

МЕТОДИКА ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УЗЛОВОЙ СБОРКИ В АВИАСТРОЕНИИ

© 2012 В. А. Барвинок, С. Ф. Тлустенко

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Исследованы задачи структурного проектирования технологических процессов, связанные с определением необходимого состава элементов сборок и операторов преобразований в их оптимальной взаимосвязи, которые могут быть сведены к шести типовым задачам определения структуры процесса или объекта. Описание вариантов упорядоченных получаемых структур из номенклатуры сборочных элементов изделия представлено с указанием очередности их реализации применительно к конкретно установленному элементу с точной координацией на каждом переходе.

Технологический процесс, преобразование, сопряжение, контур, структура, взаимодействие, базы, точность, модель.

В статье рассмотрены проблемы моделирования процессов сборки и повышения качества конструкторско-технологических разработок при переходе к бесплазовому способу производства летательных аппаратов (ЛА). В таких условиях развитие информационных технологий производства изделий обеспечивает и реализацию перспективного принципа параллельного инжиниринга на основе метода трёхмерной мастер-модели объектов производства. Информационной основой технологической подготовки производства является трёхмерный электронный макет изделия как единый носитель геометрии и топологии конструкции для всех последующих разработок специальной технологической оснастки, в том числе: шаблонов, штампов, рабочих болванок, пресс-форм, сборочных приспособлений и т.п. В результате электронная модель даёт возможность параллельного выполнения работ всеми участниками подготовки производства ЛА. Методы использования мастер-модели позволяют значительно сократить затраты на постановку производства. Практически полностью отпадает необходимость в увязочной оснастке. Если электронные макеты деталей в структуре общей модели увязаны в сборке, полностью отпадает необходимость выполнения плоских и объёмных плазов. Использование геометрии с единого математического источника (модели) гарантирует увязку оснастки с точностью 0,01-0,05мм, которая определяется только точностью оборудования с ЧПУ, применяемого для изготовления геометрических элементов оснастки. Изготовление шаблонов выполняется непосредственно с информационного макета детали, а при наличии на предпри-

ятии соответствующей координатно-измерительной техники и необходимого комплекса оборудования с ЧПУ технологический процесс изготовления оснастки теоретически может быть построен без использования шаблонов и особенно трудоёмких в изготовлении объёмных плазов для отработки трасс жгутов и труб. При использовании трёхмерных электронных макетов значительно упрощается также наиболее эффективный текущий контроль изготовленных деталей и элементов оснастки. Так как информационный макет представляет собой трёхмерное изображение математической модели, описанной в пространстве в виде координированных поверхностей, линий, точек, то наличие координат любой точки макета позволяет выполнять вычисление любых заданных размеров и проверку поверхностей с помощью координатно-измерительных машин.

Однако развитие систем автоматизированного проектирования (САПР) высокого уровня требует совершенствования математического аппарата формализованного описания моделей технологических систем [1]. В таких условиях точный анализ конструктивно-технологических схем является теоретической основой инженерного метода технологического проектирования сборочных процессов, базирующихся на выявлении закономерностей формирования выходных параметров качества и точности сборок на базе математического моделирования технологических процессов. Следовательно, выбор математического аппарата и системы представлений операторов преобразований сборочного пространства должен быть связан с общим и конкретным определением

применяемых тензоров и метрических тензоров, отображающих переходы сборочных операций. Требуемые понятия введём таким образом, чтобы и линейная функция, и билинейная функция, и линейный оператор как тензор второго ранга преобразования сборочного пространства в сборочных операциях производства ЛА, и многие другие линейные и полилинейные отображения одного сборочного пространства в другое в общей иерархической структуре можно было включить в единое понятие тензора и оператора преобразований. Тензоры в этом случае отличаются друг от друга типом и рангом. При рассмотрении различных отображений введём следующую компактную запись:

$$\Phi : P \rightarrow Q. \quad (1)$$

В этой записи P – множество элементов сборок, которое отображается в множество Q , где Q – сборки последующих уровней сложности; φ – отображение, сопоставляющее элементу $p \in P$ элемент $q \in Q$: $\varphi(p) = q$. Если отображение φ линейное (полилинейное), будем отмечать его надписью над стрелкой. Запись (1) эквивалента утверждению: отображение φ сопоставляет элементу из пространства (множества) P элемент из пространства (множества) Q . Состав технологических операторов, реализуемых в процессе сборки, имеет иерархическую структуру. На верхнем уровне технологические операторы различаются по видам работ. Например, при узловой и агрегатной сборке технологический процесс включает в себя следующие операции: подготовка деталей (узлов) к сборке; предварительная установка деталей (узлов); съём деталей (узлов); доводка деталей (узлов); окончательная установка деталей (узлов); выполнение соединений; выемка сборочной единицы из приспособления (стапеля).

Последовательность выполнения указанных операций в зависимости от уровня развития производства не всегда однозначно соответствует очередности их перечисления. Тенденция повышения требований к качеству внешней поверхности дозвуковых и сверхзвуковых самолётов по ОСТ1.02507-84 и ОСТ1.02581-86 обуславливает сложность получения и измерения параметров размеров и шероховатости поверхности, особенно параметра R_z в диапазоне 2...5 мкм. Однако при этом следует учитывать также особен-

ности построения размерных цепей и то, что если первая операция (подготовка к сборке) относится одновременно ко всем элементам сборочной единицы, а последняя (выемка из приспособления) — к сборочной единице в целом, то вторая, третья и каждая последующая операция выполняются отдельно для каждого элемента сборочной единицы и указанная очерёдность их реализации сохраняется только применительно к конкретному установленному элементу, соответствующему конкретным контурам соединения. Эти особенности выполнения операций сборки связаны с местом контуров, реализуемых тем или иным технологическим оператором, в структуре контуров сборочной единицы. Поэтому при детальном анализе последовательности выполнения технологических операторов сборки необходимо рассматривать эти отношения применительно к отдельным контурам сборочной единицы A или входящих в нее элементов $a_i \in A$. Для этого разделим контуры $F(A)$ на две группы: $F(A)^0$ – совокупность контуров сборочной единицы в целом, т. е. таких, где каждому контуру $F_j \in F(A)^0$ соответствует соединение (A_j), включающее в себя не менее двух элементов конструкции, входящих

в сборочную единицу, и $F(A)^s = \bigcup_{i=1}^n F(a_i)^0$

как совокупность контуров отдельных элементов конструкции сборочной единицы, рассматриваемых независимо от контуров других элементов [2].

Поскольку контуры $F(A)^s$ состоят из подмножеств контуров $F(a_i)^0$ отдельных элементов конструкции сборочной единицы, последовательность реализации всей группы контуров $F(a_i)^0$ среди контуров $F(A)$ сборочной единицы соответствует последовательности установки элементов A_i . В состав $F(a_i)^0$ входят контуры формы и положения элемента a_i , а также контуры, подлежащие доводке (доработке) в процессе установки $a_i \in A_i$. Состав и последовательность операторов реализации этих контуров в процессе установки можно определить по табличным, сетевым, перестановочным и другим моделям. Применение сетевых моделей обычно требует детализации особенностей выполнения сборочных операций. Пример одной из таких моделей показан на рис. 1. Реализация же каждого множества $F(a_i)^0$ контуров как единого целого рассматривается как

этап, соответствующий одному обобщенному оператору установки элемента $a_i \in A$. Последовательность операторов установки можно определять по табличным или сетевым моделям (при использовании типовых технологических процессов установки) или перестановочным моделям (при проектировании единичных технологических процессов).

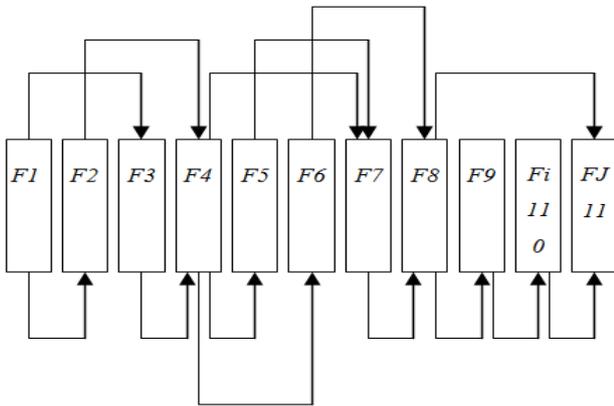


Рис. 1. Структура модели операций установки детали:

$F1$ — контур исходного положения для разметки; $F2$ — контур разметки; $F3$ — контур положения для доработки; $F4$ — контур припуска, $\delta \leq 2$ мм; $F5$ — контур припуска; $3 \leq \delta \leq 4$ мм; $F6$ — чистовой контур припуска; $F7$ — контур заусенцев, $3 \leq \delta \leq 4$ мм; $F8$ — контур защитного покрытия кромки, $3 \leq \delta \leq 4$ мм; $F9$ — контур окончательного положения, детали, F_i — конъюнктивная матрица контуров; F_j — дизъюнктивная матрица контуров

Окончательно в состав контуров $F(A)$ сборочной единицы входят контуры всех конструктивных соединений, контуры герметизации, защитных покрытий и другие, относящиеся к сборочной единице в целом. Структура каждого контура соединения достаточно сложна, поэтому состав и последовательность операторов для них определяется по табличным или сетевым моделям, картам технологической документации. Выполнение принципа системного единства при синтезе структуры технологической системы по структурным математическим моделям, а численных расчётов — по аналитическим моделям обеспечивается их адаптацией к различным видам вычислительной техники и способам постановки задачи выбора оптимальной структуры модели технологического процесса (ТП). Принимая во внимание сложность разработки структуры для стохастических ТП, перед формализованной постановкой задачи уточним её содержательную формулировку. Принимаем, что каждый ТП можно характеризовать набором

приписываемых ему структурных компонентов для моделирования текущего режима, а также весовыми характеристиками относительной важности этих компонентов в множестве структур моделей при учёте текущего режима функционирования. Глобальная цель оптимизации структуры ТП — устранение неадекватности всех формализованных процедур, применяемых при разработке технологических систем. Оптимизация заключается в выборе такого набора элементов структурных компонентов, когда после их включения в окончательно сформированную модель все неадекватности описания ТП будут ослаблены или устранены.

Поставленным целям для каждого возможного режима функционирования назначаются оценки, по которым определяется приоритетность того или иного элемента данного структурного компонента с назначением веса, определяющего степень их важности.

Проблема перебора множества структур моделей может быть решена при следующем способе постановки и решения задачи формального выбора оптимального подмножества из фиксированного множества вариантов [3].

Пусть задано конечное множество структурных компонентов $D = \{D_1, \dots, D_m\}$, $i = 1, m$, включающее непересекающиеся подмножества $D_i = \{d_{i1}, \dots, d_{ik}\}$, конечное множество режимов функционирования $L = \{l_1, \dots, l_n\}$, $j = 1, n$ и матрицы $A^{(i)}$ размера $k \times n$, элементы которых $a_{icj} = \varphi(d_{ic}, l_j)$, $i = 1, m$, $j = 1, n$, $c = 1, k$ трактуются как значения c -го элемента структурного компонента D_i (строки) в режиме функционирования l_j , представленном столбцом j . Каждому элементу подмножества D_i множества структурных компонентов D приписывается весовая оценка ω_{ic}^0 , $\omega_i^0 = (\omega_{i1}^0, \dots, \omega_{ik}^0)$, определяющая важность элемента d_{ik} для формирования структуры модели ТП.

Пусть I_j^i — столбец с номером j матрицы $A^{(i)}$. Выделим в матрице $A^{(i)}$ какие-либо b строк и пусть множество M_{ij}^b — логически упорядоченный набор из b элементов a_{ibj} матрицы $A^{(i)}$, стоящих на пересечении каждой из выбранных строк с j -м столбцом $M_{ij}^b = \{a_{i1j}, \dots, a_{ibj}\}$, $b < k$. Функции $F_{ij}^b(M_{ij}^b)$, которые определены для всех $j = 1, n$ на всевозможных упорядоченных наборах M_{ij}^b элементов, дают интегральную оценку b -го

варианта i -го структурного компонента.

Иными словами, область определения M^b_{ij} — наборы значений подмножеств множества структурных компонентов D_i на l_j , а F^b_{ij} — оценка этих наборов. Следовательно, индекс b в функции F^b_{ij} будет определять количество возможных вариантов набора элементов (подмножеств) для каждого подмножества D_i структурных компонентов при l_j .

Функции F^b_{ij} будем считать монотонными, когда с увеличением мощности подмножеств значение F^b_{ij} не убывает. Имеется набор чисел P_{ij} , $i=1, m$, $j=1, n$, используемый при задании ограничений снизу на значения F^b_{ij} . Заданы также числа λ_{icr} , $c \neq r$, $i=1, m$, $c, r=1, k$, характеризующие допустимую корреляцию между отдельными элементами в подмножествах D_i при l_j .

Из множества D структурных компонентов для каждого подмножества D_i при l_j из b вариантов необходимо выбрать подмножество $S^{op}_{ij} = \{d_{i1j}, \dots, d_{ibj}\}$ так, чтобы была удовлетворена система неравенств:

$$\max F^b_{ij}(M^b_{ij}) = \max F^b_{ij}(\varphi(d_{i1j}), \dots, \varphi(d_{ibj})) \geq P_{ij}, \\ i = 1, m, j = 1, n.$$

Пороги оптимальности P_{ij} интерпретируются как уровни критериев оптимизации для заданных условий разработки проекта технологической системы. Каждой из поставленных целей соответствует своя функция F^b_{ij} и свой уровень критериев P_{ij} . Чем ниже уровень критериев, тем меньше ресурсов требуется для реализации проекта при определённых условиях производства.

Теоретико-множественный и логический уровни моделирования объектов в иерархической системе математического моделирования объектов на различных уровнях абстрагирования удобны для автоматизации решения задач структур проектирования, когда с математической точки зрения изучаемый на любом уровне абстрагирования объект A имеет один и тот же прообраз \bar{A} , адекватный реальному объекту. В общем случае, для построения структурных моделей объекта проектирования вначале необходимо установить состав свойств контуров, по которым могут быть выделены элементы проектируемого объекта. Состав этих свойств определяется, в первую очередь, назначением объекта и его функциями. Далее устанавливается природа отношений, связывающих элементы и их контуры (геометрические, механические,

функциональные и другие связи).

Тогда ТП сборки по глубине структурирования представляется или как неструктурированный объект A в виде единого целого, или как система взаимосвязанных элементов одного уровня, или как многоуровневая иерархическая система. Соответственно по степени абстрагирования ТП моделируется на уровнях теоретико-множественных – методами теории множеств и теории графов, логических – методами математической логики и количественных – по аналитическим расчётным соотношениям. При этом группируются данные трёх типов: данные о компонентах объекта моделирования в виде множества компонент самого объекта A , множество F контуров как свойства объекта и множества R отношений между компонентами и контурами. Так как понятие контура является обобщающим для таких понятий, как свойства, признак, характеристика, параметр, критерий, то с математической точки зрения логично одни и те же объекты, свойства и отношения рассматривать или как теоретико-множественные A^s, F^s, R^s , или как логические A^h, F^h, R^h , или как количественные A^N, F^N, R^N величины и отношения. Переход с одного уровня на другой осуществляется регламентированными способами с использованием межуровневых отношений, указанием границ и условий перехода одних величин и отношений в другие. На теоретико-множественном уровне моделируются состав компонентов объекта A в виде упорядоченного или неупорядоченного множества $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$. Моделирование состава компонентов объекта A на теоретико-множественном уровне производится в виде упорядоченного или неупорядоченного множества $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$; состава его контуров как $F(A) = (F_1, F_2, \dots, F_m)$. На этом же уровне моделируются составы контуров как $F(a_i) \subseteq F(A)$ компонентов объекта A и задаваемые бинарные отношения R^s между компонентами и контурами, к которым относятся бинарные отношения иерархической подчинённости, смежности и порядка, обусловленные структурными, функциональными, информационными и другими связями между компонентами и контурами объекта как технологической системы, где

можно выделить следующие подмножества:

- подмножество $R^s(A)$ отношений между компонентами объектами A ;
- подмножество $R^s(a_i)$ отношений между a_i и другими компонентами A ;
- подмножества $R^s(F(A))$ и $R^s(F(a_i))$ как отношений между контурами $F(A)$ и $F(a_i)$;
- подмножества $R^s(F_j(A))$ и $R^s(F_j(a_i))$ как отношений между контурами F_j и другими контурами $F(A)$ или $F(a_i)$;
- множество отношений $R^s(A, F(A))$ как отношений между компонентами и контурами объекта A .

Бинарное отношение $R^s(A)$ описывается либо графом $G=(A, C)$, либо булевой матрицей $||c_{i(j)}||_A$ смежности вершин этого графа. Матрица представляет собой подмножество декартова произведения $A \times A$: $||c_{i(j)}||_A = [A \times A] \subseteq A \times A$. В записи $[A \times A]$ первый символ соответствует множеству строк, а второй символ – множеству столбцов булевой матрицы $||c_{i(j)}||_A$. Каждая i -я строка (столбец) матрицы рассматривается как представление бинарного отношения $R^s(a_i)$ между a_i и элементами $(a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_{n-1}})$, для которых элементы строки (столбца) матрицы равны единице. Аналогично описываются бинарные отношения $R^s(F(A))$ между контурами объекта A (в виде булевой матрицы $[F(A) \times F(A)]$), бинарные отношения $R^s(F(a_i))$ между контурами элемента a_i (в виде булевой матрицы $[F(a_i) \times F(a_i)]$) и т.п.

Бинарное отношение $R^s(A, F(A))$ описывает составы контуров элементов A . Это отношение представляется булевой матрицей $||c_{i(j)}||_{A, F(A)}$ как матрицей контуров.

Множество C элементов булевой матрицы или дуг графа рассматривается при этом как объект с составом контуров $F(C)$. Между элементами C и контурами $F(C)$ также возможны бинарные отношения, которые группируются в подмножества $R^s(C)$, $R^s(c_j)$, $R^s(F(C))$, $R^s(F_j(C))$, $R^s(F(c_i))$, $R^s(F_j(c_i))$, $R^s(C, F(C))$. На базе этих данных создаётся математическая модель, охватывающая ту информацию о порождающей среде, которая может быть формализована и представлена средствами системы математического моделирования

объектов. С целью унификации средств обеспечения систем автоматизированного проектирования (САПР) ТП отношения $R^s(A)$, $R^s(F(A))$, $R^s(A, F(A))$ и другие путём эквивалентных преобразований могут быть приведены к регламентированному виду. В результате структурные модели порождающей среды преобразуются в типовые математические модели, на основе которых создаются унифицированные компоненты математического, информационного и программного обеспечения САПР ТП.

Это позволяет создавать типовые математические модели порождающей среды, инвариантные к конкретным объектам проектирования. Математическая модель $S(A)$ объекта A в общем случае имеет вид $S(A) = \{A, F, R\}$, где A — множество элементов; F — множество контуров; R — множество функциональных отношений.

В этой модели A есть отображение элементов реальной подборки A , F — отображение контуров F и R — отображение отношений между элементами и контурами объекта A во взаимодействии с окружающей средой: $F_{вх}$ — входные данные, $F_{вых}$ — выходные данные, $F_{упр}$ — управляющие воздействия, $F_{воз}$ — возмущающие воздействия. Некоторые элементы модели $S(A)$ в конкретных случаях могут быть представлены в неявном виде или вообще отсутствовать: $A = \emptyset$, или $F_{вх} = \emptyset$, $F_{упр} = \emptyset$. Модель $S(A)$ порождающей среды служит для проектирования объектов A_k с составом элементов $A_k \subseteq A$, где содержатся данные о множестве $\{A_1, A_2, \dots, A_N\}$ проектируемых объектов. Построение такой модели основано на свойствах эквивалентности элементов $a_i \in A$, входящих в различные объекты.

Если отношения смежности между элементами модели заданы в виде связного графа $G=(A, C)$, то модель будет связанной, а если граф $G = (A, C)$ не может быть построен как связной, то модель будет несвязанной. В этом случае отношения смежности и порядка между элементами проектируемого объекта A_k могут быть разделены на сочетательные и упорядочивающие. Сочетательные модели применимы в случаях, когда определяется только состав элементов проектируемой сборки, а упорядочивающие — когда определяется и состав, и структурные отношения между элементами проектируемого объекта. Содержание этих преобразований зависит от уровня мо-

делирования. На структурном уровне осуществляются преобразования состава элементов объекта, его контуров и бинарных отношений между элементами и контурами:

- исключение из A_i элемента a_i ;
- добавление в A_i элемента a_j ;
- замена в A_i элемента a_i на a_j ;
- исключение в матрице соединений связи между a_i и a_j , т. е. замена $c_{i(j)}=1$ на $c_{i(j)}=0$;
- введение связи между a_i и a_j т. е. замена $c_{i(j)}=0$ на $c_{i(j)}=1$;
- исключение из $F(A_i)$ контура F_i ;
- добавление в $F(A_i)$ контура F_j ;
- замена в $F(A_i)$ контура F_i на F_j и т. д.

Возможны также преобразования моделей на уровне логических и количественных свойств и отношений.

В общем случае воздействие проектного оператора τ_k описывается отношением

$$F(A)_k = R(F(A)_{k-1}, F(\tau_k)). \quad (2)$$

При проектировании объекта A_i по структурной модели вместо воздействия r_k можно принять воздействие на $(A_i)_{k-1}$ элемента модели a_k . В этом случае вместо отношения (2) будет использоваться отношение вида

$$F(A)_k = R(F(A)_{k-1}, F(a_k)). \quad (3)$$

Это обеспечивает возможность адаптации математических моделей и алгоритмов в иерархической системе математического моделирования. Виды адаптации математических моделей и алгоритмов определяются:

- изменением системы, в которой функционирует проектируемый объект;
- использованием различных средств вычислительной техники; включением в математическое обеспечение САПР моделей и алгоритмов, разработанных в других системах моделирования.

Адаптация математических моделей и алгоритмов к изменившимся условиям проектирования позволяет существенно сократить сроки создания и проведения модификации САПР и повысить эффективность автоматизированного проектирования.

Изменения системы, в которой функционирует проектируемый объект, наиболее наглядно проявляются на примере технологической системы. Модель технологической системы создаётся для моделирования определённых производственных условий при выпуске изделий определённого типа. При изменении производственных условий или

типа выпускаемых изделий необходима адаптация модели производственной системы к новым условиям, которая достигается корректировкой информационного наполнения моделей. Модель производственной системы корректируют в случае изменения состава элементов производственной системы или в случае их модернизации, изменяющей технологические возможности, описываемые в терминах контуров.

Корректировка модели производственной системы с изменением состава контуров выполняется добавлением столбцов, соответствующих новым контурам. В них представляются идентификаторы на пересечении со строками, соответствующими элементам технологической системы при вновь вводимых контурах в процессе проектирования операций сборки. Полученная математическая модель есть отображение технологических операторов на технологические уровни вариантов технологического процесса ТП. Такую взаимосвязь между уровнями технологического процесса ТП и технологическими операторами A в общем виде можно выразить в виде

$$F: \text{ТП} \rightarrow A,$$

$$\text{где } A = \bigwedge_{i=1}^N A^{\sum_{j=1}^S A} = 1.$$

Возможность использования технологических операторов определяется соответствием набора их свойств $\sum_{j=1}^S A$ набору свойств технологической системы: $\sum_{j=1}^S T$. Если A_i реализует Y_i , то $A_i=I$, в противном случае $A_i=0$.

Заключение

Предложенная методика обеспечивает адаптацию различных моделей и алгоритмов, созданных в других системах моделирования, которая осуществляется путём равносильных преобразований, при которых сохраняется физическое содержание, а изменяется только форма представления и описания действующих факторов. При адаптации модели преобразуются по правилам логического построения выбранного класса математических моделей. Такой подход позволяет повысить качество решения задач проектирования технологических процессов сборки, выбора оборудования и инструмента, определения оптимальных маршрутов сборочных операций, которые часто решаются по информационно-логическим табли-

цам или с помощью алгоритмов на дереве решений. Предлагаемый подход обеспечивает методологию автоматизированного проектирования на единой информационной основе и в случаях, когда требуется адаптация математических моделей сборки в ситуациях совершенствования проектирования существующих технологических систем при освоении новых технологий сборки, а также программного обеспечения.

Библиографический список

1. Калачанов, В.Д. Формирование и оп-

тимизация ресурсного обеспечения программ авиастроительного производства [Текст] / В.Д. Калачанов, Е.В. Джимаев // Авиакосмическая техника и технология, 2005. - № 4.

2. Проектирование самолетов [Текст] / С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисийцев [и др.]; под ред. Егера С.М. - М.: Логос, 2005. - 648 с.

3. Чумадин, А.С. Основы технологии производства летательных аппаратов [Текст] / А.С. Чумадин, В.И. Ершов, В.А. Барвинок. - М.: Наука и технологии, 2005. - 912 с.

METHODOLOGY SYSTEMS APPROACH IN MODELS OF TECHNOLOGICAL SUBASSEMBLY IN THE AIRCRAFT INDUSTRY

© 2012 V. A. Barvinok, S. F. Tlustenko

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

Investigated the problem of structural design process of defining the necessary elements of the assembly and operators changer in their optimal relationship, which can be reduced to six typical tasks of determining the structure of the process or options materials. Research ordered structures derived from the range of product assembly components is presented with the sequence their implementation in relation to a specified element, with the exact coordinates for each transition

Process, transformation, element, contour, structure, interaction, databases, the accuracy of the model.

Информация об авторах

Барвинок Виталий Алексеевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: исследование процессов производства летательных аппаратов.

Тлустенко Станислав Федотович, кандидат технических наук, доцент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: titan250@mail.ru. Область научных интересов: исследование взаимосвязи механических свойств материалов от состава, процессов литья и обработки металлов давлением.

Barvinok Vitalie Aleksievich, Member correspondent of the Russian Academy of Sciences; doctor of technical sciences, professor, the Manager chair PAA, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Area of research: interdependence of mechanical properties of materials on the composition, casting processes and metal forming.

Tlustenko Stanislav Fedotovich, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: titan250@mail.ru. Area of research: interdependence of mechanical properties of materials on the composition, casting processes and metal forming.