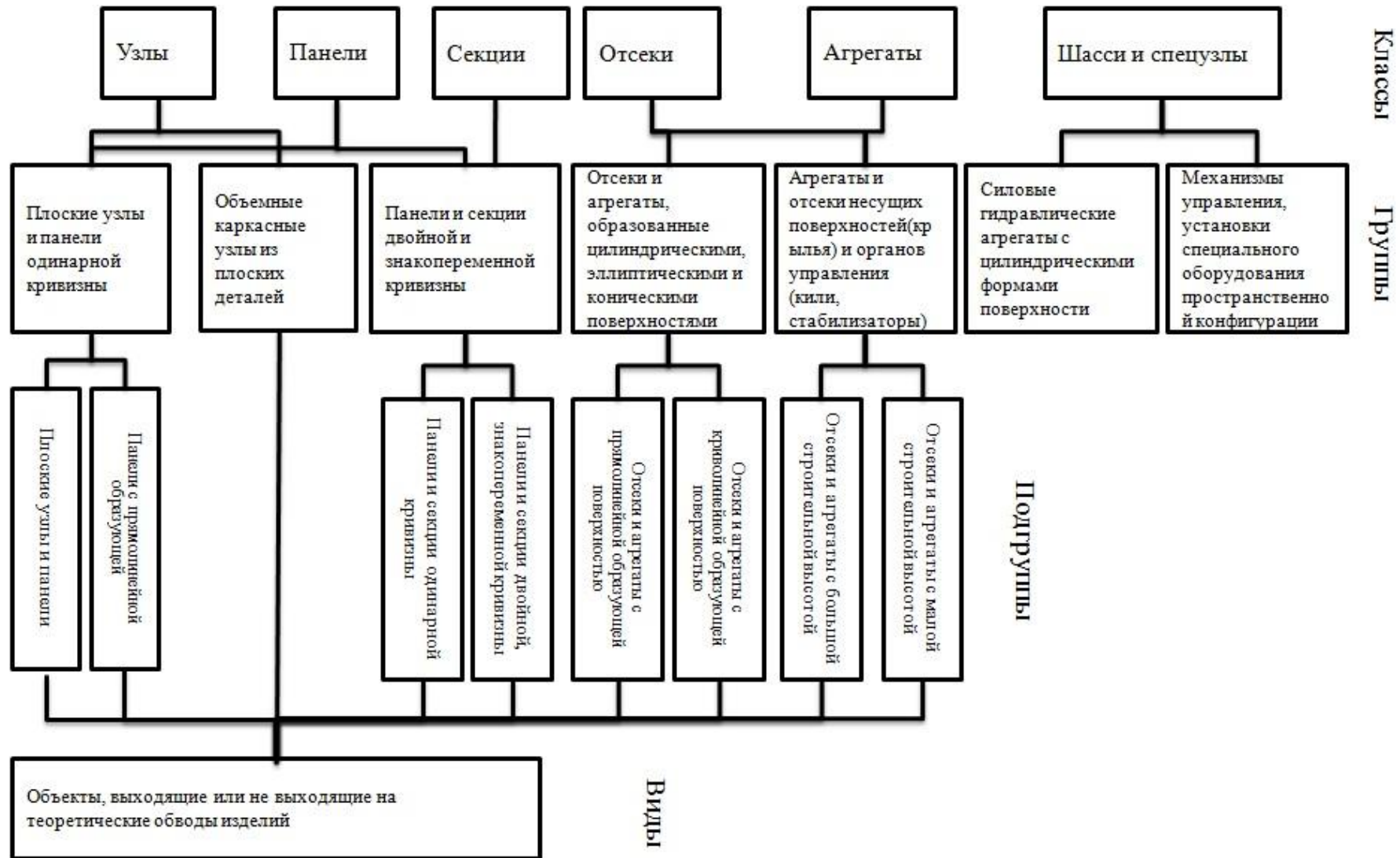


Рисунок 3.1 – Классификация объектов сборки

многодетальными и малодетальными (монолитными), стыковыми и выходящими на теоретический контур планера и не участвующими в обводообразовании контуров. Многообразие узлов увеличивается, если принять во внимание материал, из которого изготавливаются детали, входящие в узел, и способы соединения этих деталей между собой.

Второй класс объектов сборки – это панели. Под *панелью* понимают в самолетостроении часть конструкции планера самолета, законченную в технологическом отношении и состоящую из обшивки и деталей каркаса, прикрепленных к обшивке (а иногда и скрепленных друг с другом) с помощью одного из видов соединения. Панели могут быть плоскими и криволинейными, что определяется формой обшивки: если обшивка плоская, то и панель считают плоской, если обшивка имеет одинарную или двойную кривизну, то и панель считают криволинейной. Так же как узлы панели могут быть длинномерными и короткими, сложной и простой конфигурации, силовыми и несиловыми, герметичными и негерметичными, многодетальными и монолитными, с продольным, поперечным или смешанным набором деталей каркаса. На классификацию панелей может оказать влияние материал, из которого изготовлены обшивки и детали каркаса, способы соединения деталей с обшивкой.

Третий класс объектов сборки – это секции планера самолета. Под *секциями планера* самолета понимают часть конструкции незамкнутого типа, законченную в технологическом отношении и состоящую из нескольких панелей и узлов, соединенных между собой продольными и поперечными стыками или разъемами с помощью одного из видов соединений. Характерными представителями секций являются носки и залонжеронные части крыльев и отсеков оперения; верхние, нижние или боковые секции фюзеляжа и гондолы двигателя.

Четвертый класс объектов сборки составляют отсеки планера самолета. *Отсек* – это часть конструкции самолета замкнутого типа, образованная несколькими секциями, панелями и узлами, соединенными между собой

продольными и поперечными стыками или разъемами. Отсеки представляют собой законченную в технологическом, а иногда и в конструктивном отношении часть планера самолета. К числу отсеков относят носовую, среднюю и хвостовую части фюзеляжа, если последний разбивают на отдельные части: среднюю и отъемную части крыла (иногда крыло разбивают и на большее число самостоятельных отсеков); отъемные части стабилизатора и другие самостоятельные части планера. Отсеки могут быть герметичными и негерметичными, они всегда участвуют в формообразовании планера самолета, выходя своими контурами за внешние теоретические обводы.

Пятый класс объектов сборки составляют агрегаты планера самолета. Под *агрегатом* в самолетостроении принято понимать часть самолета, законченную в технологическом и конструктивном отношениях, выполняющую определенную функцию в составе планера самолета. К числу агрегатов планера самолета относят крыло, фюзеляж, киль, гондолы шасси (если они не встроены в конструкцию других агрегатов), стабилизатор, рули, элероны, щитки, закрылки, интерцепторы и другие функционально самостоятельные части. Агрегаты соединяются между собой с помощью разъемов или стыков. Агрегаты состоят из самостоятельных отсеков или, если они не расчленены на отсеки, из панелей и узлов.

Шестой класс объектов сборки составляют конструкции органов взлета и приземления (шасси) и специальные узлы систем (органов управления самолетом и двигателями, пультов и щитков управления механизмами). Отличительной чертой этой группы объектов является то, что они состоят из жестких деталей, получаемых механической обработкой. Полная взаимозаменяемость входящих в их конструкцию деталей, обеспечиваемая применением машиностроительной системы допусков и посадок, позволяет производить сборку непосредственно по чертежу без каких-либо подгонок. Сборочные приспособления используются в исключительных случаях, так как собственно сборочные операции заключаются во взаимной координации

деталей между собой по привалочным поверхностям, размеры которых строго выдерживаются при изготовлении деталей, и соединении деталей в этом положении одним из способов, указанном в чертеже.

3.1.2 Основные характеристики для выбора опорных базовых точек в деталях сборочной единицы

Традиционно выбор схемы базирования сборочной единицы начинается с определения состава сборочных баз каждой детали, входящей в сборочную единицу с последующей оптимизацией состава сборочных баз с учетом взаимодействия всех деталей сборочной единицы, требований и ограничений на выполнении технологического процесса сборки [34].

При выборе сборочных баз для базирования маложёстких деталей типа оболочек, длинномерных подкрепляющих элементов и т. п. выбор опорных базовых точек необходимо выполнить с учетом жесткости детали. В конструкторской практике критерием жесткости детали принимается допустимая величина деформации детали или пакета деталей с учетом принятой схемы закрепления и заданной схемы нагружения и величины нагрузки. Далее, в составе сборочной единицы необходимо также учитывать текущую жесткость пакетов деталей в зоне выбора опорных базовых точек. Здесь под текущей жесткостью понимается способность конструкции изделий и ее элементов противостоять внешним нагрузкам в отношении деформаций (изменение формы и размеров) на каждом очередном (текущем) этапе процесса сборки. При заданных нагрузках, деформации не должны превышать определенных величин, устанавливаемых в соответствии с требованиями к конструкции [81].

На сегодняшний день существует много программных систем позволяющих рассчитывать величины деформацией с учетом заданных условий нагружения и физико-механических свойств материалов деталей сборочной единицы (Nastran, Ansys и др.) [100, 103]. Однако надо признать, что такие расчеты очень ресурсоемки и требуют специфических навыков для

проведения инженерного анализа конструкции сборочной единицы. Такими навыками и ресурсами не всегда располагает линейный технолог и конструктор сборочной оснастки.

Поэтому, возникает задача выбора опорных базовых точек в деталях СЕ при вариативном поиске схемы базирования, особенно для маложёстких деталей, которые легко теряют форму даже под собственном весом. При этом, как правило, сравнение вариантов схемы базирования производится не по абсолютным величинам деформаций элементов конструкции, а в контексте позиционного ранжирования: больше/ меньше. Расчет абсолютных величин деформаций производится на заключительном этапе принятия решений. Условие на жесткость определяется по формуле:

$$w_{\max} \leq w_{\text{дон}}, \quad (3.1)$$

где $w_{\max}$ – максимальный прогиб, мм;

$w_{\text{дон}}$ – допустимый прогиб, мм.

Учитывая требования к точности на обводы современных летательных аппаратов в зависимости от их функционального назначения, допуски на погрешности размеров объекта сборки находятся в пределах 0,01...1,5 мм, а погрешность монтажа сборочного приспособления с помощью лазерных центрирующих измерительных устройств находятся в пределах 0,05...0,15 мм [11].

Погрешность изделия при сборке определяется по формуле [11]:

$$C_{\text{изд}} = C_{\text{сб}} + C_{\text{пр}}, \quad (3.2)$$

где $C_{\text{изд}}$ – погрешность готового изделия, мм;

$C_{\text{сб}}$ – погрешность увязки сборочной единицы и базовых элементов сборочного приспособления, мм;

$C_{\text{пр}}$ – погрешность изготовления сборочного приспособления, мм.

Поэтому, получим

$$0,01 - 0,15 \leq C_{\text{сб}} = C_{\text{изд}} - C_{\text{пр}} = 1,5 - 0,05.$$

Таким образом, величина $w_{\text{дон}}$ будет:

$$-0,14 \leq w_{don} = C_{сб} \leq 1,45 \text{ мм.} \quad (3.3)$$

Для базирования и фиксации маложёстких деталей необходимо задать положение опорных базовых точек удовлетворяющих условию (3.3). Традиционно выбор опорных базовых точек выполняется специалистом с учетом его знаний и опыта. Однако, при наличии электронного макета решение этой задачи может быть автоматизировано, для чего необходимо выполнить разработку формализованного инструмента для выбора опорных базовых точек деталей сборочной единицы по его конструктивному электронному макету.

3.1.3 Основные типовые элементы в конструкции планера самолета

Учитывая сложность и разнообразность пакетов сборочной единицы, особенно в таких конструкциях как планер самолета, где большинство деталей представляют собой тонкостенные длинномерные маложёсткие конструкции, решение этой задачи целесообразно начать с формализованного анализа типовых конструкций, позволяющих учитывать знания эксперта в задачах выбора варианта проектного решения. Для формализации экспертных знаний, прежде всего, выполняется классификация объектов предметной области исследования (рисунок 3.2).

По схеме, представленной на рисунке 3.2 можно наблюдать, что в конструкции планера самолета большое распространение имеют следующие типы деталей.

1. Обшивки из листового полуфабриката, которые в свою очередь подразделяется на две подгруппы:

а) плоские конструкции (стенки нервюры и шпангоутов, панели пола и перегородок и т.п.) (рисунок 3.3, а);

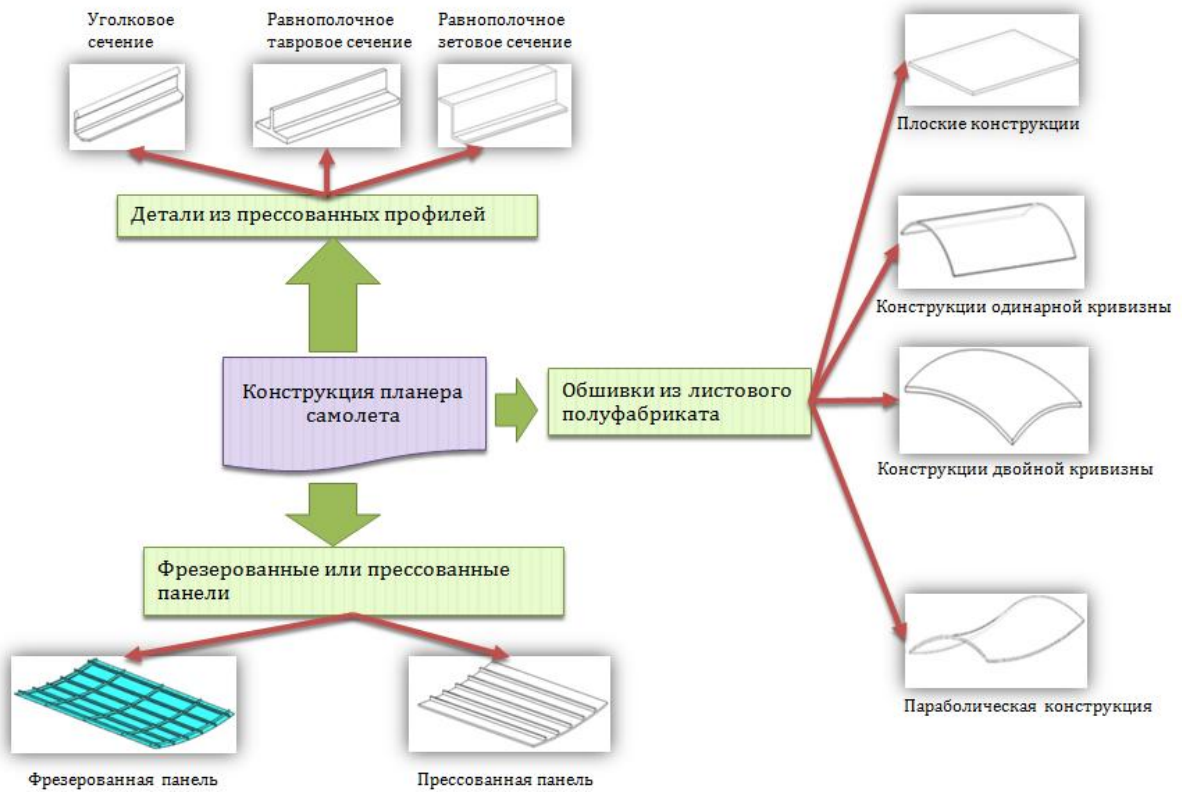
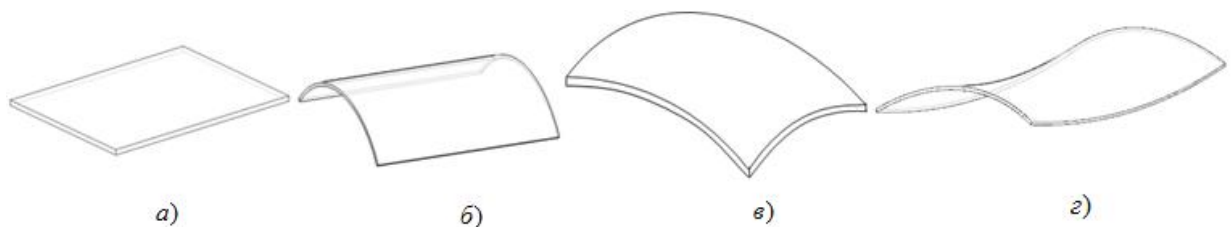


Рисунок 3.2 – Классификация типовых деталей планера самолета

б) пространственные конструкции одинарной кривизны, имеющие форму обобщенного цилиндра или конуса (обшивка фюзеляжа или крыла) (рисунок 3.3, б);

в) пространственные конструкции двойной кривизны преимущественно обшивок фюзеляжа, мотогондол, имеющие параболическую форму (рисунок 3.3, в), реже обшивок крыла, переходных зализов, имеющих гиперболическую форму (рисунок 3.3, г).



а) плоские конструкции; б) пространственные конструкции одинарной кривизны; в) пространственные конструкции двойной кривизны; г) конструкции гиперболической формы

Рисунок 3.3 – Типовые обшивки из листового полуфабриката

2. Детали из прессованных профилей, представляющие собой длинномерные элементы (рисунок 3.4), задающие силовой каркас конструкции или подкрепляющие оболочку обшивки (стрингеры крыла и фюзеляжа, пояс лонжерона, кница и т.д.).

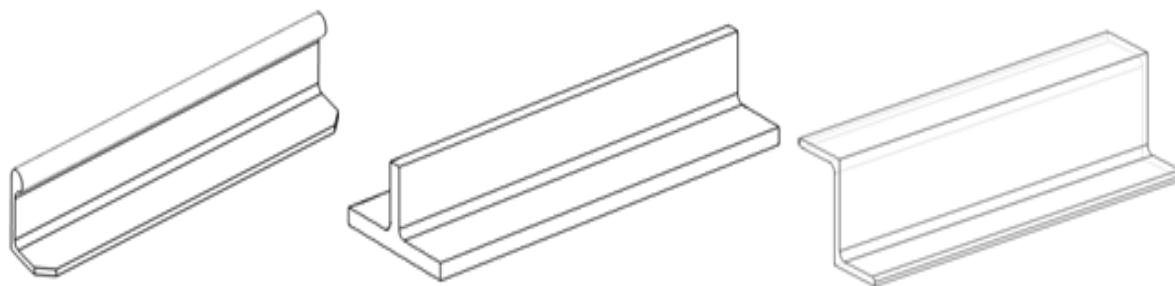
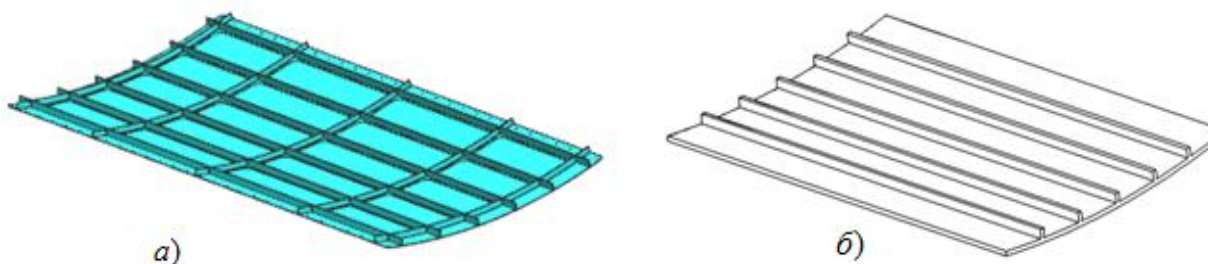


Рисунок 3.4 – Типовые детали из прессованных профилей

3. Фрезерованные (рисунок 3.5, а) или прессованные (рисунок 3.5, б) панели, представляющие собой монолитные детали в виде оболочки с силовыми подкрепляющими элементами различного сечения.



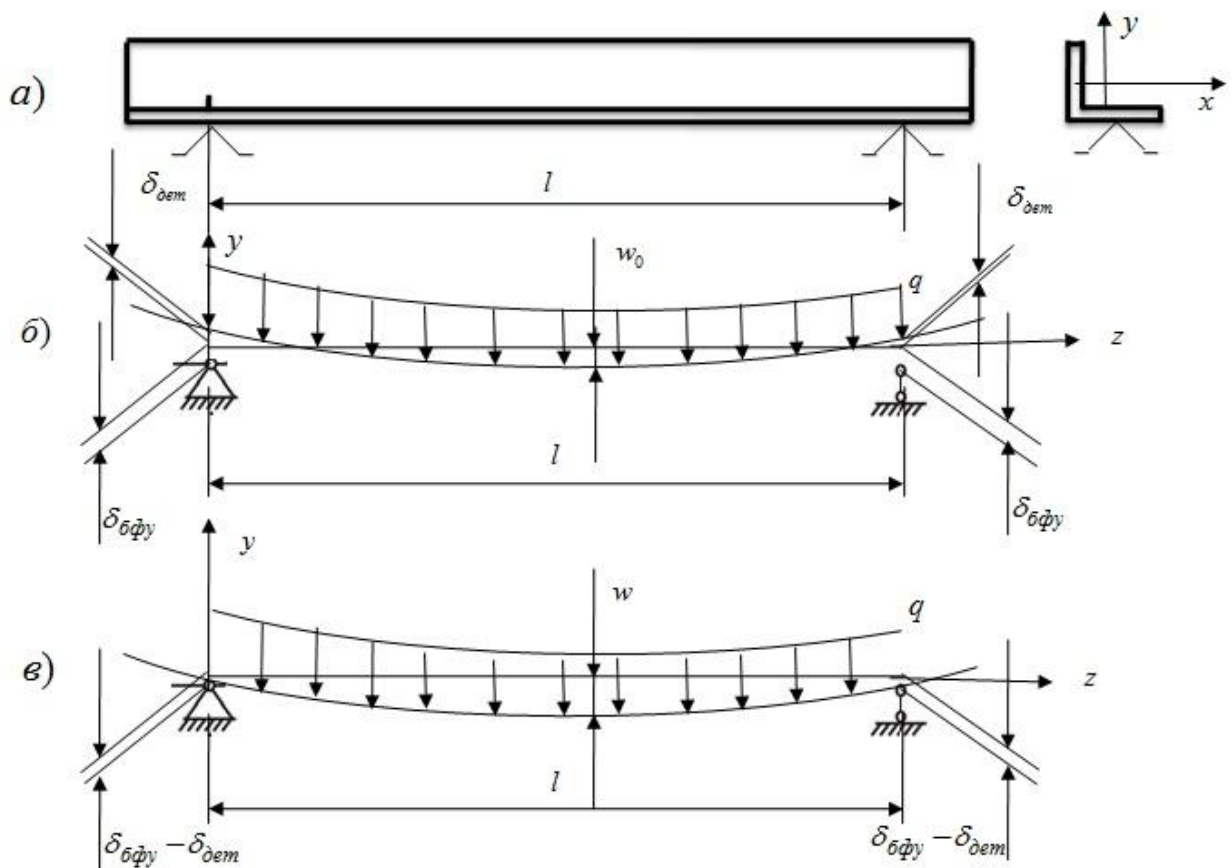
а) фрезерованная панель; б) прессованная панель

Рисунок 3.5 – Монолитные панели с силовыми подкрепляющими элементами различного сечения

У каждого вышеуказанного типового элемента имеются свои различные конструктивно-геометрические характеристики, поэтому методы анализа для различных типовых элементов будут различными.

3.2 Метод определения шага размещения опорных базовых точек детали из прессованных профилей типа балки

При изгибе базируемой детали типа балки можно считать, что детали представлены как свободно нагруженные под собственным весом поверхности, закрепленные по точкам опоры на горизонтальной плоскости. В таком случае, принципиальная схема нагружения конструкции детали, её базирование и фиксация в СП показаны на рисунке 3.6.



а – прессованные профили типа балки; б – свободное базирование; в – при фиксации.

Рисунок 3.6 – Расчетная схема деталей из прессованных профилей

Для балки, на которую действуют равномерно распределенная нагрузка q , Н/м по длине, максимальный прогиб в середине балки определяется по формуле [62]:

$$w_{\max} = \frac{ql^4}{8EJ_x} + (\delta_{\text{бфу}} - \delta_{\text{дет}}) = \frac{\rho F g l^4}{8EJ_x} + (\delta_{\text{бфу}} - \delta_{\text{дет}}), \quad (3.4)$$

где E – модуль упругости первого рода материала детали, МПа ;

J_x – момент инерции сечения относительно оси x - x , м^4 ;

EJ_x – жесткость профиля, $\text{Н}\cdot\text{м}^2$;

ρ – плотность материала профиля, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

F – площадь сечения профиля, м^2 ;

$\delta_{\text{дет}}$ – погрешность изготовления деталей, мм ;

$\delta_{\text{бфу}}$ – погрешность изготовления БФУ СП, мм .

По формулам (3.1) и (3.4) получается:

$$l_{\max} = \sqrt[4]{\frac{8(w_{\text{дон}} - \delta_{\text{бфу}} + \delta_{\text{дет}})EJ_x}{\rho F g}}. \quad (3.5)$$

Поставив все значения в формулу (3.5) получаем максимальное расстояние между опорными точками $l_{\max}$ для деталей из профилей типа балки.

В случае, когда детали не находятся в горизонтальном положении, деформация от собственного веса также меньше значение $w_{\max}$. Это позволяет сделать вывод о том, что при задании расстояния между опорными точками в схеме базирования меньшего или равного величине $l_{\max}$, выполняется условие обеспечения необходимой жесткости положения детали при сборке.

3.3 Метод определения шага размещения опорных базовых точек плоской детали

Для определения шага размещения опорных базовых точек плоской маложёсткой детали изготовленной из листового полуфабриката рассмотрим её как пластинку с размерами a , b и толщиной h . Расчетную схему представим как плоскую прямоугольную пластину, шарнирно опертую по всему контуру, продольные края которой при изгибе могут беспрепятственно поворачиваться, но лишены возможности сближаться.

Эксплуатационные условия, действующие на плоскую деталь в большинстве случаев включают вертикальную нагрузку (собственный вес, полезная нагрузка). Поэтому в дальнейшем, считается отличной от нуля только составляющая Z , действующая в направлении оси z .

Решение в двойных тригонометрических рядах, предложенное Навье, пригодно при действии произвольной нагрузки [104]. Рассмотрим пока частный случай нагрузки, распределенной по закону синуса (рисунок 3.7):

$$q(x, y) = q_0 \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}. \quad (3.6)$$

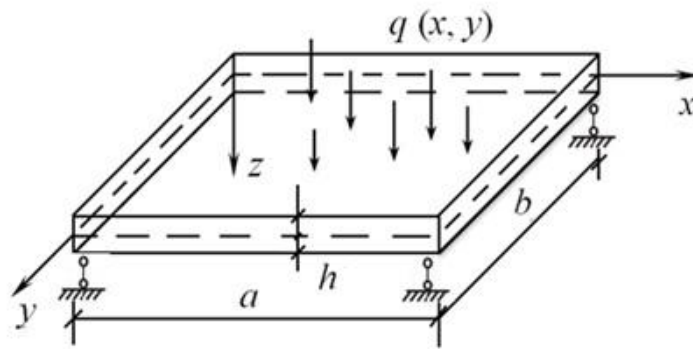


Рисунок 3.7 – Расчетная схема плоской детали изготовленной из листового полуфабриката

В случае действия равномерно распределенной нагрузки, то есть при $Z(x, y) = q = \rho h g$, где ρ – плотность материала пластинки, получим выражение для прогибов в аналогичной форме:

$$w(x, y) = \frac{16 \rho h g a^4}{\pi^6 D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{A}_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} + (\delta_{\phi_{fy}} - \delta_{\phi_{em}}), \quad (3.7)$$

где m и n – числа натурального ряда;

D – характеристика жесткости пластинки, полученная при условии:

$$k = \frac{a}{b}, \quad (3.8)$$

$$\bar{A}_{mn} = \frac{1}{mn(m^2 + k^2 n^2)^2}, \quad (3.9)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (3.10)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Максимальный прогиб пластинки получается в центре оболочки (при $x=a/2, y=b/2$), тогда

$$w_{\max} = w\left(\frac{a}{2}, \frac{b}{2}\right) = \frac{16\rho h g a^4}{\pi^6 D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{A}_{mn} \sin \frac{m\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{2} + (\delta_{\phi\psi} - \delta_{\phi\eta}). \quad (3.11)$$

Характеристики пластинки по двум направлениям одинаковы, поэтому выбираем $a=b$ и, соответственно, $k=1$.

Тогда получим

$$l_{\max} = \sqrt[4]{\frac{(w_{\phi\eta} - \delta_{\phi\psi} + \delta_{\phi\eta})\pi^6 D}{16\rho h g \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{A}_{mn} \sin \frac{m\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{2}}} = 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{(w_{\phi\eta} - \delta_{\phi\psi} + \delta_{\phi\eta})D}{\rho h g}}. \quad (3.12)$$

Это значит, что при сборке плоской детали максимальные расстояния между базирующими элементами, для обеспечения условия фиксации по двум направлениям, равны и не превышают значения $l_{\max}$.

3.4 Метод определения шага размещения опорных базовых точек детали типа обшивки одинарной кривизны

Конструктивно маложёсткие детали типа «обшивка» могут рассматриваться как оболочки одинарной кривизны и представлены как свободно нагруженные под собственным весом поверхности, закрепленные по точкам опоры на горизонтальной плоскости (рисунок 3.8).

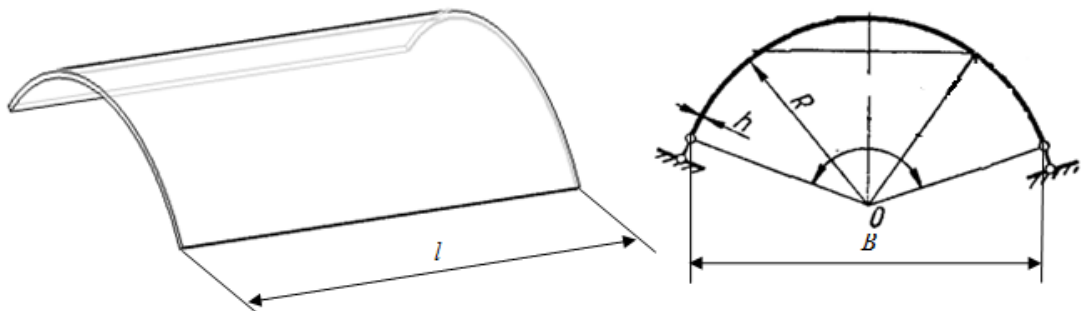


Рисунок 3.8 – Цилиндрическая оболочка с образующей в виде окружности

Рассмотрим, для упрощения, цилиндрическую оболочку с образующей в виде окружности, нагруженную симметрично относительно своей оси x (рисунок 3.8). Такая постановка задачи достаточно распространенная в конструкторских расчетах. Чтобы получить уравнения равновесия, рассмотрим малый элемент (рисунок 3.9), подобный показанному на рисунке 3.8.

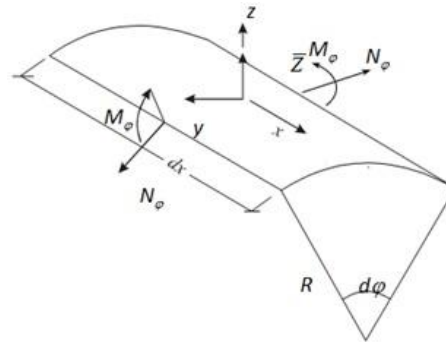


Рисунок 3.9 – Расчетная схема детали типа оболочки с образующей в виде окружности

Из-за наличия симметрии заключаем, что продольные силы N_φ и изгибающие моменты M_φ остаются постоянными по окружности. Полагая, что внешние силы, действующие по нормали к поверхности, могут рассматриваться как силы, определенные собственным весом и направленные по Z [104], получим:

$$N_\varphi = \frac{Ehw}{R}; \quad (3.13)$$

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = -\frac{\bar{Z}}{D}; \quad (3.14)$$

где E – модуль упругости первого рода материала детали, МПа;

h – толщина оболочки, м;

w – прогиб цилиндрической оболочки, м;

R – радиус кривизны оболочки, м;

D – характеристика цилиндрической жесткости цилиндрических оболочек.

С учетом того, что

$$\beta^4 = \frac{Eh}{4R^2 D} = \frac{3(1-\nu^2)}{R^2 h^2}, \quad (3.15)$$

получим

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}. \quad (3.16)$$

Это уравнение совпадает с полученным в курсе сопротивления материалов для балки, лежащей на упругом основании. Общее решение этого уравнения имеет вид:

$$w = e^{\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) + f(x), \quad (3.17)$$

где $f(x)$ – частное решение уравнения (3.14);

C_1, C_2, C_3, C_4 – постоянные интегрирования, определяемые из условий закреплений оболочки.

Основной является вертикальная нагрузка (собственный вес) поэтому нагрузка в указанной системе координат определяется формулой

$$\bar{Z} = -\rho h g. \quad (3.18)$$

Рассмотрим общий случай, когда оболочка рассматривается как шарнирно опертая по всему контуру. В этом случае из безмоментной теории вытекает, что

$$N_\varphi = \bar{Z} R = -\rho h g R, \quad (3.19)$$

а из (3.13) и (3.19) получается

$$w_0 = -\frac{\rho g R^2}{E}. \quad (3.20)$$

Это выражение определяет радиальное расширение цилиндрической оболочки со свободными концами.

Примем его в качестве частного решения $f(x)$. Тогда:

$$w = e^{-\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) - \frac{\rho g R^2}{E}. \quad (3.21)$$

В большинстве случаев, толщина стенки h оболочки мала по сравнению с её радиусом R и длиной l . В этой связи мы можем считать ее

резервуаром бесконечной длины. Постоянные C_1 и C_2 в этом случае обращаются в нуль, что приводит к

$$w = e^{\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) - \frac{\rho g R^2}{E}. \quad (3.22)$$

При шарнирно опертых краях оболочки граничные условия таковы:

$$(w)_{x=0} = C_3 - \frac{\rho g R^2}{E} = 0, \\ \left(\frac{dw}{dx} \right)_{x=0} = \left[\beta C_3 e^{\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x) + \beta C_4 e^{\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x) - \frac{\rho g R^2}{E} \right]_{x=0} = 0.$$

Из этих уравнений получаем

$$C_3 = -C_4 = \frac{\rho g R^2}{E}.$$

Выражение (3.21) преобразуется при этом к виду

$$w = \frac{\rho g R^2}{E} [e^{\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x) - 1]. \quad (3.23)$$

Также, при фиксации детали к базовым точкам опор БФУ СП на горизонтальной плоскости, максимальное значение прогиба для рассматриваемого сечения ($x = l/2$) будет

$$w_{\max} = \frac{\rho g R^2}{E} \left[e^{\frac{\beta l}{2}} \left(\cos \frac{\beta l}{2} - \sin \frac{\beta l}{2} \right) - 1 \right] + (\delta_{\phi y} - \delta_{\phi m}). \quad (3.24)$$

Тогда

$$e^{\frac{\beta l}{2}} \left(\cos \frac{\beta l}{2} - \sin \frac{\beta l}{2} \right) = \frac{(w_{\max} - \delta_{\phi y} + \delta_{\phi m})E}{\rho g R^2} + 1. \quad (3.25)$$

Обозначим

$$\frac{\beta l}{2} = x, \\ \frac{(w_{\max} - \delta_{\phi y} + \delta_{\phi m})E}{\rho g R^2} + 1 = y.$$

Максимальный прогиб оболочки получается при максимальном значении функции $y = e^x (\cos x - \sin x)$. Соответственно, учитывая то, что первая производная этой функции в точке экстремума равна нулю

$y' = -2e^x \sin x = 0 \Rightarrow \sin x = 0$, получим $x = n\pi$, где n – целое число.

Тогда максимальное значение $l_{\max}$ для цилиндрической оболочки при сборке определяется по системе

$$\begin{cases} l_{\max} = \frac{2\pi n}{\beta}, \\ e^{n\pi} \cdot \cos n\pi = \frac{(w_{\text{дон}} - \delta_{\text{бф}} + \delta_{\text{дет}})E}{\rho g R^2} + 1. \end{cases} \quad (3.26)$$

Таким образом, при сборке детали типа обшивки одинарной кривизны, максимальные расстояния между базирующими элементами, для обеспечения условия фиксации по направлению оси оболочки, не превышают значения $l_{\max}$. Эти расстояния определяют шаг расположения базирующих элементов при сборке (рубильники, ложементы, опоры и т.д.).

3.5 Метод определения шага размещения опорных базовых точек детали типа обшивки двойной кривизны

В конструкции планера самолета существуют маложёсткие детали обшивки двойной кривизны, которые можно представить, как пологую оболочку. Оболочка считается полой, если ее геометрические размеры таковы, что выполняется условие $f \leq \frac{1}{5} \min(f_1, f_2)$ т.е. если стрела подъема f оболочки в центре не превосходит 1/5 длины меньшей стороны оболочки в плане, либо $f_1 \leq 0,1l_1$; $f_2 \leq 0,1l_2$ [104] (рисунок 3.10).

где f_1, f_2 – стрелы подъема сторон контура;

l_1, l_2 – размеры оболочки в плане;

h – толщина оболочки.

Для таких оболочек считается, что:

а) геометрия срединной поверхности полой оболочки не отличается от геометрии плоскости;

б) для пологих оболочек можно также принять, что $1/R_1 = k_1 = \text{const}$, $1/R_2 = k_2 = \text{const}$;

в) линии на срединной поверхности, проекции которых суть прямые, параллельные осям x и y , являются линиями главных кривизны.

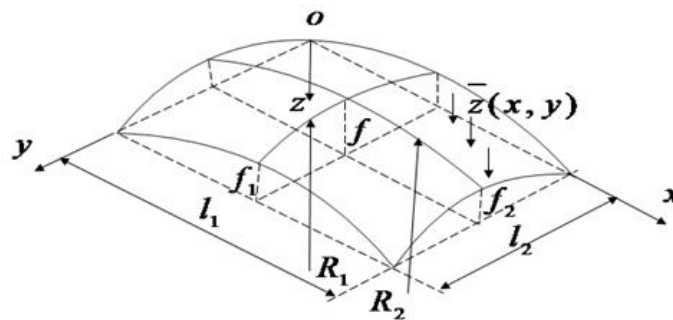


Рисунок 3.10 – Расчетная схема детали двойной кривизны

Для пологих оболочек, применяемых для панели конструкции самолета, в большинстве случаев основной является вертикальная нагрузка (собственный вес, полезная нагрузка), где закрепление оболочки также рассматривается по точкам опор БФУ СП на горизонтальной плоскости, поэтому в дальнейшем считается отличной от нуля только составляющая Z , действующая в направлении оси z .

Легко заметить, что при $R_1=R_2=\infty$, $k_1=k_2=0$, т.е. тогда, когда срединная поверхность оболочки вырождается в плоскость.

Рассмотрим расчет пологих оболочек двойной кривизны с шарнирным опиранием по всему контуру (рисунок 3.11).

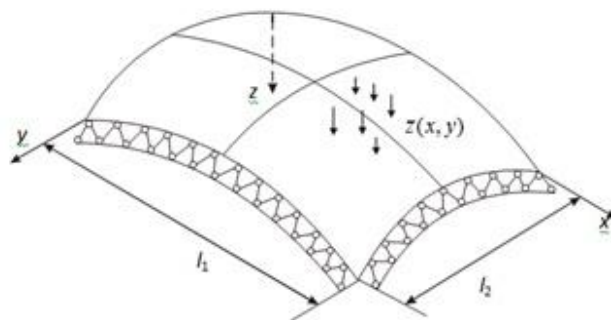


Рисунок 3.11 – Схема закрепления детали двойной кривизны при сборке

В случае действия равномерно распределенной нагрузки и при фиксации детали к базовым точкам опор БФУ СП на горизонтальной плоскости, то есть при $Z(x, y) = q = \rho h g$, получим расчетную формулу для деформации оболочки

$$w = \frac{16\rho h g l_1^4}{\pi^6 D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{l_1} \sin \frac{n\pi y}{l_2} + (\delta_{\phi\phi y} - \delta_{\phi\phi m}). \quad (3.27)$$

В формулу (3.27) входят производные по переменной x только четных порядков. А так как при $x=0$ и $x=l_1$, величина, $\sin m\pi x/l_1$ и любая её четная производная обращаются в нуль, то можно показать и для краев $y=0$ и $y=l_2$, где m и n – числа натурального ряда.

$$a_{mn} = \frac{(m^2 + \gamma^2 n^2)^2}{mn \left[(m^2 + \gamma^2 n^2)^4 + \lambda (k_2 m^2 + k_1 \gamma^2 n^2)^2 \right]}, \quad (3.28)$$

$$\gamma = \frac{l_1}{l_2}, \quad \lambda = \frac{E h l_1^4}{\pi^4 D}, \quad (3.29)$$

$$D = \frac{E h^3}{12(1 - \nu^2)}. \quad (3.30)$$

Максимальный прогиб оболочки получается в её середине (при $x=l_1/2$, $y=l_2/2$), и тогда

$$w_{\max} = \frac{16\rho h l_1^4}{\pi^6 D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{m\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{2} + (\delta_{\phi\phi y} - \delta_{\phi\phi m}). \quad (3.31)$$

Подставив все значения в формулу (3.31), получим

$$w_{\max} = \frac{64\rho h l_1^4}{\pi^6 D \left[16 + \frac{E h l_1^4}{\pi^4 D} (k_1^2 + k_2^2)^2 \right]} + (\delta_{\phi\phi y} - \delta_{\phi\phi m}). \quad (3.32)$$

По формулам (3.1) и (3.32) мы сможем определить максимальные значения $l_{1\max}$ и $l_{2\max}$ для оболочки при сборке

$$l_{\max} = 6.34 \sqrt{\frac{16(w_{\phi\phi n} - \delta_{\phi\phi y} + \delta_{\phi\phi m})\pi^6 D}{64\rho h - w_{\phi\phi n} E h \pi^2 (k_1^2 + k_2^2)^2}}. \quad (3.33)$$

При сборке детали типа обшивки двойной кривизны, максимальные расстояния между базирующими элементами, для обеспечения условия фиксации по двум направлениям, равны и не превышают значения l_{max} .

3.6 Метод определения шага размещения опорных базовых точек детали типа подкрепленных обшивок

В конструкции современного самолета внешние обводы часто выполняются в виде подкрепленных обшивок, изготовленных из прессованных панелей. Такая панель представляет собой удлиненные оболочки цилиндрической или конической формы, например, в крыле или фюзеляже летательного аппарата с произвольным или продольным контурами поперечных сечений (рисунок 3.12).

Предполагается, что оболочки воспринимают нагрузки, работая как балки. Такая расчетная модель, часто называемая балочной, справедлива для удлиненных оболочек регулярной конструкции, т.е. для оболочек, размер которых вдоль оси z значительно больше размеров поперечного сечения, причем отсутствуют вырезы и резкое изменение жесткости обшивки и подкрепляющих элементов по координате z [62].

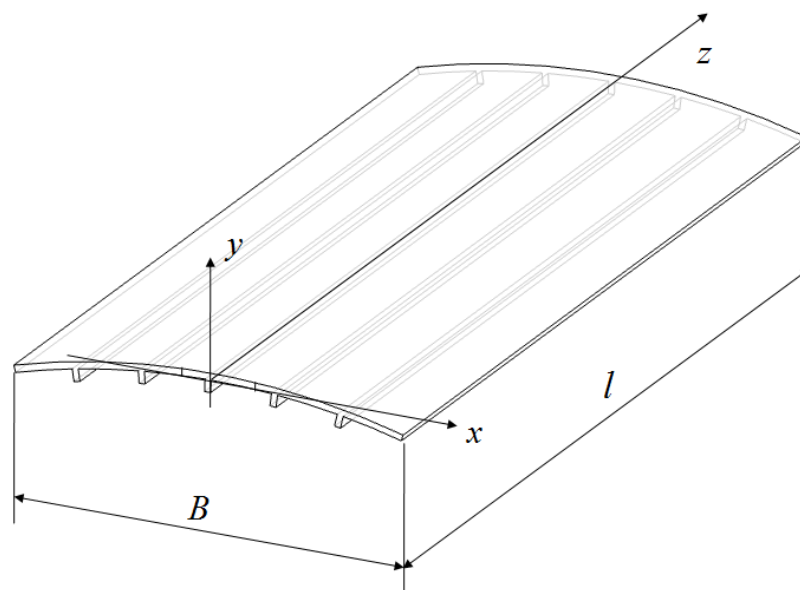


Рисунок 3.12 – Подкрепленная панель

Для определения прогиба подкреплённой панели, выделим из неё (вдоль образующей) полосу такой ширины, которой соответствует расстояние между подкрепляющими элементами в поперечном сечении, где действуют равномерно распределенная нагрузка q (удельный вес оболочки) по длине и сила прижатия по опорным точкам (рисунок 3.13).

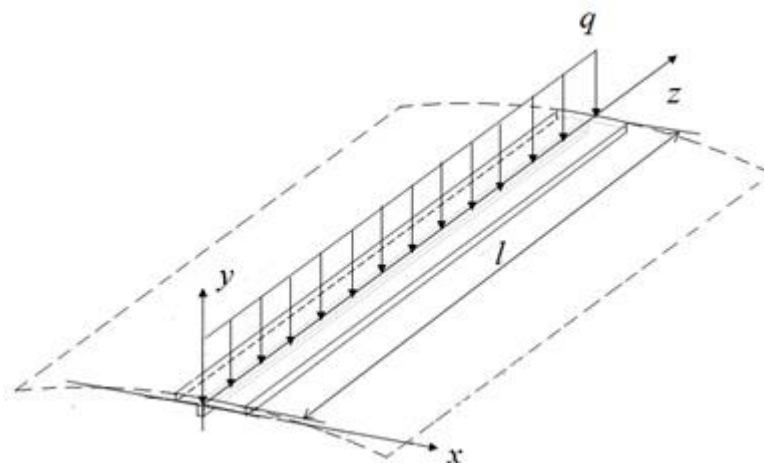


Рисунок 3.13 – Расчетная схема элементарной оболочки-балки, выделенной на подкрепляющей собираемой панели

Тогда максимальный прогиб в середине оболочки определяется по формуле (3.4) и максимальное расстояние между опорными точками определяется по формуле (3.5).

В вышеизложенной методике предложены алгоритмы определения максимальных расстояний между опорными точками, которые в результате позволяют определить расстояния между базирующими элементами или схему базирования при сборке для некоторых типовых конструкции СЕ. При появлении других типовых конструктивных элементов максимальные расстояния между ними определяются аналогично.

3.7 Выводы по главе 3

Глава посвящена решению задачи выбора опорных базовых точек при определении схемы базирования маложестких деталей сборочной единицы.

Актуальность этой работы определяется тем, что при традиционном подходе к проектированию сборочной оснастки выбор сборочных баз опирается на схему плазовой разбивки, выполняемой преимущественно по плоским сечениям конструктивной силовой схемы летательного аппарата. Расчет текущей жесткости сборочной единицы на промежуточных этапах сборки, как правило, не проводится, что может привести либо к недостаточности, либо избыточности количества назначенных опорных базовых точек в схеме базирования. Наличие твердотельного электронного макета конструкции сборочной единицы позволяет отойти от традиционной схемы задания опорных базовых точек связанных с плоскостями плазовой разбивки и оптимизировать схему базирования, значительно уменьшая сложность и материалоемкость конструкции сборочной оснастки.

Для реализации такой возможности конструктору сборочной оснастки предлагаются методы оценки деформаций деталей, используемые при выборе состава сборочных баз, и позволяющие учитывать величину максимального шага расположения базовых точек, а так же коэффициент характеристики «жесткость элементов изделий». Это позволяет предложить достаточно простой математический аппарат для определения положения базовых точек в конструкции сборочной единицы на основе анализа непосредственно её электронного макета. При этом выполняется последовательный анализ и выбор опорных базовых точек маложестких деталей сборочной единицы по критерию обеспечения максимально допустимого прогиба, а геометрические и физико-механические свойства типовых деталей определяются вводимой характеристикой жесткости. Это позволяет более эффективно выполнять вариативный поиск опорных базовых точек при выборе схемы базирования сборочной единицы и оптимизировать конструкцию сборочной оснастки.

Полученные в результате исследований математические зависимости позволяют рассчитать максимальное расстояние между опорными базовыми точками или шаг установки базово-фиксирующих устройств, что дает

возможность снижения влияния субъективного фактора при принятии решений в ходе автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления для сборки узлов из маложестких изделий, благодаря использованию выявленных формальных критериев выбора состава сборочных баз.

Глава 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА БАЗИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СБОРКИ МАЛОЖЁСТКОГО ИЗДЕЛИЯ

4.1 Основные задачи при определении состава базирующих элементов сборочного приспособления

При проектировании технологического процесса сборки изделия, состоящего из маложестких деталей, выбор схемы базирования сборочной единицы (СЕ) основывается на последовательном решении ряда задач:

- 1) выявление минимального состава базовых точек, определяющих основные базы маложесткой детали, задание ограничивающих связей, в которых задать её пространственное положение, удовлетворяющее условию допустимых деформаций;
- 2) выбор внешних базирующих элементов сборочной оснастки, вспомогательные базы которых соответствуют выявленному составу основных сборочных баз устанавливаемой маложесткой детали;
- 3) выбор фиксирующих элементов сборочной оснастки, установочные базы которых задают необходимые ограничивающие связи на пространственное положение маложесткой детали.

В современных условиях решение вышеперечисленных задач необходимо выполнять с использованием систем автоматизированного проектирования и инженерного анализа. Это требует создания формализованных моделей изделия и процедур выбора конструктивных элементов сборочного приспособления (СП) при его автоматизированном проектировании в среде принятой CAD системы.

Решение первой из поставленных задач отражено в третьей главе данной диссертационной работы, в которой рассматривается выбор базовых точек, определяющих основные базы маложесткой детали, где алгоритм решения основан на сравнении текущей деформации пакетов деталей в зоне

выбора базовых точек изделия с допусκαемым значением. Получена дискретная математическая модель, представляющая собой совокупность базовых точек на поверхности изделия и соответствующих дифференциально-геометрических характеристик в них (рисунок 4.1). В такой ситуации вспомогательные базы базирующих элементов СП будут включать дискретные элементы, что не всегда целесообразно по конструктивно-технологическим условиям.

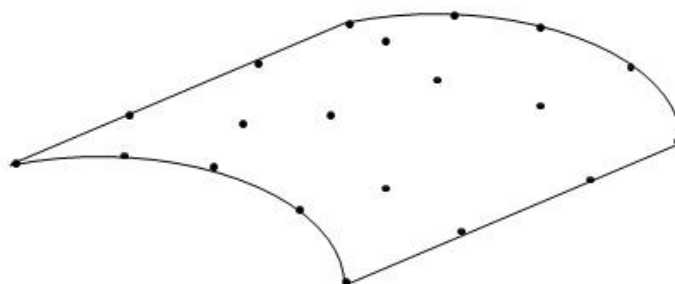


Рисунок 4.1 – Сетка базовых точек сборочной единицы

Для автоматизации процедуры выбора рациональной схемы конструкции СП и состава его базирующих элементов необходимо выполнить ряд основных задач:

а) выполнить упорядочение выбранных базовых точек на поверхности изделия так, что их пространственное расположение с учетом значений дифференциально-геометрических характеристик в них будет соответствовать соответствующим свойствам нормализованных элементов СП;

б) определить множество допустимых вариантов задания базирующих элементов в конструкции СП и выбрать их рациональное сочетание, определяющее схему базирования СЕ в технологическом процессе сборки.

Эти задачи рассматриваются ниже. Метод решения задачи основан на выявлении дифференциально-геометрических характеристик базовых точек и конструктивно-технологических характеристик сборочной единицы. Полученные данные позволяют определить методы сборки и состав

базирующих элементов сборочного приспособления при сборке изделия в машиностроении и самолетостроении. При этом дополнительно решается задача определения метода сборки для каждого типа СЕ с учетом его конструктивно технологических характеристик.

4.2 Методы выбора расположения базовых точек в пространстве, определяющие вспомогательные и установочные базы изделия

Для решения первой задачи рассматриваются дифференциально-геометрические характеристики базовых точек и их расположение относительно плоскости задающей базу типового базирующего элемента СП. Эти характеристики определяют выбор типовых базирующих элементов СП.

При исследовании структуры изделия по его конструктивному электронному макету (КЭМ) с помощью инструментальных средств системы Siemens PLM Software NX 7.5 получены следующие значения дифференциально-геометрических характеристик в базовых точках (рассматривается в абсолютной системе координат):

- координаты базовых точек в абсолютной системе координат (таблица 4.1);
- значения направляющих косинусов в базовых точках (таблица 4.2).

Таблица 4.1 – Координаты базовых точек

Базовые точки	A_1	A_2	A_3	...	A_n
X	X_1	X_2	X_3	...	X_n
Y	Y_1	Y_2	Y_3	...	Y_n
Z	Z_1	Z_2	Z_3	...	Z_n

Таблица 4.2 – Значения направляющих косинусов

Базовые точки	A_1	A_2	A_3	...	A_n
i	i_1	i_2	i_3	...	i_n
j	j_1	j_2	j_3	...	j_n
k	k_1	k_2	k_3	...	k_n

Таким образом, для анализа дифференциально-геометрических характеристик базовых точек, представлено n базовых точек $A_1(X_1, Y_1, Z_1)$, $A_2(X_2, Y_2, Z_2)$, $A_3(X_3, Y_3, Z_3), \dots, A_n(X_n, Y_n, Z_n)$, которые находятся на базовой поверхности СЕ (рисунок 4.2).

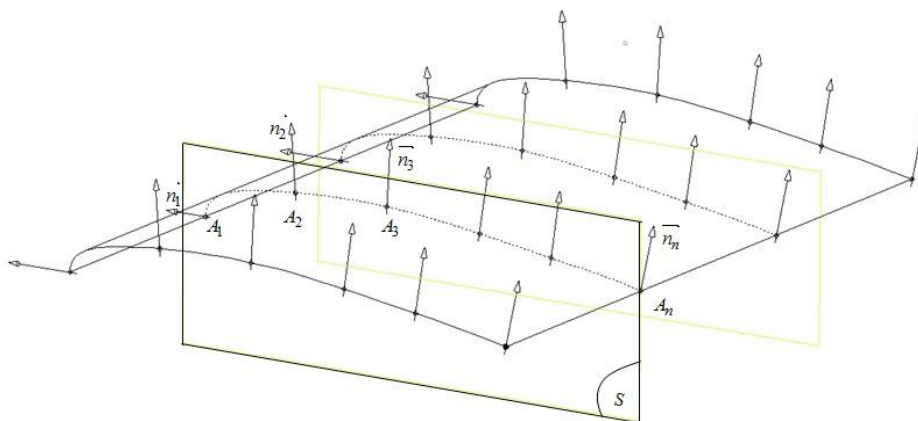


Рисунок 4.2 – Базовые точки находятся в плоскости панели крыла самолёта

Рассматривается три или более базовых точек расположенных относительно плоскости с отклонением от нее в пределах допуска. Метод анализа заключается в том, что вначале определяется уравнение плоскости, которая проходит через 3 произвольные базовые точки A_1 , A_2 и A_n , её обозначают через (S). После этого выполняется определение расстояния для каждой из остальных базовых точек до плоскости (S), если расстояния не больше допустимого значения, то считают, что они находятся в пределах допуска и наоборот.

Уравнения плоскости (S) проходящей через 3 произвольные точки A_1 , A_2 и A_n [41] записывается в виде:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_n - x_1 & y_n - y_1 & z_n - z_1 \end{vmatrix} = 0, \quad (4.1)$$

Решение этого уравнения позволяет определить общее уравнение плоскости в виде:

$$Ax + By + Cz + D = 0. \quad (4.2)$$

Тогда расстояние от точки $A_t(X_t, Y_t, Z_t)$ до плоскости (S) определяется по формуле

$$d_t = \frac{|Ax_t + By_t + Cz_t + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}. \quad (4.3)$$

Полученные значения d_t сравниваются с допускаемым значением δ , в результате если $d_t \leq \delta$ то A_t находится в пределах допуска, где δ – ширина базовой поверхности стандартного базирующего элемента, например, рубильника, ложементы.

Расчет проводят для всех рассматриваемых базовых точек, после чего можно сделать вывод о возможности группировки базовых точек в плоскости в пределах регламентированного допуска.

В частном случае, если все $d_t=0$ то точки $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$, лежат в одной плоскости.

Также все нормали в рассматриваемых базовых точках находятся в одной плоскости, если они компланарны, а это в свою очередь бывает тогда, когда смешанное произведение этих векторов равно нулю [41]. По курсу математики [41], три нормали $\vec{n}_1(i_1; j_1; k_1)$, $\vec{n}_2(i_2; j_2; k_2)$ и $\vec{n}_3(i_3; j_3; k_3)$ заданные своими координатами являются компланарными если:

$$\begin{vmatrix} i_1 & j_1 & k_1 \\ i_2 & j_2 & k_2 \\ i_3 & j_3 & k_3 \end{vmatrix} = 0. \quad (4.4)$$

Вывод о том, что нормали лежат в одной плоскости можно сделать также с учетом допустимых погрешностей. А это нужно записать соответствующими условиями.

Пространственное расположение выбранных базовых точек на поверхности изделия с учетом значений дифференциально-геометрических характеристик в них будет соответствовать свойствам стандартных элементов СП. Эти характеристики, необходимые для определения состава

базирующих элементов сборочного приспособления, будут применены в дальнейшем.

4.3 Определение метода сборки в зависимости от конструктивно-технологических характеристик объектов сборки

Состав базисуемых элементов для разных методов сборки будет различным, поэтому если метод сборки не определен, то и состав базисуемых элементов окажется неопределенным. Таким образом, выбор метода сборки для конкретного изделия является первым уровнем для определения состава базисуемых элементов и формирования конструктивной схемы СП. В настоящее время для определения метода сборки можно использовать различные подходы, например, изложенные в работах Бабушкина А.И. [11,12], или Однокурцева К.А. [64] и др.

При определении приемлемого метода сборки для каждой СЕ, принимается во внимание разнородность параметров конструкции [11], их относительно равный приоритет при определении метода сборки. В данной работе предлагается использование математического аппарата теории распознавания образов для задач определения метода сборки. Использование данного математического аппарата обусловлено его характерными особенностями, среди которых можно отметить относительную гибкость при формировании образов, возможность оценки «близости» объектов по заданному множеству параметров (при использовании принципа кластеризации и принципа близости параметров), наличие математического аппарата, позволяющего произвести классификацию образов. В этом случае математическая модель СЕ преобразуется в образ, включающий в себя параметры необходимые для классификации, при этом методы сборки представляют собой классы, описанные при помощи аналогичных признаков [97, 101].

Основным назначением системы распознавания образов является принятие решения об отнесении произвольного образа к тому или иному

классу. Один из основных подходов основан на использовании решающих функций [97, 101].

Для формирования метода сборки предлагается использование данных CAD/PDM системы. Однако не все параметры, содержащиеся в электронной модели необходимы для решения этой задачи, вследствие чего возникает задача селекции доступных данных с целью выделения значимых. Выбор того или иного метода сборки обуславливается комплексом факторов, зависящих от конструктивно-технологических характеристик объектов сборки. Основными из них являются:

- жесткость конструкции СЕ;
- геометрическая форма сопрягаемых поверхностей;
- тип силового набора каркаса собираемого узла;
- характер соединения каркаса с обшивкой;
- уровень геометрических отклонений от теоретически заданных размеров и форм.

Ниже рассматриваются методы определения вышеуказанных характеристик СЕ и их влияние на выбор метода сборки.

4.4 Определение основных факторов, влияющих на выбор метода сборки

4.4.1 Анализ жесткости элементов конструкции сборочной единицы

Жесткость конструкции СЕ является конструктивно-технологической характеристикой, которая влияет на выбор метода сборки. Исходными данными для определения характеристики жесткости СЕ являются максимальные расстояния между опорными базовыми точками для большинства типов деталей конструкции планера самолета [4]. Метод основан на сравнении текущей деформации пакетов деталей в зоне выбора базовых точек с допусковым значением, поэтому характеристики жесткости СЕ можно определяться по следующим принципам:

– жесткие детали – если максимальное расстояние между опорными базовыми точками для этого типа деталей конструкции больше габаритных размеров СЕ (по направлению расположения рассматриваемых базовых точек):

$$l_{\max} \geq a; \quad \dots(4.5)$$

где $l_{\max}$ – максимальное расстояние между опорными базовыми точками, мм [4];

a – габаритный размер СЕ, мм.

– нежесткие детали – если максимальное расстояние между опорными базовыми точками для этого типа деталей конструкции меньше габаритных размеров СЕ (по направлению расположения рассматриваемых базовых точек):

$$l_{\max} < a. \quad (4.6)$$

Жесткость элементов конструкции является важнейшим параметром при выборе метода сборки. Детали бывают жесткими, маложестким и нежесткими, но для удобства при определении метода сборки рассматриваются только два типа: жесткие и маложесткие детали. Для жестких деталей применяются методы сборки по разметке (чертежу) и по УФО, для маложестких деталей применяется метод сборки в СП по поверхностям деталей. Исходя из этого анализа, по конструктивно-технологическим характеристикам СЕ, можно выявить параметры жёсткости из КЭМ изделия, эти данные позволят определить метод сборки для данной СЕ.

4.4.2 Анализ геометрической формы собираемых конструкций сборочной единицы

Наиболее критичным параметром формы сопрягаемых поверхностей, при выборе метода сборки является значение кривизны. Из множества существующих видов панелей рассмотрим несколько, применяемых в машиностроительных изделиях, особенно в самолетостроении: панели

одинарной, двойной, знакопеременной кривизны, а так же нулевой кривизны (плоские).

При анализе характеристик базовых точек можно определить параметры кривизны поверхности СЕ:

– плоская поверхность сопряжения – нормали в каждой точке взаимно параллельны, тогда и только тогда, когда их координаты по каждой оси равны друг другу, соответственно нормали параллельны, если их координаты удовлетворят следующему условию:

$$\begin{cases} \frac{i_2}{i_1} = \frac{j_2}{j_1} = \frac{k_2}{k_1} \\ \frac{i_3}{i_1} = \frac{j_3}{j_1} = \frac{k_3}{k_1} \\ \vdots \\ \frac{i_n}{i_1} = \frac{j_n}{j_1} = \frac{k_n}{k_1} \end{cases} \quad (4.7)$$

– одинарная кривизна поверхности сопряжения – нормали по одному направлению параллельны (условие (4.7)) и по другому направлению находятся в одной плоскости (условие (4.4));

– двойная кривизна поверхности сопряжения – нормали по одному направлению находятся в одной плоскости и по другому направлению тоже находятся в одной плоскости (условие (4.4));

– знакопеременная кривизна поверхности сопряжения – нормали по двум направлениям не находятся в одной плоскости и не параллельны.

Панели одинарной кривизны (в частности цилиндрические и конические) допускают достаточно простые средства увязки (например, сверление СО можно произвести по шаблону развертки), либо использованием станков с ЧПУ (сверление СО выполняется при обработке контура на станке с ЧПУ за один установ).

Наличие на панелях поверхностей двойной либо знакопеременной кривизны требует сложных средств увязки СО, что ведет к увеличению стоимости средств технологического оснащения процесса сборки.

Кривизна панели оказывает существенное влияние на выбор вида

базирующих отверстий (СО или КФО) при идентичном силовом наборе. Использование методов сборки по базирующим отверстиям, конструкций двойной либо знакопеременной кривизны (или наличие компенсирующих элементов конструкции) сопряжено с достаточно сильным усложнением средств увязки, что приводит к необходимости использования приспособления, по сложности сопоставимого с приспособлениями для сборки от поверхности (сборка от поверхности каркаса, по поверхности обшивки).

4.4.3 Анализ конструктивного оформления внутреннего набора сборочной единицы

Тип силового набора каркаса собираемого узла оказывает существенное влияние на выбор метода базирования при сборке. Традиционно различают следующие типы выполнения внутреннего силового набора конструкции планера самолета, на основе которых производится классификация СЕ:

- СЕ с продольным набором деталей каркаса;
- СЕ с поперечным набором деталей каркаса;
- СЕ со смешанным силовым набором деталей каркаса.

Влияние данного фактора на выбор метода сборки заключается в следующем:

- для СЕ с продольным силовым набором предпочтительна сборка по СО, без использования специализированных СП;
- для СЕ с поперечным силовым набором предпочтительнее сборка по КФО;
- для СЕ со смешанным силовым набором, возможна сборка по СО, КФО, а так же поверхности каркаса и по внутренней поверхности обшивки.

Однако данный критерий при выборе метода сборки приобретает

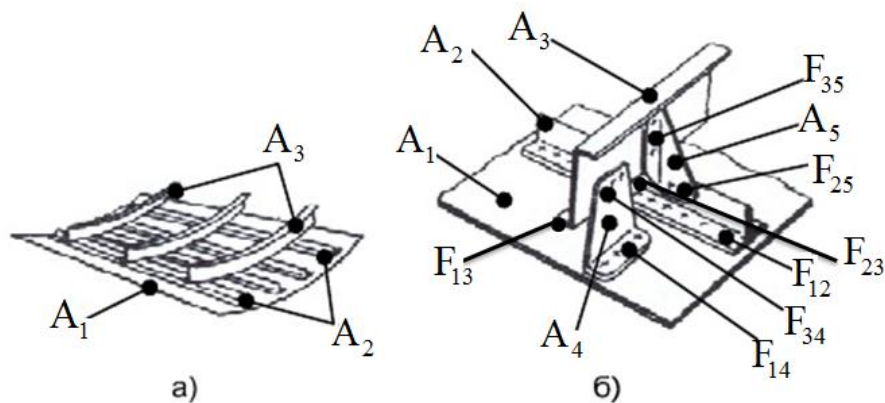
необходимую адекватность, только при учете критериев относительной жесткости компонента сборки, сложности сопрягаемых поверхностей, степени точности сборочной единицы.

4.4.4 Анализ характера соединения каркаса с обшивкой

Характер соединения каркаса с обшивкой так же влияет на выбор метода сборки. В общем случае характер соединения каркаса с обшивкой можно получить при анализе графа сопряжения между компонентами изделия. В частности, структура элементов изделия может быть задана графом $G = (A, F)$, в котором A – объекты в узлах графа, F – сопряжения между объектами, то есть рёбра графа [80]. Классификация выполняется по принципу декартова произведения множеств классифицируемых свойств. При сравнении изделия с эталоном используется операция представления графа изделия $G_i = (A_i, F_i)$ и графа эталона $G_j = (A_j, F_j)$ в виде единого графа $G = (A, F)$:

$$\left. \begin{aligned} G &= G_i \cap \bigcup_{A \in C} G_j, \\ A &= A_i \cap A_j, F = F_i \cup F_j. \end{aligned} \right\}. \quad (4.8)$$

Для примера рассмотрим панель, состоящую из следующих деталей: A_1 – обшивка; A_2 – стрингер; A_3 – шпангоут; A_4 – компенсатор; A_5 – косынка (рисунок 4.3).



а – общий вид панели; б – детали панели

Рисунок 4.3 – Конструктивно-технологические свойства панели

Для рассматриваемой панели получаем следующий граф сопряжения деталей (рисунок 4.4).

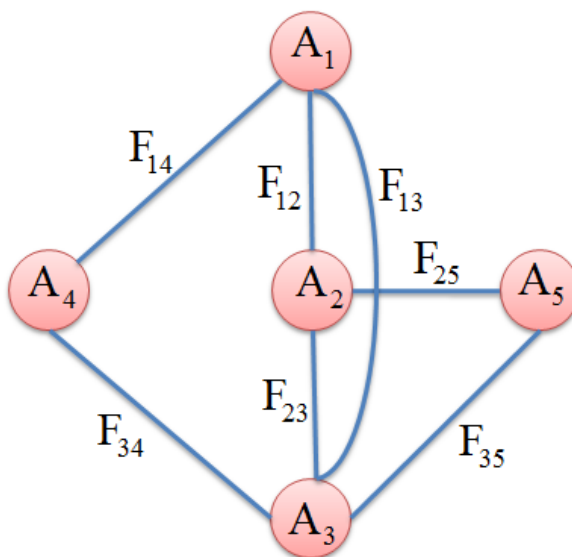


Рисунок 4.4 – Граф сопряжения деталей панели

Итак, характер соединения каркаса с обшивкой определяется по условию соприкосновения в графе сопряжения:

- если между деталями каркаса и обшивкой существует связь, то детали каркаса соединяются с обшивкой непосредственно;
- если между деталями каркаса и обшивкой не существует связь, то детали каркаса соединяются с обшивкой через детали компенсаторы.

По графу сопряжения видно, что стрингер (A_2), компенсатор (A_4) и шпангоут (A_3) имеют звенья соединения с обшивкой (A_1), являются деталями каркаса и соединяются с обшивкой непосредственно. В то время как косынка (A_5) не имеет соединения с обшивкой (A_1), так же является деталью каркаса и соединяется с обшивкой через детали компенсаторы.

В том случае, когда детали каркаса соединяются с обшивкой непосредственно, используется метод сборки по УФО, если детали каркаса соединяются с обшивкой через компенсаторы, то можно использовать метод сборки в приспособлении с базированием по поверхности деталей, наряду с другими методами сборки.

4.4.5 Анализ степени точности геометрических размеров и форм сборочной единицы

Одним из основных показателей качества сборки конструкции самолета является уровень геометрических отклонений от теоретически заданных размеров и форм, которые получаются в результате реализации технологического процесса.

Для большинства скоростных самолетов допускаемые отклонения, по техническим условиям, на размеры наружных обводов находятся в следующих пределах [81]:

- для фюзеляжа, гондол двигателя, гондол шасси в пределах $\pm 0,2 \dots \pm 2,0$ мм;
- для крыла, оперения в пределах $\pm 0,1 \dots \pm 1,5$ мм.

При этом меньшие значения допустимых отклонений соответствуют первой зоне точности, а большие – второй зоне точности. Следует отметить, что зоны точности условное разбиение всей поверхности агрегата в зависимости от требований, предъявляемых к различным участкам поверхности. Количество зон точности может отличаться в зависимости от технических требований, предъявляемых для конкретного самолета.

Независимо от типа самолета, требования к точности установки деталей, участвующих в образовании теоретического обвода выше, чем для деталей внутреннего набора, за исключением деталей, участвующих в образовании стыковых поверхностей.

4.5 Принципы выбора типовых базирующих элементов сборочного приспособления

4.5.1 Выбор типовых базирующих элементов сборочного приспособления в зависимости расположения базовых точек

Использование результатов анализа, рассмотренных в разделе 4.3, с конструктивно-технологическими характеристиками (жесткость, геометрическая форма, тип силового набора каркаса, характер соединения

каркаса с обшивкой, точность сборочной единицы) позволяет произвести классификацию образов, однако не решает задачи выделения значимых параметров, и формирования образа, пригодного для решения задачи определения метода сборки. Также для большинства методов сборки, определяется соответствующий состав внешних базирующих элементов сборочной оснастки, согласно выявленному составу основных сборочных баз. Блок-схема решения задачи показана на рисунке 4.5, где черным ящиком является методика классификации метода сборки [101]. Другой задачей является определение состава внешних базирующих элементов сборочной оснастки для сборки изделия в СП по поверхностям деталей (сборки по поверхности обшивки, сборки по поверхности каркаса).

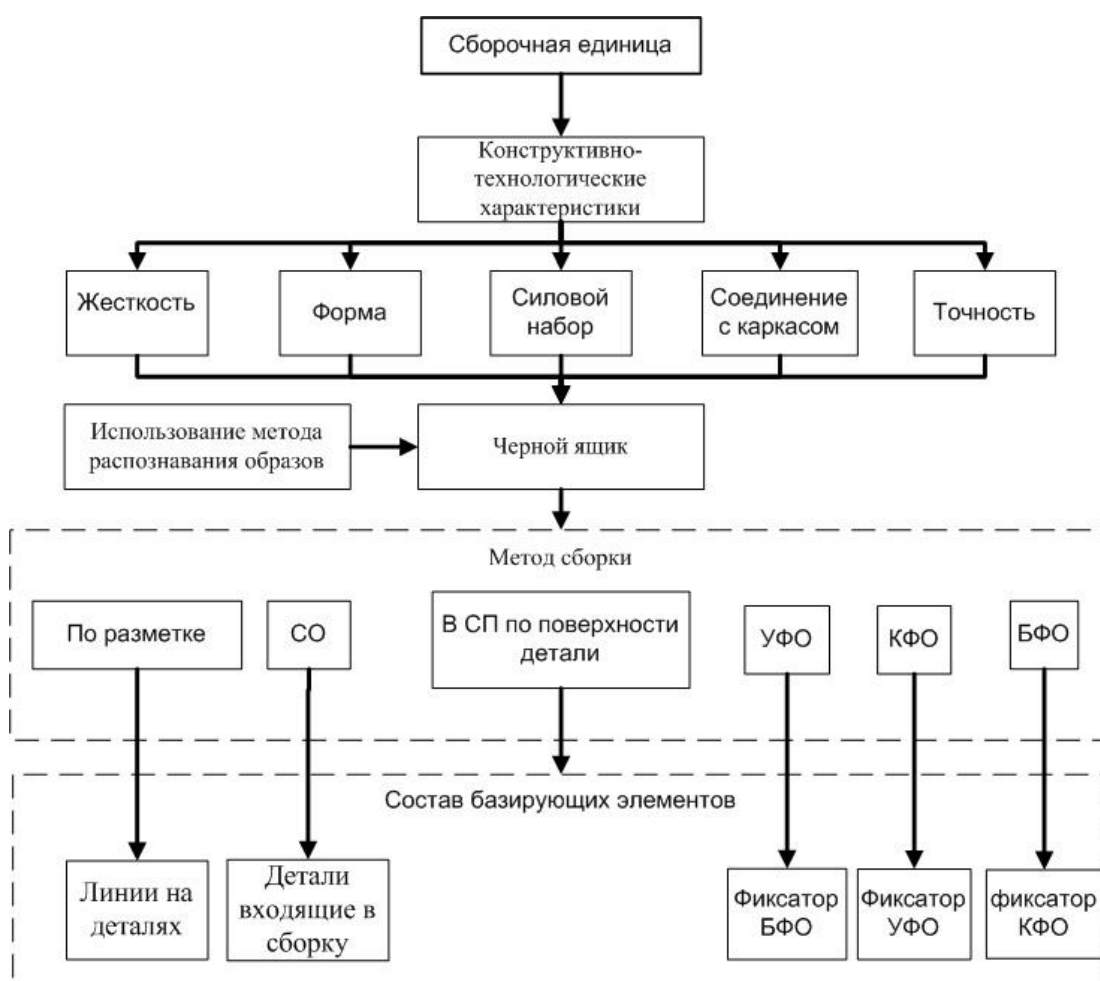


Рисунок 4.5 – Блок-схема решения задачи определения состава базирующих элементов СП

Для определения состава базирующих элементов при сборке с помощью СП по поверхностям деталей необходимо создать дискретную модель базовых точек и соответственно установить алгоритмы сочетаемости базовых точек и библиотеки базирующих элементов, чтобы определить оптимальный состав базирующих элементов СП для сборки конкретной СЕ. Метод основан на выявлении дифференциально-геометрических характеристик базовых точек СЕ. Полученные данные позволяют назначить состав базирующих элементов СП для обеспечения однозначного базирования СЕ (рисунок 4.6).

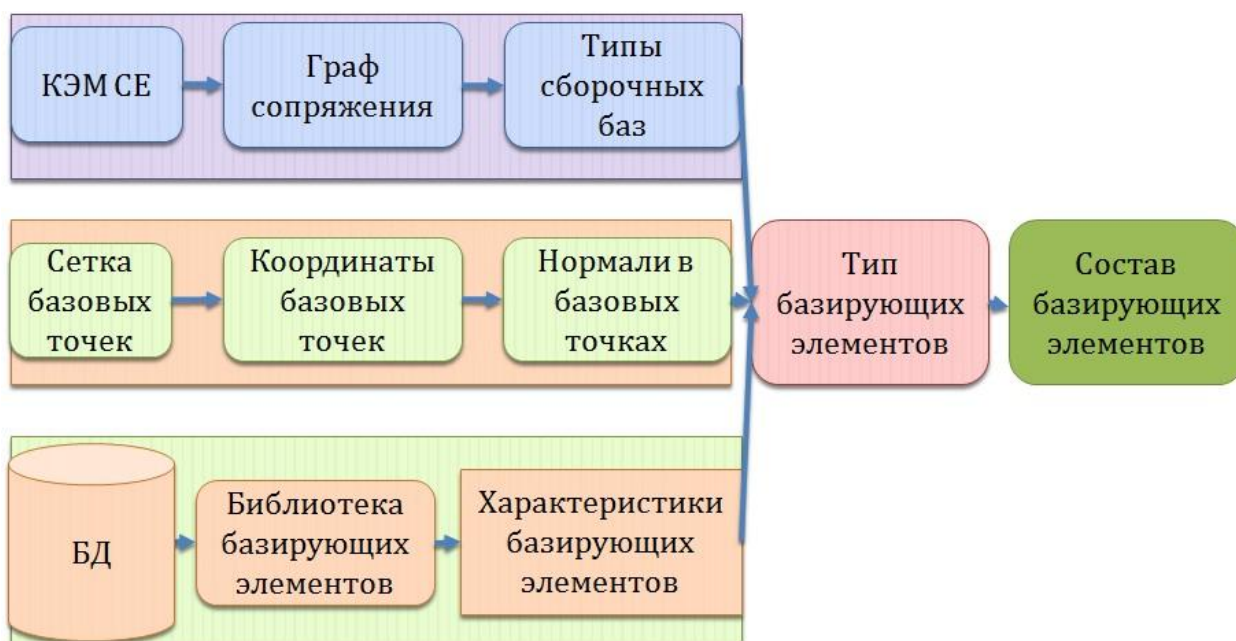


Рисунок 4.6 – Решения задачи определения состава базирующих элементов при сборке в СП

Использование выбранного типа базирующего элемента СП зависит от относительного расположения базовых точек между собой в пространстве. На самом деле шаг между базовыми точками является произвольным, поэтому предлагается ввести ограничение вариантов на основе применения прецедентной практики. При анализе характеристик базовых точек и базирующих элементов СП (см. п. 4.2), получаются следующие предлагаемые принципы выбора общего типа базирующих элементов СП, в

зависимости от расположения неупорядоченного состава базовых точек на поверхности изделия:

- если некоторые базовые точки находятся в одной плоскости и их нормали тоже находятся в этой плоскости, то для фиксации таких точек можно использовать базирующие элементы, которые объединяют несколько базирующих элементов в одном (рубильник, ложемент);
- если некоторые базовые точки не находятся в одной плоскости, но они находятся в зоне допустимых отклонений, то для фиксации таких точек можно использовать базирующие элементы, который объединяют несколько базирующих элементов в одном (рубильник, ложемент);
- если базовые точки не удовлетворяют вышеуказанным условиям, то для фиксации таких точек нужно использовать упор, опору или фиксатор чтобы фиксировать базу, а с другой стороны использовать прижим для приложения усилия.

Использование таких алгоритмов позволяет определить типовые базирующие элементы для всех СЕ.

4.5.2 Выбор типовых базирующих элементов сборочного приспособления по основным типам сборочных баз

Выбор состава базирующих элементов СП так же зависит от типов сборочных баз, входящих в конструкцию СЕ. При анализе характеристик каждого типа сборочных баз при сборке автором предложены следующие принципы выбора базирующих элементов СП.

Первый уровень сборки определяют детали, несущие основные базы, которые определяются принятым методом сборки. Например, при базировании по поверхности обшивки для фиксации основных баз СЕ используются рубильники или ложементы, в частных случаях допускается задание дискретных баз секционными рубильниками и ложементами или дискретными упорами.

Для фиксации вспомогательных баз используются фиксаторы.

Вспомогательной называется база, принадлежащая детали или сборочной единице, используемая для определения положения присоединяемой к ней детали или сборочной единицы. Следует заметить, что любая деталь может иметь только один комплект основных баз, а комплектов вспомогательных баз столько, сколько деталей или сборочных единиц к ней присоединяется. Все детали, имеющие непосредственные сопряжения с одной из деталей первого уровня сборки, составляют подмножество деталей второго уровня сборки, и поверхности сопряжения между деталями первого уровня и второго уровня являются вспомогательными базами для деталей первого уровня. В общем виде поверхности сопряжения между деталями i -того уровня и $i+1$ -го уровня сборки являются основной базой для деталей $i+1$ -го уровня, но являются вспомогательной базой для деталей i -того уровня.

Для фиксации установочных баз используются прижимы. Установочная база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их трёх степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг других осей. Поверхность является установочной базой по оси j если $B_{1j}=1$ и $B_{2j} = 2$ (см. в главе 2).

Для фиксации опорных баз используются опоры. Опорной называется база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси. Поверхность является опорной базой по оси j если $B_{1j}+B_{2j} = 1$ (см. в главе 2).

4.6 Определение состава базирующих элементов сборочного приспособления по его конструктивно-геометрическим характеристикам

Основные характеристики базирующих элементов, которые влияют на выбор состава базирующих элементов являются следующими:

- 1) по геометрической форме базирующих элементов. Для разных базирующих элементов характерны следующие распределения величин радиусов кривизны R :
 - плоская поверхность базирования ($R = \infty$ и $R = const$): плита, опора, упор, фиксатор, прижим;
 - одинарная кривизна поверхности базирования ($R \neq \infty$ и $R = const$): рубильник, ложемент;
 - двойная кривизна поверхности сопряжения ($R \neq \infty$ и $R \neq const$): рубильники или ложементы с частичным макетом поверхности изделия.
- 2) по характеристике фиксации:
 - базирующие элементы, задающие базы без создания усилий – опоры (упоры), фиксаторы, фиксаторы СО, УФО, КФО;
 - базирующие элементы создающие усилия – прижимы.
- 3) по направлению фиксации: $+X, +Y, +Z, -X, -Y, -Z$
 - рубильник, ложемент: в направлении нормали относительно базовой поверхности и от базовой поверхности;
 - упор, опора, фиксатор: в направлении нормали относительно базовой плоскости и от базовой плоскости;
 - прижим: в направлении нормали относительно базовой плоскости и на базовой плоскости;
 - СО, фиксатор УФО, КФО: в направлении перпендикулярно оси отверстия.
- 4) по отношению геометрической формулы базирующих элементов с теорией:
 - если не пересекает теорию: упор, опора, фиксаторы СО, УФО, КФО, можно использовать базирующие элементы такого типа для базирования точек по внутренней СЕ;

- если пересекает теорию: прижим, фиксатор, можно использовать базирующие элементы такого типа для базирования точек на край СЕ.
- 5) по функциональному назначению:
- опора, упор, прижим, фиксатор, СО, фиксатор УФО, КФО: для базирования жестких СЕ;
 - рубильник, ложемент: для базирования мало жестких или не жестких СЕ.
- 6) по типам рубильника: рубильник с малкой, контрольный рубильник, составной рубильник. По вышеназванным характеристикам панели определяется тип рубильника.

В качестве источника данных при анализе характеристик базирующих элементов используется конструктивный электронный макет базирующих элементов, предварительно созданный в среде САД системы.

4.7 Выводы по главе 4

Полученная ранее дискретная математическая модель мало жесткой детали сборочной единицы позволила реализовать метод определения состава базирующих элементов СП основанный на выявлении соответствия дифференциально-геометрических характеристик базовых точек детали, и конструктивно-технологических характеристик базирующих элементов СП. Состав базирующих элементов непосредственно связан с конкретным методом сборки, и определяется по конструктивно-технологическим характеристикам сборочной единицы (жесткость, точность и т.д.). При этом самой важной задачей является определение состава базирующих элементов при сборке в СП, так как только этот метод гарантирует возможность сборки СЕ состоящей из мало жестких деталей с большой точностью.

Полученные в результате исследований математические зависимости позволяют автоматизировать процедуры выбора типовых базирующих элементов, которые задают необходимые ограничивающие связи на

пространственном положении маложёсткой детали при оптимальных трудовых затратах на проектирование и изготовление оснастки для сборки изделий, состоящих из маложёстких деталей.

Глава 5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ

5.1 Разрабатываемая система автоматизированного проектирования элементов сборочной оснастки

Современные условия производства представляют высокие требования к качеству изделия и сокращению цикла его производства, значительную часть которого в самолетостроении занимают процессы сборки.

Одной из характерных особенностей сборки изделий авиационной техники является использование большого количества сборочной и вспомогательной оснастки. При этом с учетом конструктивных и технологических особенностей планера самолета, к сборочной оснастке предъявляются повышенные требования к точности изготовления, определяющие значительную трудоемкость ее проектирования.

В современных условиях отсутствуют программы для полного автоматизированного построения КЭМ сборочного приспособления на начальных этапах проектирования СТО. Существующие инструментальные средства для создания электронных моделей зарубежных компаний NX (Siemens PLM Software), Dassault Catia, Autodesk Inventor, Solidage и т.д., так и отечественных КОМПАС, Аскон, T-Flex CAD, и т.д., позволяют автоматизировать общий процесс проектирования изделия. Однако, этого не всегда достаточно для обеспечения увязки и технологической проработки конструкции как самолета в целом, так и необходимой для его изготовления оснастки. С учетом высокой сложности проектирования оснастки и значительного количества как конструкций оснастки (практически каждое СП уникально для отдельно взятого изделия), так и номенклатуры используемых нормалей (конструктивные единицы оснастки) определяют значительную трудоемкость непосредственно процесса создания комплекса КЭМ. Необходимо отметить, что на начальных этапах постановки изделия в

производство (конструкторско-технологической проработке) необходимо прорабатывать значительное количество вариантов сборочной оснастки, что в свою очередь требует создания множества различных вариантов КЭМ сборочной оснастки в короткие сроки.

Перечисленные требования определяют необходимость создания дополнительных модулей в составе базовой САПР либо разработку внешних программных комплексов, тесно интегрированных с базовой САПР, которые нацелены в первую очередь на проектирование только целевой группы изделий (авиационной сборочной и вспомогательной оснастки). При этом программные процедуры разрабатываемой системы должны по возможности самостоятельно выполнять рутинные операции построения электронных моделей, их взаимной увязки, а в перспективе принимать более сложные логические решения, направленные на формализацию и упрощение процедур проектирования сборочной оснастки.

Программный комплекс, определяющий систему автоматизированного проектирования СП для сборки изделий авиастроения, позволяет сократить время, затрачиваемое инженером-конструктором, на разработку сборочной оснастки в разы, так как практически вся проектная часть будет реализована программно и требует от пользователя лишь указания базовых плоскостей, осей, а так же габаритных размеров каждого элемента СП.

Для разрабатываемой системы автоматизированного проектирования сборочной оснастки, как и для других случаев, особо востребованным оказался объектно-ориентированный подход и, в частности, следующие его особенности: наследование, полиморфизм, позднее связывание.

Объектно-ориентированный подход позволяет программно реализовать формализованную предметную область. Каждый объект (элемент конструкции) представлен отдельным классом, инкапсулирующим внутреннее устройство и представляющим для внешнего мира интерфейсы. Это позволяет достаточно легко изменять архитектуру системы, манипулируя элементами как единым целым. Так же это позволяет изменять

элементы с целью оптимизации, не нарушая работоспособности системы в целом.

Полиморфизм, основанный на наследовании, и позднее связывание (определение типа объекта на этапе выполнения программы) через использование указателей на базовый класс позволяют единообразно работать с различными классами (элементами конструкции).

Автоматизация проектно-конструкторских работ является процессом достаточно сложным, так как требует владения не только инженерными знаниями, но и навыками программирования. В качестве основной среды разработки автором предложен Microsoft Visual Studio 2008 Professional (язык C++). Версия среды ограничена требованиями открытого программного интерфейса САПР Siemens NX (NXOpen API C++) и SQL (Structured Query Language – «язык структурированных запросов»).

При этом SQL – формальный непроведурный язык программирования, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных. Данный язык используется для написания команд (запросы) для выполнения операций с данными в среде СУБД. Запросы к БД в различной степени реализованы во всех разработанных в рамках данной работы классах.

Для хранения данных, необходимых для работы системы, используется реляционная база данных под управлением СУБД Oracle database. Oracle Database или Oracle RDBMS – объектно-реляционная система управления базы данных, разработанная компанией Oracle. Во всех профильных подразделениях предприятия внедрения системы используется единая система управления данными об изделии (PDM) – Siemens TeamCenter, которая в свою очередь использует СУБД Oracle database. В рамках разработанных программных модулей потребовалось расширить исходную БД путем изменения структуры (добавлены новые таблицы) и добавления новых данных.

Для реализации взаимодействия разработанных программных процедур

системы с Siemens NX используются библиотеки NXOpen API C++(C). При разработке программных модулей использовались как библиотеки NXOpen API C++(C) так и библиотеки сторонних разработчиков, такие как Qt и Eigen.

Eigen – представляет собой свободно распространяемую библиотеку шаблонов C++ для обработки операций линейной алгебры (вектора, матрицы) [76]. Библиотеки Eigen используются в частности при определении и взаимной увязке СК как отдельных элементов изделий, так и компонентов в целом.

Qt – кросс-платформенный инструментарий разработки ПО на языке программирования C++. Инструментарий Qt используется в разработанных программных модулях, как для разработки интерфейсных частей, так и подключения к БД [77].

5.2 Система автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления

В предыдущих главах диссертационной работы получены следующие результаты, которые могут использоваться в качестве входных параметров в системе автоматизированного проектирования СП:

- основные базы каждой СЕ изделия (см. в главу 2), эти данные позволяют определить положение и ориентацию элементов СП;
- минимальный состав базовых точек на каждой сборочной базе, их расстояния между собой (см. в главу 3), эти данные позволяют определять количество элементов СП и расстояние между ними;
- тип и состав базирующих элементов СП для обеспечения требуемого положения СЕ при сборке (см. в главу 4).

С использованием вышесказанных исходных данных проводится компоновка СП для сборки изделия. При традиционной компоновке СП, конструктор и технолог проектируют элементы СП по базам СЕ, заданным чертежом. Это метод является трудоемким и требует высоких затрат, при этом не обеспечивает требуемой точности и надёжности.

Для оптимального процесса компоновки СП, автором разработан метод автоматизированного проектирования элементов СП при сборке СЕ изделия (например, панели фюзеляжа самолёта) по выбранным основным базам (базы в виде точек и нормалей к этим точкам). Для фиксации каждой базовой точки используется какой-либо базирующий элемент (прижим, фиксатор, опора). Если для группы базовых точек, которые находятся в одной плоскости или расположены относительно плоскости с отклонением от нее в пределах допуска (см. в главу 4) то несколько базирующих элементов объединяется в один (рубильник, ложемент).

Максимальные расстояния между базовыми точками были определены ранее (см. в главу 3), это значит, что расстояния между базирующими элементами и количество базирующих элементов для фиксации рассматриваемой СЕ, тоже известны, поскольку исходные данные для создания системы автоматизированного проектирования элементов СП определены.

Рассмотрим для примера панель фюзеляжа самолета (рисунок 5.1), состоящую из следующих компонентов: 1 – обшивка, 2 – стрингеры, 3 – шпангоуты, 4 – кницы.

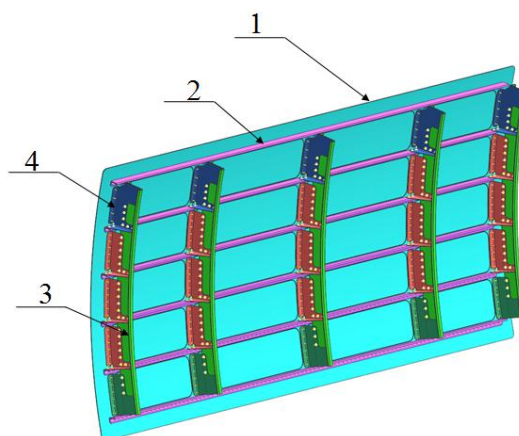


Рисунок 5.1 – Типовая панель фюзеляжа самолёта

Для сборки панели используется метод сборки по внешней поверхности обшивки, где основной деталью является обшивка 1. В

конструкции СП согласно расчетам применяются пять рубильников, для фиксации обшивки в вертикальном направлении используются упоры, для фиксации стрингеров и шпангоутов используются фиксаторы (способы определения метода сборки и состава базирующих элементов СП описаны в главе 4). Каркасные элементы сборочного приспособления для сборки панели представлены прямоугольной рамой и двухопорными стойками.

Рубильник сборочного приспособления относится к группе массивных базирующих элементов СП (рисунок 5.2). Проектирование рубильника производится с использованием баз, таких как теоретический обвод и плоскость шпангоута, программа должна распознавать теорию назначенную конструктором и выдавать диалоговое окно запроса номеров осей шпангоутов. Далее открывается диалоговое окно запроса величины смещения плоскости рубильника, относительно плоскости шпангоута.

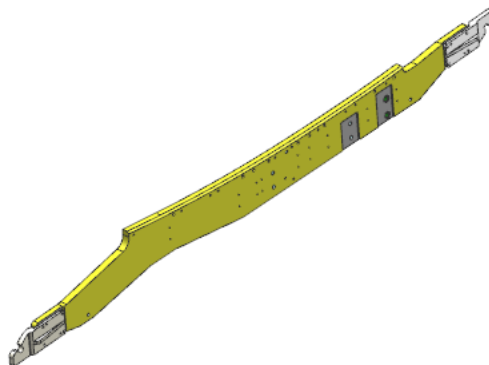


Рисунок 5.2 – Установка рубильника

Для описания системы автоматизированного построения рубильника СП решаются следующие задачи:

- определение ориентации рубильника в пространстве СП;
- обработка параметров рубильника;
- выбор, ориентация относительно системы координат самолёта и установка законцовки рубильника;
- построение эскиза рубильника и последующее его вытягивание для получения твердого тела;

– создание необходимых для установки законцовки геометрических элементов на основной части рубильника.

Разработанный программный модуль имеет ряд особенностей. В силу того, что пока нет возможности корректно рассчитать форму части контура рубильника, связывающей его законцовки с теоретическим обводом и габаритным размером крыла, при этом сборочные базы, определяются по математической модели, которая разработана в главе 2 и 3 диссертационной работы.

Прижимы и фиксаторы относятся к группе малых базирующих элементов СП. Они являются стандартными изделиями, следовательно, их модели должны быть заранее разработаны и смоделированы (программный модуль не выполняет процедуру моделирования непосредственно элементов фиксаторов и прижимов, однако может выполнять операции их компоновки). Система, используя имеющуюся базу данных, производит поиск и выбор необходимой модели. Затем выполняется процедура позиционирования компонентов малых базирующих элементов СП по выбранным базам. При этом в качестве баз для установки элемента служит поверхность рубильника (поверхность на которую будет выполнена установка прижима/фиксатора), теория (поверхность теоретического обвода) и плоскость стрингера (база определяется согласно математической модели (см. в главе 2 и 3)). Данные базы указываются пользователем. Помимо этого, конструктор должен указать точку вставки фиксатора (в программных процедурах принята точка пересечения оси стрингера с теоретическим контуром).

При сборке самолётных конструкций (панель, узел, трубопровод и др.) используются различные типовые прижимы и фиксаторы, у каждого типа элементов имеют свои особенности и конфигурации, но существуют общие назначенные характеристики, определяемые типовым составом признаков фиксируемых элементов конструкции СЕ. В отраслевых каталогах типовых элементов сборочной оснастки имеется большое количество типов прижимов и фиксаторов, которые различаются преимущественно по направлению

вектора прижима, типу фиксирующей поверхности и поверхности крепления к деталям каркаса, поэтому для примера рассматривается один типовой прижим (Г-образный прижим) для сборки панелей фюзеляжа планера самолета.

Как и для других стандартных базирующих элементов, модели Г-образных прижимов должны быть заранее разработаны и смоделированы, поэтому создается модуль автоматизированной установки электронного макета прижима в структуру сборки СП а не проектирования.

В базе данных Г-образный прижим [67] в виде отдельных стандартных элементов (таблица 5.1). Прижимы Г-образные имеют различные комбинации, их конструкция зависит от типовых составляющих элементов (корпус, прижим и гайка). Общий вид представлен на рисунке 5.3.

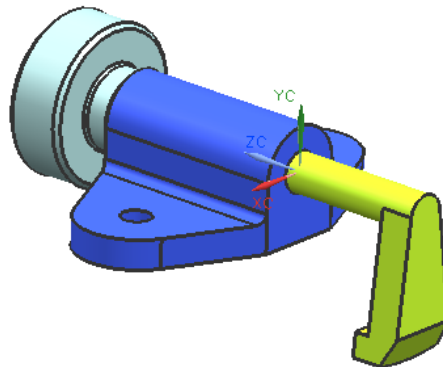


Рисунок 5.3 – Прижимы Г-образные

Наличие и использование библиотеки стандартных нормалей обусловлено в первую очередь целями оптимизации трудоемкости при создании автоматизированной системы. В большинстве случаев геометрия стандартных нормалей не изменяется (изменяется их позиция и ориентация относительно системы координат СТО), в этом случае воспроизводить процедуру построения КЭМ при помощи NX Open API нерационально. В этом случае более рационально при помощи программных средств управлять исключительно положением и ориентацией элемента, при этом

непосредственно логика работы процедуры и большая часть ее реализации будет идентичная для всех элементов СТО. Наличие библиотек стандартных элементов в виде UDF (элемент задаваемый пользователем) или семейств так же позволяет сократить трудоемкость программирования (по сути, изменение геометрии происходит за счет внутренних процедур Siemens NX, на основе получаемых из программы сигналов-параметров), так как программная реализация управления UDF для различных объектов может быть идентична (изменяются только входные и управляющие параметры).

Таблица 5.1 – Типовые элементы Г-образного прижима

№ п/п	Наименование узла	Описание узла	эскиз
1	Прижим	Прижимы Г-образные	
		Прижим с колпачком Н-417	
2	Корпуса для прижимов Н-212А	Исполнение 1	
		Исполнение 2	
		Исполнение 3	
3	Гайка	Гайки с накаткой ГОСТ 14726-69	
		Гайки с рукояткой ГОСТ 13426-68	

При работе системы, последовательность построения Г-образных прижимов включает в себя следующие этапы:

- получение плоскости рубильника, поверхности теоретического обвода, плоскости стрингера;
- положение прижимов (см. в главе 2);
- количество используемых прижимов (см. в главе 3).

При этом определение положения и задание ссылки на файлы конструктивного электронного макета (КЭМ) Г-образных прижимов из БД включает в себя следующие этапы:

- установка положения фиксатора по определенным сборочным базам;
- вызов стандартной реализации;
- инициализация необходимых переменных;
- получение данных из БД;
- заполнение матрицы;
- создание и добавление компонента в дерево сборки.

При соединении прижима с большими базирующими элементами (рубильники, ложементы) СП используются крепежные наборы (в нашем случае это болты). Расчет и добавление крепежного набора включает в себя следующую последовательность действий:

- инициализация необходимых переменных крепежного набора;
- получение крепежного набора из БД;
- заполнение матрицы положения крепежного набора в пространстве;
- добавление крепежного набора.

Для построения рамы необходимо выбрать тип СП, для этого программа выводит диалоговое окно с запросом типа приспособления, сварное или сборное.

Затем нужно назначить контрольные размеры (от вертикальной оси приспособления до фрезерованной площадки L , от оси шпангоута 1 до вертикальной балки b , от плоскости пола цеха до горизонтальной оси

приспособления h (рисунок 5.4), это позволит исключить ввод некорректных значений. Программа должна выдавать диалоговое окно запроса контрольных размеров, и выдавать предупреждение, если в дальнейшем при построении будут введены конфликтующие значения.

На момент проектирования из расчета прочности известно сечение балки рамы, что позволяет выбрать ось симметрии балки рамы. Далее откладываем размер до нее от вертикальной оси приспособления L_1 (рисунок 5.5), это дает возможность наращивать размерную цепь в любом направлении относительно этой оси. Это так же позволяет обеспечить универсальность при работе с любым видом СП. Программа должна выдавать диалоговое окно запроса размера L_1 .

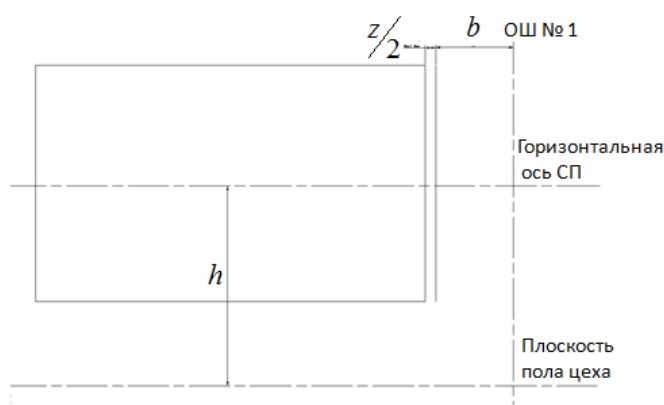


Рисунок 5.4 – Схема назначения баз для балки рамы сборочного приспособления

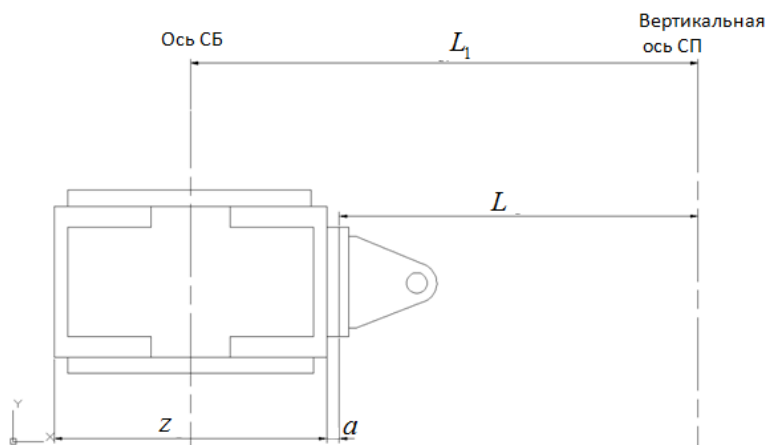


Рисунок 5.5 – Схема назначения баз для рамы сборочного приспособления

При переходе к созданию рамы приспособления, программа предлагает построение эскиза рамы непосредственно в среде NX и выбрать эскиз сечения балки из библиотеки сортамента. Далее выбираем тип стыковки балок, программа должна выдавать диалоговое окно запроса угла, под которым свариваются балки 90° или 45° (рисунок 5.6).

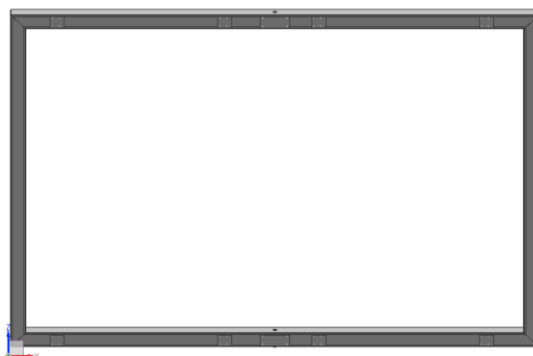


Рисунок 5.6 – Рама сборочного приспособления

При проектировании опоры СП, программа выдает запрос выбора типа стойки (стандартные, не стандартные) и выбирает эскиз из библиотеки сортамента или предлагает конструктору создать новый (при условии, что стойка не стандартная).

При выборе стандартной опоры эскиз сечения стойки система выбирает из библиотеки сортамента автоматически, исходя из выбранного сечения балки рамы (рисунок 5.7).



Рисунок 5.7 – Установка стойки сборочного приспособления

В вышеизложенной методике предложены алгоритмы, и процессы создания автоматизированного проектирования базирующих элементов СП на примере рубильника и Г-образного прижима. При проектировании других типовых элементов СП методы построения их электронных макетов будут аналогичны.

5.3 Используемые модули системы автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления

Разрабатываемая система автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления включают в себя следующие модули (рисунок 5.8):

- интерфейс пользователя;
- расчетный модуль;
- база данных элементного состава (содержит все компоненты стандартных элементов и элементов прототипов сборочного приспособления);
- модуль построения элементов конструкции в CAD системе;
- справочная система.

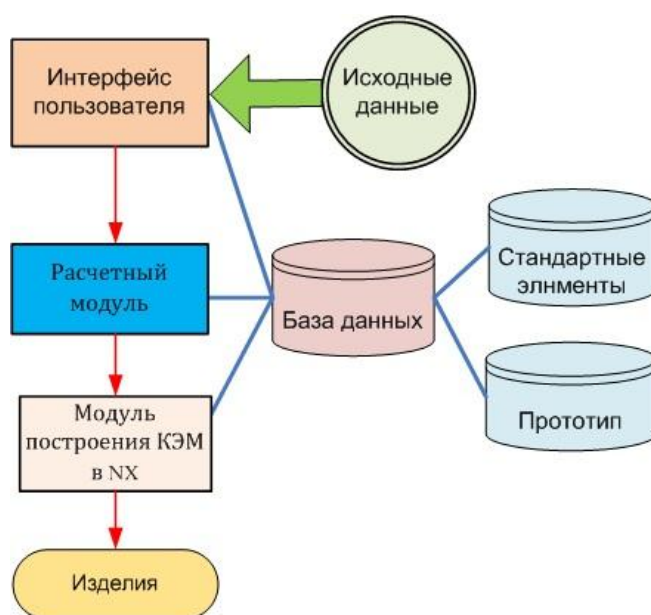


Рисунок 5.8 – Схема взаимодействия модулей программы

Интерфейс пользователя. Модуль должен обеспечивать взаимодействие системы с пользователем (ввод и редактирование параметров, визуализацию). Интерфейс пользователя реализован с помощью кросс-платформенного инструментария Qt.

Расчетный модуль. Модуль обеспечивает расчет всех геометрических параметров составляющих элементов конструкции в соответствии с исходными данными.

База данных элементного состава. База данных состоит из двух частей:

- 1) организационных и описательных данных (метаданных) в СУБД (ORACLE database);
- 2) файлов конструктивных электронных макетов элементов СТО (прототипов) на файловом сервере корпоративной информационной системы.

База данных в СУБД характеризуется следующими свойствами:

- 1) содержит информацию о каждой единице элементной базы системы (класс, наименование, существование прототипа (имя файла прототипа) и т.д.);
- 2) обеспечивает классификацию элементной базы системы;
- 3) определяет взаимосвязи между единицами элементной базы (вхождение одних элементов в состав других).

Файлы конструктивных электронных макетов элементов СТО (прототипы) используются при построении КЭМ СТО в NX путем клонирования и изменения параметров.

Классификатор реализован в базе данных в виде набора таблиц, между которыми созданы необходимые связи. Основные таблицы классификатора представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Основные таблицы базы данных системы – прототипа

Наименование таблицы	Описание таблицы
PR_CPSTO_CLASS	Таблица классов классификации по принадлежности к группе СТО по функциональному назначению (КПСТО)
PR_CPSTO_SUBCLASS	Таблица подклассов классификации по принадлежности к группе СТО по функциональному назначению (КПСТО)
PR_CPSTO_TYPE	Таблица типов классификации по принадлежности к группе СТО по функциональному назначению (КПСТО)
PR_CCP_CLASS	Таблица классов классификации по конструктивным признакам (КПКП)
PR_CCP_SUBCLASS	Таблица подклассов классификации по конструктивным признакам (КПКП)

Модуль построения элементов конструкции в CAD системе (NX Open API). Модуль обеспечивает построение КЭМ проектируемых элементов сборочного приспособления в CAD системе (NX). Функционал модуля реализуется на входящих в систему NX средствах разработки прикладных приложений пользователя.

Для построения КЭМ элементов СП автором представляется два способа:

1) клонирование и изменение параметров прототипа, этот способ подходит для относительно статичных конструкций (установки элементов конструкции в требуемом положении и изменение параметров элементов конструкции по требуемым размерам);

2) полностью запрограммированные алгоритмы построения КЭМ, этот способ обеспечивает большую гибкость конфигурации изделия, но требует больших затрат на написание программ.

Данный модуль формирует проект в почти законченном виде, сборки NX. Так как проект окончательно не завершён и в большинстве случаев будет требовать доработки, то необходимо предоставить его пользователю в

среде разработки, принятой в проектных подразделениях предприятия. Проект в NX строится по схеме согласно рисунку 5.9. Создается сборочный файл среды проекта (например, Pahl_krila_develop), в который добавляется сборка разрабатываемого проекта, а так же вся необходимая для проектирования геометрическая информация. Такая организация работы позволяет исключить из файлов проекта вспомогательную геометрическую информацию, необходимую в процессе проектирования, так как NX представляет большой набор универсальных инструментов моделирования и даже несколько технологий:

- традиционное параметрическое моделирование;
- синхронное моделирование;
- WAVE.

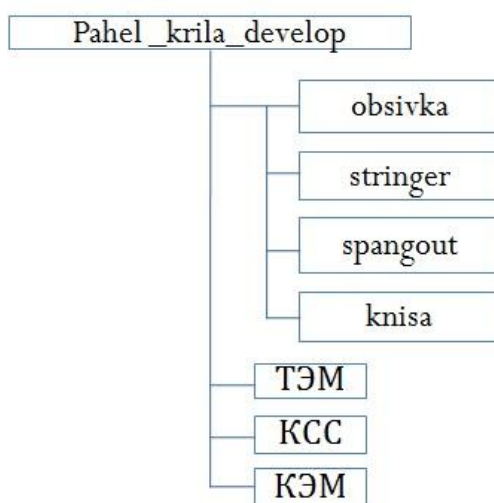


Рисунок 5.9 – Схема организации проекта

Одна и та же конструкция может быть смоделирована несколькими различными способами. Каждый способ имеет свои преимущества и недостатки. В этой ситуации наиболее рационально максимальное использование принятых в проектных подразделениях предприятия методов моделирования. Однако, здесь возможны ограничения, связанные с поддержкой интерактивных методов моделирования на уровне средств разработки приложений пользователя.

Использование этой системы позволяет обеспечить доступ к объектам геометрической модели для программных приложений разработчиков или программ отдельных пользователей, а также обеспечивает возможность программным способом создавать геометрические модели, получать информацию об объектах, формировать сборки, генерировать чертежную документацию и т.д.

5.4 Последовательность выполнения программы для автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления

Использование программы начинается с запуска NX. Запуск выполняется из соответствующего пункта меню интерфейса NX (рисунок 5.10).

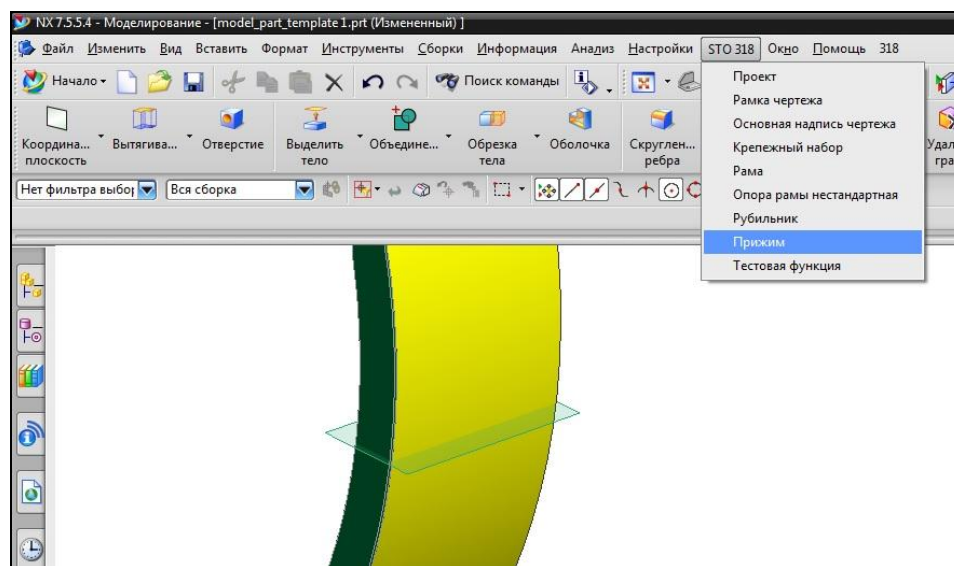


Рисунок 5.10 – Вызов программного модуля проектирования элементов СП

Затем возникает окно ввода данных для подключения к БД (рисунок 5.11). После выбора всех баз выполняется подключение к БД системы. От пользователя требуется ввод необходимых для подключения учетных данных:

- ввод имени баз данных;

- ввод имени пользователя;
- ввод пароля для подключения к БД.

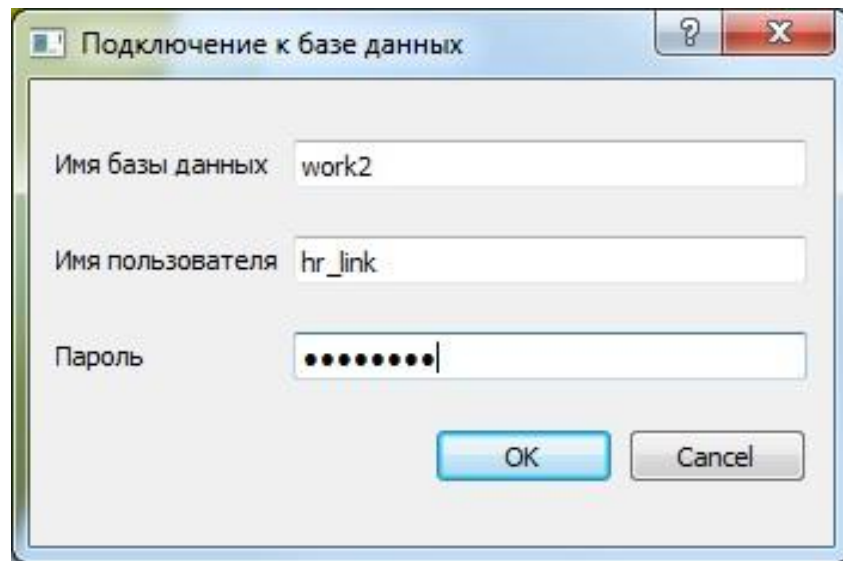


Рисунок 5.11 – Окно для подключения к базе данных

После подключения к БД на экран выводится интерфейс для выбора параметров и построения рамы СП (рисунок 5.12).

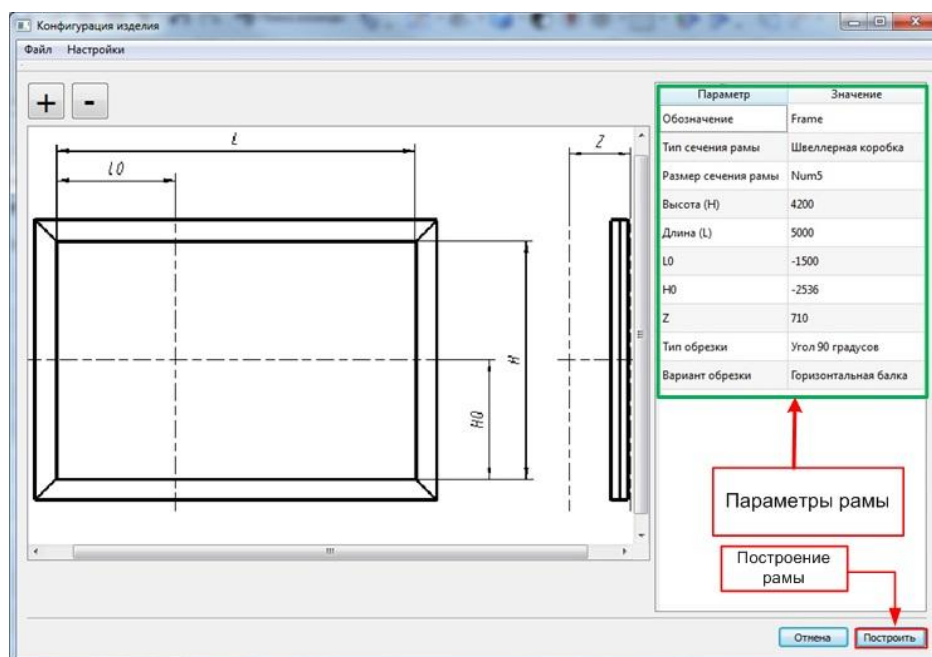


Рисунок 5.12 – Выбор размеров рамы

Далее предлагается интерфейс для проектирования опоры. После подключения к БД на экран выводится окно для выбора параметров и построения опоры СП (рисунок 5.13).

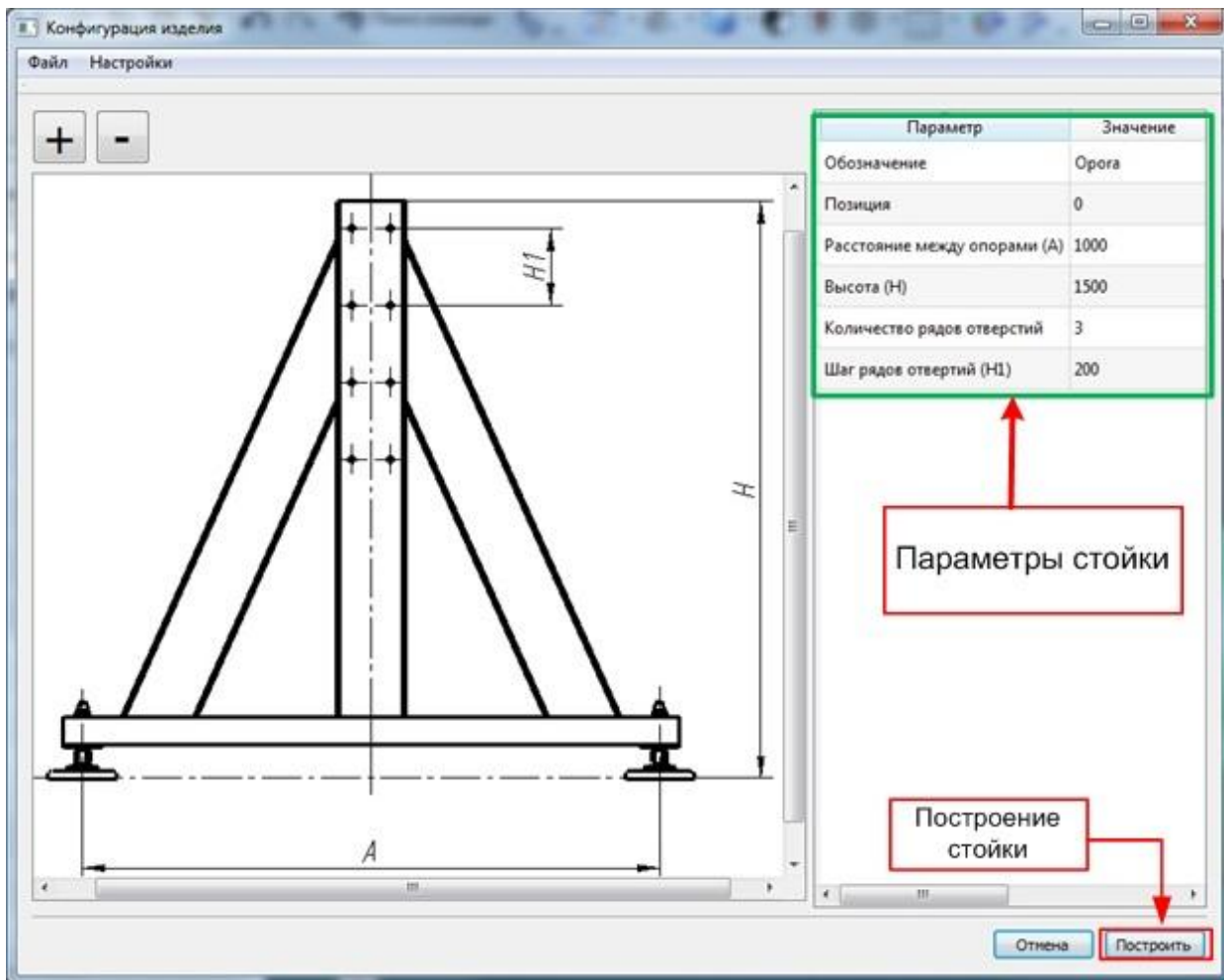


Рисунок 5.13 – Выбор размеров опоры

Для построения рабочего тела рубильника, программа, через диалоговое окно, должна запросить размер, необходимый для определения верхней и нижней границ рабочего тела. Затем конструктор выбирает тип законцовки рубильника и кронштейны по которым производится установка. Система достраивает ухо законцовки рубильника до совпадения с вилкой кронштейна, программа должна выдавать диалоговое окно запроса типа рубильника, кронштейнов, и автоматически достроить адаптивный эскиз (рисунок 5.14).

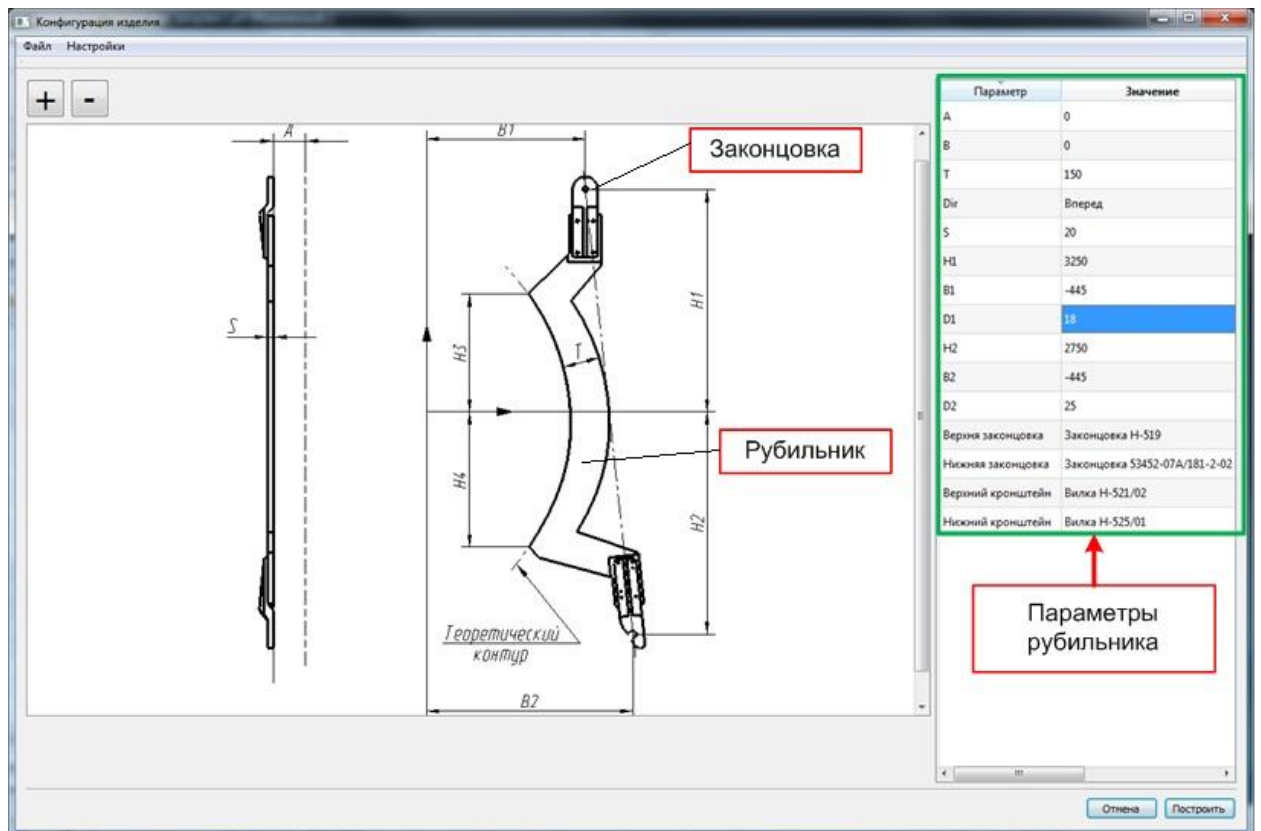


Рисунок 5.14 – Выбор размеров рубильника

Для автоматизированной установки прижима, программа, через диалоговое окно, должна запросить диаметр прижима. Затем конструктор выбирает тип прижимов, корпусов и гайки (рисунок 5.15).

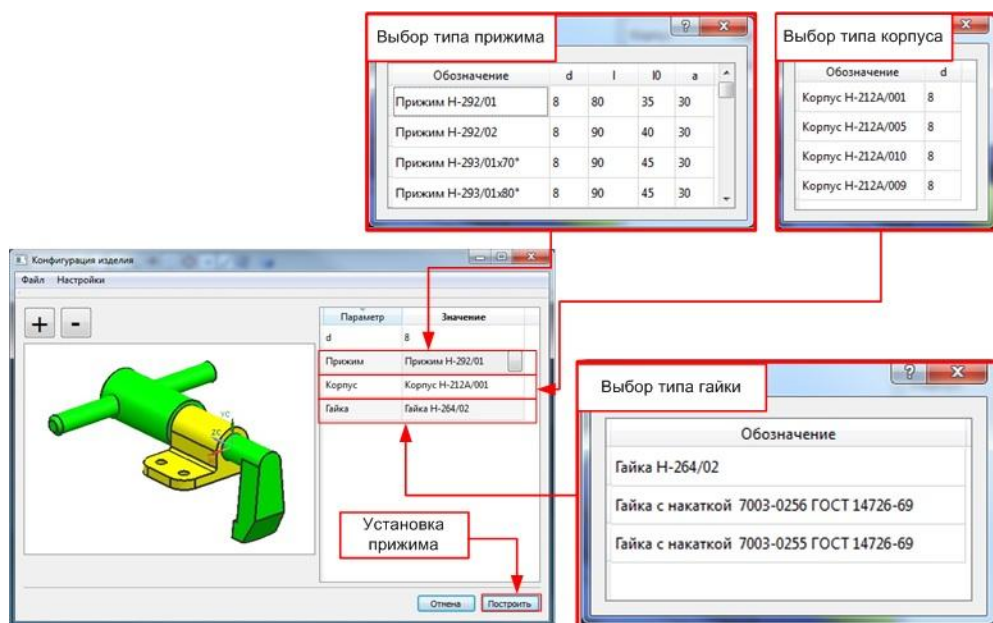


Рисунок 5.15 – Выбор типа компонентов фиксатора

Затем происходит переход на этап выбора баз для проектирования элементов СП (рисунок 5.16).

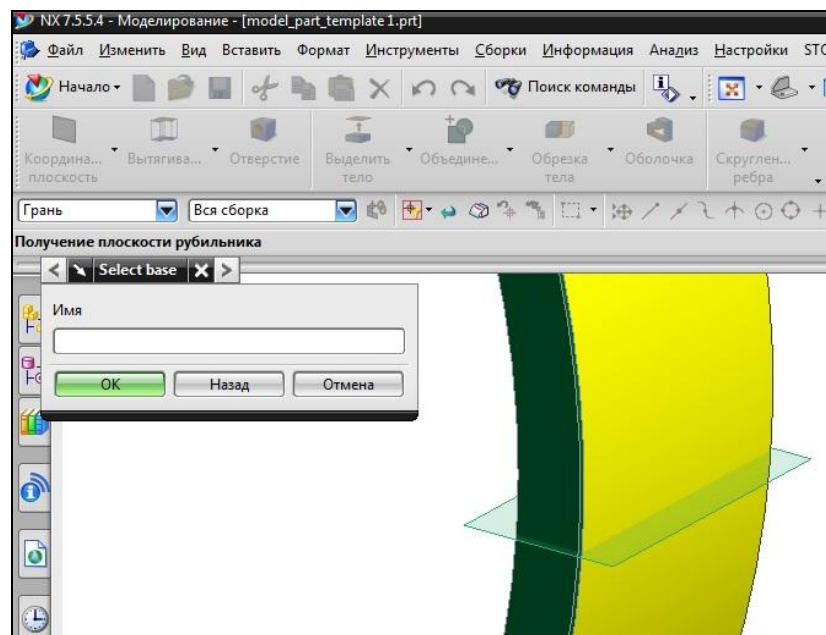


Рисунок 5.16 – Окно для выбора баз

После выбора баз для создания элементов СП, программным модулем выполняется проектирование рамы, опоры, рубильника и установка Г-образного прижима (рисунок 5.17), согласно выбранным базам.

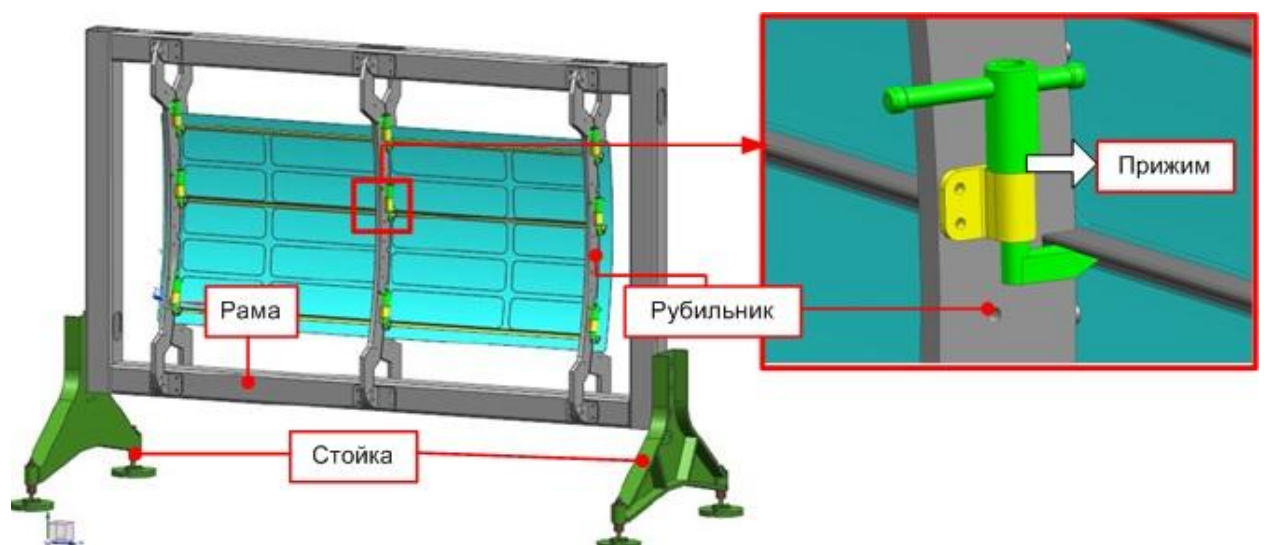


Рисунок 5.17 – Конструкции проектируемых элементов сборочного приспособления

Программное обеспечение для проектирования элементов СП представляет собой систему, где процедура построения задается программным модулем, написанным на алгоритмическом языке C++, а процесс проектирования элементов СП, полностью повторяет традиционный, выполняемый конструктором. Для других типовых элементов СП данные процедуры можно выполнять аналогичным способом.

5.5 Выводы по главе 5

В данной главе рассматривается система, полностью реализованная для возможности проектирования элементов СП. Использование модульной архитектуры системы позволит в дальнейшем произвести ее модификацию с целью повышения уровня автоматизации при принятии решений.

Метод определения состава сборочных баз, использующийся в модуле автоматизированного проектирования СП, позволяет найти положение и количество всех элементов СП. Соответственно позволяет правильно определить точки вставки и ориентацию всех элементов СП.

Дискретная математическая модель маложесткой детали реализована в информационной среде предприятия внедрения, включающей базовую CAD/CAM/CAE систему NX 7.5 Siemens PLM Software, а также средства программного расширения NX/Open API, среду программирования C++ с сохранением данных в СУБД Oracle.

Использование автоматизированной системы проектирования объектов сборочного производства позволяет увеличить уровень автоматизации на этапах проектирования средств технологического оснащения и как следствие улучшить основные показатели рабочего проектирования (повышение качества принимаемых решений, сокращение длительности цикла проектирования, снижение трудоемкости проектирования и т.д.). Данная система защищена Свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ (приложение А).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрена проблема формализованного метода определения схемы базирования изделия при автоматизированном проектировании оснастки для сборки узлов из маложёстких деталей, на примере самолётостроительной отрасли машиностроения. Предлагаемое решение основано на широком использовании возможностей современных CAD/CAE/PDM-систем и, в частности, использовании КЭМ в качестве единого источника геометрической информации об изделии.

В процессе решения проблемы автоматизированного определения состава сборочных баз на основе формализованных методов с использованием средств САПР и АСТПП, были решены поставленные задачи:

- 1) разработать методику анализа геометрических характеристик изделия непосредственно по его электронному макету, построенному в принятой CAD системе, для построения дискретных математических моделей маложёстких деталей сборочной единицы;
- 2) на основе дискретной математической модели маложёсткой детали выявить минимальный состав базовых точек, определяющих ее основные базы с учетом задания ограничивающих связей, позволяющих задать ее пространственное положение, удовлетворяющее условию допустимых деформаций;
- 3) выбрать внешние базирующие элементы сборочного приспособления, базы которых соответствуют выявленному составу основных сборочных баз устанавливаемой маложёсткой детали;
- 4) выбрать фиксирующие элементы сборочного приспособления, установочные базы которых задают необходимые ограничивающие связи на пространственное положение маложёсткой детали;
- 5) реализовать систему автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления.

Автором предложен метод анализа геометрических характеристик поверхности сопряжения между сборочными единицами и анализа непосредственно её электронного макета. Так, при выборе состава сборочных баз отражаются все существенные характеристики каждой сборочной базы и связи между ними. Это позволяет использовать методы анализа сборочных баз и выбора конструктивной компоновки сборочной оснастки, основанные на формальных критериях и условиях.

При определении состава сборочных баз сборочной единицы применяется математический аппарат теории множеств и теории распознавания, векторной алгебры и математической логики. Источником данных для неё является КЭМ изделия, выполненный в CAD-системе. Получение данных из КЭМ изделия осуществляется с помощью программных средств CAD-системы и связанной с ней интегрированной среды управления данными об изделии. Это освобождает технолога от выполнения рутинных операций и снижает вероятность появления субъективных ошибок.

По результатам анализа сборочной единицы, получается решетка сборочных базовых точек, и геометрические характеристики базирующих элементов сборочной оснастки. Приведено сочетание между этими характеристиками позволяющим сделать выбор состава базирующих элементов сборочной оснастки для конкретного изделия сборки.

Таким образом, в качестве основных результатов, отражающих научную новизну исследования, выделим следующие:

- 1) впервые предложена методика выбора элементарной поверхности на детали в зоне сопряжения ее с другой деталью сборочной единицы, дифференциально-геометрические свойства всех точек которой признаются равными в пределах удовлетворения принятым критериям;
- 2) разработана методика анализа и выбора ограничивающих связей на взаимное расположение сопрягаемых деталей сборочной единицы

на основе анализа дифференциально-геометрических характеристик локальных зон их поверхностей сопряжения;

- 3) разработана методика построения дискретной математической модели маложесткой детали сборочной единицы на основе определения базовых точек на ее поверхности, задающих основные базы необходимые и достаточные для полного ограничения всех степеней свободы;
- 4) разработан алгоритм определения состава базирующих элементов сборочного приспособления, использующий дискретную математическую модель маложесткой детали сборочной единицы.

Косвенно решены задачи объективизации выбора метода сборки и состав базирующих элементов в сборочное приспособление, от решения которых зависит выбор состава сборочных баз изделия.

Кроме того, отметим ряд практических выводов по использованию результатов данной работы:

- 1) сокращение цикла технологической подготовки производства и повышение качества проектных решений за счет использования формализованных алгоритмов определения состава сборочных баз и построения автоматизированной системы проектирования элементов СП;
- 2) снижение влияния субъективного фактора при принятии решений в ходе автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления для сборки маложестких изделий, благодаря использованию выявленных формальных критериев выбора состава сборочных баз;
- 3) математическая модель реализована в информационной среде предприятия внедрения, включающей базовую CAD/CAM/CAE систему NX 7.5 Siemens PLM Software, а также средства программного расширения NX/Open API, среду программирования C++ с сохранением данных в СУБД Oracle;

- 4) разработан алгоритм и программное обеспечение автоматизированного проектирования элементов сборочного приспособления по принятой модели базирования;
- 5) предложен математический аппарат, применимый для решения ряда задач технологической подготовки сборочного производства:
 - выбор состава сборочных баз изделия;
 - выбор состава базирующих элементов сборочной оснастки.

Результаты работы использованы в учебном процессе кафедры «Самолётостроение и эксплуатация авиационной техники» ИрГТУ при подготовке студентов специальности «Самолёто- и вертолётостроение» по дисциплинам «Проектирование сборочных приспособлений» и «Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологических процессов» (приложение Б).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БД – база данных.

БО – базовое отверстие.

КЭМ – конструктивный электронный макет.

КСС – конструктивно-силовая схема.

ТЭМ – теоретический электронный макет.

БФУ – базово-фиксирующее устройство.

БЭ – базирующий элемент сборочной оснастки.

ПО – программное обеспечение.

СУБД – система управления базой данных.

ЭЗП(UDF) – элемент задаваемый пользователем(User Defined Feature).

ЛА – летательный аппарат.

САПР – система автоматизированного проектирования.

САПР ТП – система автоматизированного проектирования технологических процессов.

СЕ – сборочная единица.

СО – сборочное отверстие.

СП – сборочное приспособление.

СТО – средства технологического оснащения.

УФО – установочно-фиксирующее отверстие.

ЧПУ – числовое программное управление.

БФЭ – базовые и фиксирующие элементы сборочной оснастки.

CAD – Computer-Aided Design.

CAE – Computer-Aided Engineering.

CALS – Continuous Acquisition and Life cycle Support.

CAM – Computer-Aided Manufacturing.

CAPP – Computer-Aided Process Planning.

PDM – Product Data Management.

PLM – Product Life Management.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

алгоритм: Система точно сформулированных правил, определяющая процесс преобразования допустимых исходных данных (входной информации) в желаемый результат (выходную информацию) за конечное число шагов.

база: Поверхность, или заменяющее ее сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащие заготовке или изделию и предназначенные для придания изделию или детали требуемого положения в пространстве относительно выбранной системы отсчета.

база данных: Совокупность хранимых в памяти компьютера данных, относящихся к определенному объему или кругу деятельности, специально организованных, обновляемых и логически связанных между собой. Они представляют собой информационную модель объекта.

база знаний: Семантическая модель, описывающая предметную область и позволяющая отвечать на такие вопросы из этой предметной области, ответы на которые в явном виде не присутствуют в базе. База знаний является основным компонентом интеллектуальных и экспертных систем.

базирование: Процесс придания изделию или детали требуемого положения в пространстве.

взаимозаменяемость: Свойство элементов конструкции, изготовленных с определённой точностью геометрических, механических, электрических и иных параметров, обеспечивать заданные эксплуатационные показатели вне зависимости от времени и места изготовления при сборке, ремонте и замене этих элементов.

классификатор: Систематизированный перечень именованных объектов, каждому из которых в соответствие дан уникальный код или родовое имя.

электронный макет: Это электронное представление элемента конструкции, предназначенное для решения позиционных, топологических и других задач, возникающих при проектировании и производстве. Электронный макет является носителем геометрических параметров детали изделия и определяет их взаимное расположение между собой в сборке и привязку к базовым осям и плоскостям.

теоретический электронный макет: Электронный технический документ, описывающий конструктивно-технологические свойства детали или СЕ и являющийся исходными данными для подсистем технологического проектирования.

конструктивно-силовая схема: Электронная модель, содержащая разбивку осей шпангоутов, стрингеров и других силовых элементов планера самолета.

конструктивный электронный макет: Представляет собой электронный макет изделия, включающий в себя твёрдотельные модели всех деталей, входящих в конструкцию изделия с заданными условиями сопряжения. Задача увязки сопрягаемых элементов планера полностью решается на этапе создания конструктивного электронного макета.

метод сборки: Метод выполнения сборки узла или агрегата в зависимости от выбранного способа базирования деталей сборочной единицы (по базовым поверхностям деталей, по базовым элементам сборочного приспособления (БЭСП), по сборочным отверстиям (СО), по базовым отверстиям (БО)).

последовательность сборки: Последовательность выполнения комплекса работ по базированию, закреплению деталей и подборок по отверстиям или в сборочной оснастке, соединению деталей и подборок между собой, контролю и выемке из сборочной оснастки собранной СЕ.

программное обеспечение: Это совокупность программ обработки данных на ЭВМ, включающая документы с описанием алгоритмов

построения программ и исходными текстами программ, а так же программ на машинных носителях информации.

сборка: Совокупность технологических операций по установке элементов конструкции в сборочное положение и соединению их в узлы, панели, агрегаты и машину в целом.

сборочная оснастка: Средство технологического оснащения, дополняющее оборудование и инструмент для установки составных частей подборок.

сборочное приспособление: Сборочная оснастка, предназначенная для сборки узлов (панелей, секций).

система автоматизированного проектирования: Это организационно-техническая система, состоящая из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанного с различными подразделениями проектной организации и выполняющая автоматизированное проектирование.

средства технологического оснащения: Совокупность оборудования, технологической оснастки и инструмента, применяемых при изготовлении (сборке) деталей и сборочных единиц (СЕ).

схема сборки: Графическое изображение (в виде условных обозначений) последовательности сборки СЕ или планера самолета в целом.

технологический процесс: Часть производственного процесса, содержащий действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства.

экспертная система: Комплекс компьютерных программ, позволяющих систематизировать знания и оценки экспертов в определенной прикладной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абибов А.Л. Технология самолетостроения: учебник для авиац. спец. вузов / А.Л. Абибов, Н.М. Бирюков, В.В. Бойцов и др.; под ред. А.Л. Абибова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1982. - 551 с.: а-ил.
2. Александров А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров. - М.: Высш. шк., 2003. - 560 с.
3. Ахатов Р.Х. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства: учеб. пособие / Р.Х. Ахатов. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. - 104 с.
4. Ахатов Р.Х. Выбор опорных базовых точек при определении схемы базировании сборочной единицы / Р.Х. Ахатов, Х.В. Чьен // ВЕСТНИК МАИ – 2013. – Том 20. – №3. – С. 110-118.
5. Ахатов Р.Х. Определение состава сборочных баз при автоматизированной сборке маложестких деталей / Р.Х. Ахатов, Х.В. Чьен // Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной ко Дню космонавтики. (Иркутск, 11-13 апреля, 2012 г.) – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – С. 6-9.
6. Ахатов Р.Х. Определение степеней свободы элементов конструкции сборочной единицы / Р.Х. Ахатов, Х.В. Чьен // Вестник ИрГТУ. – 2012. – Том 73. – №2. – С. 57-62.
7. Ахатов Р.Х. Координатный подход к разработке схемы базирования при проектировании технологического процесса сборки / Р.Х. Ахатов, К.А. Однокурцев // Решетнёвские чтения: материалы XII Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнёва (Красноярск, 10-12 ноября 2008 г.) / под общ.ред. И.В. Ковалёва. – Красноярск: СибГАУ, 2008. – С. 253-254.

8. Ахатов Р.Х. Реализация системы автоматизированного проектирования сборочной оснастки / Р.Х. Ахатов, П.Е. Чимитов, Д.А. Дубинин, А.В. Васильев, Ха-Ван Чьен // Научно-технический журнал Наука и Технологии в промышленности; . – №1-2/2013., Иркутск, 2013. – С. 53-56.
9. Ахатов Р.Х. Формализация анализа и выбора сборочных баз конструкции изделия с применением интегрированной системы управления данными об изделии / Р.Х. Ахатов, К.А. Однокурцев // Научный вестник Норильского индустриального института. - 2007. - № 1. - С. 31-36.
10. Ахатов Р.Х. Формализованный метод выбора и анализа сборочных баз в самолётостроении / Р.Х. Ахатов, К.А. Однокурцев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнёва. – Красноярск: СибГАУ, 2009. – Вып. 2 (23). – С. 232-237.
11. Бабушкин А.И. Методы сборки самолетных конструкций / А.И. Бабушкин. - М.: Машиностроение, 1985. - 248 с.
12. Бабушкин А.И. Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов / А.И. Бабушкин. - М.: Машиностроение, 1972. - 240 с.
13. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Б. М. Базров. - М.: Машиностроение, 2005. - 736 с.; ил.
14. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения : в 2 кн. / Б.С. Балакшин. - М.: Машиностроение, 1982 – Кн. 1: Технология станкостроения. - Б.м.: Б.и., 1982. - 239 с.
15. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения : в 2 кн. / Б.С. Балакшин. - М.: Машиностроение, 1982 – Кн. 2: Основы технологии машиностроения. - Б.м.: Б.и., 1982. - 367 с.
16. Барвинок В.А. Основы технологии производства летательных аппаратов : учеб. для вузов по направлению "Авиа- и

- ракетостроение" и спец. "Пр-во летат. аппаратов", "Самолето- и вертолетостроение" / В.А. Барвинок, П.Я. Пытьев, Е.П. Корнев. - М.: Машиностроение, 1995. - 398 с.: ил.
17. Барвинок В.А. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов : учеб. для вузов по направлению "Авиа-и ракетостроение" и спец. "Самолето-и вертолетостроение" / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, П.А. Бордаков и др.; под ред. В.А. Барвинка. - М.: Машиностроение, 1996. - 575 с.: ил.
 18. Белостоцкий А.М. Сравнительный анализ программных комплексов СТАДИО и ROBOT на задачах расчета многоэтажных зданий / А.М. Белостоцкий, В.Н. Сидоров, Д.К. Каличава // САПР и графика. - 2004. - № 2. - С. 16-19.
 19. Беляков Д.Ю. Автоматизация обеспечения оценки точности технологического оборудования при статически неопределимом базировании : дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / Беляков Дмитрий Юрьевич. - М., 2003. - 160 с.
 20. Белякова М.С. Информационная модель геометрического образа / М.С. Белякова, Корзаков А.А. // Информационные технологии в технических и социально-экономических системах. Сборник научных трудов МГТУ "Станкин". Вып. 4. Т. 1. "Технические науки". - М.: Янус-К, 2006. - С. 85-87.
 21. Белякова М.С. Информационная модель пространственных размерных связей при автоматизированном проектировании технологических процессов / М.С. Белякова, Корзаков А.А. // Информационные технологии в технических и социально-экономических системах. Сборник научных трудов МГТУ "Станкин". Вып. 2. Т. 1. - М.: ИЦ МГТУ "Станкин", Янус-К, 2003. - С. 64-67.

22. Белякова М.С. Моделирование поверхностей с учётом отклонений их формы и расположения, определяемых техническими требованиями / М.С. Белякова, М.Г. Косов // Технология машиностроения. - М., 2007. - № 5. - С. 64-65.
23. Белякова М.С. Повышение эффективности процессов конструкторско-технологического проектирования на основе разработки информационной системы моделирования поверхностей : автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Белякова Марина Станиславовна; МГТУ "Станкин". - М.: Изд-во МГТУ "Станкин", 2007. - 26 с.
24. Беляев Н.И. Сопротивление материалов / Н.И. Беляев – М.: Наука, 1965. – 858 с.
25. Бойцов В.В. Сборка агрегатов самолета : учеб. пособие для вузов по спец. "Самолетостроение" / В.В. Бойцов, Ш.Ф. Ганиханов, В.Н. Крысин. - М.: Машиностроение, 1988. - 148 с.: а-ил.
26. Гаер М.А. Квадратичные формы при моделировании сборок с допусками / М.А. Гаер, А.С. Калашников, А.В. Шабалин // Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения». - Иркутск, 2005. - С. 56-59.
27. Гаер М.А. Разработка и исследование геометрических моделей пространственных допусков сборок с использованием кватернионов: дис. канд. техн. наук: 05.02.08 / Гаер Максим Александрович; Иркут. гос. техн. ун-т. - Иркутск, 2005. - 148 с.
28. Галанин М.П. Численное исследование метода конечных суперэлементов на примере решения задачи о скважине для уравнения Лапласа / М.П. Галанин, С.А. Лазарева, Е.Б. Савенков // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. - 2005. - 26 с.
29. Ганиханов Ш.Ф. Моделирование и разработка технологических процессов сборки самолетов: (На прим. плоских каркас. узлов) /

- Ш.Ф. Ганиханов, Ю.А. Боборыкин, З.З. Шамсиев. - Ташкент : издательство «Фан» УзССР, 1982. - 140 с.
30. Гончаров П.С. NX для конструктора машиностроения .П.С. Гончаров – М.: ДМК Пресс, 2010. – 500 с.
 31. Горелик А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин – М.: Высшая школа, 1989. – 232 с.
 32. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. - М.: Издательство стандартов, 1982. - 36 с.
 33. Гребенюк Е.И. Интегрирование научных школ университета на базе ИПИ-технологий / Е.И. Гребенюк // Авиационный технолог. Газета МАТИ - РГТУ им. К.Э. Циолковского. - 2005. - 20 декабря (№23-24).
 34. Григорьев В.П. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолетов и вертолетов : учеб. пособие для авиац. специальностей вузов / В.П. Григорьев, Ш.Ф. Ганиханов. - М.: Машиностроение, 1977. - 138 с.
 35. Громашев А.Г. Автоматизация проектирования процессов производства в машиностроении : курс лекций / А.Г. Громашев; Иркут. гос. техн. ун-т. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1997. - 124 с.: ил.
 36. Громашев А.Г. Совместимость оборудования и планера при сборке самолётов. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1994. - 224 с.
 37. Давыдов Ю.В. Информационные технологии – основа качества производства наукоемких изделий / Ю.В. Давыдов // Технологические системы. - 2004. - № 4. - С. 95-99.
 38. Давыдов Ю.В. Обеспечение качества производства наукоемких изделий на основе информационных технологий / Ю.В. Давыдов // Информационные технологии в проектировании и производстве. Вып. 1. - 2007. - С. 16-19.
 39. Дальский А.М. Справочник технолога машиностроителя том 1 /

- А.М. Дальский, С.А. Григорьевич, А.Г. Косилова и др. – М.: Машиностроение, 2001. – 910 с.
40. Дальский А.М. Справочник технолога машиностроителя том 2 / А.М. Дальский, С.А. Григорьевич, А.Г. Косилова и др. – М.: Машиностроение, 2001. – 910 с.
 41. Данко П.Е. Высшая математика в упражнениях и задачах: учеб. пособие для вузов : в 2 ч. / П. Е. Данко, А.Г. Попов, Т.А. Кожевникова. - М.: ОНИКС, 2007-
Ч.1. - Б.м.: Б.и., 2007. - 303 с.: ил.
 42. Дейт К. Д. Введение в системы баз данных: [Пер. с англ.] / К. Д. Дейт. - М.: Вильямс, 7-е изд., 2001.- 1071 с.: а-ил.
 43. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Richard O. Duda, Peter E. Hart – М.: Издательство «Мир», 1976. – 502 с.
 44. Ершов В.И. Технология сборки самолетов : учебник для студентов авиац. спец. вузов / В.И. Ершов, В.В. Павлов, М.Ф. Каширин, В.С. Хухорев. - М.: Машиностроение, 1986. - 456 с.: ил.
 45. Журавлёв Д.А. Анализ собираемости изделия при моделировании деталей посредством квадратичных форм / Д.А. Журавлёв, А.С. Калашников, М.А. Гаер // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2007. - № 2, Ч. 1. - С. 99-102.
 46. Журавлёв Д.А. Геометрическое моделирование деталей и сборок с пространственными допусками в САПР нового поколения / Д.А. Журавлёв, А.С. Калашников, М.А. Гаер // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. - 2006. - Т.1, № 4. - С. 17-22.
 47. Журавлев Д.А. Пространственная геометрическая характеристика допусков / Д.А. Журавлев, М.А. Гаер // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2005. - № 1. - С. 116-124.

48. Ильюшин А.А. Сопротивление материалов / А.А. Ильюшин, В.С. Ленский – М.: Физматгиз, 1959.
49. Калашников А.С. Машинное задание этапов сборки с учетом допусков / А.С. Калашников, А.В. Никитин // Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения». - Иркутск, 2005. - С. 75-78.
50. Калашников А.С. Выделение замкнутых контуров в топологии допусков / А.С. Калашников, А.В. Никитин // Вестник ИрГТУ. - 2006. - № 4. - С 131-136.
51. Калашников А.С. Пространственный размерный анализ собираемости изделий машиностроения / А.С. Калашников // Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения». - Иркутск, 2007. - С. 45-52.
52. Калашников А.С. Размерный анализ сборок с пространственными допусками при автоматизированном проектировании : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Калашников Александр Сергеевич; Иркут. гос. техн. ун-т. - Иркутск, 2008. - 132 с.
53. Капустин Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учеб. для втузов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др.; под ред. Н. М. Капустина. - М.: Высш. шк., 2004. - 415 с.
54. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: учеб. для машиностроит. специальностей вузов / И.М. Колесов. - 3-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2001. - 590 с.: а-ил.
55. Краснов М. Unigraphics для профессионалов / М. Краснов, Ю. Чигишев – М.: Издательство «Лори», 2004. – 274 с.
56. Крысин В.Н. Технологическая подготовка авиационного производства / В.Н. Крысин. - М.: Машиностроение, 1984. - 200 с.
57. Кузьмин В.В. Автоматизированное выявление сборочных

- размерных цепей / В.В. Кузьмин, Ю.Л. Шурыгин // Автоматизация и современные технологии. - 1995. - № 3. - С. 31-34.
58. Литовка Ю.В. Автоматизация технологической подготовки производства. Учебное пособие / Ю.В. Литовка – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2002. – 33 с.
 59. Макки Алекс Введение в .NET 4.0 и Visual Studio 2010 для профессионалов / Alex Maskey – М.: Издательство «Вильямс», 2010. – 416 с.
 60. Мартюшов В.Ф. Проектирование приспособлений для сборки агрегатов ЛА : учеб. пособие / В.Ф. Мартюшов; Моск. авиац. ин-т. - М.: Изд-во МАИ, 1994. - 72 с.: ил.
 61. Метод конечных суперэлементов для решения трехмерных задач теории упругости. Численное исследование : препринт : 06-01-00421 / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; Галанин М.П., Лазарева С.А., Савенков Е.Б. - М., 2006. - 27 с.
 62. Образцов И.Ф. Строительная механика летательных аппаратов: Учебник для авиационных специальностей вузов/ И.Ф. Образцов, Л.А. Булычев, В.В. Васильев и др.; под ред. И.Ф. Образцова.: - М.: Машиностроение, 1986. – 536 с., ил.
 63. Однокурцев К.А. Использование координатной модели при выборе компоновки сборочной оснастки / К.А. Однокурцев // Наука. Промышленность. Оборона: тр. XI Всеросс. науч.-техн. конф. (Новосибирск, 21-23 апреля 2010 г.). – Новосибирск: НГТУ, 2010. – С. 451-456.
 64. Однокурцев К.А. Разработка дискретной модели изделия при выборе состава баз сборочной оснастки в машиностроении: Автореферат дис. канд. техн. наук / К.А. Однокурцев. – Иркутск, 2010. –18 с.

65. Основы автоматизации машиностроительного производства : учеб. для машиностроит. специальностей вузов / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов, Ю.М. Соломенцев; Под ред. Ю.М. Соломенцева. - 2-е изд., испр. - М.: Высш. шк., 1999. - 311 с.: а-ил.
66. ОСТ 1 00022-80. Предельные отклонения размеров от 0,1 до 10 000 мм и допуски формы и расположения поверхностей, не указанные на чертеже. - М.: Издательство стандартов, 1980. - 23 с.
67. ОСТ 51931-80. Приспособления для сборки агрегатов зажимные и фиксирующие детали и узлы. Технические требования. - М.: Издательство стандартов, 1981. - 317 с.
68. Ост 1.42064-80. Сборка самолетов. Термины и определения. – М.:Стандарт, 1982.
69. Официальный сайт группы компаний ADEM [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.adem.ru>.
70. Официальный сайт ЗАО «Топ Системы» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tflex.ru>.
71. Официальный сайт компании АСКОН [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ascon.ru>.
72. Официальный сайт компании Autodesk [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.autodesk.ru>.
73. Официальный сайт компании «ФОБОС» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://temp-system.narod.ru/index.htm>.
74. Официальный сайт корпорации «Вектор-Альянс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tehnopro.com>.
75. Официальный сайт корпорации Siemens PLM Software [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.plm.automation.siemens.com>.
76. Официальный сайт проекта Eigen [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://eigen.tuxfamily.org>

77. Официальный сайт проекта Qt Project [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://qt-project.org/>
78. Павлов А., Лихачев А. «ТехноПРО» - универсальная система технологического проектирования и подготовки производства // САПР и Графика. – М.: Издательский дом КомпьютерПресс, 2000. - № 6.
79. Павлов В.В. Основы автоматизации проектирования технологических процессов сборки летательных аппаратов: учеб. пособие / В.В. Павлов; Моск. авиац. технол. ин-т им. Циолковского К.Э., кафедра технологии производства летат. аппаратов. - М.: МАТИ, 1975. - 98 с.: ил.
80. Павлов В.В. Теоретические основы сборки летательных аппаратов: учеб. пособие / В.В. Павлов. - М.: МАТИ, 1975. - 51 с.: ил.
81. Пекарш А.И. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / А.И. Пекарш, Ю.М. Тарасов, Г.А. Кривов и др. - М.: Аграф-пресс, 2006. - 304 с.: ил.
82. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов/ Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев.; Отв. Ред. Г.С. Писаренко.- 2-е изд., перераб. и доп.- Киев: Наук.думка, 1988.-736с. – ISBN 5-12-000299-4.
83. Разумихин М.И. Приспособления для сборки агрегатов самолета : конспект лекций / М.И. Разумихин, И.И. Исаюк. – Куйбышев.: Б.и., 1973. - 71 с.
84. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / под ред. А.Г. Братухина. – М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. - 608 с.
85. Сагдиев Т.А. Некоторые особенности разработки математического и программного обеспечения САПР для проектирования технологических процессов сборки / Т.А. Сагдиев, В.В. Павлов //

- Информационные технологии в проектировании и производстве. - 2008. - № 2. - С. 35-40.
86. Сагдиев Т.А. О компьютерном моделировании узловой сборки при подготовке производства самолётов / Т.А. Сагдиев // Информационные технологии в проектировании и производстве. - 2008. - № 2. - С. 51-54.
 87. Самсонов О.С. Моделирование процессов конструкторско-технологического проектирования сборки летательных аппаратов / О.С. Самсонов // Технология машиностроения. - 2007. - № 9. - С. 18-26.
 88. Сандалски Б.П. Решение пространственной задачи размерно-точностного анализа сборочных единиц / Б.П. Сандалски, А.С. Стоев // Вестник машиностроения. - 1992. - № 4. - С. 39-42.
 89. Скворцов А.В. Автоматизированная система комплексного размерного анализа в среде CALS/ИПИ-технологий / А.В. Скворцов // Вестник машиностроения. - 2007. - № 5. - С. 36-42.
 90. Скворцов А.В. Угловые координатные преобразования при комплексном размерном анализе деталей и сборочных единиц в среде CALS/ИПИ-технологий / А.В. Скворцов // Проблемы машиностроения и надёжности. - 2006. - № 2. - С. 85-90.
 91. Современные технологии авиастроения / под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова. - М.: Машиностроение, 1999. - 832 с.
 92. Соломенцев Ю.М. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / под ред. Ю.М. Соломенцева, В.Г. Митрофанова. - М.: Машиностроение, 1986. - 256 с.
 93. Соломенцев Ю.М. Концепции CALS-технологий / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов // Автоматизация и современные технологии. - 2005. - № 9. - С. 3-9.
 94. Способ установки изделия в заданное пространственное положение

- и устройство для его осуществления / пат. 2226168 Рос. Федерация : МПК7 В 64 F 5/00, G 01 В 11/00, 11/02, 21/00 / Ахатов Р.Х., Яманов С.М., Краснопеев А.В., Шмаков А.К.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», ОАО «Научно-производственная корпорация «Иркут». - №2002124016/11 ; заявл. 09.09.2002 ; опубл. 27.03.2004, Бюл. № 9. - 14 с.: ил.
95. Справочник «Авиационные материалы», том 7, ч. 1. Полимерные композиционные материалы – М.: ОНТИ, 1976.-391 с.
 96. Строганов Г.Б. Технологическое обеспечение авиационного производства / Г.Б. Строганов, Ю.Г. Роик, В.И. Климентьев и др.; под общ. ред. Г.Б. Строганова. - 2-е изд., доп. - М.: Машиностроение, 1991. - 367 с.: ил.
 97. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес – М.: Издательство «Мир», 1978. – 414 с.
 98. Федоренко Р.П. Введение в вычислительную физику / Р.П. Федоренко. - М.: Изд-во МФТИ, 1994. - 527 с.
 99. Фёдоров В.Б. Технология сборки изделий авиационной техники : текст лекций / В.Б. Фёдоров. – Челябинск.: Издательство ЮУрГУ, 2003. - 50 с.
 100. Чигарев А.В. ANSYS для инженеров: Справ. Пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
 101. Чимитов П. Е. Разработка математической модели сборочных процессов с использованием методов распознавания образов: Автореферат дис. ... канд. техн. наук / П. Е. Чимитов. – Иркутск, 2010. –19 с.
 102. Чумадин А.С. Основы технологии производства летательных аппаратов : учебное пособие / А.С. Чумадин, В.И. Ершов, В.А.

Барвинок и др. - М.: Наука и технологии, 2005. - 912 с.

103. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRANforWindows / Д.Г. Шимкович – М.:ДМК Пресс, 2001.– 448 с.
104. Яременко А.Ф. Механика материалов и конструкций/ А.О. Яременко, П.Г. Балдук.: Учебное пособие для студ. высших техн. Учеб.- О.: Внешрекламсервис, 2001. - 254 с.
105. Яценко О.В. Интервальный анализ собираемости деталей с допусками при автоматизированном проектировании : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Яценко Ольга Валерьевна; Иркут. гос. техн. ун-т. - Иркутск, 2000. - 154 с.
106. Baartman J.P. Automation of assembly operations on parts : PhD Thesis [Электронный ресурс]. - Delft University of Technology. - The Netherlands, 1995 . - Режим доступа: http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:da02224c-bb8f-4465-a14c-c40d04958dd4/3me_baartman_19950323.PDF.
107. Edmondson N.F. Generic flexible assembly system design / N.F. Edmondson, A.H. Redford // Assembly Automation. Vol. 22. - 2002. - № 2. - P. 139-152.
108. Holland W. Assembly features in modeling and planning / Winfried van Holland, Willem F. Bronsvort // Robotics and Computer Integrated Manufacturing. - 2000. - № 16. - P. 277-294.
109. Jamshidi J. Manufacturing and assembly automation by integrated metrology systems for aircraft wing fabrication / J. Jamshidi, A. Kayani, P. Iravani, P.G. Maropoulos, M.D. Summers // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B: Journal of Engineering Manufacture. Volume 224. - Professional Engineering Publishing, 2010. - № 1. - P. 25-36.
110. Li Y.G. Feature recognition technology for aircraft structural parts based on a holistic attribute adjacency graph / Y.G. Li, Y.F. Ding, W.P. Mou,

- H. Guo // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B: Journal of Engineering Manufacture. Volume 224. - Professional Engineering Publishing, 2010. - № 2. - P. 271-278.
111. Schodek D. Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design / D. Schodek, M. Bechthold, K. Griggs, K.M. Kao, M. Steinberg. - «John Wiley & Sons», 2005. - 386 p.

Приложение А

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2013660707

Копия верна
Федеральное агентство по интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2013660707

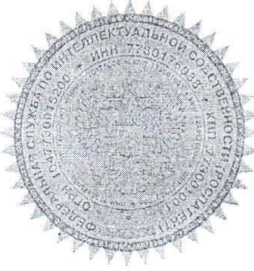
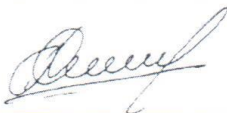
**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРОЧНОГО
ПРИСПОСОБЛЕНИЯ «САП - СП»**

Правообладатели: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ИрГТУ») (RU), Открытое акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Иркут» (ОАО «Корпорация «Иркут») (RU)*

Авторы: *Ахатов Рашид Хадиятович (RU), Чимитов Павел Евгеньевич (RU), Васильев Артем Владимирович (RU), Ха Ван Чьен (RU), Дубинин Дмитрий Андреевич (RU)*

Заявка № 2013615195
Дата поступления 24 июня 2013 г.
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 15 ноября 2013 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности


 Б.П. Симонов

Приложение Б

Акт о внедрении результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ



И.о. ректора НИ ИрГТУ

А.Д. Афанасьев

2014 г.

А К Т

внедрения в учебный процесс результатов кандидатской диссертационной работы аспиранта кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники Ха Ван Чьен

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы «Формирование схемы базирования при разработке оснастки для сборки узлов из маложёстких деталей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в учебный процесс кафедры «Самолётостроение и эксплуатация авиационной техники» как дополнение к лекционным курсам по дисциплинам «Проектирование сборочных приспособлений» и «Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологических процессов».

Работа, выполненная Ха Ван Чьен, содержит ряд методических положений по формированию сборочных баз при проектировании технологических процессов сборки изделий и сборочной оснастки, а также организации программного обеспечения для автоматизации этих работ, которые могут быть использованы для формирования знаний и навыков студентов по специальности «Самолёто- и вертолётостроение» в области изучения теории базирования при организации сборочных процессов и автоматизированного проектирования сборочной оснастки. Предложенные материалы используются при организации научно-исследовательской работы студентов.

Директор ИАМиТ,
к.т.н., доцент

Р.Х. Ахатов

Заведующий кафедрой
Самолётостроения и эксплуатации
авиационной техники, к.т.н., профессор

И.Н. Гусев