

УДК 621.015

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2011 Ф.В. Гречников, С.Ф. Тлустенко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 31.01.2011

Развитие систем автоматизированного проектирования технологических процессов сборки летательных аппаратов требует совершенствования методов и средств обеспечения взаимозаменяемости и точности изготовления сборочных единиц, что оказывает определяющее влияние на состав, структуру и схему технологического оснащения, экономические показатели сборочного производства. Поэтому проектирование сборочных процессов и средств их оснащения должно осуществляться с учетом комплекса анализируемых факторов.

Ключевые слова: сборка, автоматизация, проектирование, точность, взаимозаменяемость, технологические процессы, маршруты, методы, способы, базирование, моделирование.

Развитие системы автоматизированного конструирования (САПР-К АСК) и автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП), в составе систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР-ТП), технологичности конструкции (САПР-ТК), технологического оборудования и оснастки (САПР-ТО), размерно-геометрической увязки (САПР-Пл) и программирования для оборудования с ЧПУ (САПР-Пр) позволяет создать автоматизированную систему конструирования и производства летательных аппаратов (ЛА).

Создание такой автоматизированной системы приобрело особую актуальность в связи с развитием автоматизации производства на базе гибких производственных систем, то есть обеспечения взаимосвязанных решений в цепи: конструкция — технология — производство (ОКБ — НИИ — завод), что позволяет резко сократить сроки создания изделия, повысить качество и технико-экономическую эффективность производства ЛА, в современных условиях на базе единой информационной модели изделия указанная цепь состоит из десятков и сотен участников интегрированной системы создания ЛА. В современных условиях на базе единой информационной модели изделия указанная цепь состоит из десятков и сотен участков интегрированной системы создания ЛА.

В настоящее время работы по обеспечению технологичности и расчетам точности сборочных цепей выполняются на этапах конструктор-

ско-технологических разработок изделия выполняются на этапах конструкторско-технологических разработок изделия в ряде случаев с использованием эвристических методов, что объясняется как сложностью формализации выполняемых процедур и, следовательно, математического описания, так и необходимостью многофакторного анализа разнородных конструктивных, технологических и экономических параметров для очень большой номенклатуры деталей, узлов, агрегатов и изделия в целом. Кроме того, эвристический метод в зависимости от характера взаимосвязи между многообразием и сложностью проблем анализа и расчета, а также ряда человеческих факторов (субъективность, квалификация исполнителей и т. д.) не отвечает предъявляемым требованиям по качеству, срокам и трудоемкости выполнения работ. Эвристический метод, за исключением решения частных задач, не может быть также использован в автоматизированной системе. Однако теоретические и практические вопросы создания САПР-ТК-ТП наименее исследованы во всем комплексе САПР. Поэтому их теоретическая разработка, способы построения, включающие автоматизированное вычисление и оценку показателей технологичности на всех этапах создания ЛА являются одними из наиболее важных проблем, обеспечивающих связь между конструкцией, технологией и производством, которая определяет качественные и технико-экономические показатели как конструкции, так и серийного производства.

В настоящее время нет единой теории прямого синтеза сложных технических систем, подобных самолету, поэтому их проектирование осуществляется методом последовательных приближений в многошаговом итерационном процессе, осуществляемом в последовательности

Тлустенко Станислав Федорович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: titan250@mail.ru.

Гречников Федор Васильевич, чл.-корр. РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Обработка металлов давлением"

гипотеза — модель — анализ — принятие решения по результатам оптимизации. Указанные особенности процесса проектирования положены в основу предлагаемого варианта построения алгоритма эскизного проектирования сборочного автоматизированного производства по задаваемым параметрам точности. Алгоритм имеет четырехуровневую иерархическую структуру с рациональным распределением функций между человеком-оператором и ЭВМ. На первом уровне на основе анализа требований к самолету, опыта проектировщика, его интуиции и воображения осуществляется выбор опорного решения и его масштабирование с помощью статистических зависимостей между конструктивно-технологическими характеристиками параметрами технологической модели сборки. Таким образом, структурная технологическая схема сборки изделия охватывает все размерные и конструктивные признаки деталей и сборок, а также технологические образования в виде технологически законченных узлов, панелей, секций, отсеков др. Структурная схема сборочного состава изделия может быть изображена графически и характеризует принципиальную возможность расчленения летательного аппарата на самостоятельные в конструктивно-технологическом отношении части - сборочные единицы, входящие в состав схем сборочного производства, которые выделяются как самостоятельные при условии независимости их конструктивно-технологического существования и не предполагают взаимосвязанной последовательности наложения деталей в процессе сборки, а также образования при этом законченных сборок, включая все возможные сборочно-монтажные работы. Высокую эффективность таких методов и способов сборки подтверждает практика изготовления самолета А 380 компании "Эрбас", когда на окончательную сборку в г. Тулуза (Франция) полностью законченные по сборочным операциям центроплан, консоли крыла, секции фюзеляжа, киль, стабилизатор и др. поступают из семи стран-изготовителей.

Деление процессов задания геометрии и точности выполнения контура элементов сборочных единиц снижает эффективность использования автоматизированных систем проектирования и применения дисплейного оборудования. В той или иной степени эти недостатки свойственны многим САПР, используемым в авиастроении, и проблема эта комплексно решается в условиях бесплазового метода увязки оснастки.

Таким образом, если мы упорядоченным образом перенесем без существенных изменений и доработок имеющуюся в электронной модели геометрическую особенность обрабатываемой детали в запись программы, то на этом основа-

нии ЭВМ сможет воссоздать полный геометрический образ поверхностей. При этом отпадает необходимость запоминания состава и порядка решения геометрических задач по бумажному чертежу изделия, анализируя характер возможных движений элементов проектируемых конструкций.

При необходимости анализа пространственной взаимосвязи элементов конструкции в направлениях различных осей координат и представления модели сборочного пространства в виде графа сопряжение этих элементов можно разложить на суграфы, ребра которых соответствуют сопряжениям, порождающим механические связи и сопряжения в направлении данных осей координат.

Любому конкретному контуру сопряжения a_i с b_i соответствует определенный вид уравнения $A = F_{(ij)}$, что позволяет классифицировать сопряжения элементов конструкции в зависимости от характера пространственной взаимосвязи. Если уравнение возможных перемещений сопряженных тел содержит только поступательные возможные перемещения то класс подвижности будет поступательным, если только вращательные – класс подвижности будет вращательным, а если уравнение содержит и поступательные и вращательные перемещения, то класс подвижности будет составным. Если уравнение возможных перемещений сопряженных элементов может быть записано в виде совокупности возможных перемещений, связанных только дизъюнкцией, то такое уравнение будет относиться к дизъюнктивному классу подвижности, и обозначается $a_i \vee b_i$. Наибольшая часть сопряжений элементов планера ЛА друг с другом и с элементами сборочной оснастки относится именно к дизъюнктивным классам подвижности.

Технологический процесс сборки элементов конструкции планера ЛА связан, в основном, с получением геометрических функциональных контуров. В процессе сборки конструктивного контура F^* его звенья образуют связанную систему тел, в которой точность положения любого звена и, следовательно, точность положения его поверхностей, входящих в функциональный контур F_1 , зависит от других звеньев. Эта зависимость является размерной связью звеньев контура F^* . Принципиальное значение имеет то, что размерные связи между самими элементами изделия являются конструктивными, а между элементами изделия, технологической оснастки, инструмента и оборудования — технологическими.

При таком подходе размерные связи описываются размерными цепями или графом размеров, вершинами которого являются поверхности, линии и точки, соединяемые размерами в виде ребер (дуг), граф. Простая размерная цепь

соответствует простому циклу в графе размеров. Связанная размерная цепь соответствует такому графу структуры с увязкой размеров, который содержит не менее двух простых циклов. Каждому простому циклу соответствует алгебраическое уравнение простой размерной цепи, а число таких уравнений при сложной структуре размерных связей равно числу простых циклов в графе представления размеров.

Таким образом, в собираемой системе A из условно твердых тел множество L^* ребер графа размеров $L = (L^*, L^*)$ состоит из подмножества собственных размеров элементов $a_i \in A$, соединяющих поверхности, линии и точки этих элементов, и подмножества размеров сопряжений, соединяющих сопрягаемые поверхности разных элементов $m, b_i \in m$. В физическом смысле размеры сопряжений являются представлением конструктивных полей допусков на размеры. Основным показателем геометрического, по степени качества выполнения сборки функционального контура является его точность. В соответствии с этим принимаем, что точность контура $F(\Delta t)$ обеспечена, если для каждого параметра множества m этого контура выполнено условие $F(\Delta t) \leq [F(\Delta t)]$.

Наряду с другими факторами, на погрешности параметра m влияют деформации элемента конструкции под действием нагрузок, неизбежных при сборке. Величина поля рассеяния деформационных погрешностей зависит от абсолютной жесткости элемента конструкции, а также от величины и характера приложения нагрузок. Однако для оценки влияния деформационных погрешностей на качество сборки важна не столько абсолютная величина но и, сколько соотношение ее с полем допуска, которое составляет часть поля допуска (Δt), предназначенную для покрытия деформационных погрешностей. Поэтому одним из важнейших свойств реального элемента конструкции является его относительная жесткость при сборке по параметру $G(h)$, характеризующая коэффициентом относительной жесткости, где h -деформация.

Элемент конструкции будет относительно жестким по параметру при $G(h) < 1$. При сборке изделия из элементов малой жесткости необходимо создавать строго определенное силовое поле для обеспечения точности формы геометрических контуров. Такие условия могут быть созданы путем базирования и фиксации элементов малой жесткости на достаточно жесткие элементы изделия или в специальном сборочном приспособлении.

Для каждого агрегата, поступающего на сборку, известен технологический процесс, включающий сведения о времени и состоянии техноло-

гического маршрута в заданной точке. Координаты точек на плоскости известны. Обозначим $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ij})$ – множество точек технологического маршрута i -ого узла, где каждая точка $r_{ij} = r_{ij}(x_1, x_2, x_3, t)$ соответствует расчетной точке; x_1, x_2 – координаты точки технологического маршрута в горизонтальной плоскости; x_3 – координата в вертикальной плоскости данной точки i -ого агрегата; t – время обработки расчетной точки. Участком заданной траектории сборки агрегата является отрезок между точками r_{ij} и r_{ij+1} . Далее для упрощения изложения будем называть его участком технологического маршрута узла. Положение i -ого узла в пространстве E в k -й момент времени характеризуется точкой $f_{ik}(x_{1k}, x_{2k}, x_{3k}, t_k)$, образованный парой: $S_0 = \langle S_{0ex}, S_{0вых} \rangle$ такой, что установлено соответствие между S_{0ex} и некоторой точкой f_{ex} , производственного пространства с координатами $f_{ex} = (\min(x_1), \min(x_2), \min(x_3))$ и между $S_{0вых}$ и $f_{вых} = (\max(x_1), \max(x_2), \max(x_3))$, где $\min(\dots), \max(\dots)$ – соответственно наименьшее и наибольшее из значений координат точек данного участка сборки в E .

Любой точке $f_{ik}(x_{1k}, x_{2k}, x_{3k}, t_k)$, однозначно соответствует некоторая точка s в опорном базисе событий в экземпляре $M_{(Q)}$ (в разных его интерпретациях). С учетом сделанных допущений о характере технологического маршрута представлением сборки i -ого узла R_i является последовательность мультивекторов

$$S(A_i) = (S^{\alpha\beta\nu(p)} | (p) \in (P_i)) \Leftrightarrow R_i, \text{ в которой вы-}$$

ход предыдущего мультивектора совпадает с входом последующего ($(P_i) \subset (P)$ – множество индексов, выделенных для мультивекторов сборки i -го узла. Для каждого мультивектора этой последовательности выполняется

$$S^{\alpha\beta\nu(p)} \Leftrightarrow r_{ij} \in R_i, \text{ в силу которого } S^{\alpha\beta\nu(p)} \text{ есть}$$

мультивектор пары событий входа на участок заданной траектории сборки и выхода с него. Тогда из аксиомы о физической интерпретации базисов событий в любой момент времени t_k путём линейных преобразований можно определить координаты точки s формального представления агрегата во всех интерпретациях опорного базиса, что соответствует уравнениям движения узла по участку от r_{ij} к r_{ij+1} :

$$\begin{aligned} x_{1k} &= r_{ij} + dtW \sin K; \\ x_{2k} &= r_{ij} + dtW \cos K; \\ x_{3k} &= r_{ij} + dtV_y, \end{aligned}$$

где W, V_y, K – параметры движения агрегата – путевая скорость, вертикальная скорость, путевой угол участка технологического маршрута. Соответственно:

$$dt = t_k - t(r_{ij}), dt \Leftrightarrow \rho(S^{(t)(p)}, S^{\alpha(t)(0)}).$$

Представим участок мультивектора $S^{\alpha\beta\nu(0)}$, причём $\rho(S^{\alpha(1)\nu(0)}, S^{\alpha(2)\nu(0)}) = 1 \Leftrightarrow_E \rho^{(\nu)}$.

Если известны координаты местоположения агрегата, как точки $S^{\alpha(t)(0)}$ в опорном базисе, то можно определить координаты вектора $X = (x_1, x_2)^T$ - координаты точки f_{ik} в производственном пространстве.

$$X = dX + BX_M,$$

где $dX = (dx_1, dx_2)^T$ - вектор приращений по осям координат ТП участка маршрута; B - матрица перехода из частной системы координат участка технологического маршрута в систему координат производственной зоны, определяемая следующим образом:

$$B = \begin{pmatrix} \sin(K) & \cos(180 - K) \\ -\cos(180 - K) & \sin K \end{pmatrix}$$

$$X_M = (\lambda_2^{(\nu)} \rho^{(\nu)} | (\nu) \in \{x, y\})^T.$$

λ_1, λ_2 - координаты точки s в опорном базисе, причём $\lambda_2 = 1 - \lambda_1$ и $\lambda_1 + \lambda_2 \geq 1$.

Такой подход позволяет использовать инвариантные способы расчёта параметров технологических цепей, разработки оптимальных программ функционирования технологических процессов и представления в локальном базисе j -го участка маршрута i -го узла или отдельной детали как мультивектора событий или множества мультивекторов в пределах конфигурации.

Преимуществом введённой x -интерпретации протяжённости технологического маршрута является исключение дополнительных преобразований при расчёте параметров движения объекта, т.е. вектор скорости W всегда направлен вдоль опорного базиса независимо от значений линейных и угловых перемещений сопрягаемых базисных точек с учётом нормативных интервалов между объектами сборки.

Поля производственных погрешностей каждого из размеров в цепях увязки двух размеров между собой могут быть описаны следующим уравнениями:

$$\begin{aligned} \delta A &= \sum_{i=1}^p \delta i + \sum_{j=1}^q \delta j \\ \delta AB &= \sum_{i=1}^p \delta i + \sum_{k=1}^r \delta k \\ \delta AB &= \sum_{j=1}^q \delta j + \sum_{k=1}^r \delta k \end{aligned}$$

где $\delta A, \delta B$ - поля производственных погрешностей размеров A и B соответственно; δAB - поле производственной погрешности увязки размеров A и B ; $\delta i, \delta j, \delta k$ - поля производственных погрешностей общих $i=1, \dots, P$, и индивидуальных j и k этапов.

Таким образом, поля погрешностей каждого размера образуются путем суммирования погрешностей всех общих и индивидуальных для каждого размера этапов.

Поля погрешностей общих для обоих размеров этапов не влияют на точность увязки обоих размеров между собой.

Из приведенных выше уравнений можно найти условия, при которых точность увязки размеров A и B выше точности каждого из этих размеров:

$$\delta AB \leq \delta A, \text{ если } \sum_{k=1}^r \delta k \leq \sum_{i=1}^p \delta i,$$

$$\delta AB \leq \delta B, \text{ если } \sum_{j=1}^q \delta j \leq \sum_{i=1}^p \delta i.$$

Таким образом, для того чтобы обеспечить высокую точность увязки размеров, необходимо все этапы, дающие большие погрешности в каждой из индивидуальных ветвей, перенести в общие для обоих размеров этапы. В этом случае погрешность увязки будет меньше погрешности каждого из размеров.

Воспроизведение размеров сопровождается обработкой поверхностей, образующих заданную форму изделия. Операции переноса формы на рис. 1 показаны шестиугольниками, а размеры - кружками.

Основное достоинство рассмотренного принципа состоит в том, что он позволяет обеспечить взаимозаменяемость изделий малой жесткости, сложной формы и больших габаритных размеров. Именно принцип связанного образования форм и размеров является теоретической основой плазово-шаблонного метода увязки заготовительной и сборочной оснасток, применяющегося в самолетостроении.

Увязка на основе принципа независимого образования размеров и форм изделий (рис. 1, б) не содержит общих этапов переноса каждого из размеров. В этом случае перенос размеров A и B осуществляется независимо друг от друга при разном в общем случае числе индивидуальных этапов ($m \neq n$) и поле погрешностей увязки размеров A и B

$$\delta AB = \sum_{j=1}^m \delta j + \sum_{k=1}^n \delta k,$$

где $\delta j, \delta k$ - поле погрешностей j -го и k -го этапов переноса размеров A и B .

Для увязки геометрических параметров составных частей летательных аппаратов применяются принципиально различные виды первоисточников увязки:

- чертеж, при применении которого увязка геометрических параметров обеспечивается на основе стандартной системы допусков и посадок. Этот первоисточник увязки применяется при увязке геометрических параметров жестких составных частей летательных аппаратов, образованных элементами простой геометрической формы;

- плаз, при применении которого увязка геометрических параметров производится на основе графических построений на плоскости. К это-

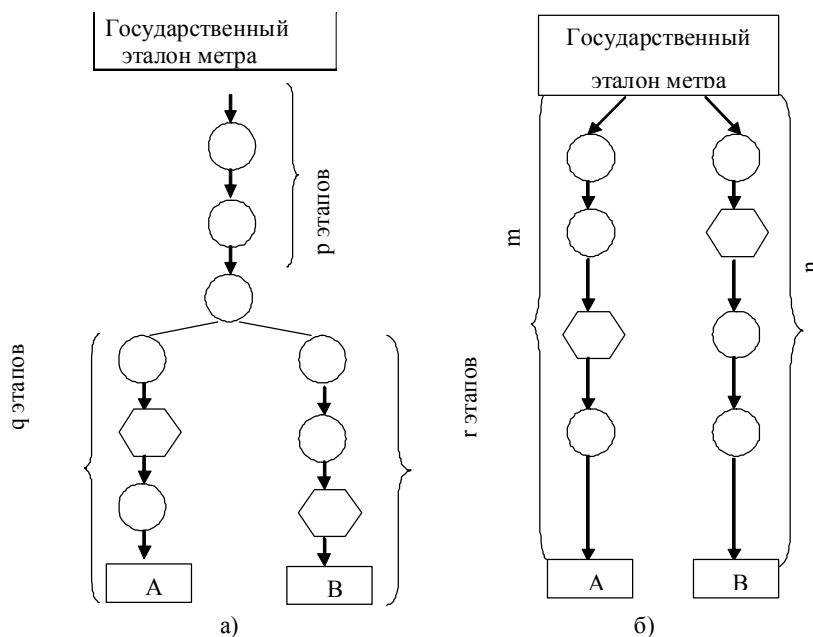


Рис. 1. Схема принципов образования размеров и форм: а – связанное образование; б – независимое образование

му первоисточнику увязки относятся также шаблоны контрольно-контурные (ШКК) и отпечатки контрольные (ОК), выполняющие функции конструктивных плазов;

- эталон, при применении которого увязка геометрических параметров обеспечивается на основе контактного копирования поверхности эталона или его отдельных частей;

- программа, при применении которой увязка геометрических параметров обеспечивается на основе расчета математической доли поверхности и создания системы кодов для управления оборудованием с ЧПУ.

К первоисточникам увязки не относятся программы, записанные с плазов или эталонов. В этих случаях программы выполняют роль средств увязки, а первоисточниками увязки являются плазы или эталоны.

Термины, определения и общие правила обеспечения технологичности конструкции и система оценочных показателей определены ГОСТ 14.201–83, ГОСТ 14.205–83 и детализированы для этапов конструирования и технологической подготовки производства отраслевой техники (ОСТ 1.41708–77, ОСТ 1.41711–77 и др.). Для САПР-ТК они соответствуют предъявляемым требованиям. В практической отработке технологичности при использовании вычислительной техники функции пользователя претерпевают существенные изменения.

Разработанная САПР-ТК имеет сложную многоуровневую структуру и построена по блочному принципу. Такое построение позволило провести параллельную разработку математи-

ческого аппарата, базы данных и программного обеспечения для различных этапов конструктивно-технологической отработки изделий. Кроме того, блочный принцип построения системы позволил использовать многолетний опыт промышленности в обеспечении и оценке технологичности эвристическим методом.

Основой построения САПР-ТК явилась формализация процесса конструктивно-технологического проектирования, которая включает три типа описаний: морфологическое, функциональное и историческое. Однако процесс формализации в технологии чрезвычайно сложный и поэтому до настоящего времени разработан слабо. Имеются лишь отдельные принципы формализации и фрагменты формализованного технологического языка.

Процесс проектирования технологичной конструкции ЛА имеет итеративную структуру:

- определение основных конструктивных параметров детали или сборочной единицы;
- автоматизированный выбор технологической схемы изготовления с системой оценочных показателей технологичности;
- разработка соответствующей конструкции;
- оценка ее технологичности, и при неудовлетворительном решении повторение этапов в целях оптимизации конструкции на соответствие базовым показателям технологичности.

В основу вычислительного процесса оценки технологичности конструкции ЛА был положен принцип моделирования конструктивно-технологических решений на базе информации: по техническим и конструктивным характери-

кам изделий аналогичного целевого назначения, находящихся в производстве или эксплуатации, по множеству возможных вариантов технологических процессов их изготовления и технико-экономическим показателям. Основной задачей было установление взаимосвязей между конструктивно-технологическими решениями и количественными моделями показателей технологичности. Методологической основой формирования оптимальных решений является системный подход. Предварительно был проведен анализ конструкции ряда изделий, способов их изготовления и технико-экономических показателей производства с позиций системного подхода. Эти исследования позволили рассматривать изделие и процесс его изготовления как единый системный объект с множественным характером признаков:

- функциональных свойств изделия, определяющих его целевое назначение и конструктивное совершенство;
- функциональных свойств технологической системы, описывающих процессы преобразования исходных заготовок в детали и сборочные единицы;
- организационно-технические показатели производства, определяющие стоимостные характеристики и показатели технологичности.

Декомпозиция позволила представить такую систему в виде иерархической структуры и изучить связи между элементами конструкции изделия и элементами технологического процесса. Проведенные исследования позволили установить наиболее целесообразные уровни абстрагирования сложной системы для каждой стадии проектирования изделия. При исследовании такой сложной системы, которой является САПР-ТК, были проанализированы следующие уровни абстрактного описания: символический (лингвистический); теоретико-множественный; абстрактно-алгебраический; топологический; логико-математический, теоретико-информационный; динамический; эвристический. Проведенный анализ показал, что наиболее общим описанием и исходным понятием в теории систем является представление сложной системы САПР-ТК в теоретико-множественных терминах. На этом уровне абстрагирования сложная система определяется как отношение на языке теории множеств, в терминах ее свойств и взаимосвязей между ними.

Всю совокупность характеристик изделий, принадлежащих к одной группе, можно обобщить в виде матриц наблюдения:

$$X_{(N \times M)} = \begin{pmatrix} x_{11} & & x_{1M} \\ & x_{ij} & \\ x_{N1} & & x_{NM} \end{pmatrix} \cdot Y_{(N \times 1)} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_1 \\ y_N \end{pmatrix}$$

где $X_{(N \times M)}$ – матрица значений конструктивно-технологических факторов выделенной группы; $Y_{(N \times 1)}$ – вектор значений одного из показателей технологичности данной группы; $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, M}$ – элементы множества; N – количество изделий в данной группе; M – количество определяющих факторов.

Преобразование значений X и Y осуществляется параметрической функцией $j(B, X)$ с вектором неизвестных параметров B . Математической моделью процесса преобразования $X \rightarrow Y$ называем зависимость вида $Y = j(B, X)$, где B – оценка неизвестного вектора B . В соответствии $X \rightarrow Y$ не выявлены внутренние связи, а только известны значения входа – X и выхода – Y . В этом случае наиболее удобной математической моделью является уравнение множественной регрессии, представленной в виде:

$$Y = XB + E.$$

Неслучайность переменных X_{ij} в модели понимается в том смысле, что при многократном воспроизведении (гипотетическом) одной и той же совокупности характеристик i -го изделия

$(x_{i1}^q, x_{i2}^q, \dots, x_{ik}^q; q = \overline{1, k})$ ряд случайных значений (y^1, \dots, y^k) есть результат действия только случайных значений регрессионной ошибки $(e(1), \dots, e(k))$, где k – количество воспроизведений.

Структура регрессионной модели задается или в аддитивной форме:

$$y = \epsilon_0 + \sum_j^M \epsilon_j x_j + \sum_{jq}^M \epsilon_{jq} x_j x_q = \varphi(B, X),$$

или в мультипликативной форме:

$$y = b_0 \prod_i^M x_i^{b_j} = \varphi(B, X)$$

При построении регрессионных зависимостей на базе исходной информации было обеспечено выполнение следующих требований:

- между независимыми факторами и показателями технологичности должна быть причинно-следственная связь;
- независимые факторы не должны находиться между собой в функциональной или близкой к ней связи;

- при отборе статистических данных необходимо обеспечить независимость результатов наблюдений по исследуемым изделиям.

После построения регрессионной зависимости предварительно, в режиме диалога, проводится анализ правильности связи каждого фактора с показателем технологичности и влияния факторов на основе сравнительной оценки с реально существующей причинной зависимостью. Адекватность полученного уравнения регрессии результатам наблюдений оценивается F-критерием.

рием Фишера. Модель считается адекватной, если расчетное значение F больше табличного. Для оценки корреляционных связей и уравнений регрессии используются следующие статистические показатели:

- коэффициент множественной корреляции R , отражающий зависимость величины показателя технологичности от совокупного влияния отобранных факторов;

- коэффициент детерминации, показывающий, какая доля вариации показателя вызывается вариацией включенных в уравнение факторов;

- корреляционное отношение, оценивающее корреляционную связь в случае множественной регрессии;

- коэффициент парной корреляции, показывающий степень связи между показателем технологичности и каждым из факторов.

Однако выбор формы аналитической связи факторов и показателей технологичности в аддитивной или мультипликативной формах выполняет пользователь системы. Следует обратить внимание на то, что аддитивная и мультипликативная формы не всегда отвечают логическим соображениям. При больших отклонениях факторов от их среднего значения аддитивная функция может дать отрицательное значение показателя технологичности. Мультипликативная форма может принять нулевое значение показателя при нулевом значении какого-либо из факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные выше основные принципы построения САПР-ТК особенно эффективны на этапе эскизного проектирования в диалоговой информационно-расчетной системе обеспечения и оценки технологичности. Общесистемное программное обеспечение реализует управление процессом вычислений; ввод, вывод и обработку информации; хранение, поиск анализ и модификацию данных; решение общих математических задач; взаимосвязь с пользователем в процессе проектирования; защиту целостности данных и секретность; контроль и диагностику. Расчет по разработанным моделям дает вполне удовлетворительную точность для получения показателей технологичности на стадии эскизного проекта и позволяет конструктору принять рациональное решение при проектировании новой детали или сборочной единицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отработка конструкции деталей на технологичность методами математического моделирования производства [под ред. В. В. Павлова]. М.: ВНИИНМАШ, 1982.
2. Технология сборки самолетов и вертолетов: Учеб. В 2 т. [под ред. В.И. Ершова]. М.: Изд-во МАИ, 1998. Т. 1,2. 288 с., 312 с.
3. Авиастроение: Летательные аппараты, двигатели, системы, технологии / Колл. авторов [под ред. А. Г. Братухина]. М.: Машиностроение, 2000. 536 с.

MAINTENANCE OF ACCURACY AND INTERCHANGEABILITY IN THE TECHNOLOGICAL AUTOMATED SYSTEMS OF MANUFACTURE OF FLYING MACHINES

© 2011 F.V.Grechnikov, S.F.Tlustenko

Samara State Aerospace University

Development of systems of the automated designing of technological processes of assemblage of flying machines demands perfection of methods and means of maintenance of interchangeability and accuracy of assembly units that defining impact on structure, structure and the scheme of technological equipment, economic indicators of assembly manufacture makes. Therefore designing of assembly processes and means of their equipment should be carried out taking into account a complex of analyzed factors.

Keywords: assemblage, automation, designing, accuracy, interchangeability, technological processes, routes, methods, ways, basing, modeling.

*Stanislav Tlustenko, Candidate of Technics, Associate Professor. E-mail: titan250@mail.ru.
Feodor Grechnikov, the Member Correspondent of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technics, Professor, Head at the Metal Forming Department*