*УДК 621.015*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ДИНАМИКИ ПРОЕКТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В АВИАСТРОЕНИИ

© 2010 С.Ф. Тлустенко , А.А.Коптев

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

Поступила в редакцию 28.04.2010

В статье рассмотрены вопросы постановки задач проектирования технологических процессов агрегатно-сборочного производства, методологии их оптимизации по критериям эффективности. Предложен метод исследования устойчивости стационарных состояний интегрированной проектно-производственной системы.

Ключевые слова: структурные компоненты, устойчивость, стационарность, траектория, модели, показатели.

В статье ставится проблема теоретического описания процессов сборки, возникновения и характера влияния возмущающих факторов на течение процессов и образование новых структур в исходной активной среде. В таких системах наряду с чисто динамическими процессами большую роль играют процессы управления, связанные с рассмотрением множества показателей связей $\{a_i\}$, зависимостей между ними, разбиением исходного множества $\{a_i\}$ показателей на уровни, а также их содержательной классификации и введения определяющих эти классы понятий. Каждому уровню соответствуют свои способы определения показателей эффективности.

Актуальность исследований связана с направленностью на идентификацию технологической системы по ее формализованному описанию с целью построения эффективных алгоритмов производственных процессов, обеспечивающих стационарность и устойчивость производства. Целью исследований является построение такой математической модели изготовления продукции в агрегатно-сборочном производстве предприятия авиационной промышленнсти, которой соответствовали бы системы дифференциальных уравнений, позволяющие учитывать все допустимые возмущения в виде параметров или функций, а результаты их решений позволяли сформировать информационную базу системы поддержки принятия решений при выборе проектов эффективных производственных потоков и систем их преобразований.

Постановку задачи выбора оптимальной модели и структуры технологической системы(ТС) сборки агрегата самолета выполняем, принимая во внимание сложность разработки структуры для относительно детерминированных и стохастичных систем в реальном производстве, а перед формализованной постановкой задачи уточним ее содержательную формулировку.

Каждый ТП можно охарактеризовать набором приписываемых ему структурных компонентов для моделирования текущего режима, а также весовы-ми характеристиками относительной важности этих компонентов в множестве структур моделей, например , в виде ориентированного графа производственной системы при расчете текущего режима функционирования.

Задача может быть решена в рамках предлагаемого способа формального выбора требуемого подмножества из фиксированного множества допустимых вариантов.

Пусть задано конечное множество структурных компонентов $D=\{D_l,...,D_m\}$, $i=l,m$, включающее непересекающиеся подмножества $D_i=\{d_{i1},...,d_{ik}\}$, конечное множество режимов $\bar{a}_{icj}=j(d_{ic},l_j)$, $i = 1,m$, $j = 1,n$, $c = 1,k$, трактуются как значения с-го элемента структурного компонента $D_i$ вектор-строки в режиме функционирования $l_j$, представленном вектор-столбцом. Каждому элементу подмножества $D_i$ множества структурных компонентов D приписывается весовая оценка $\omega^0_{ic}$, $\omega^0_i=(\omega^0_{i1},...,\omega^0_{ik})$, определяющая важность элемента $d_{ik}$ для формирования структуры модели ТС.

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

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

Следовательно, область определения $M^b_{ij}$,– наборы значений подмножеств подмножества 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: с увеличением мощности подмножеств значение $\underline{F}^b_{ij}$ не убывает. Определены и имеются наборы чисел $P_{ij}$, i=1,m, j=1,n, используемые при задании ограничений снизу на значения $F^b_{ij,}$ а также заданы числа $\lambda_{icr}$, c≠r, i=1,m, c,r=1,k, характеризующие возможную 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 $S^{op}_{ij}$ $=\{d_{i1j,...,}d_{ibj}\}$ таким образом, чтобы была удовлетворена система неравенств вида

$$\max F^b_{ij}\left(M^b_{ij}\right)=\min F^b_{ij}\left(\varphi\left(d_i l_j\right),...,\varphi\left(d_{ib} l_j\right)\right)\geq P_{ij}$$

$$i=\overline{1,m} \quad , \quad j=\overline{1,n}$$

Такой подход позволяет показатели оптимальности $P_{ij}$ интерпретировать как уровни обеспечения значений 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 с меньшими затратами средств дос-тигается реализация проекта при определенных условиях производства.

Сложность любой системы обусловлена числом ее компонент и способом их взаимосвязи. Такая сложность относится к реализации системы. Исходя из вышеприведенных рассуждений, определим ТС как множество разнородных взаимодействующих единиц, в число которых включены проектная X и производственная Y системы, образующие динамическую систему, описываемую двумя связанными автономными нелинейными уравнениями (автономность означает, что время не входит в качестве свободного параметра):

$$\frac{dX}{dt}= f_1(X,Y,\mu) \qquad (1)$$

$$\frac{dY}{dt}= f_2(X,Y,\mu) \qquad (2)$$

Система эволюционирует в двухмерном пространстве состояний переменных X, Y. В каждой точке траектории, заданной выбором конкретных начальных условий $X(0)=X_{10}$, $Y(0)= Y_{10}$, наклон определяется величиной

$$\frac{dY}{dX}=\frac{f_2}{f_1}. \qquad (3)$$

Особые точки (стационарное состояние) на траектории – это точки, в которых $f_2=0$ и $f_1=0$, т.е. не определена касательная. С другой стороны, замкнутые траектории, соответствующие периодическому режиму, имеют основной период, определяемый по формуле

$$T=\oint\frac{dX}{f_1(X,Y,\mu)}. \qquad (4)$$

Исследуем устойчивость стационарных состояний, вводя малые возмущения x(t) от положения равновесия, а именно возмущения, удовлетворяющие ограничениям

$$x(t)=\left|X-X(t)\right|<<\varepsilon$$
$$y(t)=\left|Y-Y(t)\right|<<\nu$$

где ε, ν – положительные числа, задаваемые исходя из обеспечения стационарного режима.

Для данного стационарного состояния мы разлагаем правые нелинейные части динамических уравнений в ряд Тейлора относительно стационарного значения отдельной переменной и, если функции $f_i$ достаточно гладкие, удерживаем в разложении только линейные члены.

Мы получаем:

$$\frac{dx(t)}{dt}=(X-X^*)\left(\frac{\partial f_1}{\partial X}\right)_{X=X^*} \qquad (5)$$

$$\frac{dy(t)}{dt}=(Y-Y^*)\left(\frac{\partial f_2}{\partial Y}\right)_{Y=Y^*} \qquad (6)$$

(свободный член разложения Тейлора равен нулю).

$$f_i(X^*,Y^*,\mu)=0,$$

так как $\dfrac{dX^*}{dt}=0$ и $\dfrac{dY^*}{dt}=0$.

На функциональном уровне сложность определяется многообразием технологических действий в системе.

Рассмотрим задачу проектирования производственных процессов, связанной с необходимостью определения степени приоритетов весовых коэффициентов потоков в дугах графа системы как модели по условиям качества выполняемых сборочных операций. Например, трудоемкость сборочных операций X или реализации сборочных процессов в систему поступают различные ресурсы D от управляющей структуры X. Производственная система Y полученные ресурсы от X преобразует на производстве в реальные агрегаты самолета. Следовательно, производственная структура Y должна обладать такими свойствами, которые обеспечивают выполнение проектных решений ТС с заданными показателями эффективности и качества. Для обеспечения жизнедеятельности в нее поступают денежные средства D финансово-кредитных структур, которые суммируясь с оборотными фондами и оборотными средствами проектной структуры X, увеличивают сумму денежных средств этой структуры (X растет на D). Производственная структура Y получает средства от X на постановку производства изделий (авиационной техники). Наконец, производственная структура Y, вступая в контакт с рынком авиационной техники (заказы – денежные средства на производство изделий B) создает эту технику (рис. 1).

Такая схема применима к процессам производства в условиях возможной неоднозначности производственной ситуации.

Обозначим переменные состояния $X_i$ и $Y_i$ при $z_i$, $z_j$ через

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial Z_j}\right)_{Z=Z_j^*} = b_{ij} \quad , \qquad (7)$$

где $b_{ij}$ – параметр, характеризующий взаимодействие и описывающий степень воздействия переменной $X_i$ на переменную $Y_j$, причем в общем случае $b_{ij} \neq b_{ji}$. Равенство $b_{ij}=0$ может указывать на отсутствие переменной $X_i$ в многочлене $f_i$. Элементы $b_{ij}$ образуют так называемую матрицу взаимодействия B.

Линеаризованная система дифференциальных уравнений с возмущениями $x_i(t)$ в качестве неизвестных функций имеет теперь вид

$$\frac{dz_i}{dt} = \sum_{j=1}^{N} b_{ij} z_j \qquad (8)$$

или x=Ax.

Выбирая возмущения $x_i(t) \sim e^{\lambda_i t}$, получаем линейную систему

$$\lambda_i z_i = \sum_{j=1}^{N} b_{ij} z_j \qquad (9)$$

или в матричной форме λz = Az.

Требование нетривиальности решений [$z_i$(t) ?0] приводит в нашем случае к характеристическому уравнению

$$\begin{vmatrix} b_{11} - \lambda & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0 \qquad (10)$$

или

$$(b_{11} - \lambda) \cdot (b_{22} - \lambda) - b_{12} \cdot b_{21} = 0; \qquad (11)$$

$$\lambda^2 - (b_{11}\, b_{22}) \cdot \lambda + (b_{11}b_{22} - b_{12} \cdot b_{21}) = 0, \qquad (12)$$

которое можно представить в виде

$$\lambda^2 - k\lambda + \gamma = 0 \,. \qquad (13)$$

В общем случае мы получим $\lambda_{1,2} = (\lambda' + j\, \lambda'')$.

Возникающее стационарное состояние неустойчиво, если Re{ $л_i$}<0 при i =1 и i=2. Если $\lambda'_1 = \lambda'_2 = 0$ и $\lambda'' \neq 0$, мы имеем режим на границе области устойчивости, или нейтральную устойчивость; иначе говоря, система совершает периодическое движение с частотой λ” по замкнутой траектории вокруг стационарного состояния, причем радиус траектории может быть малым но зависящим от начальных и граничных условий. Число возможных состояний системы может достаточно большим для всех возможных случаев в зависимости от параметров k и γ, поэтому проведем исследование реальной системы (рис. 1)

Функционирование должно протекать следующим образом:

$$D + X \xrightarrow{k_1} mX \ , \qquad (14)$$

$$X + Y \xrightarrow{k_2} nY \ , \qquad (15)$$

$$X + B \xrightarrow{k_3} C + B \,, \qquad (16)$$

где $k_1$, $k_2$, $k_3$ – константы скоростей реализации проектов.

Соответствующие дифференциальные уравнения относительно X и Y могут быть выведены непосредственно на основе подсчета приращений и убылей материально-финансовых средств и числа реализованных проектов. Например, X возрастает со скоростью $k_1DX$ и убывает со скоростью $k_2XY$, поэтому

$$\frac{dX}{dt} = k_1 DX - k_2 XY \,. \qquad (17)$$

С другой стороны, Y возрастает со скоростью $k_2XY$ и убывает со скоростью $k_2BY$, поэтому

$$\frac{dY}{dt} = k_2 XY - k_3 BY \,. \qquad (18)$$

Нелинейные правые части – многочлены – имеют вид:

$f_1 = k_1DX - k_2XY$ и $f_2 = k_2XY - k_3BY$.

Параметры $k_1$, $k_2$, $k_3$, D, B являются управляющими параметрами, заменяющими в формальных

Восстановление ресурсов

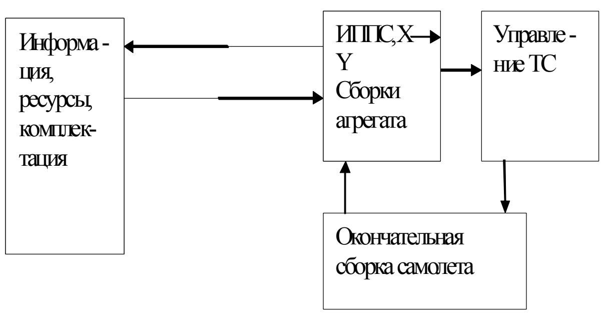


**Рис. 1.** Схема взаимодействия ТС сборки агрегата с ИППС

уравнениях динамической системы – параметр μ.

Определим стационарные состояния. Решая систему уравнений $f_1=0$, $f_2=0$, мы находим два вещественных решения

$$X_1* = \frac{K_3 B}{K_2}, \quad Y_1* = \frac{K_1 D}{K_2}, \qquad (19)$$

$$X_{11}* = 0, \quad Y_{11}* = 0. \qquad (20)$$

которые представлены на рис. 2.

Исследуем каждое из них на устойчивость.

## КОНКРЕТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВНИЙ В ОПЕРАЦИЯХ СБОРКИ

*Стационарное состояние I.* Требуется вычислить собственные значения матрицы B линеаризованной системы, что сводится к вычислению коэффициентов $b_{ij}$. Получаем

$$b_{11} = \left(\frac{\partial f_1}{\partial X}\right)_* = 0 \quad b_{12} = \left(\frac{\partial f_1}{\partial Y}\right)_* = K_3 B$$
$$b_{21} = \left(\frac{\partial f_2}{\partial X}\right)_* = K_1 \quad b_{22} = \left(\frac{\partial f_2}{\partial Y}\right)_* = 0 \qquad (21)$$

где звездочка означает, что численные значения производных следует брать при

$$X_1* = \frac{K_3 B}{K_2}, \quad Y_1* = \frac{K_1 D}{K_2}$$

Из характеристического уравнения (13) находим

$$\lambda = \pm\sqrt{K_1 K_3 DB}. \qquad (22)$$

Это означает, что стационарное состояние 1 нейтрально устойчиво и, когда система под действием слабого возмущения покидает это состояние, она переходит на периодическую траекторию, размеры которой определяются величиной возмущения, и описывает ее с циклической частотой, равной $\lambda = \pm\sqrt{K_1 K_3 DB}$ (двигаясь в пространстве состояний, где значения переменных растут от начала, всегда по часовой стрелке).

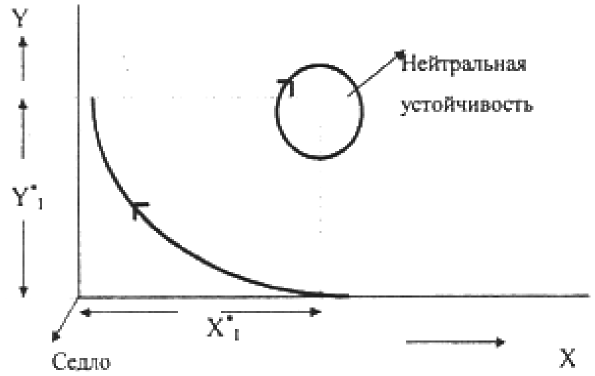


**Рис. 2.** Устойчивые режимы модели ИППС

*Стационарное состояние II.* Производя анализ, аналогичный проделанному выше, но вычисляя теперь значения производных в точке $X^*_{11}=0$, $Y^*_{11}=0$, получаем

$$b_{11} = K_1 A \quad b_{12} = 0$$
$$b_{21} = 0 \quad b_{22} = -K_3 B \qquad (23)$$

Характеристическое уравнение в этом случае имеет вид

$$(K_1 D - \lambda)\cdot(K_3 B + \lambda) = 0 \qquad (24)$$

и собственные значения оказываются равными $\lambda_1 = K_1 D > 0$ и $\lambda_2 = -K_3 B < 0$.

Стационарное состояние (0,0) неустойчиво.

Так как рассматриваемая система функционирует в пространстве состояний переменных X,Y, то замкнутые траектории, соответствующие периодическому режиму, имеют основной период, определяемый по формуле

$$T = \oint \frac{dX}{f(X, Y, k_1, k_2, k_3, A, B)}. \qquad (44)$$

При этом $k_1$, $k_2$, $k_3$, D, B учитывают скорости протекания реальных процессов в системе и показатели, характеризующие систему, которые разбиваются в нашей системе на два уровня (проектный и производственный).

Отметим, что одним из эффективных методов в исследовании многокомпонентных производственных систем является интегральный метод в решении задач факторного анализа.

Развитие интегрированных проектно-производственных систем (ИППС) при разработке ТС представляет собой многофакторный процесс. В то же время организационная структура производственной системы, представляющая собой сложноорганизованную иерархию, определяет свойства функциональных элементов, упорядоченным образом связанных друг с другом, а изучение соотношений между этими элементами, составляет основу исследования операций.

Например, если Q является семейством всех независимых множеств графа G, то число $\alpha[G] = \max_{S \in Q} |S|$ является числом независимости графа G, а множество $S'_i$, на котором этот максимум достигается, становится наибольшим независимым множеством.

Такие соотношения подмножеств графа системы должны поддерживаться моделями проверок системы при неизвестном распределении времени ее безотказной работы. Известно только значение P – квантиля $t_p$ функции $F(F_{(t_p)} = P)$, а также максимально возможное время работы системы F. Предположим, что мы исследуем фактор – интенсивность отказов: $\lambda(u) = [F(u + \Delta) - F(u)]/G(u)$, где

$G(u)=1-F(u)$, $u \ge 0$, $\Delta \ge 0$ – неубывающая функция, найдем минимальную стратегию проверок P'' такую что

$$L''= L(P'', F'') = \min_P L(P, F'') = \min_P \max_F L(P, F),$$

где L – функция издержек, трудоемкости процесса. Считаем что проверки в автоматизированных линиях сборки мгновенны, а проверка в момент T обязательна. Если отказ прозошел до момента T, то издержки равны $C+R\tau$, $\tau$ – время от момента отказа до его обнаружения.

Стратегию проверок ищем в виде

$$P=\{0=\tau_0<...<t_{N+1}=T\},$$

где $t_i$ (i=1, ...,N; i=m+1) – моменты проверок, а в моменты $t_{m+1}=t_p$ проверка может не проводиться. Предположение о том, что A=1, T=1 не ограничивает общности решения. A – стоимость одной проверки.

Также имеем в этом случае:

$$L = A\sum_{\substack{i=0\\ i\neq m+1}}^{n-l} G(t_i) + R\left[\sum_{\substack{i=0\\ i\neq m+l}}^{n} G(t_i)(t_{i+l}-t_i) - \int_0^T G(t)\cdot d(t)\right] + C\cdot F(T).$$

При этом оптимальная стратегия от C – сложности компонент ТС не зависит. Следовательно, в результате практического решения такой задачи факторного анализ можно выделить три основных подхода к задаче повышения устойчивости и надежности ТС:

1) Физический – внедрение более совершенных с большим средним временем безотказной работы компонент системы;

2) Структурный – разработка методов и способов синтеза системы ТП и алгоритмов ее функционирования, в сочетании с требуемым техническими средствами;

3) Функциональный – проектирование эффективной системы управления с учетом реальной производственной среды.

Решение задачи представим также примерами компоновки системы с точки зрения структуры и ее функций в виде двух схем (рис. 3):

Соответственно надежность определяется:

$R_a=A_1A_2(2-A_1)(2-A_2)$; $R_b=A_1A_2(2-A_1A_2)$.

Тогда надежности двух схем при нагруженном резерве выражаются через надежность элементов $A_1$ и $A_2$, где $A_1$ и $A_2$ – функции времени, а из неравенства $(1-A_1)(1-A_2)\ge 0$ получим, $R_a \ge R_б$, где равенство возможно только при абсолютной надежности компонент ТС.

Следовательно, в графе системы сборки вводится два или более вариантов весов качества системы ТП, а плотность соответствующего подграфа определяется как фактическое максимальное число вершин графа. Тогда кликовое число графа как плотность вероятности состояния ТС в производственном потоке определяется степенью связности его вершин. Для снижения объема вычислений в этом случае применим систематический метод перебора, снижающий объем вычислении, и не требующий запоминания генерируемых независимых соответствует максимальной связанности его вершин. С другой стороны, степень независимости системы снижается в связи с увеличением числа компонент, обеспечивающих высокую функциональность и качество ТС. В целом при нахождении всех максимальных независимых множеств графа по исследуемым факторам с наибольшим числом вершин (порядка 20) предлагается использование метода последовательного перебора независимых множеств с одновременной проверкой каждого множества на максимальность значения исследуемого фактора путем добавления к исследуемому множеству дополнительной, не принадлежащей ему вершины и выяснения условий сохранения независимости с последующим запоминанием текущих максимальных множеств., полученных ранее, и становятся не максимальными на данном этапе решения. множеств с целью проверки их на максимальность ,допустим, способом сравнения с ранее сформулированными множествами.

Предлагаемый подход позволяет определить методику обеспечения устойчивости системы сборки по доминирующим критериям оптимизации производственных схем с учетом требований по качеству сборок и ритмичности поставок комплектующих. Для практического применения методики применимы соответствующие алгоритмы:

- алгоритм решения задач об оптимальном начальном запасе и графиках поставок по критерию минимума среднего запаса;

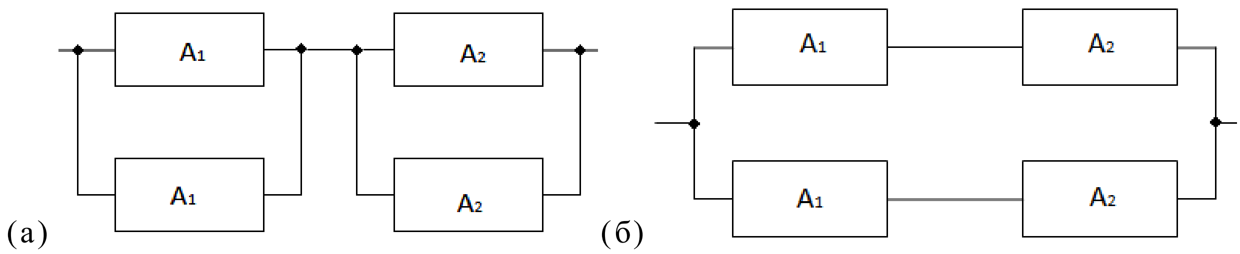


Рис. 3. Две схемы структурных соединений компонент рабочих мест исполнителей

- алгоритм определения практического приближения к оптимальному управлению по математическому моделированию и способами управления технологическими системами.

Проблема управления системой сборки в данной постановке занимает важное место в теории автоматического управления процессами на производстве. Она обеспечивает реализацию концепции упреждающего управления ,которая основана на том, что значение управления в текущий момент времени $t$ менее подвержено действию различного рода возмущений, если найдено с учетом знания будущего поведения системы на интервале времени $(t, t+h)$ длины $h > 0$. Применительно к дискретной системе с интервальными коэффициентами концепция требует прогнозирования состояния сборочного пространства на несколько тактов времени вперед, т.е. представления его в виде линейной комбинации неопределенных векторов. Если потребовать, чтобы линейная комбинация совпадала с положением равновесия, то естественно приходим к необходимости решения линейного алгебраического уравнения с интервальными оценками коэффициентов. В данном случае используется понятие частного решения в пределах возможности универсальных решений интервальных задач. Оно позволяет найти стабилизирующее управление в виде линейной функции текущих координат потоков сборки, оценить степень близости решения дискретной системы к положению равновесия, получить условия на интервальные коэффициенты, гарантиру-ющие притяжение траекторий замкнутой системы к положению равновесия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая методика выбора модели ТС, методов ее оптимизации и определение стационарных устойчивых состояний позволяет при удовлетворении заданным и начальным граничным условиям вычислять такие параметры производственных процессов, которые соответствуют устойчивости функционирования агрегатно-сборочного производства. Обеспечивается также возможность мониторинга сборочного производства в непрерывном режиме. Предлагаемая методика расчета параметров устойчивости и стационарности системы позволяет в процессе проектирования операций сборки прогнозировать возможные критические состояния производства с большой вероятностью роста интенсивности отклонений. Способ выбора моделей ТС с введением и ранжированием весовых характеристик дуг графа как моделей общей системы позволяет проводить необходимую в производственных условиях работу по перераспределению потоков в системе для обеспечения устойчивых состояний отдельных рабочих мест исполнителей в допустимых режимах работы, освоения других изделий и более совершенных технологий, например, GPPM. Предлагаемый подход связан с решением задач контроля сборочных процессов и получения количественных и качественных оценок их эффективности. В этом случае обеспечивается планомерное наращивание показателя прироста качества и стоимости создаваемого изделия при расходе некоторых ограниченных ресурсов. Установлены основные предпосылки обеспечения устойчивости ТС, базирующиеся на аппарате математического моделирования и решения адекватных систем линейных и дифференциальных уравнений, что позволяет представлять текущую информацию в общей информационной системе предприятия в цифровом виде для обработке в автоматизированной системе проектирования и управления производством.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Крон Г.* Тензорный анализ сетей. М.: Советское радио, 1978. 720 с.
2. *Партыка Т.Л., Попов И.И.* Математические методы. М.: Инфра-М; Форум,2007,464 с.
3. *Лазарсон Э.В.* Теория и методы решения многовариантных неформализованных задач выбора. Моногр. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 270 с.
4. *Белковский С.В. Низамутдинов О.Б.* Постановка задачи синтеза оптимальной структуры распределенных АСУТП // Теоретические и прикладные аспекты информационных технологий: Сб. научн. тр., Пермь: НИИУМС, 2002.

# STUDY OF THE EFFICIENCY AND DYNAMICS OF DESIGN PRODUCTION PROCESSES IN THE AIRCRAFT INDUSTRY

© 2010 S.F. Tlustenko[1], A.A. Koptev[2]

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

The article discusses tasking design process-aggregate assembly plant, the methodology of optimization of the efficiency criteria. A method for studying the stability of stationary states of the integrated design and manufacturing system.

Keywords: structural components, stability, stationarity, a trajectory model, parameters.

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