

Организация процесса формирования соединений при технической подготовке производства авиационной техники

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Дано описание авиационной техники как объекта сборки; показано формирование аналитического эталона соединения с использованием моделей связей, аналитических эталонов крепежных элементов, отверстий под крепежные элементы и моделей процесса их размещения; приведен механизм формирования соединений на этапах конструкторской и технологической подготовки производства; дана схема информационного сопровождения процесса сборки.

Ключевые слова: авиационная техника, сборочно-монтажные работы, техническая подготовка производства, соединение, крепежный элемент, CAD/CAM система, аналитический эталон.

Введение

Основной тенденцией в совершенствовании сборочно-монтажных работ (СМР) при производстве авиационной техники (АТ) является переход на цифровые технологии не только в проектировании, но и в производстве [1, 2, 3 и др.]. Для этого была создана новая технологическая среда, в основе которой лежат полное электронное определение изделия (ПЭОИ) и единая цифровая среда, информационно интегрированные между собой на базе CALS-технологий. Важное место в этой цепочке отводится технической подготовке производства на всех стадиях жизненного цикла изделия. Техническая подготовка производства включает в себя конструкторскую, технологическую и организационную подготовку [4].

Целью работы является создание научных основ технической подготовки авиационного сборочного производства для обеспечения снижения ее трудоемкости при достаточной наглядности (визуализации) процессов на базе моделей объектов производства CAD/CAM систем.

Для достижения поставленной цели в данной статье представлены результаты решения следующих научных и научно-прикладных задач:

- исследовать общие закономерности описания сборочных изделий в эксплуатируемых CAD/CAM системах;
- сформулировать принципы организации сборки изделия для труднодоступных участков (с применением уникального, но универсального инструмента);
- исследовать взаимосвязи параметров объектов производства при формировании сборочных соединений;
- сформулировать принцип организации описаний сборочных соединений (сборочных единиц) с использованием функциональных возможностей CAD/CAM систем;
- исследовать проблему информационного сопровождения формирования соединений при технической подготовке производства и сформулировать рациональные методы их описаний;
- разработать алгоритмы формирования соединений и описания объектов сборки с их использованием.

1. Описание объекта сборки при выполнении конструкторской подготовки производства

Изменение информационного представления при формировании сборки привело к необходимости выделения соединения в отдельный объект, который на рис. 1 условно обозначен как U_3 . Он должен описывать связи между соединяемыми элементами и включать в себя, помимо соединительных элементов, все изменения в собираемых объектах для организации соединения (см. рис. 1).

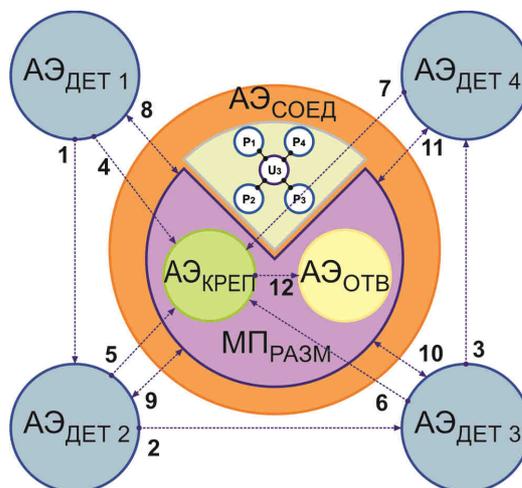


Рис. 1. Формирование аналитического эталона соединения ($AЭ_{соед}$)

Формирование аналитического эталона соединения ($AЭ_{соед}$) реализуется с использованием следующих моделей:

- модель связей соединения;
- аналитический эталон (АЭ) крепежных элементов ($AЭ_{креп}$);
- АЭ отверстий под крепежные элементы ($AЭ_{отв}$);
- модели процесса размещения АЭ отверстий и крепежных элементов ($МП_{разм}$).

При назначении конструктором набора крепежных элементов, например: болт, гайка, шайба и т.п., формируется $AЭ_{креп}$, в котором взаимное положение элементов задано параметрическими внутренними и внешними связями (4, 5, 6, 7). Связи 1, 2, 3 обеспечивают базирование деталей в сборке.

Формирование модели процесса размещения крепежных элементов $МП_{разм}$ выполняется на основании параметрической привязки системы координат соединения к системе координат элементов сборки (8, 9, 10, 11), а также методов размещения элементов, определяющих положение группы креплений (или шва). Геометрия аналитического эталона отверстия $AЭ_{отв}$ формируется на основании геометрических характеристик $AЭ_{креп}$.

Объект «Соединение» формируется с учетом прочностных, конструкторских и технологических его характеристик. Прочностные расчеты можно условно разделить на три типа:

- 1) определение типа соединения и его нагрузки с целью нахождения площадей силовых соединительных элементов, воспринимающих приложенные нагрузки;
- 2) нахождение количества соединительных элементов и выполнение прове-

рочных расчетов каждого элемента;

3) проверочные статические расчеты и расчеты динамических характеристик соединения при приложении циклических нагрузок.

На этапе конструкторской подготовки производства сборка отдельных деталей, узлов и агрегатов реализуется при помощи соединений, которые формируются следующим образом.

1. Определяется место нахождения соединения в иерархии изделия (агрегат, узел и т.п.).

2. Определяются опорные поверхности, нормальная плоскость и направление оси соединительного элемента.

3. Формируются или выбираются из разрешенных к применению модели крепежных элементов, входящих в соединение, и их взаимное положение.

4. Формируются модели вычитаемого объема для получения отверстий в пакете деталей под соединительные элементы.

5. Определяется количество соединительных элементов в соединении и их размещение (шов, или группа соединений), что позволяет получить модель размещения элементов соединения. При этом оцениваются вопросы технологичности конструкции соединения для чего учитываются характеристики, в том числе и геометрические, технологического оборудования, приспособлений и инструмента ($AЭ_{обор}$, $AЭ_{np}$, $AЭ_u$).

6. Определяется толщина пакета для каждого соединительного элемента.

7. Определяется уточненная масса собранного объекта и положение его центра тяжести.

8. Выполняется идентификация соединяемых деталей с учетом связей соединений. Если в соединении U_1 участвуют детали (P_{1_2} , P_{2_1}), входящие в разные сборки (A_1 , A_2), то необходима идентификация всего пути по «дереву структуры объекта» вплоть до соответствующих поверхностей деталей (рис. 2).

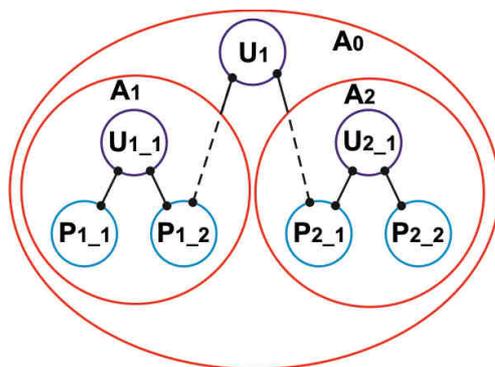


Рис. 2. Информационная организация соединений в больших сборках:

A_i – сборки; P_{i_j} – детали; U_{i_j} – соединения

Наличие всех АЭ соединительных элементов и удаляемых масс из соединяемых деталей делает эту задачу корректной и решаемой в автоматическом режиме. Это создает необходимые условия ее реализации в рамках специализированного приложения CAD/CAM системы.

Предложенная структура соединения и ее использование при конструировании сборки изделий позволяет:

- указать положение соединения, выделить детали, входящие в него;
- выбрать тип соединительных элементов из перечня разрешенных к применению;

- по информации о толщине пакета, соединительных элементах: автоматически сформировать модель для получения отверстий в выбранном пакете;
- получить отверстия в АЭ деталей пакета;
- выполнить загрузку выбранных соединительных элементов в собранном виде и разместить их в АЭ сборки;
- организовать параметрическую связь соединительных элементов и деталей пакета;
- выполнить корректировку массы и центра тяжести собранного объекта;
- выполнить проверочные расчеты соединения на прочность.

2. Организация процесса формирования соединений при технологической подготовке производства

Формирование модели соединения $AЭ_{соед}$ позволяет применять ее при выполнении технологической подготовке производства (ТПП), когда необходимо выполнить моделирование основных технологических операций сборки:

- формирования отверстий;
- установки соединительных элементов;
- непосредственно выполнения соединений;
- выполнения процедур контроля.

Применение импульсных технологий для реализации описаного выше подхода позволяет, помимо технической реализации высокоресурсных соединений в труднодоступных местах конструкции, обеспечить информационное сопровождение технологической подготовки этих процессов.

Формирование отверстий для соединительных элементов производится механической обработкой: пробивкой, сверлением, разворачиванием, зенкерованием, протягиванием, дорнованием, раскаткой. Качество поверхностного слоя отверстий соединения в значительной степени определяет его ресурс. Среди параметров отверстий, оказывающих существенное влияние на качество соединений, необходимо выделить микрорельеф поверхности, наклеп и уровень остаточных напряжений. Качество поверхностного слоя определяется выбранным инструментом, типом операций, порядком их выполнения и режимами их реализации.

На этапе ТПП формируется база данных (БД) применяемых соединительных элементов, что позволяет осуществить их выбор при проектировании технологических процессов. Реализация соединения осуществляется одним из типовых технологических процессов (ТПП), где задан порядок операций, применяемый инструмент (оборудование, оснастка) и т.д. Для формирования технологических процессов сборки необходимо создать информационную основу их сопровождения, что в первую очередь связано с внесением данных об используемом оборудовании и инструменте при выполнении сборочных операций. Подразумевается внесение данных о габаритных размерах, массах и энергетических параметрах, что и определяет процессы сборки.

Формирование геометрических моделей применяемых прессов выполняется на стадии ТПП ($AЭ_u$). Построенные модели заносятся в БД, что позволяет их использовать для выполнения различных расчетных исследований. Формирование таких объектов, как $AЭ_u$ позволяет объединить геометрическую информацию об инструменте с его эксплуатационными параметрами.

Выбором варианта ТПП задаются соответствующие ограничения информации. Технолог может выбрать необходимый инструмент из перечня инструмента, разре-

шенного к применению для данной операции и типа соединения. Выбор инструмента может быть выполнен по различным критериям: технические параметры инструмента, габариты, масса и т.д.

Формирование БД разрешенного к применению импульсного инструмента выполняется на основании их аналитических эталонов $AЭ_u$, которые содержат всю необходимую и достаточную информацию о применяемом инструменте.

Геометрические характеристики пневмоимпульсного инструмента дают описание геометрии внутреннего и наружного контуров инструмента, что позволяет оценить энергетические возможности инструмента и оценить его «вписываемость» в систему ограничений соединения.

Система кодирования конструкции импульсного инструмента с помощью геометрических характеристик может быть сформирована на принципах фиксирования типовых элементов, на которых построена система ограничений клепанных соединений. Например, система кодирования конструкций переносных прессов включает 25 геометрических характеристик [5].

Для выбора инструмента, кроме геометрических характеристик их конструкций, необходимо определить и другие характеристики: тип инструмента, тип силового агрегата, усилие на рабочем органе и т.д. Таким образом, в качестве информационного сопровождения сборочных процессов формируется БД разрешенных к применению технологических операций ($TПП_{соед}$), соответствующего инструмента, приспособлений и оборудования ($AЭ_u$, $AЭ_{пр}$, $AЭ_{оборуд}$) (рис. 3) – внутренние связи АЭ деталей и соединений, входящие в состав. При формировании ТП сборки активно используется как состав изделия ($AЭ_{дет}$) так и связи между ними в $AЭ_{соед}$ (ссылки 1 – 7). При формировании процессов сборки используются АЭ сборки ($AЭ_{сб}$), типовые ТП (ссылки 8; 9), которые в значительной степени определяются используемым инструментом, оборудованием и оснасткой (11, 12, 13, 14 – ссылки на информацию об оборудовании, приспособлениях и оснастке).

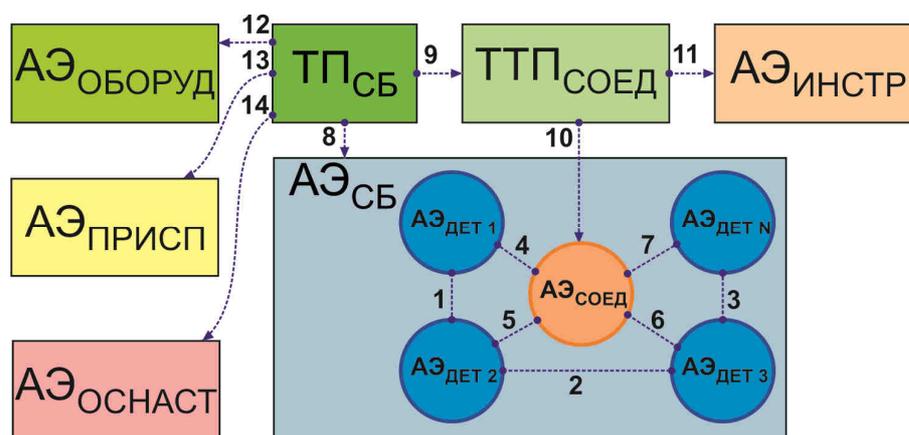


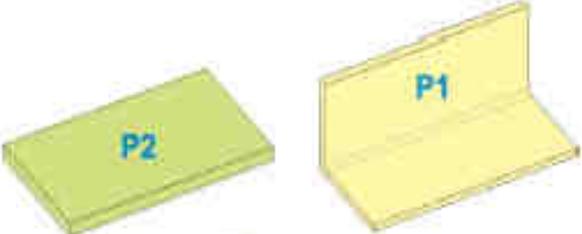
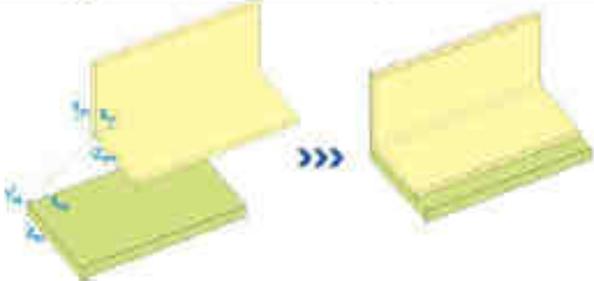
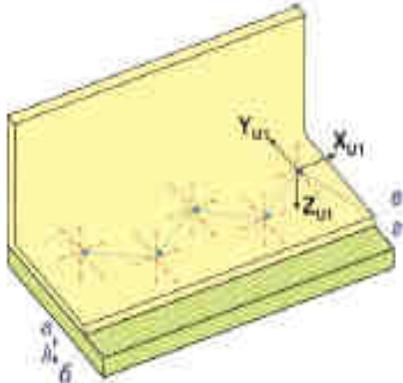
Рис. 3. Схема информационного сопровождения процесса сборки

Наличие модели процесса размещения элементов соединения ($MП_{разм}$) позволяет оценить возможность перемещения оборудования в зону выполнения соединения, соотнести размеры необходимой рабочей зоны оборудования с инструментом и свободной зоны реальной конструкции.

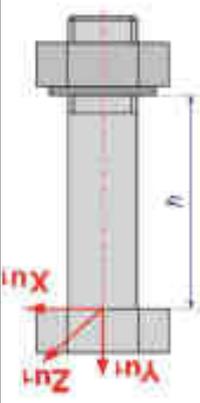
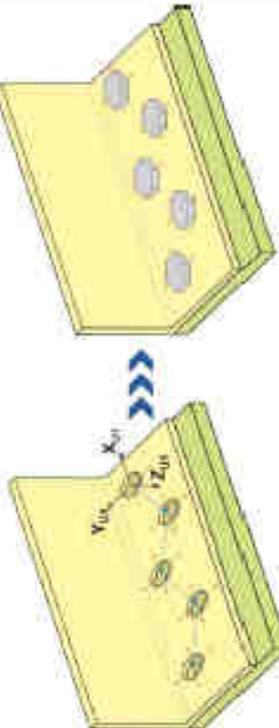
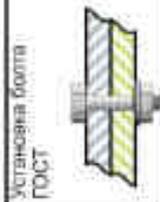
Обобщенные данные по формированию соединения на этапах технической подготовки изделия к производству представлены в табл. 1.

Таблица 1

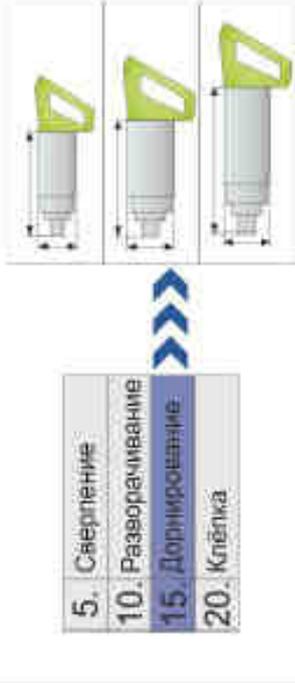
Формирование соединения на этапах технической подготовки изделия к производству

Этап	Вид работ	Используемая информация	Формируемая информация	Эскиз
Конструирование	Проектирование элементов конструкции	-	$AЭ_{дет}$	
	Позиционирование деталей в сборке с использованием функций и инструментальных средств CAD систем	$AЭ_{дет}$	$AЭ_{сб}$	
	На основании расчетов площади поперечного сечения соединяемых элементов количество и размещения крепежных элементов	$AЭ_{дет}, AЭ_{сб}$	$МП_{разм}$	

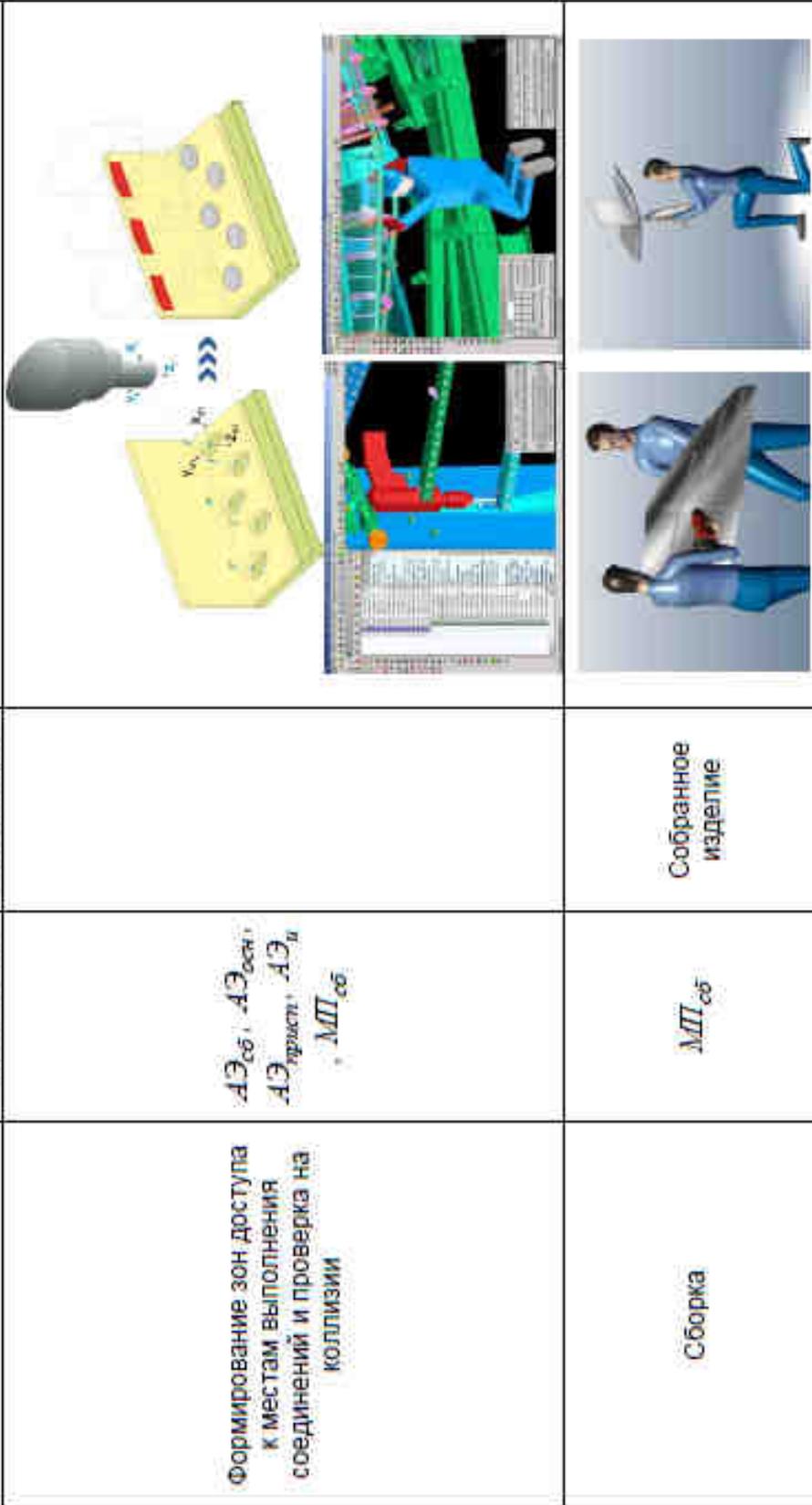
Продолжение таблицы 1

Этап	Вид работ	Используемая информация	Формируемая информация	Эскиз												
	Выбор элементов крепежа	$AZ_{стл.iod}$, $AZ_{дет.}$, $AZ_{сб}$	$AZ_{креп}$													
	Автоматическое моделирование объемов вычитаемых тел для создания отверстий в соединяемых деталях с использованием функций CAD системы	$AZ_{креп}$	$AZ_{отв}$													
	Формирование эталона соединения	$AZ_{дет.}$, $AZ_{сб}$, $AZ_{отв}$	$AZ_{соед}$													
Технологическая подготовка производства	Выбор типового ТП для реализации соединения	$AZ_{соед}$, БД $ТПП_{сб}$	$ТП_{сб}$	 <table border="1" data-bbox="1244 212 1412 705"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Нормочас</th> <th>Комментарий</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ТПП1</td> <td>0,15</td> <td>Импортирует указанный файл, проверяется его целостность</td> </tr> <tr> <td>ТПП2</td> <td>0,1</td> <td>Импортирует указанный файл</td> </tr> <tr> <td>ТПП3</td> <td>0,15</td> <td>Импортирует импортный файл</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Нормочас	Комментарий	ТПП1	0,15	Импортирует указанный файл, проверяется его целостность	ТПП2	0,1	Импортирует указанный файл	ТПП3	0,15	Импортирует импортный файл
Наименование	Нормочас	Комментарий														
ТПП1	0,15	Импортирует указанный файл, проверяется его целостность														
ТПП2	0,1	Импортирует указанный файл														
ТПП3	0,15	Импортирует импортный файл														

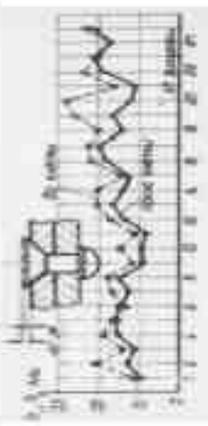
Продолжение таблицы 1

Этап	Вид работ	Используемая информация	Формируемая информация	Эскиз
	<p>Выбор и проектирование оснастки, инструмента, приспособлений</p>	<p>АЗ_{сб}, ПП_{сб}</p>	<p>АЗ_{осн}, АЗ_{трисп}, АЗ_и</p>	
	<p>Выбор инструмента из списка разрешенного к применению</p>	<p>БД_и, АЗ_{дет}, АЗ_{сб}, АЗ_{осн}</p>	<p>АЗ_и</p>	
	<p>Формирование модели процесса сборки и контроля</p>	<p>АЗ_{дет}, АЗ_{сб}, АЗ_{осн}, АЗ_{трисп}, АЗ_и</p>	<p>МП_{сб}, МП_{контроль}</p>	

Продолжение таблицы 1

Этап	Вид работ	Используемая информация	Формируемая информация	Эскиз
Производство	Сборка	<p>АЭ_{сб}, АЭ_{осн}, АЭ_{трасс}, АЭ_и, МП_{сб}</p> <p>Формирование зон доступа к местам выполнения соединений и проверка на коллизии</p>	Собранное изделие	

Окончание таблицы 1

Этап	Вид работ	Используемая информация	Формируемая информация	Эскиз
	Измерение	МП контроль	П _{сб}	
	Контроль	ДЭ _{сб} , П _{сб}	-	

Выводы

1. Разработана (предложена, реализована) параметрическая модель объекта – соединение, описывающая его функциональные, конструктивные и технологические особенности, для обеспечения рационального варианта технологического процесса и выбора применяемого инструмента с учетом особенностей конструкции объекта сборки.

2. Получила дальнейшее развитие теория ТПП представлением сборочных операций последовательностью процессов формирования соединений с применением моделей оснастки, инструментов и приспособлений для снижения трудоемкости подготовки производства при обеспечении наглядности сборочных процессов в конструкции изделия.

3. Полученные алгоритмы моделей соединений могут быть использованы при разработке приложений к эксплуатируемым CAD/CAM системам для описания технологических процессов сборки на этапах технической подготовки производства объектов АТ.

Список литературы

1. Погосян, М.А. Автоматизированная технологическая подготовка производства самолета Sukhoi Superjet 100 [Текст] / М.А. Погосян, А.И. Пекарш, О. С. Сироткин, Ю. М. Тарасов, С. О. Огарков, Д. Ю. Стрелец // Наука и технологи в промышленности. – 2011. – №3. – С. 30 – 35.

2. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А. Г. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. – 608 с.

3. Формирование информации о технологических характеристиках объектов производства с использованием их аналитических методов описания в среде CAD/CAM систем / Ю.А. Воробьев, И.В. Бычков, Н.В. Нечипорук, Н.И. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2017. – Вып. 77. – с. 29 – 38.

4. Основы технологической подготовки производства в авиастроении [Текст]: учеб. пособие / В.Е. Зайцев, Ю.М. Букин, Ю.А. Воробьев, А.П. Мельничук. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2012. – 184 с.

5. Руководство по технологичности самолетных конструкций / Под общ. ред. П.Н. Беянина. – М.: НИАТ, 1983. – 720 с.

Поступила в редакцию 29.11.2017

Організація процесу формування з'єднань при технічній підготовці виробництва авіаційної техніки

Дано опис авіаційної техніки як об'єкта складання; показано формування аналітичного еталона з'єднання з використанням моделей зв'язків, аналітичних еталонів кріпильних елементів, отворів під кріпильні елементи і моделей процесу їх розміщення; наведено механізм формування з'єднань на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва; дана схема інформаційного супроводу процесу

складання.

Ключові слова: авіаційна техніка, складально-монтажні роботи, технічна підготовка виробництва, з'єднання, кріпильний елемент, CAD / CAM система, аналітичний еталон.

Organization of the Formation of Joints in the Technical Preparation of Aircraft Production

The description of aeronautical engineering as an assembly object is given; shows the formation of an analytical reference standard using communication models, analytical standards of fasteners, holes for fastening elements and models of the process of their placement; the mechanism of formation of connections at the stages of design and technological preparation of production is given; the scheme of information support of the assembly process is given.

Keywords: aeronautical engineering, assembly work, technical production preparation, joint, fastening element, CAD / CAM system, analytical standard.

Сведения об авторах:

Воробьев Юрий Анатольевич – канд. техн. наук, профессор, профессор каф. 107 «Автомобилей и транспортной инфраструктуры», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Бычков Игорь Валерьевич – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. 104 «Технологии производства летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Нечипорук Николай Васильевич – д-р техн. наук, профессор, и.о. ректора, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.