

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 629.7.012 : 681.3.04

В. Г. ЛЕБЕДЬ, А. Н. ЛЮБИМОВ, В. В. РУСАНОВ
(Москва)

МЕТОД ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФОРМЫ В ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ МАШИННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. В настоящее время при проектировании сложных технических систем, в том числе и летательных аппаратов (ЛА), все большее распространение получают машинные методы. Под этим термином понимают использование в процессе проектирования ЭВМ и, в частности, применение систем «человек — ЭВМ», в которых проектирование осуществляется оператором-специалистом в диалоговом режиме работы с ЭВМ*.

Диалог «человек — ЭВМ» на ЭВМ третьего поколения стал возможен не столько из-за большой скорости вычислений и памяти ЭВМ, сколько из-за представленных оператору новых возможностей — визуальной связи с ЭВМ. Эта связь позволяет оператору на основании наиболее понятных и привычных для человека геометрических образов, видимых им на экране дисплея и графопостроителях, оперативно анализировать информацию, вносить в нее изменения, принимать решения, вести документацию и т. п.

Техническое проектирование, в том числе и проектирование летательных аппаратов, является творческим процессом, не допускающим в целом формального алгоритмического описания и поэтому полной его автоматизации. Известно, что проектирование ЛА проводится в три этапа: предварительное (предэскизное), эскизное и техническое проектирование [2]. После этих этапов осуществляется уже процесс конструирования.

В настоящее время диалоговые системы «человек — ЭВМ» начинают использоваться на всех этапах проектирования, но, как показывает имеющийся опыт их эксплуатации, они пока наиболее эффективны на этапе предварительного проектирования [3].

Выбор компоновки ЛА, являющийся частью процесса проектирования, ведется на каждом из трех названных этапов со все более высокой степенью детализации и точности при переходе от этапа к этапу. Строго говоря, выбор оптимальной компоновки следует осуществлять в процессе синтеза ЛА, который должен проводиться по единому алгоритму одновременно на всех иерархических уровнях. Но так поставленная задача необозрима и не может быть удовлетворительно алгоритмизирована, а следовательно, и автоматизирована в настоящее время, поэтому при проектировании сложных систем, подобных ЛА, прибегают к принципу декомпозиции, разделяя единую задачу синтеза на ряд подзадач одного и того же и (или) различных иерархических уровней. При этом вы-

* Под диалоговым режимом в системе «человек — ЭВМ» понимается такой режим взаимодействия оператора с ЭВМ, при котором время задания оператором вопроса ЭВМ и время получения ответа от ЭВМ не превышает нескольких минут.

бор компоновки неизбежно должен основываться не только на экспериментальных и теоретических исследованиях, позволяющих сформулировать и записать замкнутые алгоритмы этих подзадач, но и на опыте и интуиции исследователя, который должен объединять решение всех

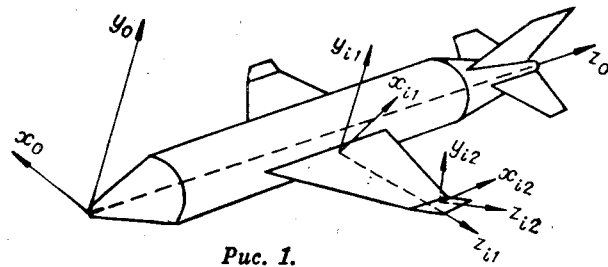


Рис. 1.

задач, находя, как правило, компромиссное решение основной задачи.

В любом процессе машинного проектирования ЛА для осуществления компоновки, вычисления объемов, определения площадей поверхностей, проведения аэродинамического расчета в ЭВМ необходимо иметь геометрический образ ЛА. В разработанных диалоговых системах проектирования ЛА используются различные методы представления формы его поверхности: каркасное представление, совокупностью координат точек поверхностей ЛА, семействами пространственных линий и др. [3].

Ниже на примере ЛА излагается разработанный для диалоговой системы предварительного проектирования метод представления в ЭВМ формы сложного тела и визуализации ее на экране дисплея или графопостроителе. Метод основан на представлении формы совокупностью поверхностей, для аналитической записи которых использованы геометрические параметры, традиционно применяемые в проектировании ЛА, что позволяет оператору при диалоге с ЭВМ относительно легко целенаправленно изменять его форму.

2. Будем предполагать, что ЛА, поверхность которого не является в общем случае выпуклой и гладкой, можно представить в виде совокупности более простых тел, имеющих, как правило, определенный конструктивный смысл (фюзеляж, крыло и т. д.). Эти тела назовем элементами ЛА*. Предположим далее, что элементы, в свою очередь, могут быть представлены совокупностью еще более простых тел, которые достаточно легко описать аналитически. Эти тела назовем отсеками.

Для описания формы ЛА один из элементов, например фюзеляж, выберем в качестве основного (базового) элемента, а декартову систему координат $(Ox_0y_0z_0)$ примем за базовую систему координат ЛА (рис. 1). Ось Oz_0 этой системы координат направим внутрь базового элемента. С каждым отсеком свяжем систему координат $(Ox_iy_iz_i)$, где $i = 1, 2, \dots$, M — номер элемента, $j = 1, 2, \dots, N$ — номер отсека. Систему координат $(Ox_iy_iz_i)$ примем за систему координат, описывающую i -й элемент, и к ней будем приводить все другие отсеки i -го элемента. Ось Oz_i этой системы координат направим внутрь i -го элемента.

Положение элементов ЛА определим в системе координат $(Ox_0y_0z_0)$ некоторой характерной для каждого i -го элемента точкой $(x_iy_iz_i)$ и углами η, σ, ψ ** (η — угол между осью Oy_0 и проекцией оси Oy_i на плоскость $x_0 = 0$; σ — угол между осью Oz_0 и проекцией на плоскость $y_0 = 0$ прямой линии, лежащей в плоскости $y_i = 0$ и проведенной через начало системы координат $(Ox_iy_iz_i)$ и точку $(x_iy_iz_i)$; ψ — угол между осью Oy_0 и проекцией оси Oz_i на плоскость $z_0 = 0$).

Каждую точку поверхности i -го элемента в системе координат $(Ox_0y_0z_0)$ определим вектором

$$\bar{X}_0 = A_{ii}\bar{X}_i + \bar{R}_{ii}.$$

Матрица преобразования A_{ii} и вектор \bar{R}_{ii} выражаются следующим образом:

* В дальнейшем для сокращения будем их называть элементами.

** Для элемента «крыло» эти углы носят названия «установка», «заклонение» и «поперечное V».

$$A_{i1} = \begin{vmatrix} -m_1 n_2 + m_2 n_1 & l_1 - l_2 \\ -l_2 n_1 + l_1 n_2 & m_1 - m_2 \\ -l_1 m_2 + l_2 m_1 & n_1 - n_2 \end{vmatrix}, \quad \bar{R}_{i1} = \begin{vmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{vmatrix},$$

$$m_1 = G \sin \psi, \quad n_1 = G \operatorname{tg} \eta \sin \psi, \quad l_1 = -kG(\cos \psi - \xi \sin \psi \operatorname{tg} \eta),$$

$$m_2 = -E \cos \psi, \quad n_2 = -E \xi \sin \psi, \quad l_2 = -kE \cos \psi,$$

$$G = [(1 + \operatorname{tg}^2 \eta) \sin^2 \psi + (\cos \psi - \xi \sin \psi \operatorname{tg} \eta)^2]^{-1/2}, \quad E = (1 + \xi^2 \sin^2 \psi)^{-1/2},$$

$$\xi = [(1 - P - Q^2)^{1/2} P^{1/2} - Q](1 - P)^{-1} \sin^{-1} \psi, \quad Q = 1 + \operatorname{tg}^2 \sigma + \operatorname{tg}^2 \eta \sin^2 \psi,$$

$$P = (1 + \operatorname{tg}^2 \sigma + \operatorname{tg}^2 \eta) \sin^2 \chi, \quad \chi = \sigma + 1/2(\chi_\pi - \chi_\alpha),$$

$$x_0 = k(z_s - z_0) \operatorname{tg} \sigma + kx_s, \quad y_0 = -(z_s - z_0) \operatorname{tg} \eta + y_s,$$

$$z_0 = b_c \cos(\chi_\alpha - \sigma) \cos \eta \cos \sigma \{2 \cos [1/2(\chi_\pi + \chi_\alpha)] \times \\ \times \cos [1/2(\chi_\alpha - \chi_\pi) - \sigma]\}^{-1/2} + z_s,$$

χ_π, χ_α — углы, которые определяют стреловидность передней и задней кромок несущих поверхностей, или углы, аналогичные этим углам у элементов, не являющихся несущими поверхностями, b_c — характерный линейный размер сечения элемента (для крыла b_c — бортовая хорда крыла), k принимает значения $+1$ и -1 для элементов компоновки, расположенных соответственно слева и справа от базового элемента. В выражениях для элементов матрицы A_{i1} и составляющих вектора \bar{R}_{i1} индексы $i1$ для краткости написания опущены.

Каждый i -й элемент компоновки ЛА может состоять из одного или нескольких отсеков. Каждую точку поверхности j -го отсека i -го элемента определим в системе координат $(0x_{i1}y_{i1}z_{i1})$ вектором

$$\bar{X}_{i1} = A_{ij+1} \bar{X}_{ij+1} + \bar{R}_{ij+1},$$

где $A_{ij+1} = A_{ij}(A_c)_{ij+1}$, $\bar{R}_{ij} = A_{ij}(\bar{R}_c)_{ij+1} + \bar{R}_{ij}$, A_c и \bar{R}_c — матрица и вектор преобразования системы координат, связанной с j -м отсеком, в систему координат, связанную с $j-1$ -м отсеком:

$$(A_c)_{ij+1} = \begin{vmatrix} \sin \beta_1 \cos \alpha_2 & \sin \gamma_2 \sin(\gamma_1 - \gamma_3) & \sin \beta_2 \sin \alpha_1 \\ -\sin \gamma_3 \sin \gamma_2 & \cos \gamma_2 & \cos \gamma_3 \sin \gamma_2 \\ \sin \beta_1 \sin \alpha_2 & -\sin \gamma_2 \cos(\gamma_1 - \gamma_3) & -\sin \beta_2 \cos \alpha_1 \end{vmatrix},$$

$$\alpha_1 = \alpha'_1 + (\gamma_1 - \gamma_3), \quad \alpha'_1 = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \gamma_3 \cos^{-1} \gamma_2), \quad \alpha_2 = \alpha'_2 + (\gamma_1 - \gamma_3), \quad \alpha'_2 = \\ = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \gamma_3 \cos \gamma_2), \quad \sin \beta_1 = (1 - \sin^2 \gamma_3 \sin^2 \gamma_2)^{1/2},$$

$$\sin \beta_2 = (1 - \cos^2 \gamma_3 \sin^2 \gamma_2)^{1/2}, \quad \gamma_1 = 1/2(\chi_\pi + \chi_\alpha)_{ij} - 1/2(\chi_\pi - \chi_\alpha)_{ij+1};$$

$$(\bar{R}_c)_{ij+1} = \begin{vmatrix} \delta \cos [1/2(\chi_\pi + \chi_\alpha)] \\ 0 \\ L - \delta \sin [1/2(\chi_\pi + \chi_\alpha)] \end{vmatrix},$$

$$\delta_{ij+1} = b_{ij+1}(k_{ij} - k_{ij+1}), \quad b_{ij+1} = \{b - L \cos^{-1}[1/2(\chi_\pi + \chi_\alpha)](\operatorname{tg} \chi_\pi - \operatorname{tg} \chi_\alpha)\}_{ij},$$

$$k = [\cos \chi_\pi (\cos \chi_\pi + \cos \chi_\alpha)^{-1}],$$

γ_2 — угол в плоскости $x_{ij} = 0$, определяющий поворот $j+1$ -го отсека относительно некоторой оси; γ_3 — угол в плоскости $y_{ij+1} = 0$, определяющий положение оси вращения $j+1$ -го отсека; L — длина отсека элемента компоновки; b — характерный линейный размер в плоскости $y_{ij} = 0$ сечения $z_{ij} = 0$. В выражениях для элементов матрицы $(A_c)_{ij+1}$ и составляющих вектора $(\bar{R}_c)_{ij+1}$ индексы ij для краткости написания опущены, кроме выражений для $(\gamma_1)_{ij+1}$, δ_{ij+1} , b_{ij+1} .

Значения координат точки $(x_{i1}y_{i1}z_{i1})$ углов η , σ , ψ , χ_π , χ_α , γ_2 , γ_3 и линейных размеров L , b задаются оператором при проектировании в режиме диалога с ЭВМ.

Поверхность каждого отсека описывается в параметрическом виде следующими тремя уравнениями:

$$\begin{aligned} x_{ij} &= [f_{11}(t)(1-u) + f_{12}(t)u]_{ij}, \\ y_{ij} &= [f_{21}(t)(1-u) + f_{22}(t)u]_{ij}, \\ z_{ij} &= [f_{32}(t)u]_{ij}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $f_{11}(t) = a_{11}\{\cos(t + a_{12}\sin t) + a_{13}[a_{14} + (1 - a_{14})\sin t]\sin(2t + a_{15}\sin 2t)\}$, $f_{12}(t) = a_{16}\{\cos(t + a_{17}\sin t) + a_{18}a_{19} + (1 - a_{19})\sin t\}\sin(2t + a_{110}\sin 2t)$, $f_{21}(t) = a_{21}(1 + a_{22}\sin t)\sin t$, $f_{22}(t) = a_{23}(1 + a_{24}\sin t)\sin t$, $f_{32}(t) = a_{32} = L$.

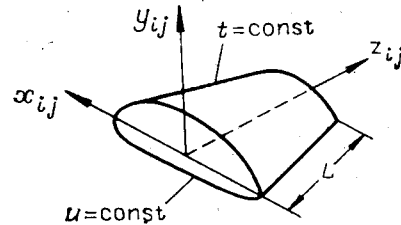


Рис. 2.

Коэффициенты a_{1k} в функциях f_{11} и f_{21} определяют уравнение линии $u = 0$, а коэффициенты a_{1k} , входящие в функции f_{12} и f_{22} , — уравнение линии $u = 1$ (рис. 2).

Вводятся следующие геометрические параметры описания формы сечения отсека плоскостями $z_{ij} = 0$ и $z_{ij} = L$: b, c — максимальные размеры сечения в этих плоскостях; f — максимальный прогиб средней линии сечения; \bar{x}_c — относительная координата положения максимального линейного размера c ; $\bar{x}_\alpha, \bar{y}_\alpha$ — относительные координаты точки (точек) максимальной выпуклости контура сечения; \bar{x}_π, \bar{y}_π — относительные координаты точки (точек) перегиба контура сечения. На рис. 3 изображены примеры контуров сечений двух отсеков плоскостями $z_{ij} = \text{const}$, которые выданы на графопроекторе, и показаны некоторые из перечисленных выше параметров.

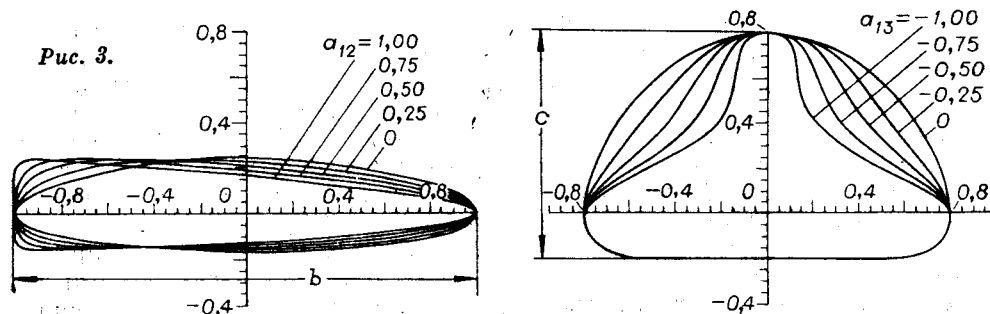
Найдем коэффициенты a_{1k} , выразив их через параметры b, c, f, x_c , значения которых также задаются оператором при проектировании. Возьмем уравнения (1) и, подставив в них различные характерные значения параметров t и u , после несложных преобразований получим следующие выражения для коэффициентов:

$$\begin{aligned} a_{1k}: a_{11} &= b_1/2, \quad a_{16} = b_2/2, \quad a_{21} = c_1/2, \quad a_{22} = 2f_1/c_1, \\ a_{23} &= c_2/2, \quad a_{24} = 2f_2/c_2, \quad a_{12} = \arcsin(1 - 2\bar{x}_c), \quad a_{17} = \arcsin(1 - 2\bar{x}_{c_2}). \end{aligned}$$

Здесь индексом 1 отмечены значения параметров в сечении $z_{ij} = 0$, а индексом 2 — в сечении $z_{ij} = L$.

Для определения коэффициентов $a_{13}, a_{15}, a_{18}, a_{110}$ используются значения координат точек $(\bar{x}_\pi, \bar{y}_\pi)$ и $(\bar{x}_\alpha, \bar{y}_\alpha)$ и уравнения (1). В результате подстановки значений этих координат в (1) и преобразований получаем трансцендентные уравнения, после решения которых находятся коэффициенты $a_{13}, a_{15}, a_{18}, a_{110}$. Коэффициенты a_{14}, a_{19} задаются при проектировании значениями 1 или 0 и учитывают специфические требования к контуру сечения.

Поверхность элемента, составленная из отсеков, может иметь на стыках отсеков разрывы функций, описывающих поверхности отсеков. При изменении значений углов γ_1 и γ_2 эти разрывы будут возникать, даже если их и не было до изменения этих углов. Предполагается, что при изменении углов γ_1 и γ_2 сечения отсеков плоскостями $z_{ij} = \text{const}$ остаются неизменными и осуществляется безразрывное сопряжение двух со-



седних отсеков путем изменения углов γ_1 и γ_2 по линейной зависимости вида

$$(\gamma)_{ij+1} = \gamma_c z_{ij+1},$$

где γ_c — угол поворота $j+1$ -го отсека относительно j -го отсека. С использованием подобных зависимостей для γ_j в матрице A_c получается безразрывное сопряжение поверхностей отсеков. При таком сопряжении отсеков будут терпеть разрыв первые производные от функций, описывающих поверхности отсеков. В разработанном методе предусматривается (когда это необходимо) гладкое сопряжение отсеков (без разрыва первых производных).

Визуализация формы ЛА осуществляется параллельным проецированием на некоторую картинную плоскость K . Проецирование проводится прямыми, коллинеарными вектору H .

Вектор H задается в системе координат $(Ox_0y_0z_0)$ двумя углами φ и λ , которые отсчитываются соответственно от осей Oy_0 и Oz_0 . Вводится ортогональная система координат $(Ox_ky_kz_k)$, которая связывается с вектором H таким образом, чтобы ось Oz_k и вектор H совпадали. Тогда проекция ЛА будет лежать в плоскости $z_k = 0$, которая выше названа картинной.

Для получения на плоскости K проекции ЛА сначала необходимо для каждого отсека найти линии пересечения поверхности (1) с поверхностью, разделяющей отсек на «видимую» (по направлению вектора H) и «невидимую» части, и с плоскостями, ограничивающими отсек (в частном случае $z_{ij} = 0$ и $z_{ij} = L$). Эти линии пересечения ищутся в системе координат $(Ox_{ij}y_{ij}z_{ij})$, связанной с j -м отсеком. В этой системе координат вектор H определяется следующим образом:

$$H = A_{ij}^{-1} \begin{vmatrix} -\cos \varphi_{ij} \sin \lambda_{ij} \\ \sin \varphi_{ij} \\ \cos \varphi_{ij} \cos \lambda_{ij} \end{vmatrix}.$$

Линия пересечения поверхности (1) с поверхностью, разделяющей отсек на «видимую» и «невидимую» части, находится из условия $Hn = 0$, где n — нормаль к поверхности отсека.

Полученные в системе координат $(Ox_{ij}y_{ij}z_{ij})$ линии пересечения названных поверхностей преобразуются в систему координат $(Ox_0y_0z_0)$ с помощью соотношений, приведенных выше, а затем в систему координат $(Ox_ky_kz_k)$ с помощью соотношения $X_k = A_k X_0$ (A_k — матрица преобразования).

Проекция всего ЛА представляется совокупностью проекций отсеков. При этом используется разработанный в [9] алгоритм, позволяющий учитывать экранирование одних отсеков другими.

3. Изложенный выше метод представления в ЭВМ и визуализации формы ЛА может применяться в диалоговых моделях выбора аэродинамической компоновки ЛА [4] и для решения в режиме диалога более общих задач проектирования. При этом форма ЛА задается оператором с пульта ЭВМ, экрана дисплея или перфоратора в процессе проектирования с помощью перечисленных выше параметров.

На рис. 4 приведен пример построения аксонометрической проекции ЛА, состоящего из шести элементов: фюзеляжа, двух консолей крыла, киль и двух консолей стабилизатора. Фюзеляж в этом примере представлен четырьмя отсеками, крыло — шестью, стабилизатор — двумя, а киль — одним. Построенная в ЭВМ аксонометрическая проекция в этом случае выдана на графопостроитель. Для построения по заданным значениям параметров формы ЛА и его аксонометрической проекции потребовалось около 20 с машинного времени ЭВМ БЭСМ-6.

На рис. 5 приведен пример построения трех ортогональных проекций ЛА, состоящего из двух элементов. В этом случае фюзеляж представлен тремя отсеками, а крыло — двумя. На построение трех проекций

ЛА ушло около 2 с. Построенные ортогональные проекции ЛА выведены на экран дисплея, фотография которого и показана на рис. 5. Справа на фотографии видны световые кнопки-параметры (СКП), с помощью которых оператор в режиме диалога с ЭВМ изменяет форму ЛА. Каждая из СКП состоит из

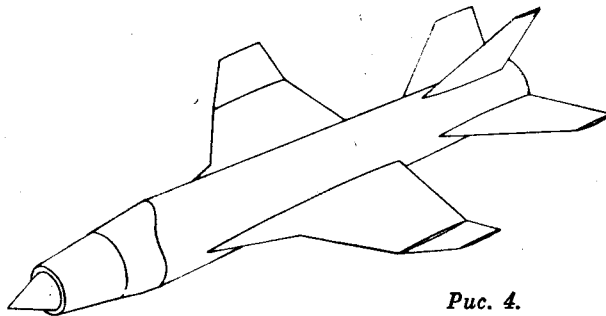


Рис. 4.

буквенного символа, обозначающего тот или иной из вышеназванных геометрических параметров*, и его числового значения. Значение любого из этих параметров может быть изменено с телетайпа после указания световым пером оператора на соответствующий символ. Объем ЛА рассчитывается для каждой конкретной совокупности параметров и высвечивается на экране слева сверху. Также слева сверху высвечиваются световые кнопки WRIT и END, которые позволяют после указания на них световым пером записать информацию, видимую оператором на экране, в архив или окончить диалог.

Подчеркнем, что в обоих случаях с помощью разработанного метода в ЭВМ была представлена полная информация о форме ЛА, которая могла быть использована для решения различных задач: вычисления объемов и площадей элементов ЛА и всего ЛА, проведения аэродинамического расчета, визуализации формы ЛА и др.

Для построения изображения на экране дисплея и графопостроителя в разработанном методе применен ряд специальных программ. Основными из них являются следующие.

1. Подсистема для БЭСМ-6, состоящая из программ доступа к внешним устройствам терминальной станции (ТС) [5]. Эти программы обеспечивают управление файлом связи БЭСМ-6 с ТС и состоят из программ: открытие файла связи (OPEN); закрытие файла связи (CLOSE); чтение записи (READ); запись записи (WRITE); проверка возможности завершения операции чтения или записи (CHECK); приостановка процесса на БЭСМ-6 до прихода сигнала от ТС и указания времени, через которое процесс должен возобновиться (WAIT); проверка наличия записи для данного файла (FIND); опрос наличия сигнала с ТС (TESTCH).

2. Подсистема программ [6] вывода информации с БЭСМ-6 на экран дисплея ТС. Она включает в себя следующие программы: определение текущего буфера (GBVF) (формирует в памяти БЭСМ-6 массив, служащий затем для построения графического изображения уже в буфере дисплея ТС); формирование управляющего слова (GPOINT); формирование цепочки символов на экране дисплея (GTEXT); определение степени заполнения текущего буфера (GERPVF); определение режима рисования (обычными точками, яркими точками, векторами) (GLICHT); перевод машинных слов БЭСМ-6 в машине слова ТС (GTOBCD); фиксирование времени сеанса связи (OST); запись информации на МЛ БЭСМ-6 (WRITEM); считывание информации, записанной на магнитную ленту БЭСМ-6 с целью подготовки буфера дисплея (READMT).

3. Подсистема программ ГРАФОР [7, 8], обеспечивающая получение графического изображения на экране дисплея и графопостроителях. Она состоит из следующих программ: определение общих характеристик изображения (задание размеров страниц, единиц измерения и др.); построение основных графических элементов (прямых, прямоугольников, окружностей, маркеров, символов и др.); построение графиков (определение области для построения графиков, задание пределов изменения функций, построение осей координат и их разметка и др.); построение плоского изображения поверхностей.

* На рис. 5 эти параметры обозначены символами из алфавитно-цифрового набора дисплея.

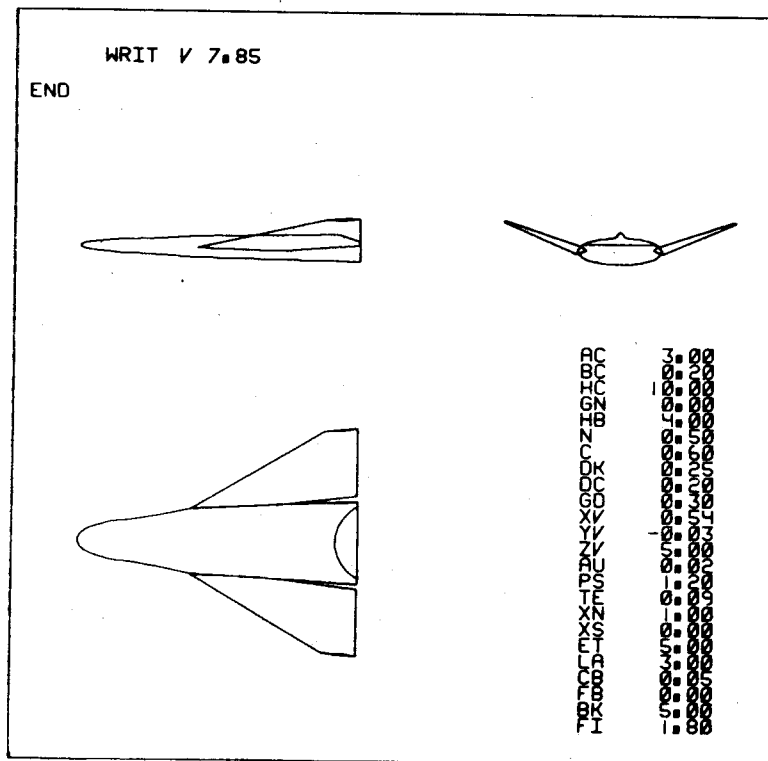


Рис. 5.

На основе описанных выше программ были разработаны программы более высокого уровня.

Программа READS обеспечивает диалог и связь между внешними устройствами и ТС и БЭСМ-6. READS организует режим ожидания в системе «человек — ЭВМ». Так, если на запрос ЭВМ оператор не дает ответа, то процесса вычисления на БЭСМ-6 не происходит. Программа READS позволяет оператору контролировать резерв времени для сеанса связи. Программа имеет три режима работы (IS — 0, 1, 2). IS = 0 — режим выдачи текущего буфера на дисплей в ответ на вопрос, поставленный оператором (используется, когда ответ формируется из некоторой последовательности сообщений). IS = 1 — режим управления. После ответа ЭВМ оператор может дать директиву по управлению процессом на ЭВМ. Директива выдается с помощью световых кнопок управления (СКУ) на экране дисплея. IS = 2 — режим управления и формирования с помощью световых кнопок параметров, также видимых оператором на экране дисплея. Другие программы описаны в работе [4].

В заключение авторы выражают благодарность Г. В. Березкину и Ю. С. Сорокину, принимавшим участие в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сакман Г. Решение задач в системе «человек — ЭВМ». — М.: Мир, 1973.
2. Бадягин А. А. и др. Проектирование самолетов. — М.: Машиностроение, 1972.
3. Принс М. Д. Машинная графика и автоматизация проектирования. — М.: Сов. радио, 1975.
4. Лебедь В. Г., Любимов А. Н., Русанов В. В. Модель диалоговой системы выбора аэродинамической компоновки сверхзвукового летательного аппарата. — М.: изд. ИИМ АН СССР, 1978. (Препринт/АН СССР, ИИМ; № 22).
5. Усов С. А., Штаркман В. С. Организация связи БЭСМ-6 и -910. — М.: изд. ИИМ АН СССР, 1974. (Препринт/АН СССР, ИИМ; № 10).
6. Боровин Г. К., Карпов И. И., Лазутин Ю. М., Платонов А. К. Система вывода информации на экран дисплея. — М.: изд. ИИМ АН СССР, 1973. (Препринт/АН СССР, ИИМ; № 48).

7. Байковский Ю. М., Михайлова Т. Н., Мишакова С. Т. Графор: комплекс графических программ на ФОРТРАНе.— М.: изд. ИПМ АН СССР, 1972. (Препринт/АН СССР, ИПМ; № 41).
8. Байковский Ю. М., Топалов Н. Н. Графор: комплекс графических программ на ФОРТРАНе.— М.: изд. ИПМ АН СССР, 1974. (Препринт/АН СССР, ИПМ; № 79).
9. Байковский Ю. М., Гринберг Г. С., Зиман Ю. Л., Михайлова Т. Н. Графор: комплекс графических программ на ФОРТРАНе.— М.: изд. ИПМ АН СССР, 1973. (Препринт/АН СССР, ИПМ; № 52, вып. 2).

Поступила в редакцию 8 января 1981 г.

В. А. МЕЛЕНИХИН, Д. Г. ФРИЗЕН, Е. Г. ЮГАШАВОНКИ
(Новосибирск)

ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Рассматриваемая система разработана и эксплуатируется в ИАиЭ СО АН СССР с 1978 г. Система включает пакет программ, обеспечивающих следующие возможности: ввод топологии печатных плат с чертежей, подготовленных конструктором; редактирование топологии печатных плат; автоматическая компоновка, размещение и трассировка печатных плат; выдача конструкторской документации и управляющей информации для станков с ЧПУ.

Программа ввода топологии печатных плат. Программа позволяет вводить в ЭВМ с помощью какого-либо кодировщика топологию печатных плат с конструкторских чертежей, выполненных в произвольном масштабе.

В процессе работы оператор имеет возможность выбирать шаг сетки (с дискретностью 0,025 мм), инструменты для проводников и контактных площадок; определять набор масок, которые будут использованы для изображения данной платы, и слой, в котором будут размещаться элементы.

Для облегчения работы оператора и уменьшения вероятности совершения механических ошибок имеется возможность определять группы и макросы.

Группа — это заполненная последовательность действий оператора по вводу или корректированию топологии печатной платы. В определении группы возможна рекурсия, т. е. определение одной группы может включать в себя вызов других групп и макросов.

Макрос — это прямоугольный фрагмент топологии печатной платы, задаваемый указанием противоположных вершин фрагмента на уже введенной топологии.

Макросы и группы могут быть сохранены для последующего использования в других работах.

При вызове макроса или группы координаты и ориентация элементов топологии корректируются в зависимости от точки вызова и заданного угла поворота макроса или группы.

Для исправления возможных ошибок оператор располагает средствами редактирования введенной топологии печатной платы. Оператор имеет возможность узнать, какие элементы находятся в данной точке, и затем удалить, заменить или изменить их конфигурацию. Информация об элементах выдается на алфавитно-цифровой дисплей и включает в себя данные о типе элемента (проводник или контактная площадка), его координаты