

Формализация и алгоритмизация процессов сборки в самолетостроении

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

На основе структуры изделия машиностроительного производства предложена теоретико-множественная модель декомпозиции летательного аппарата. Проведена классификация элементов, входящих в разные виды сборок, среди которых были обозначены: базовая и каркасные элементы, детали для передачи сосредоточенных усилий, крепеж. Рассмотрена структура самолетостроительного предприятия и проведено закрепление элементов летательного аппарата (ЛА) за конкретными рабочими местами. Формализованы необходимые условия для реализации технологических операций сборки элементов ЛА. Предложен алгоритм реализации типового техпроцесса сборки узлов методом виртуальных баз с использованием специализированных переналаживаемых приспособлений с ЧПУ и робототехнических систем.

Ключевые слова: технологические процессы, декомпозиция, операторы преобразования, летательный аппарат, деталесборочные единицы.

Введение

Известной особенностью авиастроительной отрасли является то, что удельные затраты производства сокращаются с ростом накопленного выпуска изделий одного типа [1]. Одной из причин возникновения данной зависимости является малая степень автоматизации самолетостроительного производства (в особенности сборки летательных аппаратов (ЛА)) даже в передовых зарубежных странах и потребность в больших объемах высококвалифицированного ручного труда. Для автоматизации сборочных процессов необходимо провести системный анализ самолетостроительных производств отечественных предприятий как совокупности принципиальных организационно-технологических решений, технологических процессов и компоновочных схем.

Теоретико-множественное представление сборочного производства

Установленные на основании технологического членения технические и Рассмотрим сборочное производство, как завершающую стадию изготовления ЛА в качестве подсистемы, образующей самостоятельную большую и сложную производственно-технологическую единицу авиационного предприятия. Сборочное производство характеризуется наличием многовариантных технологических процессов и технологических средств сборки, объединенных на специализированных участках сборки, исходной конструктивно-технологической и нормативно-технической документации.

При рассмотрении организационно-технологических решений сборочных процессов самолетостроительных производств, можно выполнить их упрощенную типизацию на основе следующих признаков: тип участка сборки (в зависимости от вида сборочной единицы ЛА); тип используемого технологического оборудования сборки; тип используемого транспортного оборудования; класс ЛА.

В отдельных случаях в моделях необходимо предусмотреть учет процессов монтажа отдельных единиц оборудования.

Для компьютеризации процессов создания и управления современным

авиастроительным производством необходим синтез формализованных моделей, которые должны максимально быть приближены к реальным условиям. Для типовых схем сборки элементов структурной декомпозиции необходимо составить алгоритмы функционирования участков самолетостроительного предприятия.

Структура любого изделия машиностроения имеет сложный, иерархический вид [2]. При этом, деталесборочную единицу (ДСЕ) любого уровня с позиций теоретико-множественного представления можно формализовано представить как результат объединения: ДСЕ нижних уровней, деталей, составляющих ДСЕ (произведенных технологическими цехами непосредственно на данном предприятии), покупных изделий и крепежа:

$$D^i = \{D_t^{i+1}\} \cup \{DS_s\} \cup \{P_v\} \cup \{K_q\},$$

где D^i – сборка i -го уровня; D_t^{i+1} – t -я сборка $i=1$ уровня; DS_s – s -я деталь, изготовленная на предприятии; P_v – v -е изделие; K_q – q -й элемент крепежа.

Таким образом, индекс i , $i = 1 \dots N$ показывает уровень декомпозиции и зависит от сложности изделия. Чем больше уровней декомпозиции N , тем сложнее организационно-технологические процессы сборки изделия.

Особенностью структурной декомпозиции планера самолета PS является его декомпозиция на агрегаты AS_j^i , $j = 1 \dots n_{AS}$, отсеки OS_k^i , $k = 1 \dots n_{OS}$, секции $\{SS_l^i\}$, $l = 1 \dots n_{SS}$, панели $\{PS_m^i\}$, $m = 1 \dots n_{PS}$, узлы $\{US_r^i\}$, $r = 1 \dots n_{US}$, детали $\{DS_s^i\}$, $s = 1 \dots n_{DS}$, покупные изделия $\{P_v^{i=1}\}$ и крепеж $\{K_q^{i=1}\}$:

$$PIS = \{AS_j^{i=1}\} \cup \{OS_k^{i=1}\} \cup \{SS_l^{i=1}\} \cup \{PS_m^{i=1}\} \cup \{US_r^{i=1}\} \cup \{DS_s^{i=1}\} \cup \{P_v^{i=1}\} \cup \{K_q^{i=1}\}$$

Агрегат – это часть планера, состоящая из отсеков, секций, панелей, узлов и деталей, скомпонованных по функциональному признаку:

$$AS^i = \{OS_k^{i+1}\} \cup \{SS_l^{i+1}\} \cup \{PS_m^{i+1}\} \cup \{US_r^{i+1}\} \cup \{DS_s^{i+1}\} \cup \{P_v^{i+1}\} \cup \{K_q^{i+1}\}$$

Основным агрегатом является фюзеляж, к которому в определенной последовательности пристыковывают все остальные агрегаты: центроплан, крылья, хвостовое оперение, шасси и т. д. Общее количество агрегатов – n_{AS} .

Отсек – часть агрегата, ограниченная стенками или перегородками (шпангоутами). Отсеки могут быть включены в планер самолета как самостоятельная ДСЕ, так и в составе агрегата. Как правило, в отсеках должна быть обеспечена надёжная герметизация.

Рассмотрим декомпозицию отсека i -го уровня:

$$OS^i = \{SS_l^{i+1}\} \cup \{PS_m^{i+1}\} \cup \{US_r^{i+1}\} \cup \{DS_s^{i+1}\} \cup \{P_v^{i+1}\} \cup \{K_q^{i+1}\}.$$

Секция – конструктивный элемент планера самолета, в составе которого основными элементами является набор панелей. Секция может быть включена в планер самолета как самостоятельная ДСЕ, так и в составе отсека, агрегата. Декомпозиция секции i -го уровня:

$$SS^i = \{PS_m^{i+1}\} \cup \{US_r^{i+1}\} \cup \{DS_s^{i+1}\}$$

Панель (PS) – наименьший конструктивный элемент планера самолета, в составе которого включена базовая деталь сложной геометрической формы. На базовую деталь с помощью элементов крепежа K_n устанавливают каркасные элементы, детали для передачи сосредоточенных усилий и компенсаторы.

Панель может быть включена в планер самолета, как самостоятельная ДСЕ, так и в составе отсека, агрегата, секции.

Узел (US) – наименьший конструктивный элемент планера самолета, в составе которого включена базовая деталь плоской формы. На базовую деталь с помощью элементов крепежа K_n устанавливают каркасные элементы, детали для передачи сосредоточенных усилий и компенсаторы. Узел может быть включен в планер самолета как самостоятельная ДСЕ, так и в составе отсека, агрегата, секции.

Следовательно, множество сборок самолета включает в себя планер, агрегаты, отсеки, секции, панели и узлы:

$$D = PIS \cup \{AS_j\} \cup \{OS_k\} \cup \{SS_l\} \cup \{PS_m\} \cup \{US_r\}.$$

Наименьшие конструктивные элементы, такие как панели и узлы, состоят из деталей (базовой детали, каркасных элементов, деталей для передачи сосредоточенных усилий, компенсаторов) и крепежных элементов (табл.).

Табл. Состав деталей, входящих в разные виды сборок

Виды сборок (узлы, панели)	Базовая деталь	Каркасные элементы	Детали для передачи сосредоточенных усилий	Крепежные элементы	Наличие компенсаторов
Нервюра	Стенка	Пояса, стойки, накладки	Кронштейны, фитинги	Заклепки, болты	+
Шпангоут	Стенка	Пояса, стойки	Кронштейны, фитинги	Заклепки	+
Лонжерон	Стенка	Пояса, стойки	Кронштейны, фитинги	Заклепки, болты	+
Панель	Обшивка	Пояса, стрингера	Кронштейны, фитинги	Болты, анкерный крепеж	+
Перегородки	Стенка	Пояса, уголки выштамповки	Никаких (распределенное усилие от давления)	Заклепки	
Стенки	Стенка	Пояса, стойки, накладки	Кронштейны	Заклепки, болты	+

Для организационных задач управления сборкой важно представить модель сборочных процессов самолетостроительного предприятия, т.к. работники постоянно взаимодействуют друг с другом на разных уровнях в процессе создания изделия. Т.к. процесс их взаимодействия отражает процесс управления сборкой планера самолета, то можно сделать вывод о том, что система внутреннего обмена информацией имеет не менее сложную иерархическую структуру, корнем которой является отдел сборки авиастроительного предприятия:

$$FPA = FA \cup SUA,$$

где FPA – отдел сборки авиастроительного предприятия; FA – цех

окончательной сборки, **SUA** – цех агрегатной сборки.

Цех агрегатной сборки состоит из участков: узловой сборки **LCA**, сборки панелей **ASP**, секций **IDS** и отсеков **ASB**:

$$SUA = LCA \cup ASP \cup IDS \cup ASB.$$

Каждый участок сборки представляет собой множество рабочих мест **RM** с закрепленным обеспечением технологических процессов сборки. Рассмотрим формализованную модель участка узловой сборки: $LCA = \{RM_z\}$, $z = 1 \dots nrm$, где nrm – количество оборудованных рабочих мест.

Процесс создания формализованной модели сборочных процессов происходит в процессе закрепления элементов самолета за конкретными рабочими местами. Работа цеха агрегатной сборки представлена бинарным отношением между элементами планера самолета и рабочими местами:

$$S_{D, RM} = \begin{bmatrix} OS_k & RM_z \\ \vdots & \vdots \\ SS_l & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ PS_m & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ US_r & \vdots \end{bmatrix}.$$

Каждое рабочее место, как элемент производственной структуры может иметь соответствующую специализацию:

$$S_{RM_z, T_j} = \begin{bmatrix} RM_1 & \{T_j\}_1 \\ \vdots & \vdots \\ RM_{nrm} & \{T_n\}_n \end{bmatrix},$$

где S_{RM_z, T_j} – бинарное отношение между элементами производственной структуры и подмножеством технологий T_j , которые используются на этом участке.

Конечное изделие является результатом основного сборочного технологического процесса, который реализуется в цехе окончательной сборки. На предприятиях с достаточно мощной производственной базой, имеющих заказы на большие объемы однотипной продукции, в основном, применяются методы организации массового и крупносерийного производства, которые реализуются, в основном, в виде конвейерных систем.

Средние и малые предприятия, которые производят сравнительно небольшие объемы выпускаемой продукции и быстро осуществлять смену номенклатуры изделий (с учетом рыночной конъюнктуры) строят систему организации производства на принципе формирования мобильных рабочих зон

(постов), где производится до нескольких десятков разнообразных операций по монтажу в соответствии с принятой технологией ориентированной на конкретное изделие.

С позиций теоретико-множественного представления необходимо закрепить технологическую операцию за конкретным рабочим местом (постом)

$$TO_i \rightarrow RM_z,$$

где TO_i – i -я технологическая операция, RM_z – z -е рабочее место.

Рабочие места (посты) должны работать таким образом, чтобы для каждой сборочной операции, к моменту ее выполнения, должен быть поставлен весь комплект ДСЕ, комплектующих и крепежа для ее реализации. Это позволит обеспечить бесперебойность процесса сборки элементов планера самолета.

Это правило должно выполняться для техпроцессов сборки ДСЕ всех уровней.

Кроме этого, необходимо учитывать, что для реализации технологических операций сборки на каждом рабочем месте должен быть в наличии полный комплект технологической оснастки и инструмента, а также подготовленный кадровый состав, способный выполнять поставленные задачи:

$$\{TenO\} \cup \{I\} \cup \{Per\} \in RM_z.$$

Алгоритмическая модель сборочного производства узлов

Для исследования динамики процесса сборки необходимо построить формализованную модель, наиболее адекватно отображающую реальный процесс.

Исходными данными для построения формализованной алгоритмической модели являются:

- спецификации сборочных чертежей для сборок всех уровней;
- сборочные технологические процессы, где указана последовательность объединения всех составляющих на всех узлах и постах с указанием времен выполнения операций.

Будем считать при построении первичной модели, что основные сборочные процессы являются линейными. Пространственно-временная формализованная модель сборочного процесса формируется путем наложения множества сборочных технологических алгоритмов на структуру изделия.

Для формализованного описания технологических алгоритмов был рассмотрен язык регулярных схем алгоритмов (РСА), описанный в работах [3,4].

Рассмотрим формализацию типового техпроцесса сборки узлов методом виртуальных баз с использованием специализированных переналаживаемых приспособлений с ЧПУ и робототехнических систем.

Шаг 1. Пока не будут установлены все имеющиеся фиксаторы (α_1), проводят их установку по электронному шаблону приспособления Y_1 .

Шаг 2. Универсальный робот берет базовую деталь из автоматизированного склада и устанавливает ее в приспособление Y_2 .

Пока в списке каркасных элементов не рассмотрены все типы деталей α_2 и

пока в списке каркасных элементов не установлены все детали текущего типа α_3 выполняют шаг 3.

Шаг 3. Процесс установки каркасных элементов.

Шаг 3.1. Универсальный робот берет деталь из автоматизированного склада и устанавливает ее в приспособление согласно виртуальной электронной модели собираемого узла Y_3 .

Шаг 3.2. Фиксаторы приспособления закрываются Y_4 .

Шаг 3.3. Сверление отверстий в пакете «базовая деталь - каркасные элементы» Y_5 .

Шаг 3.4. Соединение пакета «базовая деталь - каркасные элементы» Y_6 .

Пока все детали для передачи сосредоточенных усилий не установлены α_4 выполняют шаги 4-6.

Шаг 4. Универсальный робот берет деталь для передачи сосредоточенных усилий из автоматизированного склада и устанавливает его согласно виртуальной электронной модели собираемого плоского узла и удерживает ее в данном положении Y_7 .

Шаг 5. Сверление отверстий в пакете «деталь для передачи сосредоточенных усилий - каркасные элементы» Y_8 .

Шаг 6. Соединение пакета «деталь для передачи сосредоточенных усилий - каркасные элементы» Y_9 .

Обобщенный технологический алгоритм, для сборки узлов в операциях PCA:

$$R = \alpha^1 \{Y_1\}_{\alpha^1} \cdot Y_2 \cdot \alpha^{2 \cup \alpha^3} \{Y_3 \cdot Y_4 \cdot Y_5 \cdot Y_6\}_{\alpha^2 \cup \alpha^3} \cdot \alpha^4 \{Y_7 \cdot Y_8 \cdot Y_9\}_{\alpha^4}.$$

Выводы

В статье предложен подход к формальному описанию сборки элементов ЛА, который предоставляет возможность кратко и наглядно отразить производственные процессы, организуемые с использованием специализированных переналаживаемых приспособлений с ЧПУ и робототехнических систем. Получаемое формализованное описание производственных процессов обладает большей наглядностью и компактностью, по сравнению с описанием технологических процессов в виде последовательности технологических операций.

Перспективное развитие предлагаемой методики состоит в создании визуальной имитационной модели сборочных процессов и определения соответствия элементов полученной визуальной модели составляющим обобщенного технологического алгоритма. Таким образом, формируется функционально полное и прозрачное отображение процессов на уровнях «технологический процесс – формализованная модель – визуальная модель».

Список литературы

1. Клочков Владислав Валерьевич Управление инновационным развитием гражданского авиастроения /Монография - М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009 – 282 с.
2. ГОСТ 2.101-68 – ЕСКД. Виды изделий. – Взамен ГОСТ 5290-60; действует с 1971-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 3 с.
3. Илюшко В.М. Методы и модели информационной технологии проектирования метасистем: дис. д-ра техн. наук: 05.13.06 / В.М. Илюшко. – Харьков, 1998. – 451 с.
4. Чижухин Г.Н., Кулагин О.В. Синтез алгоритмов программ регулярными выражениями алгебры событий / Г.Н. Чижухин, О.В. Кулагин [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://systech.miem.edu.ru/2003/n1/Chizhuhin.htm>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. Ф.В. Новиков, Харьковский национальный экономический университет, Харьков

Поступила в редакцию 3.12.12.

Формалізація та алгоритмізація процесів складання в літакобудуванні

На підставі структури виробу машинобудівного виробництва запропоновано теоретико-множинну модель декомпозиції літального апарату. Проведено класифікацію елементів, що входять до різних видів складання, серед яких було позначено: базові й каркасні елементи, деталі для передання зосереджених зусиль, кріплення. Розглянуто структуру літакобудівного підприємства та проведено закріплення елементів літального апарату (ЛА) за конкретними робочими місцями. Формалізовано необхідні умови для реалізації технологічних операцій складання елементів ЛА.

Запропоновано алгоритм реалізації типового техпроцесу складання вузлів методом віртуальних баз з використанням спеціалізованих переналаджуваних пристроїв з ЧПУ й робототехнічних систем.

Ключові слова: технологічні процеси, декомпозиція, оператори перетворення, літальний апарат, деталескладальні одиниці.

Formalization and algorithmic processes in aircraft assembly

Based on the structure of the product engineering production offered a set-theoretic model of the decomposition of the aircraft. The classification of the elements contained in different types of assemblies, of which have been identified: the base and frame elements, details for the transfer of concentrated effort, fasteners. The structure of the aircraft manufacturing enterprise and held by fixed aircraft (LA) for specific jobs. Formalized the necessary conditions for the implementation of technological assembly operations element of LA.

The algorithm implementing the model building process technology nodes using virtual databases using specialized devices readjustable CNC and robotic systems.

Keywords: processes, decomposition, operators, aircraft detalesborochnye unit.