УДК 621.015

МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2020 С.Ф. Тлустенко, А.Н. Коптев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 03.12.2020

Автоматизация процессов синтеза, анализа и оценки вариантов технологических процессов сборки летательных аппаратов (ЛА) при переходе к бесплазовому способу их производства на базе электронных моделей изделий позволяет значительно увеличить число разрабатываемых в автоматизированных системах проектов технологий сборочных процессов. Разработана методика совершенствования способов перебора вариантов сборки с использованием предлагаемых моделей выбора состава, построения структуры и схем при технологической подготовке агрегатно-сборочного производства, где задачу определения эффективности операций сборки можно свести к общей задаче расчета адекватных передаточных функций введением в модель сборки в виде смешанного графа подмножеств соотношений входных и выходных переменных по комплексам варьируемых параметров и факторов.

Ключевые слова: комплексный критерий, топологическое описание, сборка, автоматизация, итерационные процедуры, проектирование, схемные функции, взаимозаменяемость, технологические процессы, маршруты, методы, способы оптимизации, моделирование.
DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-6-36-42

В производственных системах изготовления летательных аппаратов (ЛА) необходимо постоянно совершенствовать процессы оптимизации технологических решений по ряду определяющих критериев эффективности производства и качества изделий. Исходными являются базовые информационные системы, в том числе для процессов сборки и контроля параметров технологических систем (ТС) и текущего состояния объектов сборки, но проблемой является получение достоверной и качественной информации о текущих параметрах ТП с целью их оптимизации в реальном масштабе времени.

Является важной проблема постоянного пополнения баз данных о характерных отклонениях от проектных характеристик надежности выполняемых технологических операций (ТО). Следовательно, в реальном сборочном производстве процесс выполнения одних и тех же операций не является детерминированным вследствие сочетаний разнородных по содержанию многоэлементных взаимодействий, которые должны быть управляемы в условиях автоматизации управления технологическими процессами.

Если построить модель технологической системы (ТС) в виде графа системы исполнения некоторого конечного множества ТО, то задача заключается в нахождении таких локальных подмножеств { xi } в каждой вершине графа, сочетаемых по заданным критериям {ki} на множестве вершин {X} графа G, которые в сочетании обеспечивают свойства системы по критериям качества, надежности и минимальных затрат при решении общей задачи оптимизации и наличии противоречащих отчасти друг другу критериев. Для сборочных процессов наиболее эффективными следует считать, с точки зрения учета ограничений, методы многокритериального подхода к системному анализу ситуации и принятия решений.

В этом случае характеристика функционирования системы связана с определением максимально возможной мощности такого подмножества $x_i \in X$, для которого порожденный подграф G' будет полным. Это соответствует условию выделения наиболее существенных характеристик функционирования системы и возможности использования скалярного функционала с разными весами либо одного основного критерия, а остальные при этом учитывать в виде ограничений. Для ТС стратегии оптимизации тех или иных критериев надежности и качества реализуются информационно-технологическом обеспечении сборки, что предполагает:

- максимизацию некоторой вероятностно доминирующей характеристики при ограничениях на ряд других характеристик системы;
- минимизацию ресурсных характеристик системы (трудоемкость, материалоемкость, энергозатраты) с учетом вероятных значений таких характеристик.

Тлустенко Станислав Федорович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: titan250@mail.ru
Коптев Анатолий Никитич, доктор технических наук, профессор.

Для решения указанных задач для современных автоматизированных технологических процессов при использовании эффективных математических методов оптимизации, например, когда минимизируются в общем случае нелинейная функция от всех функций, задающих критерий и ограничение исходной задачи, следует выбрать правильно главный критерий. Для сборочного цеха понятие надежность ТС непосредственно связана с качеством собираемого агрегата – крыла. Тогда выделим функционалы, определяющиеся при использовании более сложных методов оптимизации с учетом содержания главного критерия. В виде критерия качества при минимально допустимом критерии суммарных издержек при наличии в системе i={i, N} элементов – компонент целевая функция для сравнения при двух элементах имеет вид:

$$L_i(x_i, k_i) = a \cdot P^{(i)}_{x_{i+1}} + b \cdot k_i + c_i(N + x_i);\ i = 1,2,$$

где N – числа элементов в системе;

a – потери вследствие нарушения ритма сборки по техническим причинам;

b – дополнительные затраты на восстановление системы;

c_i – стоимость компоненты типа i, отнесенная к единице времени ее эксплуатации.

Оптимальные значения x'_i, минимизирующие k'_i, находятся при ограничениях k_i = 0, 1, …, x_i +1; x_i = 0, 1, 2, … (i=1, 2).

Получаемые при этом числа и связанные с ними подмножества вершин графа системы сборки представляют необходимые структурные свойства графа и являются непосредственным приложением при проектировании ТП и параллельных вычислениях на ЭВМ. Алгоритмы определения количественных соотношений в потоках графа вычисляются совместно с решением задачи о наименьшем покрытии, являющейся обобщением задачи о нахождении числа доминирования графа. Задача нахождения числа доминирования графа часто становится также и как подзадача при нахождении центров графа и паросочетаний. В общем случае Li (xi, ki) должно соответствовать такое независимое множество вершин, или внутреннее устойчивое множество, что любые две вершины в нем не смежны. При этом любое множество $S \subset X$, удовлетворяющее условию $S \cap \Gamma(S) = \emptyset$ является независимым множеством вершин. Если критерий оптимальности определяется однозначно, то ему в графе соответствует независимое множество, в которое оно бы входило. Следовательно, множество S является максимальным независимым множеством при удовлетворении двум условиям:

$S \cap \Gamma(S) = \emptyset$; $S \cap \Gamma(S) \neq \emptyset$ при $\forall\, H \supset S$.

Например, если Q является семейством всех независимых множеств графа G, то число $\alpha[G] = \max|S|$ является числом независимости графа $\overset{S\in Q}{G}$, 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 F. Известно только значение P – квантиля tp функции $F(F_{(t_p)} = P)$, а также максимально возможное время работы системы T. Предположим, что интенсивность отказов $\lambda(u) = [F(u + \Delta) - F(u)]/G(u)$, где G(u)=1 – F(u), u ≥ 0, Δ ≥ 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. Считаем что проверки в автоматизированных линиях сборки мгновенны, а проверка в момент T обязательна. Если отказ прозошел до момента T, то издержки равны C+Rτ, τ – время от момента отказа до его обнаружения.

Стратегию проверок ищем в виде P={0=τ0 <…<tN+1 =T}, где

ti (i=1, …,N; i≠m+1) – моменты проверок, а в моменты tm+1=tp 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:

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

При этом оптимальная стратегия от C – сложности элементов не зависит. Следовательно, можно выделить три основных подхода к задаче увеличения надежности ТП:

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 фиксированными свойствами элементов.

На производстве часто возникает необходимость эффективной оценки получаемых решений при автоматизированном проектировании технологических процессов. Предлагаемая методика топологического описания и анализа вариантов технологического комплекса (ТК) на уровне формализованного представления предполагает построение обобщённого сигнального графа непосредственно по виду схемы ТК. На основе последнего, в свою очередь, можно найти искомую передаточную функцию $T_{k\ell} = x_k / q_\ell$, равную отношению основной входной переменной одного из многополюсников схемы x_k к произвольному задающему источнику q_ℓ.

При этом в зависимости от выбранного характера переменных x_k и q_ℓ передаточная функция $T_{k\ell} = x_k / q_\ell$ определяет следующие характеристики схемы:

1) при x_k = $п_k$ и q_ℓ=$п_i$ – рост числа деталей, обработанных на производственной линии $K_п$= $п_k/п_i$;

2) при x_k = $n_{вх}$ и q_ℓ = $n_{вых}$ – рост скорости потока деталей, узлов K_n = $n_{вх}$ /$n_{вых\ i}$;

3) при x_k = $п_k$ и q_ℓ=$n_{вых}$ – коэффициент передачи $Z_п$ = $п_k/n_{вых\ i}$;

4) при x_k = $n_{вх}$ и q_ℓ = $п_{ki}$ – коэффициент передачи $Y_п$ = $n_{вх}$ /$п_{ki}$.

Переходя к вопросу практической реализации процедуры топологического расчета передаточных функций схем ТК, отметим, что такая задача может быть решена двумя основными способами: на основании графа общего вида с вершинами-истоками и на основе однородного графа, не содержащего вершин-истоков. Рассмотрим их последовательно.

Для первого случая граф общего вида может содержать произвольное число вершин-истоков, отображающих задающие источники деталей и скорости потоков. Поэтому, чтобы найти по виду такого графа передаточную функцию $T_{k\ell} = x_k / q_\ell$, достаточно ввести в смешанный граф схемы ТК задающий источник числа деталей или скорость потока q_ℓ и выделить в этом графе ветвь, отображающую переменную x_k. При этом, если входящая в искомую передаточную функцию переменная x_k не совпадает ни с одной входной переменной реальных многополюсных элементов схемы ТК, необходимо ввести в граф G_x соответствующим образом включенную дополнительную ветвь x_k, отображающую основную переменную фиктивного двухполюсника по аналогу нулевого сопротивления при x_k = $n_{вхk}$ и с нулевой проводимостью при x_k = $п_k$.

Построив затем в соответствии с общей методикой обобщенный сигнальный граф схемы G, получим структуру, которая содержит вершину-исток q_ℓ, отображающую задающий источник q_ℓ, и взвешенную вершину x_k, отображающую основную входную переменную одного из многополюсников схемы x_k. Искомая функция $T_{k\ell} = x_k / q_\ell$ находится по виду этого графа на основании топологической формулы передачи, т.е. на основании соотношения

$$T_{k\ell} = \frac{x_k}{q_\ell} = \frac{\sum_s P_{k\ell}^{(s)} \Delta^{(s)}}{\Delta}, \qquad (1)$$

где D – определитель графа G; $P_{k\ell}^{(s)}$ – вес s-ного пути в вершину x_k из вершины q_ℓ; $D^{(s)}$ – определитель графа, не касающегося s-ного пути.

В тех случаях, когда определению подлежит некоторая совокупность схемных функций $\{T_{k\ell}\}$, следует сразу ввести в граф G_x совокупность задающих источников $\{q_\ell\}$ и выделить в нем совокупность ветвей $\{x_k\}$. При этом обобщенный сигнальный граф будет включать в себя совокупность вершин-истоков $\{q_\ell\}$ и совокупность взвешенных вершин $\{x_k\}$, что позволит по виду одного и того же графа G найти все искомые схемные функции.

Во втором случае при анализе схем ТК часто бывает неизвестен полный перечень передаточных функций $\{T_{k\ell}\}$, которые подлежат определению. Иногда этот перечень устанавливается последовательно, по мере анализа свойств схемы ТК на основе уже определенных передаточных функций. При этом заранее неизвестна полная совокупность всех задающих источников $\{q_\ell\}$, которые необходимо ввести в смешанный граф схемы ТК для нахождения полного набора искомых передаточных функций $\{T_{k\ell}\}$. В таких случаях расчет передаточных функций на основе графа общего вида может оказаться трудоёмким вследствие необходимости повторного топологического описания схемы ТК по мере введения в рассмотрение новых задающих источников.

Поставленная задача весьма просто решается на основе однородного графа схемы ТК. Такой граф не содержит вершин-источников, и все его вершины являются взвешенными. При этом в зависимости от условий задачи в качестве задающей может приниматься любая отображенная в графе переменная x_ℓ. Соответствующая передаточная функция $T_{k\ell} = x_k / x_\ell$ находится по виду однородного графа.

Следовательно, построив смешанный и обобщенный сигнальный графы анализируемой схемы ПК, не содержащей задающих источников, можно затем отождествить с задающим источником любую отображенную в этих графах переменную. При этом искомая передаточная функция $T_{k\ell} = x_k / q_\ell = x_k / x_\ell$ определяется по виду однородного графа на основании соотношения

$$T_{k\ell} = \frac{x_k}{x_\ell} = \frac{\sum_s P_{k\ell}^{(s)} \Delta^{(s)}}{\Delta_{\bar{\ell}}}, \qquad (2)$$

где $\Delta_{\bar{\ell}}$ – определитель однородного графа $G_{\bar{\ell}}$ с устраненной вершиной x_ℓ;

$P_{k\ell}^{(s)}$ – вес s-ного пути в вершину x_k от вершины x_ℓ; $D^{(s)}$ – определитель графа, не касающегося s-ного пути.

При практическом расчете передаточных функций, естественно, можно объединить оба рассмотренных подхода. Так, выполняя расчет передаточных функций на основе графа общего вида, содержащего вершины-истоки, отображающие задающие источники схемы ТК, можно одновременно с расчетом передаточных функций $T_{k\ell} = x_k / q_\ell$ находить по виду этого графа и передаточные функции типа $T_{k\ell} = x_k / x_\ell$. Последние, очевидно, равны отношению переменных x_k и x_ℓ, отображенных в графе соответствующими взвешенными вершинами, при этом одна из таких переменных отождествляется с задающим источником. Это существенно расширяет возможность топологического анализа реальных схем ТК в связи с вариацией характера возможных задающих источников по их весовым коэффициентам.

Исходя из вышеизложенного, отметим, что при расчете схем ТК в ряде случаев может возникнуть задача определения передаточной функции $\overline{T}_{k\ell} = \overline{x}_k / q_\ell$, равной отношению второстепенной входной переменной $\overline{x}_k$ к задающему источнику q_ℓ. Такая задача легко решается путем использования уравнения k-того входа многополюсника $\overline{x}_k = \sum_i \omega_{ki} x_i$, позволяющего выразить второстепенную переменную $\overline{x}_k$ этого входа через параметры многополюсника ω_{ki} и его основные переменные x_i. Используя указанное уравнение, получаем

$$\overline{T}_{k\ell} = \frac{\overline{x}_k}{q_\ell} = \frac{\sum_i \omega_{ki} x_i}{q_\ell} = \sum_i \omega_{k\ell} T_{i\ell}, \qquad (3)$$

где $T_{i\ell} = x_i / q_\ell$ – передаточная функция, равная отношению основной входной переменной x_i к задающему источнику q_ℓ и определяемая топологическим путем согласно изложенной выше методике.

Относительно просто указанная задача решается, если переменная $\overline{x}_k$ является второстепенной переменной двухполюсника. В этом случае на основании (3) получим

$$\overline{T}_{k\ell} = \frac{\overline{x}_k}{q_\ell} = \frac{V_k x_k}{q_\ell} = V_k T_{k\ell}, \qquad (4)$$

где $T_{k\ell} = x_k / q_\ell$ – передаточная функция, равная отношению основной переменной двухполюсника x_k к задающему источнику q_ℓ; V_k – проводимость двухполюсника.

Помимо указанного способа задачу определения передаточной функции $\overline{T}_{k\ell}$ можно свести к общей задаче расчета передаточной функции $T_{k\ell}$ введением в смешанный граф дополнительной ветви, которая отображает фиктивный двухполюсник с нулевой проводимостью, включенный таким образом, чтобы основная переменная этого двухполюсника совпадала с второстепенной переменной, входящей в искомую передаточную функцию $\overline{T}_{k\ell} = \overline{x}_k / q_\ell$.

При проектировании схем ТК часто возникает необходимость приближенной оценки передаточных функций с учетом имеющихся соотношений между параметрами многополюсных элементов. При этом на различных этапах проектирования могут использоваться различные степени такого приближения.

Возможность приближенного представления передаточных функций обеспечивается, с одной стороны, наличием среди параметров многополюсных элементов таких, которые пренебрежимо малы, а с другой стороны, тем, что некоторые из параметров многополюсников имеют относительно большие численные значения. Поскольку подход к приближенному расчету передаточных функций для указанных ситуаций различен, рассмотрим каждую из них отдельно.

В первом случае, если какие-то параметры многополюсных элементов пренебрежимо малы, их можно положить равными нулю. Это допущение может быть сделано либо до выполнения топологического описания схемы ПК, если известно, что на всех этапах ее проектирования пренебрежение малыми параметрами оказывается возможным, либо после выполнения такого описания – в противном случае.

Если параметр многополюсного элемента, являющийся недиагональным коэффициентом матрицы его параметров, стремится к нулю, то из топологического описания схемы ТК устраняется соответствующая дуга, весовой коэффициент которой определяется этим параметром. Устранение некоторой совокупности дуг из графа схемы ТК, очевидно, упрощает расчет ее передаточных функций, так как при этом исключается из рассмотрения ряд контуров и путей графа. Методика расчёта схемы ТК в значительной степени определяется процедурой вычисления определителя графа.

Если равным нулю полагается параметр многополюсника, являющийся диагональным коэффициентом матрицы его параметров, то в графе компонентов обращается в нуль весовой коэффициент соответствующей вершины. При этом структура обобщенного сигнального графа схемы ТК остается неизменной, и указанная ситуация не приведет к упрощению процедуры топологического расчета передаточных функций.

Для упрощения расчета передаточных функций проведем разложение графа по вершине x_i с нулевым весом $t_{ii} = 0$. При этом получим выражение для определителя графа в виде

$$\Delta = t_{ii} \Delta_{\bar{i}} + \sum_s L_{ii}^{(s)} \Delta^s = \sum_s L_{ii}^{(s)} \Delta^s, \qquad (5)$$

где $L_{ii}^{(s)}$ – вес s-ного контура, проходящего через вершину x_i; $\Delta^{(s)}$ – определитель графа, не касающегося s-ного контура.

Таким образом, процедура вычисления определителя существенно упрощается, так как из рассмотрения исключаются все элементарные графы, не содержащие контуров, проходящих через выделенную вершины x_i с нулевым весом.

Если граф содержит совокупность вершин $\{x_i\}$ с нулевым весом, то, осуществляя последовательно его разложение по таким вершинам, получим соотношение вида

$$\Delta = \sum_s L_{\{ii\}}^{(s)} \Delta^s , \qquad (6)$$

где $L_{\{ii\}}^{(s)}$ – s-ное произведение весов контуров, проходящих через все вершины совокупности $\{x_i\}$; $\Delta^{(s)}$ – определитель графа, не касающегося s-ных контуров, входящих в s-ное произведение.

Аналогично, при наличии в графе вершин с нулевым весом упрощается и вычисление числителя передаточной функции. При стремлении к бесконечности какого-либо коэффициента матрицы последняя перестает существовать; допущение о весьма больших значениях параметров многополюсников можно ввести только после осуществления топологического описания схемы ТК. Выполнив такое описание, можно положить весовые коэффициенты некоторых дуг и вершин стремящимися к бесконечности.

При этом, если устремляется к бесконечности весовой коэффициент t_{ij} какой-либо дуги (x_i, x_j), то, осуществляя разложение графа по этой дуге, можно записать

$$\Delta = \Delta^0 + (-t_{ij}) \sum_s P_{ji}^{(s)} \Delta^s \approx -t_{ij} \sum_s P_{ji}^{(s)} \Delta^s , \qquad (7)$$

где $P_{ji}^{(s)}$ – вес s-ного пути в j-тую вершину из i-той; $\Delta^{(s)}$ – определитель части графа, не касающейся s-ного пути.

Если при разложении графа взять за основу соотношение

$$\Delta = \Delta^0 + \sum_s L_{ij}^{(s)} \Delta^s \approx -t_{ij} \sum_s P_{ji}^{(s)} \Delta^s , \qquad (8)$$

где Δ^0 – определитель графа G^0, образуемого из исходного графа удалением дуги (x_i, x_j); $L_{ij}^{(s)}$ – вес s-ного контура, включающего выделенную дугу (x_i,x_j); $\Delta^{(s)}$ – определитель части графа, не касающейся s-ного контура, то получим приближенное выражение в виде

$$\Delta \approx \sum_s L_{ij}^{(s)} \Delta^s , \qquad (9)$$

где $L_{ij}^{(s)}$ – вес s-ного контура, включающего в себя выделенную дугу (x_i,x_j); $\Delta^{(s)}$ – определитель графа, не касающейся s-ного контура.

В случае, когда в графе содержится некоторая совокупность дуг $\{x_i, x_j\}$, весовые коэффициенты которых достаточно велики, в результате выполнения последовательного разложения по таким дугам можно получить на основании (8) приближенное соотношение вида

$$\Delta \approx \sum_s L_{\{ij\}}^{(s)} \Delta^s , \qquad (10)$$

где $L_{\{ij\}}^{(s)}$ – произведение весов s-ной системы не касающихся контуров, включающих в себя все дуги выбранной совокупности; $\Delta^{(s)}$ – определитель графа, не касающегося s-ной системы контуров.

Если же устремляется к бесконечности весовой коэффициент t_{ii} вершины x_i , то, проводя разложение по этой вершине, можно записать

$$\Delta = t_{ii} \Delta_{\bar{i}} + \sum_s L_{ii}^{(s)} \Delta^s \approx t_{ii} \Delta_{\bar{i}} , \qquad (11)$$

где $\Delta_{\bar{i}}$ – определитель графа с устраненной вершиной x_i.

При наличии в графе некоторой совокупности вершин $\{x_i\}$, весовые коэффициенты которых можно устремить к бесконечности, задача приближенного расчета решается последовательным разложением по вершинам выбранной совокупности, что дает

$$\Delta \approx t_{\{ii\}} \Delta_{\{\bar{i}\}} , \qquad (12)$$

где $t_{\{ii\}}$ – произведение весов вершин, входящих в совокупность $\{x_i\}$, $\Delta_{\{\bar{i}\}}$ – определитель графа, образуемого из исходного устранением всех вершин, входящих в совокупность $\{x_i\}$.

Пусть ω – произвольный параметр одного из многополюсников схемы ПК, отображенный в ее обобщенном сигнальном графе элементом с весовым коэффициентом t_{ij}. При этом таким элементом может быть либо дуга (x_i, x_j), направленная в вершину x_i из вершины x_j и имеющая вес t_{ij} (случай, когда j¹i), либо вершина x_i с весом t_{ii} (случай, когда j = i). Очевидно, что в первом случае выбранный параметр w определяет передаточные свойства многополюсника, а во втором – его входное сопротивление. Из всех возможных форм представлений функций чувствительности для целей топологического анализа удобнее всего использовать формы, не зависящие от размерности варьируемого параметра, т.е. относительную чувствительность передаточной функции $T_{k\ell}$ к вариации параметра (весового коэффициента графа t_{ij}):

$$S = \frac{\partial T_{k\ell}}{\partial \omega} \frac{\omega}{T_{k\ell}} . \qquad (13)$$

Чтобы получить топологическую формулу для расчета относительной чувствительности, запишем передаточную функцию $T_{k\ell}$ в билинейной форме относительно варьируемого параметра ω:

$$T_{k\ell} = \frac{A}{B} = \frac{A_0 + \omega A_1}{B_0 + \omega B_1} . \qquad (14)$$

Дифференцируя это выражение по параметру ω, получим

$$S = \frac{\partial T_{k\ell}}{\partial \omega} \frac{\omega}{T_{k\ell}} = \omega \frac{A_1 B - B_1 A}{AB} . \qquad (15)$$

С учетом того, что $A_1 = (A - A_0)/\omega$ и $B_1 = (B - B_0)/\omega$, последнее выражение примет вид

$$S = \frac{B_0}{B} - \frac{A_0}{A}. \qquad (16)$$

Сопоставляя билинейную форму с общим видом топологической формулы передачи, можно записать:

$$B = \Delta; \quad B_0 = \Delta\big|_{\omega=0}; \; A = \sum_s P_{k\ell}^{(s)} \Delta^{(s)}; \qquad (17)$$
$$A_0 = \left(\sum_s P_{k\ell}^{(s)} \Delta^{(s)}\right)\Bigg|_{\omega=0}.$$

Очевидно, что к виду, аналогичному соотношениям (8-12), можно привести во всех рассматриваемых случаях и числитель передаточной функции $T_{k\ell}$. Если при этом все устремляемые к бесконечности параметры войдут как в числитель, так и в знаменатель передаточной функции, то после их сокращения получим предельное значение передаточной функции, к которому последняя стремится при неограниченном возрастании таких параметров. В противном случае пределом рассматриваемой передаточной функции будет ее нулевое или бесконечное значение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика проектировании схем ТС в условиях необходимости приближенной оценки передаточных функций с учетом имеющихся соотношений между параметрами целевых функций технологических систем. При этом на различных этапах проектирования могут использоваться различные степени приближения в вычислении их значений.

Обоснована возможность приближенного представления передаточных функций, которая обеспечивается, с одной стороны, наличием среди параметров многополюсных элементов таких, которые пренебрежимо малы, а с другой стороны, тем, что некоторые из параметров многополюсников имеют относительно большие численные значения

Одной из важнейших характеристик схем ТК является чувствительность их передаточных функций к вариации параметров многополюсных элементов. Поэтому представляет существенный интерес возможная методика топологического расчета чувствительности передаточных функций по виду их обобщенных сигнальных графов.

Таким образом, методика приведения компонент ТС к многополюсникам при системном подходе позволяет в производственных условиях получать удовлетворительные результаты при проектировании и оценке эффективности различных схем ТС, когда непосредственная обработка данных по существующим методикам связана со значительными затратами времени при невысокой точности конечного результата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калачанов В.Д., Джимай Е.В.* Формирование и оптимизация ресурсного обеспечения программ авиастроительного производства // Авиакосмическая техника и технология. 2005. № 4.
2. *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.
3. *Партыка Т.Л., Попов И.И.* Математические методы. 2-е изд., испр. и доп. М.: Инфра-М; Форум, 2007. 464 с.
4. Лазарсон Э. В. Теория и методы решения многовариантных неформализованных задач выбора. Моногр. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 270 с.
5. *Ульянов М.В.* Ресурсно-эффективные компьютерные алгоритмы. Разработка и анализ. М.: Физматлит, 2008.304с.
6. *Коротнев Г.И.* Теоретические основы представления структур и функционирования авиационных комплексов. М.: Новые технологии, 2002. 324 с.
7. *Dierk Raabe, Franz Roters, Frederic Barlat, Long-Qing Chen.* Continuum Scale Simulation of Engineering Materials // WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA April 5. 2004.
8. *Roters Franz, Eisenlohr Philip, Bieler Thomas R., Raabe Dierk.* Crystal Plasticity Finite Element Methods // WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA July 23. 2010.

METHODOLOGY OF OPTIMIZATION OF TARGET FUNCTIONS OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR PRODUCTION OF AIRCRAFT

© 2020 S.F. Tlustenko, A.N. Koptev

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

Automation of processes of synthesis, the analysis and assessment of options of technological processes of assembly of the aircraft (A) upon transition to a nonplaz way of their production on the basis of electronic models of products allows to increase considerably number the automated systems of projects of technologies of assembly processes developed in. The technique of improvement of ways of search of options of assembly with use of the offered models of a choice of structure, creation of structure and schemes by technological preparation of modular and assembly production where the problem of determination of efficiency of operations of assembly can be reduced to the general problem of calculation of adequate transfer functions by introduction to assembly model in the form of mixed the column of subsets of ratios of entrance and output variables on complexes of the varied parameters and factors is developed.

Keywords: complex criterion, topological description, assembly, automation, iterative procedures, design, circuit functions, interchangeability, technological processes, routes, methods, ways of optimization, modeling.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-6-36-42

Stanislav Tlustenko, Candidate of Technical Science, Associate Professor. E-mail: titan250@mail.ru
Anatoly Koptev, Doctor of Technical Science, Professor.