

УДК 621.015

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕНЗОРОВ И ОПЕРАТОРОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СБОРОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА В ТЕХНОЛОГИЯХ СБОРКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2012 С. Ф. Глустенко

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

Исследованы теоретико-множественные и логические уровни моделирования механических связей между собираемыми элементами конструкции летательного аппарата согласно схемы пространственной взаимосвязи сборочных единиц конструкции изделия при заданных начальных и граничных условиях. Описание характера и траектории движения элемента изделия при сборке представляется на количественном уровне матрицами состояний согласно общего графа сборки изделия. Траектории перемещений описываются методами аналитической геометрии и матриц перемещений, а также операторами, описывающими движение как векторную величину.

*Оператор, преобразование, логический уровень, контур, структура, взаимодействие, базы.*

В последнее время для ускорения и повышения качества конструкторско-технологических разработок новых изделий используется принцип параллельного инжиниринга на основе метода трехмерной мастер-модели объектов производства в авиастроении. Однако такой подход требует совершенствования математического аппарата моделирования технологических систем сборки летательных аппаратов (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 объемных плазов. Использование геометрии с единого математического источника (модели) гарантирует увязку оснастки с высокой точностью, которая определяется только точностью оборудования, применяемого для изготовления геометрических элементов оснастки. Изготовление шаблонов выполняется непосредственно с виртуального макета детали, а при наличии на предприятии координатно-измерительной техники технологический процесс изготовления оснастки может быть построен без использования шаблонов. Особенно больших затрат требует изготовление

объемных плазов для отработки трасс жгутов и труб. При использовании трехмерных электронных макетов значительно упрощается контроль изготовленных деталей и элементов оснастки. Так как макет представляет собой трехмерное 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.

Специфика построения мастер-модели связана с разработкой логико-математических моделей геометрических поверхностей для проверки конструкции на прочность, кинематику и т.д. Если при использовании традиционных методов расчеты на прочность производились в основном для опасных сечений, устанавливаемых априорно, то при использовании электронных моделей проверка прочности производится для всей детали с получением цветной эпюры напряжений. Системы САПР высокого уровня позволяют производить проверку на прочность за несколько минут в течение всего цикла проектирования, например, при выполнении дополнительных отверстий в детали.

Следовательно, выбор математического аппарата и системы представлений операторов преобразований сборочного пространства связан с общим определением применяемых тензоров и метрических тензоров и условий их применения. Требуемые понятия введем таким образом, чтобы и линейная функция, и билинейная функция, и линейный оператор преобразования в сборочных операциях производства изделий авиационной техники, называемый тензором второго ранга, 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 введем следующую компактную запись:

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

В этой записи  $P$  – множество элементов сборок, которое отображается в множество  $Q$ , где  $Q$  – сборки последующих уровней сложности,  $\varphi$  – отображение, сопоставляющее элементу  $p \in P$  элемент  $q \in Q$ :  $\varphi(p)=q$ . Если отображение  $\varphi$  линейное (полилинейное), будем отмечать его надписью над стрелкой. Запись (1) эквивалентна утверждению: отображение  $\varphi$  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 однозначно соответствует очередности их перечисления. Однако при

этом следует учитывать, 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, четвертая и пятая операции выполняются отдельно для каждого элемента сборочной единицы и указанная очередность их реализации сохраняется только применительно к конкретному установленному элементу, а шестая операция распадается на отдельные операции, соответствующие 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 вместо обобщенного отношения рассматривать эти отношения применительно к отдельным контурам сборочной единицы  $A$  или входящих в нее элементов  $a_i \in A$ . Разделим контуры  $F(A)$  на две группы:

$F(A)^0$  — совокупность контуров сборочной единицы в целом, т. е. таких, где каждому контуру  $F_j \in F(A)^0$  (1) соответствует конструктивное тело  $(A_j)$ , включающее в себя не менее двух элементов конструкции, входящих в сборочную единицу;

$$F(A)^p = \bigcup_{i=1}^n F(a_i)^0 \quad (2)$$

есть совокупность контуров отдельных элементов конструкции сборочной единицы, рассматриваемых независимо от контуров других элементов.

Поскольку контуры  $F(A)^p$  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  $A$ . В состав  $F(a_i)^0$  входят контуры формы и положения элемента  $a_i$ , а также контуры, подлежащие доводке (доработке) в процессе установки:  $a_i \in A$ . Состав и последовательность операторов реализации

этих контуров в процессе установки можно определить по табличным, сетевым или перестановочным моделям. Применение сетевых моделей обычно требует детализации особенностей выполнения сборочных операций. 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).

В состав контуров  $F(A)^0$  сборочной единицы входят контуры соединений — болтовых, заклепочных, сварных и т. п., а также контуры герметизации, защитных покрытий и другие, относящиеся к сборочной единице в целом. Структура каждого контура соединения достаточно сложна, поэтому информационное представление признаков компонент сборок и схем их соединений в составе и последовательности операторов для преобразований в операциях сборки определяются и упорядочиваются по табличным, сетевым и другим моделям.

Теоретико-множественный и логический уровни моделирования объектов сборки повышают производительность автоматизированных систем проектирования сборочных процессов, удобны для многообъектного автоматизированного технологического проектирования виртуальных технологических систем и при решении задач проектирования структур сборки, когда определяются критерии системы по составу и взаимосвязи элементов проектируемого объекта. В общем случае, для построения структурных моделей объекта проектирования вначале устанавливаются состав свойств (контуров), по которым могут быть выделены доминирующие признаки проектируемого объекта. Состав таких свойств определяется, в первую очередь, назначением узла или агрегата, его функциями, допустимой

интерпретацией его параметрического представления. Далее выявляется природа отношений, связывающих элементы, и разрабатываются адекватные им контуры геометрических, механических и других связей, где условия сопряжения деталей включают обеспечение необходимых зазоров, натягов в соединениях, которым соответствуют прямые или обратные схемы размерных цепей в данной сборке.

На основе такого анализа определяется возможный состав элементов проектируемого объекта и строится модель порождающей среды, в которой будет осуществляться синтез модели объекта сборки. Порождающая среда должна включать в себя данные о предметной области, к которой относится объект, о существующих и разрабатываемых структурных моделях объекта, известные или прогнозируемые отношения и связи между элементами и свойствами объекта и внешней средой. На базе этих данных создается математическая модель, охватывающая ту информацию о порождающей среде, которая может быть формализована и представлена средствами системы проектирования. С целью унификации средств обеспечения САПР отношения  $R^S(A)$ ,  $R^S(F(A))$ ,  $R^S(A, F(A))$  и другие путем эквивалентных преобразований могут быть приведены к регламентированному виду. В результате структурные модели порождающей среды превращаются в типовые математические модели системы, на основе которых создаются унифицированные компоненты математического, информационного и программного обеспечения САПР.

Отличительной особенностью системы является полное отделение математических моделей и алгоритмов проектирования от семантического содержания данных о конкретных объектах проектирования, что позволяет использовать одни и те же математические модели и алгоритмы для проектирования разнородных объектов. Это позволяет создавать типовые математические модели порождающей среды, инвариантные к конкретным объектам проектирования. Математическая

модель  $S(A)$  объекта  $A$  в общем случае имеет вид:

$$S(A) = \{A, F, R\}, \quad (3)$$

где  $A$  — множество элементов;  $F$  — множество контуров;  $R$  — множество отношений.

В этой модели  $A$  есть отображение элементов реального объекта  $A$ ,  $F$  — отображение контуров  $F$  и  $R$  — отображение отношений между элементами и контурами объекта  $A$ . В состав контуров модели, наряду со свойствами элементов объекта, входят свойства, характеризующие взаимодействие объекта с внешней 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. Отсутствующий элемент модели представляют как пустое множество, например,  $A = \emptyset$  или  $F_{вх} = \emptyset$ ,  $F_{упр} = \emptyset$ . Модель  $S(A)$  порождающей среды служит для проектирования объектов  $A_k$  с составом элементов  $A_k \subseteq A$ . Одна модель  $S(A)$  порождающей среды содержит 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.

Особенно важное значение при автоматизированном проектировании имеют модели, отражающие структуру объектов проектирования. Каждая такая модель  $S(A)$  содержит состав элементов  $A$ , входящих в проектируемые объекты  $A_k$ , матрицу контуров, теоретико-множественные логические и количественные отношения между элементами  $A$  и контурами  $F(A)$ , определяющие состав и все свойства проектируемых объектов  $A_k$ . Структурные модели порождающей среды классифицируются в зависимости от способа задания отношений смежности и порядка между элементами модели  $S(A)$ , отношений смежности и порядка элементов проектируемого объекта  $A_k$ , состава и числа элементов в различных вариантах  $A_h$ . Если отношение смежности между элементами модели задано в виде графа  $G=(A, C)$ , то

модель будет связанной, а если граф  $G = (A, C)$  не задан, то модель будет несвязанной. В зависимости от наличия отношений смежности и порядка между элементами проектируемого объекта  $A_k$  все модели порождающей среды разделяются на сочетательные и упорядочивающие. Сочетательные модели применяются в тех случаях, когда определяется только состав элементов проектируемого объекта, а упорядочивающие — когда определяется и состав, и структурные отношения между элементами проектируемого объекта. Как уже отмечалось выше, развитие прикладной теории математической логики при формализованном описании сборочного пространства предполагает, что после функционального выделения свойств компонентов структурных моделей они не зависят от смыслового содержания конкретных объектов моделирования. Поэтому классификация сочетательных и упорядочивающих моделей распространяется на все виды структурных моделей — модели изделий  $S(A)$ , технологических и производственных систем  $S(P)$ , технологических операторов  $S(T)$ , средств оснащения производства  $S(\Pi)$ .

Для повышения эффективности автоматизированного проектирования логические отношения между элементами и контурами модели порождающей среды и проектируемых объектов приводят к регламентированному виду, отражающему реальные свойства этих объектов. Так, зависимость между составами элементов проектируемого объекта и порождающей среды выражается отношением  $R^L(A_k)$  в следующем виде: если  $A_k$  должен содержать фиксированный набор элементов  $a_i \in A$ , то

$$A_k = a_{k_1} \wedge a_{k_2} \wedge \dots \wedge a_{k_m} = \bigwedge_{i=1}^m a_{k_i}. \quad (4)$$

Если  $A_h$  может содержать любой элемент  $a_i \in A$ , то

$$A_k = a_1 \vee a_2 \vee \dots \vee a_n = \bigvee_{i=1}^n a_{k_i}. \quad (5)$$

Если  $A_k$  может содержать только единственный элемент  $a_i$ , то

$$A_k = a_1 \vee a_2 \vee \dots \vee a_n = \bigvee_{i=1}^n a_{k_i}. \quad (6)$$

Если в  $A_k$  должны входить наборы из  $n$  групп элементов вида (3), то

$$A_k = \bigwedge_{i=1}^n \left( \bigvee_{i=1}^m a_i \right). \quad (7)$$

Если из  $n$  групп элементов вида (4), то

$$A_k = \bigwedge_{i=1}^n \left( \bigvee_{i=1}^m a_i \right). \quad (8)$$

Если  $A_k$  может содержать любые наборы групп элементов вида (3), то

$$A_k = \bigvee_{i=1}^n \left( \bigwedge_{i=1}^m a_{k_i} \right). \quad (9)$$

Если любые наборы из групп элементов вида (3), то

$$A_k = \bigvee_{i=1}^n \left( \bigvee_{i=1}^m a_i \right). \quad (10)$$

Если  $A_k$  может содержать только какую-либо единственную группу элементов вида (2), то

$$A_k = \bigvee_{i=1}^n \left( \bigwedge_{i=1}^m a_{k_i} \right). \quad (11)$$

Если единственную группу элементов вида (3), то

$$A_k = \bigvee_{i=1}^n \left( \bigvee_{i=1}^m a_i \right). \quad (12)$$

Если зависимость между составом контуров  $F(A_k)$  и контурами порождающей модели выразить отношением  $R^L(F(A_k))$ , то аналогично зависимость  $R^L(F(a_i))$  между контурами  $F(a_i)$  можно выразить отношением между  $F_i(A)$  и одноименными контурами  $F_j(a_i)$  элементов  $A$ , которые по виду и смысловому содержанию также аналогичны отношениям (4) ... (6). Рассмотренные отношения характеризуют логические связи между элементами и контурами проектируемого объекта  $A_n$  и модели порождающей среды. Если реальные отношения  $R^L(A)$ ,  $R^L(a_i)$ ,  $R^L(F(A))$ ,  $R^L(F(a_i))$ ,  $R^L\{F_j(A)\}$  имеют другой вид, то путем чисто формальных преобразований их можно привести к регламентированному виду. Совершенствование методики использования логических отношений регламентированного вида позволяет расширить возможности унификации компонентов математического обеспечения

САПР. По семантическому содержанию структурные модели можно разделить в зависимости от вида моделируемых объектов на:

-структурные модели объектов (систем, изделий и их частей, средств оснащения производства), отражающие состав, взаимосвязь и свойства элементов этих объектов;

-структурные модели процессов функционирования объектов и систем, отражающие состав, взаимосвязь и свойства элементов процесса функционирования.

По функциональному назначению структурные модели можно сгруппировать в зависимости от задач, которые решаются с применением этих моделей, на:

-модели конкретных объектов или процессов, используемые при формировании исходных данных для решения прикладных задач;

-модели порождающей среды, используемые для поиска или синтеза структуры многих объектов (процессов).

Наиболее сложными являются структурные модели производственных систем (проектных, технологических), так как в них отражаются не только собственные свойства этих систем, но и взаимосвязь их со свойствами объектов производства при изменяющихся критериях качества.

При проектировании объекта  $A_i$  по модели порождающей среды исходным условием служит требуемый состав контуров  $F(A_i)$  этого объекта; результатом проектирования является структура  $A_i$ , элементы которой реализуют контуры  $F(A_i)$ . Поэтому  $A_i$  может быть спроектирован только в том случае, если  $F(A_i)$  является подмножеством контуров  $F(A)$  модели и требуемые теоретико-множественные отношения между контурами объекта также являются подмножеством отношений между элементами модели. Кроме того, необходимо, чтобы требуемые логические отношения между контурами объекта  $A_i$  были выводимыми из логических отношений между контурами модели.

Если представить процесс проектирования в виде последовательности проектных операторов  $\tau_k$ , воздействующих на модель проектируемого объекта  $A_i$  и

осуществляющих преобразование модели из предшествующего  $(A_i)_{k-1}$  в последующее  $(A_i)_k$  состояние, то содержание этих преобразований зависит от уровня и цели моделирования. На структурном уровне преобразования состава элементов объекта, его контуров и бинарных отношений между элементами и контурами можно выполнить по схеме: 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 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.

Следствием изменения структуры элементов объекта является изменение структуры его контуров: например, введение нового элемента  $a_i$  в конструкцию изделия  $A_i$  требует введения контура сопряжения  $a_i$  с другими элементами конструкции. Преобразование исходной модели  $A_i$  может осуществляться и путем преобразования структуры контуров  $F(A_i)$ . Возможны также преобразования моделей на уровне логических и количественных свойств и отношений.

В общем случае воздействие проектного оператора  $\tau_k$  описывается отношением:

$$F(A_i)_k = R(F(A_i)_{k-1}, F(\tau_k)). \quad (13)$$

При проектировании объекта  $A_i$  по структурной модели вместо воздействия  $\tau_k$  можно принять воздействие на  $(A_i)_{k-1}$  элемента модели  $a_k$ . В этом случае вместо отношения (10) будет использоваться отношение вида

$$F(A_i)_k = R(F(A_i)_{k-1}, F(a_k)). \quad (14)$$

Необходимым условием, определяющим возможность использования модели порождающей среды с составом контуров  $F(A)$  для проектирования объекта  $A_i$ , являются отношения вида:

$$F(A_i) \subseteq F(A); F(A_i) = F(A) \wedge F(A_i). \quad (15)$$

Для математического представления отношений (10), (11) при проектировании объекта  $A_i$  по структурной модели эффективны теоретико-множественные и логические отношения между контурами проектируемого объекта и его структурной

моделью. При этом использование двух форм представления связей между контурами проектируемого объекта и модели порождающей среды — дизъюнктивной и конъюнктивной  $\square$  определяется следующими условиями: дизъюнктивная форма связи применима только в тех случаях, когда любой контур объекта реализуется единственным элементом; если для реализации контура необходимо несколько элементов, то применяется конъюнктивная форма связи.

Следовательно, математические модели могут включать в себя все три уровня описания: количественный, логический, теоретико-множественный. Все это позволяет построить конкретную сложную количественную модель на теоретико-множественном, логическом и количественном уровнях. Важным элементом методики построения количественных моделей является содержательный и формальный анализ процесса проектирования, методов принятия решений и методик расчета с целью унификации вычислительных процедур, расчетных формул, состава и способов представления данных, что позволяет повысить не только эффективность самих расчетов, но и эффективность автоматизированного проектирования в целом.

Способы выбора взаимосвязи компонентов структурных и количественных моделей должны обеспечивать комплексное решение задач определения возможной структуры объекта проектирования, расчет числовых величин соответствующих параметров и выбор оптимальной структуры объекта, который моделируется, например, с помощью булевых матриц. В качестве структурных элементов выступают элементы и контуры структурной модели (с учетом структурных связей между ними), а количественными элементами являются расчетные формулы и соотношения числовых значений параметров, образующие количественные массивы в информационном обеспечении САПР. Это определяет структуру и семантическое содержание данных о модели порождающей среды и

объектах проектирования, что позволяет строить по блочному принципу те компоненты информационного обеспечения, которые соответствуют компонентам математического обеспечения. В этом случае математические модели и данные, описывающие их смысловое содержание применительно к конкретным объектам проектирования, оказываются органически взаимосвязанными друг с другом и с модульной системой программного обеспечения.

Характер принадлежности величин к различным уровням абстрагирования определяет использование следующих индексов: S — теоретико-множественная величина; L — логическая величина; N — количественная величина; W — лингвистическая величина. Лингвистическими величинами являются элементы естественного языка, используемые при описании объекта моделирования.

Основными математическими объектами являются: S — множество; V — вектор (упорядоченное одномерное множество определенной размерности); M — матрица (упорядоченное двумерное множество определенной размерности, где элементы строк и (или) столбцов связаны некоторым отношением) или таблица (двумерное множество); G — граф; R — отношение (функция, формула).

Для описания математических объектов с учетом уровня абстрагирования рассматриваемых величин используем два символа. Первый характеризует объект, а второй — входящие величины следующего содержания: SS — множество теоретико-множественных величин; SN — множество (список) количественных величин; VL — логический вектор (булев вектор); VN — числовой вектор; VW — вектор лингвистических величин (лингвистический вектор); ML — матрица логических величин (булева матрица); MN — числовая матрица (таблица); RS — теоретико-множественное отношение (формула); RL — логическое отношение (формула, функция); RN — количественное отношение (формула, функция). Тогда Булева матрица соединений имеет вид:

$$\|c_{i(j)}\|_A = [A \times A] = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & \dots & \dots & a_n \\ \begin{matrix} c_{1(1)} \\ c_{2(1)} \\ \dots \\ c_{n(1)} \end{matrix} & \begin{matrix} c_{1(2)} \\ c_{2(2)} \\ \dots \\ c_{n(2)} \end{matrix} & \dots & \dots & \dots & \begin{matrix} c_{1(n)} \\ c_{2(n)} \\ \dots \\ c_{n(n)} \end{matrix} \end{matrix} \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{matrix}$$

В зависимости от физического содержания, например, расчета трудоемкости сборочных процессов, может быть построена логическая прследовательность сочетаний элементов сборок для четных и нечетных строк матрицы, что обеспечивает практическое применение предложенного подхода к проектированию САПР сборки летательных аппаратов.

Соответственно при определении граничных условий и постановке задач многокритериальной оптимизации технологического процесса уточняется множество  $M = \{m_1, \dots, m_s\}$  методов сборки конкретного узла или изделия, где каждый метод  $m \in M$  оценивается с помощью адекватных критериев  $F_1(x), \dots, F_n(x)$ . Без ограничения общности доказательств рассмотрим пример логической связи трех переменных  $x, y, u$ , для которой должно выполняться условие:

$$[m_x(x)] \wedge [m_y(y)] \wedge [m_u(u)] = \bigcup \quad (16)$$

При условии, что  $m_x < \cdot m_y < \cdot m_u$ , имеем:

$$\{([m_x(x)] \wedge [m_y(y)] \wedge [m_x < m_y]) \Rightarrow (x < y)\}, \quad (17)$$

$$\{([m_y(y)] \wedge [m_u(u)] \wedge [m_y < m_u]) \Rightarrow (y < u)\}. \quad (18)$$

Таким образом, кванторы общности задают ту область переменных при проектировании технологических связей, для которых выполняются условия постановки задачи оптимизации схемы сборки объекта. В зависимости от уровня структурирования технологической системы сборки соответственно решением задачи на множестве X может являться множество технологических операций, которые формируются из переходов, а решением задачи на множестве Y — множество последовательностей технологических переходов, которые, в свою очередь, обеспечивают решение задачи на множестве элементарных преобразований сборочного пространства U при формировании

содержания и последовательности технологических операций, что исключает из рассмотрения ряд нерациональных технологических операций.

Такой подход к анализу задач технологического проектирования, проведенный с точки зрения теорий математической логики и множеств, позволяет снять многозначность со слабо

определенных технологических понятий, дать ответ на вопрос об отношении понятий и их возможной взаимосвязи друг с другом для конструктивного решения задач проектирования сборочных операций.

## METHODOLOGY FOR THE SUBMISSION OF THE TENSORS AND OPERATORS OF ASSEMBLY SPACE TRANSFORMATIONS IN THE TECHNOLOGIES OF AICRAFT ASSEMBLY

© 2012 S. F. Tlustenko

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

Investigated the set-theoretic and logical levels of modeling of mechanical connections between structural elements collected by the aircraft in accordance with the scheme of the spatial relationship of assembly units of a product design with the given initial and boundary conditions. Description of the nature of the element of motion in the assembly product is a quantitative trajectory matrices of states according to the general assembly of a product graph. The trajectories of motion are described methods of analytic geometry, matrices and displacement, as well as statements that describe the movement as a vector quantity.

*Operator, the transformation logic level, circuit structure, the interaction framework.*

### Информация об авторе

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

**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](mailto:titan250@mail.ru). Area of research: interdependence of mechanical properties of materials on the composition, casting processes and metal forming.