УДК 621.015

ТЕОРИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СБОРКИ И МОНТАЖА ОБЪЕКТОВ АВИАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

© 2010 С.Ф. Тлустенко , А.А.Коптев

[1] Самарский государственный аэрокосмический университет
[2] Завод "Контактор", Ульяновск

Поступила в редакцию 28.04.2010

В статье предложена методика проектирования и синтеза последовательностей операторов преобразования сборочно-монтажного пространства на базе исчисления предикатов первого порядка.

Ключевые слова: технологические процессы, модель, граф, операторы преобразования, индексные функции.

В данной статье приведены результаты исследований в области автоматизации процессов проектирования технологических систем (ТС) на базе информационных технологий и тензорных методов преобразования сборочно-монтажного пространства. Целью работы является разработка единого подхода к синтезу и управлению технологическими системами.

Принципы построения их имеют сходную методику, но в зависимости от уровня иерархии в конструктивном представлении самолета имеют различную сущность по содержанию. Это определяется структурой и содержанием исходной информационной базы, её электронно-цифровым или материальным представлением в виде, например ,по изделию в целом как эталон-макета летательного аппарата. Это определяет непосредственно способ построения ТС или её дискретные модули-подготовки производства, ресурсно-материальные потоки, в том числе потенциал трудовых ресурсов, качество процессов ,общее состояние системы и др.

Модель системы ТП в виде графа позволяет ввести индексные функции показателей производственных переходов в виде связей по дугам графа $f_i(x_{i,j})$, которые могут иметь достаточно сложный вид. Функции задаются аналитически или алгоритмически.

Для процессов преобразований сборочного пространства при выполнении ТП операции представляются как n-шаговый процесс реализации решений с операторами переходов $A_i = f(s_{i-1}, u_j) = x_{i-1} + u_j = x_i$. Результат перехода определяется функцией $f_i(s_{i-1}, u_j) = f_i\{x_{i-1}, x_i(u_j)\}$. Так как установившиеся ТП являются детерминированными только по задаваемым программам управления и производственной и конструкторско-технологической документации, то необходимо пооперационные этапы обеспечивать управляемыми процессами анализа ситуации, принятия решений и формирования команд в информационной системе для стабилизации устойчивости производства.

Распечатки карт технологических процессов являются исходной информацией в таких условиях, где непрерывный управляемый процесс представляется как дискретный по переходам и операциям. Проблема заключается в правильном выборе и постановке задачи оптимизации для обеспечения требуемого решения и его точности достаточной.

Так как общий граф сборочного пространства является его моделью, то в областях допустимых вариаций параметров топологических схем взаимосвязанных процессов применимо рекуррентное уравнение Беллмана:

$$F_{i-1}(x_{i-1}) = \max\left\{ f_i\left(x_{i-1}, x_i(u_j)\right) + F_i\left(x_i(u_j)\right)\right\}, i = 1, 2...., n, \quad (1)$$

где F – функция качества перехода, и $F_n(x_n) = 0$

Для обеспечения процесса шаговой оптимизации ТП вводим ограничения на множество допустимых путей переходов состояний в виде дуг графа как множества решений соответствующих задач. Узлы, сгруппированные по уровням, соответствующим шагам переходов, образуют множества $x_0, x_1, ..., x_N$, где x_0 и x_N содержат по одному узлу. Параметры дуг рассчитываются по специальным алгоритмам для исследуемых множеств.

Такой подход является одним из эффективных путей решения задачи проектирования конкретной производственной деятельности при представлении сборки в виде модели, как ориентированного графа.

В рамках решения этой задачи выбора оптимального по ряду критериев проекта ТП в работе рассматривается выбор, оценка и синтез последовательности операторов преобразования сборочно-монтажного пространства.

Тлустенко Станислав Федорович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: titan250@mail.ru.
Коптев Андрей Анатольевич, индустриальный директор

В задачах проектирования ТС необходимо совместить аналитическую взаимосвязь между параметрами уравнения и параметрами решения, одновременно с этим выразить эту взаимосвязь в виде алгоритма управляющих воздействий на системы разного рода. Таким образом, можно совместить в параметрическом виде исходное уравнение и его решение, получив параметрическую структуру, изменение которой с течением времени анализируется для получения оптимального параметрического пространст-ва решений, в котором выбираются устойчивые состояния ТП.

Рассмотрим параметрические формы $a_1(A_1, A_2, t)$ и $a_2(A_3, A_4, t)$, описывающие состояния ТС:

$$w_b^*(t) = A_1 + A_2 w_b^{*2}(t);$$
$$w^*(t) = A_3 - A_4 w^{*2}(t), \qquad (2)$$

где w_b^* – динамика выполнения операции; w^* – динамика подготовки производства для выполнения операции; A_1 – параметр ресурсов; A_2 – параметр эффективности; A_3 – параметр, характеризующий индекс качества операции; A_4 – параметр, характеризующий неустойчивость по некоторому критерию операции (фактор рисков).

Уравнение, описывающее состояние ТС, представляет частный случай уравнения Риккати, которое в первом приближении решается в квад-ратурах, причем считаем, что w(t) и $w_b(t)$ - наблюдаемые фазовые координаты соответствующих векторов состояний в начале или в кон-це фиксированного промежутка времени наблюдений за группой $a_1(A_1, A_2, t)$, $a_2(A_3, A_4, t)$.

В качестве достаточных приближений значений для w(t) и $w_b(t)$ в детерминированных условиях процесса выбираем:

$$w_b^*(t) = tg(\sqrt{A_1 A_2 t})\frac{\sqrt{A_1}}{\sqrt{A_2}}; \qquad (3);$$

$$w^*(t) = th(\sqrt{A_3 A_4 t})\frac{\sqrt{A_3}}{\sqrt{A_4}}. \qquad (4)$$

Решения уравнений (1)-(2), полученные для $w_b(t)$ и w(t), удовлетворяют аналогичным уравнениям (3)и(4) в определённой метрике t.

При более точных условиях измерения фазовых координат $w_b(t)$ и w(t) в этом случае исходные уравнения имеют вид :

$$\dot{w}_b(t) = A_1 + A_2 w_b^2(t) + A_5 \sin[w_b(t)t + \varphi_{b0}]\ddot{\alpha}^*(t) -$$
$$- A_5 \cos[w_b(t)t + \varphi_{b0}]\ddot{\beta}^*(t); \qquad (5)$$

$$\dot{w}(t) = A_8 + A_4 w^{*2}(t) - w_b^{*2}(t)A_6 + A_7 \sin[w^*(t)t + \varphi_{b0}]\ddot{\alpha}^*(t) -$$
$$- A_7 \cos[w^*(t)t + \varphi_{b0}]\ddot{\beta}^*(t), \qquad (6)$$

где $\ddot{\alpha}^*(t)$ – функция, учитывающая характер поставки материалов и комплектующих, изменения конструкторско-технологической информации и др. полученная после подстановки $w_b^*(t)$ и $w(t)$ в уравнение, описывающее характер колебаний по α ; $\ddot{\beta}^*(t)$ – функция, характеризующая поставки для последующих процессов сборки при установленной их ритмичности ,получаемая после подстановки $w_b^*(t)$ и $w^*(t)$ в уравнение динамики колебаний по β ; A_5 – параметр, характеризую-щий устойчивость операции при межцеховых колебаниях объёмов и номенклатуры поставок материалов и комплектующих, A_6 – параметр, характеризующий степень освоения в цехе указанных сборочных процессов. A_7 - параметр, учитывающий возможные переналадки и переустройства рабочих мест исполнителей, ϕ_{b0} – начальная фаза сезонных изменений.

Сгруппировав слагаемые ряда в уравнениях (5)-(6) по степеням $t : t, t^3, ...,$, получаем несколько уровней классификации состояния системы ТП. Получение реше-ния в виде ряда по степеням t определяет, какие параметры влияют на форму кривых $w_b(t)$ и $w(t)$, одновременно формируя управляющее воздействие для получения нужных форм $w_b(t)$ и $w(t)$. Процессы оптимизации ТС определяют производственную стратегию сборочных процессов. В инвариантной ТС итерационный процесс поиска экстремума связан с заданием соответствующих начальных условия в дифференциальных соотношениях, выражающих баланс основных процессов, причем параметрически изоморфных. Параметрический изоморфизм ведет к новым классификациям и описанию конечномерных представлений. Получаем дискретные функции состояния ТС разложением в ряд базовой целевой функции по базисным векторам, причем коэффициенты разложения являются собственными значениями линейного оператора $(\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n)$, которым соответствуют вероятностные представления, рассчитываемые как плотности вероятностей такого состояния. Изображение оригинала заданной вероятности в комплексной области рассчитывается как

$$\frac{s!}{(p+\lambda)^{n+1}}, \qquad (7)$$

где s – количество факторов и их выборочных значений в распределениях-композициях, ; p –

комплекс-ная величина; λ – параметр-статистика, выражающий собственные значения линейных операторов, которые при преобразованиях технологического пространства сборки должны соответствовать условиям постановки задачи. Применим линейный оператор W к вектору $\bar{x}$ и получим образ y= $\bar{A}(\bar{x})$ вектора $\bar{x}$. Можно показать, что каждому линейному оператору $\bar{A}$ в некотором базисе пространства R^n соответствует матрица A, по которой можно пересчитывать любой вектор в его образ в этом же базисе. Иными словами, любой линейный оператор можно задать в некотором базисе соответствующей матрицей: матрицей оператора $\bar{A}$ в базисе $\{e_k\}$. Формула пересчета имеет вид: $\bar{y} = \bar{A}(\bar{x}) = \bar{x}$.

Инвариантность тензоров и тензорных функций относительно ортогональных преобразований сборочно-монтажного пространства обеспечивается тем, что ортогональные тензоры вида $Q: E \xrightarrow{л.} E$ осуществляют повороты и зеркальные отображения, сохраняя при этом длины векторов, углы между ними и переводят один ортонормированный базис в другой. Определим понятие инвариантности тензора $A: E \xrightarrow{л.} E$ относительно ортогонального тензора $Q: E \xrightarrow{л.} E$.

Определение 1. Тензор A называется инвариантным относительно тензора Q, если A удовлетворяет равенству

$$A = Q \circ A \circ Q^{-1} \tag{7}$$

Уточним геометрический смысл этого понятия. Пусть Q – ортогональный тензор, осуществляющий поворот любого вектора в пространстве E(dim E=3) на заданный угол вокруг оси, ортогональной плоскости чертежа (рис. 1).

Будем считать, что Q действует из пространства E в пространство $\tilde{E}$, где $\tilde{E}$ соответствует некоторому технологическому преобразованию на дуге графа системы как в модели, или технологической операции на рабочем месте. Рассмотрим пространство, в которое оператор $Q: E \xrightarrow{л.} \tilde{E}$ переводит пространство E. Обратный оператор $Q^{-1}: \tilde{E} \xrightarrow{л.} E$ возвращает пространство $\tilde{E}$ в исходное. Пусть на пространстве E задан тензор $A: E \xrightarrow{л.} E$.Допустим, $\tilde{E}$ -подпространство сборки после i-го технологического перехода. Определим в этом пространстве такой тензор $\tilde{A}: \tilde{E} \xrightarrow{л.} \tilde{E}$, который оказывал бы на любой вектор $\bar{x} \in \tilde{E}$ такое же действие, которое оказывает тензор A на прообраз вектора $\bar{x}$ (т.е. на вектор $\bar{y} = Q^{-1}(\bar{x})$) в пространстве E. Искомый тензор $\tilde{A}$ должен удовлетворять равенству (рис. 1)

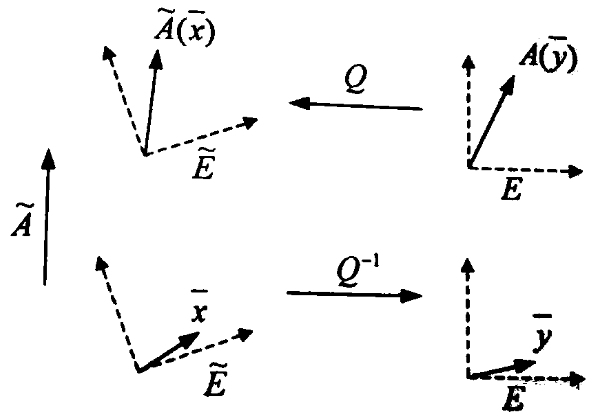

Рис. 1. Тензорное преобразование сборочно-монтажного пространства агрегатов летательных аппаратов

$$\forall \bar{x} \in \tilde{E} \quad \tilde{A}(\bar{x}) = Q(A(\bar{y})) = Q(A(Q^{-1}(\bar{x}))),$$

которое эквивалентно тензорному равенству

$$\tilde{A} = Q \circ A \circ Q^{-1} \tag{9}$$

Определение 2. Отображение F: J(E)> J(E), связанное с функциональным преобразованием элементов сборочных позиций на производстве, инвариантно относительно ортогонального тензора $Q \in J(E)$, если оно удовлетворяет равенству

$$\forall A \in J(E) \ \ Q \circ F(A) \circ Q^{-1} = F(Q \circ A \circ Q^{-1}) \ . \tag{10}$$

Определение 3. Отображение F: J(E)> J(E) инвариантно, если оно инвариантно относительно любого ортогонального тензора $Q \in J(E)$, т.е. для любого ортогонального $Q \in J(E)$, для $\forall A \in J(E)$

$$Q \circ F(A) \circ Q^{-1} = F(Q \circ A \circ Q^{-1}) \ . \tag{5}$$

Задача состоит в схеме введения функциональных аргументов в предикаты, причем за каждый переход число аргументов увеличивается на единицу. Например, добавляем третье место в двухместный предикат P введением нового аргумента, называемого переменной состояния, получаем последующий предикат более высокого порядка:

$$P(x, y) > P(x, y, s). \tag{6}$$

Рассмотрим в некотором абстрактном сборочно-монтажном пространстве переменную состояния, которая может принимать значения s_1, s_2, s_3... s_{10}... s_N. Эти состояния характеризуют определенную реализацию связей в узле, которая приводит к реализации сборок компонент с новыми свойствами, к возникновению последующей структуры сборок. При этом повышается устойчивость складывающихся взаимодействий между компонентами и дискретными сборками этих компонент. Таким образом, происходит процесс связывания компонентов в узлы, а их, далее, в более сложные устойчивые сборки, модули, свойства которых согласованы с их местом в некотором агрегате, системе.

В свою очередь, такой процесс характеризуется определенными состояниями, которые связываются посредством различных операторов. Тогда этот процесс может быть формализован в виде графа, в котором состояния s_1, s_2, s_3... s_{10}... s_N связаны операторами F_1, F_2, F_3... F_N

Оператор F_1, означает переход из состояния s_1 в s_2 в результате действия оператора F_1.

Эти действия легко представить в исчислении последовательности операторов преобразования, так как эти операторы являются отображаем состояния в состояние. Результаты применения таких операторов можно подставлять на место переменной состояния, аналогично подстановке простой переменной. Например P (x_1, F(s)) вместо P(x,m). Уточним такие теоретические аспекты представлений и преобразований сборочных пространств в соответствии со своими функциями распределения эффективности действий.

Также из сказанного выше определим исчисление количества и последовательности операторов преобразования и обозначим в требуемом системно-функциональном пространстве сборки в виде:

$$R = (P_i, F_j, S_k, \alpha_m, A_n). \tag{7}$$

Она состоит из множества предикатов, которое обозначено P, множества операторов, обозначенного F, далее, безусловно, множества состояний S. затем системы аксиом, обозначенной через α, и, наконец, множества объектов, обозначенного через A, в которое входят не только объекты монтажа, но и исполнители. Поясним более детально содержание каждого отдельного символа в R. Принимаем, что отображения F_z, $\overline{1,z}$, является линейным (гомоморфизмами), для всех x, y, ε, R^n. Также применение линейного оператора F_k вектору $\overline{x}$ дает образ $\overline{y} = \overline{F}(\overline{x})$ вектора $\overline{x}$, то есть отображение линейного пространства R^n в аналогичное R^m можно доказать, что каждому оператору $\overline{F}$ в некотором базисе пространства R^n соответствует матрица оператора $\overline{F}$ в базисе $\{\overline{e_k}\}$. Формула пересчета $y = \overline{F}(x) = x$ Предикаты, т.е. выражения, обладают тем свойством, что, приписав значения переменным x,y,... из соответствующих областей определения, мы получаем логические высказывания при формализации действий исполнителя. Для записи выражений используются предикатные буквы P, Q. и т.д., дополненные указанием аргументов. При этом выражения могут быть истинными или ложными, как это принято во всех формализмах исчисления предикатов первого порядка. Операторы переводят состояния в состояния, а аксиомы "α" представляют систему аксиом специального вида. Аксиомы преобразования сборочно-монтажного пространства – это не произвольные, правильно построенные формулы исчисления предикатов, а формулы одного из двух типов. Один тип аксиом таков:

$$P_R(x, S_1) \cdot (P(x_1, S_1) = S_2) \Rightarrow Q(x, S_2), \tag{8}$$

где P,Q ∈ P, F ∈ F, S_1,S_2 ∈ S.

Эти аксиомы могут быть записаны в более общей форме. Однако, можно считать, что эти аксиомы имеют следующий смысл: для того, чтобы применить оператор F в ситуации S_1, прежде всего необходимо, чтобы выполнялось условие P , т.е. это начальное требование для применимости оператора F. Теперь, после применения оператора F, полученное состояние характеризуется предикатом Q. Под буквами P и Q в приведенных записях мы будем иметь в виду, что эти символы обозначают подмножество множества предикатов P. Так например, начальное условие P может быть длинной конъюнкцией предикатов P = P_1, P_2... P_n, которая полностью характеризует все условия применения оператора F в ситуации S_1. Таким образом, P – это своего рода начальные условия, а Q - конечные условия по отношению к оператору F. В общем виде, т.е. независящими от конкретного состояния S_1, аксиомы могут быть записаны следующим образом:

$$\forall S\{P(x, S) \Rightarrow Q(x, F(x, S))\}, \tag{9}$$

где мы воспользовались подстановкой F(x,S) вместо S_2, тем самым исключив обозначения двух конкретных состояний. В этом выражении S соответствует начальному состоянию S_1, а F(x,S) – конечному состоянию S_2.

Для определенности процесса преобразований необходимо точно описать начальную ситуацию для того, чтобы можно было применять те или иные аксиомы. Для описания начальной ситуации используются схемы аксиом вида:

$$D(x, S_H), \tag{10}$$

где D ∈ P, S_H ∈ S, x ∈ A.

В этом случае S_H – конкретное начальное состояние, x – элемент множества узлов, A – константа, имеющая существенное отношение к начальной ситуации. Для начальной ситуации предикат P не обязательно будет двухместным предикатом. В общем случае он может быть произвольным n-местным предикатом с любым числом аргументов. Таким образом, каждому конкретному условию соответствует целый ряд получаемых соединений узлов-констант; в свою очередь D может представлять собой последовательность конъюнкций такого рода предикатов. Сформулировав теперь задачу в формальной записи, решаем вопрос, существует ли конечное состояние S, для которого выполняется условие $S(x, S_k) \rightarrow \sum_{i=1}^{k} S_i$, или

$$(\exists S_k)\{S(x, S_k)\}; \tag{11}$$

$$S_k = F_1 (x, F_2 (x, ... , F_{n-1} (x, F_n (x, S_H)) ...)) = = F_1 \cdot F_2 ... F_n (x, S_H). \quad (12)$$

Таким образом, решение задачи, поставленной в исчислении последовательности операторов преобразования, имеет вид (12).

Определим предикаты, операторы, состояния, аксиомы и множество объектов. Подход к решению задач в исчислении последовательности операторов преобразования состоит в формировании такого подхода к исследованию проектов ТС, чтобы априори можно было оценить трудоемкость вычислений и разрешимость, не решая все задачи непосредственно. Следовательно, действия в исчислении последовательности операторов преобразования несколько отличаются от прямого подхода к решению логических задач. Когда задача поставлена в такой форме, в силу полноты логического исчисления первого порядка мы можем гарантировать, что решение ее будет найдено. Для конкретного примера. определим предикаты для модели сборки узла. Сначала выбираем первый предикат – предикат “ находится”:

$$P = \{ \text{находится } (x, y, S) \}. \quad (13)$$

Предикат верен, если только x находится вместе с y в состоянии S. Множество допустимых операторов ограничивается всего одним оператором – оператором “установка ”в приспособлении или стапеле, допустим, двух элементов сборки.

$$F = \{ \text{установка } (x, y, r_1, r_2, S)\}. \quad (14)$$

Здесь “x”– исполнитель, осуществляющий действие, определяемое этим оператором, и состоящее в выполнении подготовительного перехода сборочной операции. В общей схеме производства формируемые состояния образуют множество:

$$S = \{ S_1, S_2, ..., S_n \}. \quad (15)$$

В свою очередь, множество объектов сборки А состоит формально из

$$\{ И, b_1, b_2, h_1, h_2, R\}, \quad (16)$$

где И – исполнитель или автомат, выполняющий установочный переход;

b_1 и b_2 – константы, которые мы вводим для обозначения имен устанавливаемых элементов; буквы h_1 и h_2 фиксируют начальные положения этих элементов, т.е. b_1 находится в h_1, а b_2 – в h_2. Зададим аксиомы, определяющие исходные, первоначальное положение элементов:

$$\begin{aligned} &\alpha_1\text{: находится } (b_1, h_1, S_H) \\ &\alpha_2\text{: находится } (b_2, h_2, S_H) \end{aligned} \quad (17)$$

Теперь зададим аксиомы, описывающие установку элементов, а также возможности и условия такой установки.

Аксиома для этой цели может быть задана следующим образом:

$$\alpha 3\text{: } (\forall S, x, r_1, r_2) \{ \text{находится } (x, r, S) \Rightarrow \text{находится } (x, r_2 \text{ сдвиг } (Э, x_1, r_1, r_2, s)) \}. \quad (18)$$

Эта аксиома фиксирует тот факт, что каковы бы ни были состояния S, объект и положения r_1 и r_2, то если исполнитель x изменяет положение элементов из r_1 в r_2, возникает состояние, в котором x будет находиться в r_2.

Сформулируем и решим вначале простую задачу монтажа, а затем перейдем к более сложным задачам.

Пусть первая задача сформулирована так:

$$(\exists S_{k1}) \{ \text{находится } (b_1, R, S_{k1}) \}. \quad (19)$$

То есть существует ли конечное состояние, такое, что b_1 находится в R – этом конечном состоянии.

Решение состоит в реализации перехода:

$$S_{k1} = \text{сдвиг}(И, b_1, h_1, R, S_H). \quad (20)$$

Полученное решение характеризует одношаговый процесс, который протекает вполне очевидным образом, путем использования аксиом α_1 и α_2.

Теперь рассмотрим вторую задачу, которая формулируется аналогично первой:

$$(\exists S_{k2}) \{ \text{находится } (b_2, R, S_{k2}) \}. \quad (21)$$

Совершенно аналогично можно показать, решением задачи будет:

$$S_{k2} = \text{сдвиг}(И, b_2, h_2, R, S_H). \quad (22)$$

Тогда исходная задача, сформулированная выше, в терминах исчисления последовательности операторов преобразования будет иметь следующий вид:

$$(S_{k3}) \{ \text{находится } (b_1, R, S_{k3}) \text{ находится } (b_2, R, S_{k3}) \}? \quad (23)$$

Решение этой задачи, полученное из аксиом α_1, α_2 и α_3:

$$S_{k3} = \text{сдвиг}(И, b_1, r_1, r, \text{сдвиг}(И, b_2, r_2, r, S_H)) \text{ или сдвиг}(И, b_2, r_2, r, \text{сдвиг}(И, b_1, r_1, r, S_H)). \quad (24)$$

Такой результат показывает, что проект реализует положительного. Однако в плане требований однозначности решения третья задача неразрешима при данных аксиомах α_1, α_2 и α_3, но существует множество различных путей выполнения аксиом α_1, α_2, α_3, позволяющих обеспечить единственность решения. Введем аксиому α_4, которая делает нашу задачу разрешимой в плане единственности решения:

$$\alpha_4\text{: } (\forall x, y, s, r_1, r_2, r) \{ \text{находится } (x_1, r_1, s) \Rightarrow \text{находится } (x_1, r_1, \text{сдвиг } (И, y, r_2, r_1, s)) \}. \quad (25)$$

Предлагаемая аксиома фиксирует тот факт, что положение некоторого объекта А, не тождественного y, не меняется при перемещении y. Если имеются два объекта, один из которых обрабатывается x находится в r_1, а другой – y - в r_2, то перемещается объект из r_1; другой остается без обработки и он не движется. Аксиома α_4 утверждает, что за один переход обрабатывается и перемещается только один объект. Поясним, почему не получалось решение в исходной постановке задачи.

В начальном положении два элемента b_1 и b_2, находятся соответственно в точках r_1 и r_2. При переходе из S_H в S_2 сдвигается первый элемент, а в конечном состоянии сдвинуты оба элемента. Но не существует гарантии, что в промежуточном состоянии S_k сохраняла силу аксиома α_2 и поэтому задача была неразрешимой, т.е. путь перехода из начального состояния S_H в конечное S_k не был единственным.

Задача исполнителя заключается в том, чтобы выполнить соединение. Сформулируем задачу согласно методики исчисления последовательности операторов преобразования в соответствии с предикатами:

Предикаты P : находится на (x, y, s);
находится у (x, y, s) ; (26)
находится в (x, y, s) ;

Перемещение (И, x, r_1, r_2, s) – ориентирование, F = (И, x, r_1, r_2, s), совмещение (И, x, r_1, r_2, s),(27)

$$A = \{И, k, P, G, \theta, r_1\}. \qquad (28)$$

Здесь первый предикат означает, что x находится на y в состоянии S. Далее использованы обозначения: И – для исполнителя, k – для стенки нервюры, P – для стойки, G – обозначает место установки стойки, θ – инструмент, начальное положение которого обозначим через r_1.

Зададим систему аксиом. Аксиома α_1 описывает начальное условие, а именно, что инструмент и находится в r_1 в состоянии S_H.

Стойки, подлежащая монтажу, находятся на стеллаже исполнителя; который находится в состоянии S_H. Аксиома представляет собой конъюнкцию трех предикатов:

α_1: находится на (θ, r_1, S_H) находится у (И, G, S_H) находится на (P, k, S_H). (29)

Аксиома α_2 выражает свойства некоторых элементов сохранять отношения при всех состояниях, при этом можно сказать, что стойки k и инструмент и всегда находятся на столе G:

α_2 : ($\forall$ S) { находится на (k, F, S) находится на (и, G, S) }. (30)

Аксиома α_3 продолжает аксиому α_1.

α_3: ($\forall$ S, x, r_1, r_2) { находится на (x, r_1, S)
находится у (И, G, S) находится
на (x, G, S) $\Rightarrow$ находится
в (x, r_2, перемещение (Э, x, r_1, r_2, S)). (31)

Аксиома α_4 и аксиома α_5 завершают систему аксиом:

α_4: ($\forall$ S) { находится у (И, G, S) находится
на (θ, G, S) находится у (и, k, S) $\Rightarrow$
находится над
(И, k, ориентация (И, θ, G, k, S)) }. (32)

α_5: ($\forall$ S, x, r_1, r_2) { находится на (x, k, S)
находится у (И, k, S) $\Rightarrow$ находится
над (x, G, совмещение (И, x, k, G, S)) }. (33)

Поставим задачу следующим образом: существует ли конечное состояние S_k, в котором инструмент и совмещен со стойкой P стенки нервюры k:

($\exists$ S_k) находится на (P, и, S_k)? (34)

Решение:

S_k совмещение (И,P, k, и) ,ориентация (И, и, G, k, P) , перемещение (И, и, r_1, k, S_H).(35)

Следовательно, появляется план решения задачи. Исполняя эти три функции в обратном порядке, мы получаем способ совмещения инструмента и со стойкой P стенки нервюры k следующему алгоритму: сначала инструмент и перемещается исполнителем к коробке, далее исполнитель ориентирует инструмент и относительно стойки P, установленной на стене k, и, наконец, исполнитель совмещает инструмент и стойку в месте соединения, достигая конечного состояния S_k.

Эффективность решения логических задач в исчислении последовательности операторов преобразования достаточно высокая. Для того, чтобы эту эффективность сравнять с эффективностью выполнения операций при заданной точности, необходимо иметь управляющее устройство на самом высоком уровне, которое устанавливало бы правильное соответствие между планированием и исполнением операций. В дальнейшем этот вывод будет положен в основу создания искусственной системы управления процессами сборки узлов и агрегатов летательных аппаратов.

Тогда, прежде чем исполнять оператор, сначала проводится идентификация предиката Q, связанного с результатом действия F_1. Если оператор F_1 выполнен верно, исполняется оператор F_2. Если получен отрицательный результат, действия по оператору F_2, должны быть скорректированы и повторены и т.д. Практически значимым результатом прогноза правильных действий исполнителя должен быть алгоритм ,учитывающий влияние входов различной длины и содержания на качество процессов сборки. На рис .2 показана схема такого алгоритма.

ВЫВОДЫ

Получены вероятностно-динамические модели производственных систем, составляющие основу системы принятия решений в прикладных задачах разработки реальных проектов технологии агрегатной сборки , где число элементов собираемых узлов всегда конечно, но не определено однозначно по фактическому состоянию в динамике на множестве рабочих мест исполнителей. В соответствии с моделями представлений определяются оптимальные

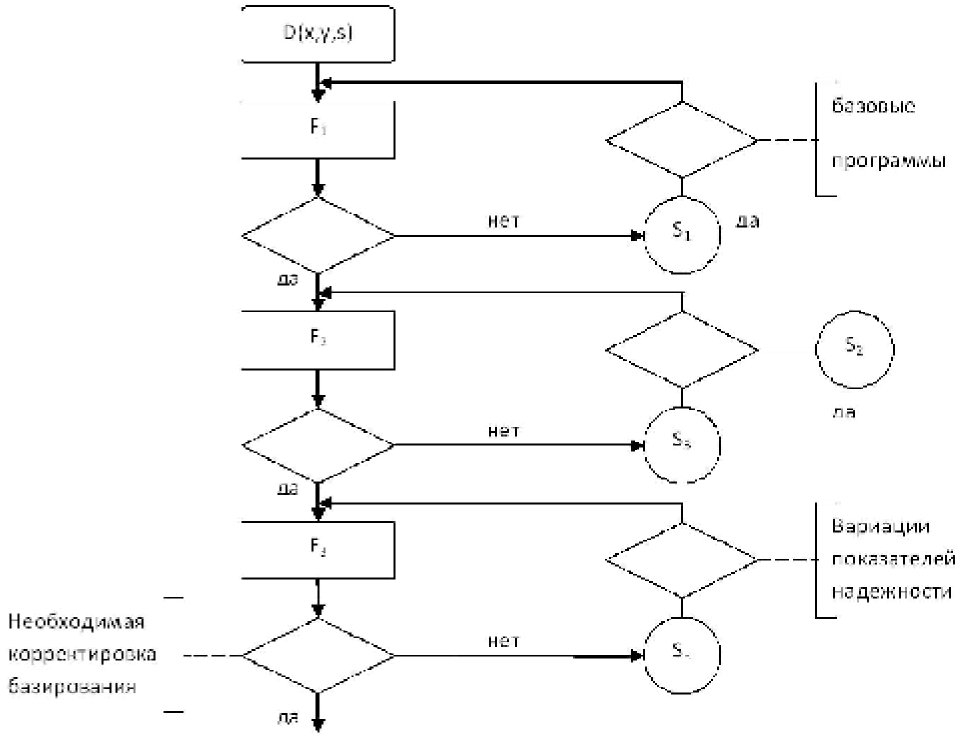

Рис. 2. Алгоритм реализации вероятностной модели процесса сборки на входах фиксированной длины как дискретной ограниченной случайной величины

мальные критерии образования новой ТС, которая изменяется вместе с пространством её представления. При развитии производственно-технологических систем все действия, нацеленные на структурообразование, приводят к проектному изменению состояний как результатов переходных процессов преобразования комплектующих, и могут быть описаны вероятностно-динамическими моделями. Системное структурообразование связывается с упорядоченной логикой деятельности исполнителей на множестве последовательностей рабочих мест. Его принципы обосновываются общей моделью сборочного пространства в виде графа как основой ТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротнев Г.И.* Топологические и тензорные методы описания производства летательных аппаратов // Полет. 2003. №4.
2. *Интрилигатор М.* Математические методы оптимизации и экономическая теория. М.: Айрис-пресс, 2002. 576 с.
3. *Ульянов М.В.* Ресурсно-эффективные компъютерные алгоритмы. Разработка и анализ. М.: Физматлит , 2008. 304 с.
4. *Базров Б.М.* Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение,2001.369 с.
5. *Петрушин В.Н.,Ульянов М.В.* Планирование экспериментального исследования трудоемкости алгоритмов на основе бета-распределения // Информационные технологии и вычислительные системы. 2008.№2. С.89-91.

THEORY SIMULATION OPERATING SEQUENCE ASSEMBLEY AND INSTALLATION FACILITIES AND AIRCRAFT FRODUCTION

[1] Samara State Aerospace University
[2] "Kontactor" Plant, Ulyanovsk

The paper presents a method of designing and synthesis of sequences of operators transforming assembly mounting space based on first order predicate calculus.
Keywords: technological processes, the model graph transformation operators, the index function.

Stanislav Tlustenko, Candidate of Technics, Associate Professor. E-mail: titan250@mail.ru.
Andrey Koptev, Industrial Director.