

УДК 518.5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Г.В.Вайсберг, Л.Г.Ковалёва, Н.Н.Павлов,
В.А.Скороспелов, П.А.Турук

Существующие системы обработки геометрической информации, предназначенные для решения задач технологической подготовки производства, условно можно разделить на два класса. Первый объединяет системы, предназначенные для обработки геометрической информации в плоскости. Наиболее известным представителем этого класса является система АРТ, завоевавшая большую популярность за рубежом благодаря простоте и широким возможностям описания геометрических объектов. Из отечественных разработок этого класса следует выделять систему САП-М22/32, в основу которой положен язык описания геометрических объектов, применяемый в АРТ. Системы такого типа являются, как правило, универсальными и могут с успехом применяться в различных отраслях машиностроения.

Ко второму классу следует отнести системы, предназначенные для обработки геометрической информации в пространстве. Особенностью представителей этого класса является их специализированный характер, ориентация на применение в конкретной отрасли машиностроения. Это объясняется следующими обстоятельствами. Во-первых, создание универсальной системы этого класса является чрезвычайно сложной проблемой, решение которой под силу достаточно большим коллективам специалистов высокой квалификации и требует больших материальных затрат. Во-вторых, количество деталей и агрегатов, имеющих сложную форму поверхности, по сравнению с общим объемом проектируемых и производимых дета-

лей, мало. Их распределение по отраслям неравномерно. Большая часть приходится на такие отрасли, как авиастроение, судостроение, турбостроение. И в-третьих, специализация позволяет более полно учесть особенности конкретных областей применения.

Следует отметить, однако, что ведомственный подход к разработке систем является серьезным препятствием кооперации в этом вопросе не только между отраслями, но и между предприятиями одной отрасли. Так, например, большинство предприятий отрасли авиастроения самостоятельно решают проблему автоматизации проектирования и подготовки производства, используя при этом различные принципы построения систем и способы обработки информации, что серьезно препятствует их сотрудничеству.

Описываемая в настоящей статье система предназначена для проектирования и технологической подготовки производства деталей и агрегатов, имеющих сложные пространственные обводы. Наибольший эффект от ее применения достигается в тех случаях, когда не удается подобрать простые аналитические выражения для описания исходных геометрических объектов.

Система не является универсальной в полном смысле этого слова. Тем не менее она может использоваться в различных проблемах для обработки пространственной геометрической информации. Это достигается за счет того, что основная часть системы не зависит от конкретной области применения, а генерация проблемно-зависимого программного обеспечения зачастую сводится к сборке готовых модулей, содержащихся в основной части. Затраты на создание программного обеспечения 2-го уровня (проблемного уровня) значительно меньше затрат на реализацию всей системы.

Предпосылкой для создания такой системы послужили исследования по теории сплайн-функций, проводимые в Институте математики СО АН СССР, в частности, исследования по применению сплайн-функций для приближения кривых и поверхностей с наперед заданной точностью [1-3]. Удалось разработать стандартную форму представления дуги кривой - единую для различных кривых - и стандартную форму представления сегмента поверхности - единую для различных поверхностей. Это позволило создать 1-й уровень программного обеспечения системы, независимый от конкретной исходной формы представления геометрических объектов.

Программное обеспечение 2-го уровня приводит исходную информацию к внутренней стандартной форме и реализует конкретные расчеты, определяемые проблемой. Разработка программ этого уровня возможна как с помощью средств программирования конкретной ЭВМ, так и с помощью средств, предусмотренных в системе.

В первых трех разделах статьи дается описание геометрических объектов, предусмотренных в системе, их стандартная форма представления и математическое описание, дается краткое изложение алгоритмов решения основных геометрических задач.

В последующих разделах представлена конкретная реализация системы для ЭВМ "Минск-22/32", ориентированная на технологическую подготовку производства лопастей гидротурбин.

1. Математическая форма представления кривых и поверхностей

Много затруднений при разработке математического обеспечения подобных систем доставляет большое количество различных способов задания кривых и поверхностей, применяемых в практике проектирования. Учесть все это многообразие форм не представляется возможным. В описываемой системе эта проблема в какой-то мере решена путем предварительной замены дуг кривых и сегментов поверхности с погрешностью производимых расчетов сплайнами определенного вида. Эта замена осуществляется программами 2-го уровня обеспечения, реализующими соответствующие операторы описания этих объектов.

Рассмотрим некоторую дугу кривой. Выберем на ней последовательность точек, задаваемую радиус-векторами $\{\bar{r}_i\}$, $i=1,2,\dots,m$, и упорядоченную в заданном на дуге направлении обхода. В каждой из них определим направление касательного вектора \bar{N}_i к кривой. Этот массив точек представляет собой некоторую систему узлов приближающего сплайна, в качестве которого используется кубический параметрический сплайн. На участке \bar{r}_i, \bar{r}_{i+1} он записывается в виде

$$\bar{r}^{(i)}(t) = \sum_{k=0}^3 \bar{A}_{ik} t^k; \quad t \in [0,1]. \quad (I.1)$$

Его коэффициенты \bar{A}_{ik} определяются из условия прохождения через точки \bar{r}_i и \bar{r}_{i+1} с сохранением в них заданного направления касательного вектора. Если собрать степени параметра t при известных величинах, то (I.1) переписывается в форме более удобной для проведения расчетов:

$$\bar{r}^{(i)}(t) = \bar{r}_i F_0 + \bar{r}_{i+1} F_1 + l_i \bar{N}_i G_0 + l_i \bar{N}_{i+1} G_1, \quad (I.2)$$

где F_0, F_1, G_0, G_1 — скалярные функции; $F_0 = 1 - 3t^2 + 2t^3$; $F_1 = 3t^2 - 2t^3$; $l_i = |\bar{r}_{i+1} - \bar{r}_i|$; $G_0 = t - 2t^2 + t^3$; $G_1 = -t^2 + t^3$.

Этот сплайн является непрерывным по направлению касательного вектора. Кривизна его, вообще говоря, терпит разрыв в узлах.

Рассмотрим сегмент поверхности, ограниченный четырьмя дугами пространственных кривых. Допускается, что одна или две противоположные границы могут вырождаться в точку. На этом сегменте определим два семейства линий — непрерывных и имеющих непрерывную касательную, а также удовлетворяющих следующим условиям:

- границные дуги сегмента попарно принадлежат этим семействам;
- линии одного семейства внутри сегмента не пересекаются;
- две линии противоположных семейств пересекаются внутри сегмента в одной точке.

Эти два семейства образуют некоторую пространственную сеть линий, которую назовем каркасом сегмента. Узлы каркаса, в которых определены направления касательных векторов к каркасным линиям, принимаются в качестве узлов сплайна, заменяющего рассматриваемый сегмент в дальнейших расчетах. В клетке каркаса с номером (i, j) его уравнение в матричной форме, предложенной в [4], записывается в виде:

$$\bar{r}^{(i,j)}(u,v) = [F_{0u}, F_{1u}, G_{0u}, G_{1u}, F_{0v}, F_{1v}] \times [F_{0v}, F_{1v}, G_{0v}, G_{1v}, F_{0v}, F_{1v}]^T, \quad (I.3)$$

$$i = \bar{i}, m; \quad j = \bar{j}, n; \quad u, v \in [0,1];$$

где $F_{ku}, G_{ku}, F_{kv}, G_{kv}$; $k = 0,1$ — те же функции, что и в (I.2) от параметров u и v соответственно;

$$B = \begin{pmatrix} \bar{r}_{1,j} & \bar{r}_{1+1,j} & \mu_j \bar{H}_{1,j}^{(v)} & \mu_j \bar{H}_{1+1,j}^{(v)} & 0 \\ \bar{r}_{1,j+1} & \bar{r}_{1+1,j+1} & \mu_{j+1} \bar{H}_{1,j+1}^{(v)} & \mu_{j+1} \bar{H}_{1+1,j+1}^{(v)} & 0 \\ \lambda_1 \bar{H}_{1,j}^{(u)} & \lambda_{1+1} \bar{H}_{1+1,j}^{(u)} & 0 & 0 & -\Delta \lambda_1 \Delta \bar{H}_j^{(u)} \\ \lambda_1 \bar{H}_{1,j+1}^{(u)} & \lambda_{1+1} \bar{H}_{1+1,j+1}^{(u)} & 0 & 0 & -\Delta \lambda_1 \Delta \bar{H}_{j+1}^{(u)} \\ 0 & 0 & -\Delta \mu_j \Delta \bar{H}_1^{(v)} & -\Delta \mu_j \Delta \bar{H}_{1+1}^{(v)} & 0 \end{pmatrix},$$

$$\mu_j = |\bar{r}_{1+1,j} - \bar{r}_{1,j}|, \quad \Delta \mu_j = \mu_{j+1} - \mu_j,$$

$$\lambda_1 = |\bar{r}_{1,j+1} - \bar{r}_{1,j}|, \quad \Delta \lambda_1 = \lambda_{1+1} - \lambda_1,$$

$$\Delta \bar{H}_1^{(v)} = |\bar{H}_{1,j+1}^{(v)} - \bar{H}_{1,j}^{(v)}|.$$

Следует отметить, что уравнение (I.3) для любой клетки каркаса содержит только информацию о ее угловых точках. Поэтому, с точки зрения построения поверхности, клетки совершенно независимы.

Полученный слайд описывает некоторую поверхность, натянутую на заданный каркас, непрерывную и имеющую в каждой точке непрерывную касательную плоскость.

2. Геометрические объекты и структура данных

Стандартная форма геометрических объектов, включенных в систему, определяет структуру данных. Допускается, что кроме основной информации, определяющей тот или иной объект, к нему могут быть отнесены некоторые вспомогательные данные, логически связанные с ним. Эта вспомогательная информация располагается вслед за основной. При описании структуры данных она будет изображаться символами $\alpha + \beta$.

Точка в пространстве представляется своим радиусом-вектором относительно выбранной декартовой системы координат $(\bar{r}, \alpha + \beta)$.

Точка, расположенная на некоторой кривой, кроме своего радиуса-вектора, содержит касательный вектор к этой кривой $(\bar{r}, \bar{H}, \alpha + \beta)$.

Точка, расположенная на поверхности, сопровождается либо вектором нормали к поверхности в ней $(\bar{r}, \bar{N}, \alpha + \beta)$, либо парой векторов, векторное произведение которых определяет ту же нормаль к поверхности $(\bar{r}, \bar{N}_1, \bar{N}_2, \alpha + \beta)$.

Вектор в системе представляется своими компонентами относительно выбранной в пространстве декартовой системы координат $(\bar{N}, \alpha + \beta)$.

Прямая в системе представляется точкой, через которую она проходит, и вектором, определяющим ее направление $(\bar{r}, \bar{H}, \alpha + \beta)$.

Луч представляется точкой, определяющей его начало, и вектором, определяющим его направление $(\bar{r}, \bar{H}, \alpha + \beta)$.

Плоскость в системе представляется точкой, через которую она проходит, и вектором, определяющим направление ее нормали $(\bar{r}, \bar{N}, \alpha + \beta)$.

Дуга кривой в системе представляется последовательностью точек, принадлежащих ей и упорядоченных в выбранном направлении $\{\bar{r}_i, \bar{H}_i, \alpha_i + \beta_i\}$, $i = \overline{1, m}$.

Дуга кривой, лежащая на поверхности, в каждой из выбранных на ней точек содержит либо вектор нормали к поверхности в этой точке $\{\bar{r}_i, \bar{H}_i, \bar{N}_i, \alpha_i + \beta_i\}$, $i = \overline{1, m}$, либо такой вектор, который вместе с касательным вектором к кривой определяет вектор нормали к поверхности $\{\bar{r}_i, \bar{H}_i, \bar{S}_i, \alpha_i + \beta_i\}$, $i = \overline{1, n}$.

Сегмент поверхности описывается некоторым каркасом, выбранным на нем.

Каркас сегмента поверхности представляется в системе массивом своих узлов, упорядоченных вдоль линий одного из семейств, в каждом из которых определены касательные векторы к каркасным линиям, его образующим:

$$\{\bar{r}_{i,j}, \bar{H}_{i,j}^I, \bar{H}_{i,j}^{II}, \alpha_{i,j} + \beta_{i,j}\}, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}.$$

3. Решение геометрических задач

В этом разделе кратко излагаются алгоритмы решения основных геометрических задач, в которых участвуют дуги кривых и сегменты поверхности, представленные соответствующими слайдами. Описание задач с участием точки, вектора, прямой, плоскости из-за своей простоты опускается.

Условимся, что на дуге кривой вводится параметр T , значение которого в заданных узлах равно их порядковому номеру. Тогда произвольному значению этого параметра T^* будет соответствовать точка, расположенная на участке с номером $[T^*]$ и имеющая значение параметра $t = T^* - [T^*]$ ($[T^*]$ — целая часть T^*). Аналогично поступим и с сегментом поверхности.

Следует отметить, что алгоритмы решения задач с участием сплайнов состоят из двух последовательных этапов. На первом — область поиска решения сужается до небольшого списка участков кривой или клеток каркаса. На втором ищутся решения в выделенных областях. Это позволяет применять эффективные, быстро сходящиеся итерационные методы поиска решений.

Для сокращения записи используется векторная форма величин и уравнений. Выражения (\vec{a}, \vec{b}) , $[\vec{a}, \vec{b}]$, $|\vec{a}|$ обозначают скалярное произведение векторов, векторное произведение векторов и модуль вектора соответственно.

Рассмотрим следующие геометрические задачи, составляющие основу программного обеспечения системы I-го уровня.

1. Вычисление $\vec{r}, \vec{r}', \vec{r}'', \vec{r}'''$ для заданного значения параметра T на заданной дуге. Алгоритмы этой задачи и задачи 2 практически уже описаны в разделе I.

2. Вычисление $\vec{r}, \vec{r}', \vec{r}'', \vec{r}'''$ на заданном сегменте поверхности и для заданной пары значений параметров (U, V) .

3. Пересечение дуги кривой с плоскостью. Пусть (\vec{r}_0, \vec{N}) — данные, определяющие некоторую плоскость в пространстве. Дуга кривой представлена массивом точек $\{\vec{r}_i, \vec{N}_i\}$, $i = \overline{1, m}$. Общие точки этих объектов удовлетворяют уравнению

$$F(T) \equiv ((\vec{r}(T) - \vec{r}_0), \vec{N}) = 0. \quad (3.1)$$

На первом этапе из дальнейшего рассмотрения исключаются участки, для которых: а) $F(T_i) \cdot F(T_{i+1}) > 0$; б) $|F(T_i)|, |F(T_{i+1})| > h$, где T_i, T_{i+1} — параметры граничных точек участка с номером i , h — величина максимальной стрелы прогиба на участках дуги.

На втором этапе отыскиваются решения уравнения (3.1) на выделенных участках.

4. Вычисление расстояния заданной точки от дуги кривой. Пусть \vec{r}_0 — заданная точка. Ее расстояние до любой точки дуги определяется по известной формуле:

$$l(T) = |\vec{r}(T) - \vec{r}_0|. \quad (3.2)$$

Под расстоянием точки от дуги кривой будем понимать минимальное значение $l(T)$, достигаемое на множестве точек дуги.

Сначала минимизируется функционал (3.2) на дискретном множестве заданных узлов дуги $\{\vec{r}_i\}$. Точка \vec{r}_k , соответствующая его минимуму, определяет два соседних участка, на которых ищется решение уравнения

$$((\vec{r}'(T) - \vec{r}_0), \vec{N}(T)) = 0, \quad (3.3)$$

где $\vec{N}(T)$ — касательный вектор к дуге в точке $\vec{r}(T)$.

Точка, являющаяся решением этого уравнения, подставляется в (3.2). Если же уравнение (3.3) не имеет решения, что возможно только в случае, когда \vec{r}_k есть граничная точка дуги, в качестве искомого расстояния принимается значение $l(\vec{r}_k)$. Следует заметить, что этот алгоритм можно применять в случае, когда искомое расстояние ограничено некоторой величиной, зависящей от конфигурации заданной дуги.

5. Приближение дуги кривой ломаной с заданной погрешностью ϵ . Рассмотрим некоторую точку $\vec{r}(T)$. Тогда точку $\vec{r}(T + \Delta T)$ можно представить в виде разложения:

$$\vec{r}(T + \Delta T) = \vec{r}(T) + \vec{r}'(T) \Delta T + \frac{1}{2} \vec{r}''(T) \Delta T^2 + \frac{1}{6} \vec{r}'''(T) \Delta T^3.$$

Квадрат расстояния этой точки до касательного вектора к дуге в точке $\vec{r}(T)$ выражается равенством

$$d^2 = \frac{[\Delta \vec{r}, \vec{r}'(T)]^2}{|\vec{r}'(T)|^2},$$

где $\Delta \vec{r} = \vec{r}(T + \Delta T) - \vec{r}(T)$.

Раскрывая скобки, получаем

$$d^2 = (a + b \Delta T + c \Delta T^2) \Delta T^4, \quad (3.4)$$

где $a = \frac{1}{4} \frac{[\vec{r}''(T), \vec{r}'(T)]^2}{|\vec{r}'(T)|^2}$,

$$b = \frac{1}{\epsilon} \frac{([\bar{r}''(T), \bar{r}'(T)], [\bar{r}'''(T), \bar{r}'(T)])}{|\bar{r}'(T)|^2},$$

$$c = \frac{[\bar{r}'''(T), \bar{r}'(T)]}{|\bar{r}'(T)|^2}.$$

Потребуем, чтобы $\delta \leq \epsilon$. Тогда равенство (3.4) определяет шаг по параметру такой, что расстояние хорды, соединяющей точки $\bar{r}(T)$ и $\bar{r}(T + \Delta T)$ от кривой не превысит значения ϵ .

Следует учесть, что процедура выбора шага справедлива только в пределах одного участка кривой. Поэтому выбранным шагом можно воспользоваться только в пределах этого участка.

6. Сечение сегмента поверхности плоскостью. Рассмотрим сегмент поверхности, представленный своим каркасом $\{\bar{r}_{1j}, \bar{n}_{1j}^I, \bar{n}_{1j}^II\}$: $i = \bar{1}, \bar{m}$; $j = \bar{1}, \bar{n}$, и плоскость (\bar{r}_0, \bar{N}) . Точки линии пересечения этих объектов должны удовлетворять уравнению

$$((\bar{r}(u, v) - \bar{r}_0), \bar{N}) = 0. \quad (3.5)$$

На первом этапе определяется начальная точка \bar{r}_1 , удовлетворяющая этому уравнению и лежащая на границе сегмента. Если таковой нет, в качестве начальной принимается точка пересечения одной из каркасных линий с плоскостью.

В этой точке определяется касательный вектор к искомой линии \bar{N}_1 , который можно представить в виде линейной комбинации единичных касательных векторов к параметрическим линиям в точке \bar{r}_1 :

$$\bar{N}_1 = \alpha \bar{N}^I + \beta \bar{N}^II, \quad (3.6)$$

где

$$\alpha = \frac{(N_1, N^I) - (N_1, N^II)(N^I, N^II)}{1 - (N^I, N^II)}, \quad \beta = \frac{(N_1, N^II) - (N_1, N^I)(N^I, N^II)}{1 - (N^I, N^II)}.$$

Выбирается шаг по параметру, которому соответствует больший по модулю коэффициент разложения (3.6). Этот шаг не должен выводить очередную точку линии за пределы текущей клетки каркаса. При фиксированном значении одного из параметров, полученного добавлением выбранного шага, второй определяется из уравнения (3.5). Тем самым находится следующая точка искомой линии.

Эта процедура продолжается до тех пор, пока очередная точка не выйдет на границу сегмента, либо не совпадет с одной из числа уже найденных. Полученная последовательность точек представляет искомую линию пересечения в стандартной форме.

7. Пересечение сегмента поверхности с прямой. Пусть задана прямая (\bar{r}_0, \bar{L}) и сегмент поверхности своим каркасом. Точки пересечения этих объектов должны удовлетворять уравнению

$$[(\bar{r}(u, v) - \bar{r}_0), \bar{L}] = 0. \quad (3.7)$$

Рассмотрим клетку каркаса. Будем предполагать в ней наличие точки пересечения, если замкнутый контур, составленный из хорд ее границ, накладывается на заданную прямую. Признаком этого факта является отсутствие среди множества всех плоскостей, проходящих через прямую, такой, которая бы не пересекла указанный контур.

Выделяя подозрительные клетки, ищем в них решение уравнения (3.7), которое равносильно системе двух уравнений. Каждое из этих уравнений определяет линию пересечения клетки поверхности с плоскостью, проходящей через заданную прямую. В частности, можно взять пару взаимно перпендикулярных плоскостей. Теперь задача распадается на две, уже описанных ранее: пересечение поверхности с плоскостью и пересечение линии с плоскостью.

8. Определение расстояния заданной точки от сегмента поверхности. Пусть заданы точка r_0 и сегмент поверхности своим каркасом. Квадрат ее расстояния до любой точки поверхности есть функционал

$$l^2(\bar{r}) = (\bar{r}(u, v) - \bar{r}_0)^2, \quad (3.8)$$

определенный на множестве точек заданного сегмента. Корень квадратный из его минимума, которого он достигает на этом множестве, принимается за искомое расстояние.

Сначала функционал (3.8) минимизируется на дискретном множестве узлов заданного каркаса. Пусть \bar{r}_{k1} - точка минимума. Координаты вектора расстояния этой точки до заданной относительно пространственного репера, образованного касательными векторами к каркасным линиям, проходящим через точку \bar{r}_{k1} , и нормалью к поверхности в этой точке, представляют собой приращение параметров в направлении искомого минимума функционала (3.8)

$$\Delta \bar{r} = (\bar{r}_0 - \bar{r}_{k1}) = \alpha \bar{N}_{k1}^I + \beta \bar{N}_{k1}^{II} + \gamma \bar{N}_{k1}^{III},$$

где

$$\alpha = \frac{([\Delta \bar{r}, \bar{N}_{k1}^I], \bar{N}_{k1}^I)}{|\bar{N}_{k1}^I|^2},$$

$$\beta = \frac{([\Delta \bar{r}, \bar{N}_{k1}^{II}], \bar{N}_{k1}^{II})}{|\bar{N}_{k1}^{II}|^2},$$

$$\gamma = \frac{([\Delta \bar{r}, \bar{N}_{k1}^{III}], \bar{N}_{k1}^{III})}{|\bar{N}_{k1}^{III}|^2}.$$

Если точке \bar{r}_{k1} соответствует пара значений параметров u_0, v_0 , то следующая точка будет иметь значение параметров $u_1 = u_0 + k\alpha, v_1 = v_0 + k\beta$. Величина k определяется некоторым соотношением между радиусом нормальной кривизны в направлении (α, β) в точке \bar{r}_{k1} и величиной $|\bar{r}(u_1, v_1) - \bar{r}(u_0, v_0)|$. Такого сорта движение, по существу, является движением по градиенту с автоматическим выбором шага.

В результате этого процесса достигается точка минимума функционала (3.8). Его значение в этой точке определяет искомое расстояние.

4. Назначение АСТПН "Лопать" и решаемые ею задачи

В последующих разделах дается краткое описание автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПН) лопастей натуральных и модельных колес гидротурбины. Ее назначение - выполнение расчетов, определяемых методами проектирования в выбранной технологии производства. Система реализована на ЭВМ "Минск 22/32". Кроме их стандартного комплекта оборудования, предполагается наличие устройств отображения графической информации (дисплей, графопроектор). Функциональная схема системы представлена на рис. I.

Процесс технологической подготовки производства в рамках рассматриваемой системы состоит из следующих последовательно выполняемых этапов:

III

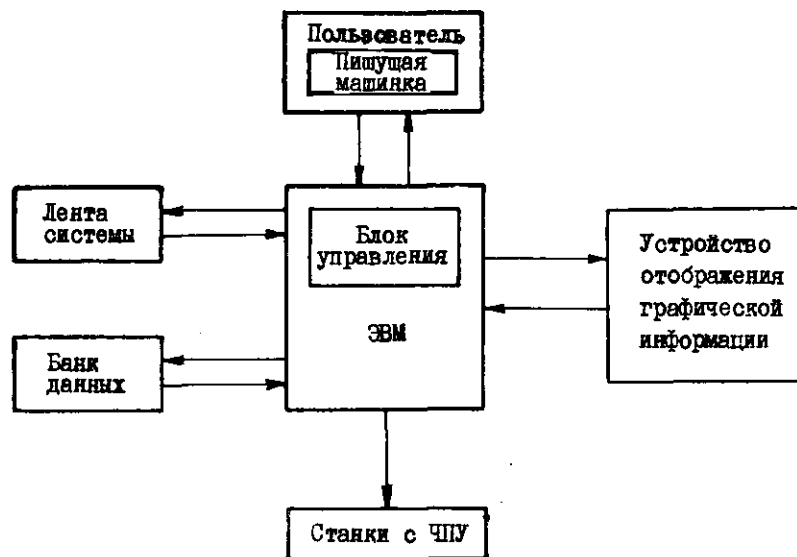


Рис. I

I. Построение математической модели лопасти. На этом этапе исходная информация о поверхности лопасти - набор плоских или цилиндрических сечений - преобразуется к стандартному виду. Одновременно происходит увязка заданных элементов в пространстве с тем, чтобы обеспечить требуемую плавность поверхности. Этот процесс плохо поддается формализации и поэтому, как правило, выполняется в интерактивном режиме с визуализацией промежуточных результатов в удобной форме.

Так, например, для лопасти радиально-осевой турбины изображаются: проекции на координатные плоскости, меридиональная проекция, аксонометрическая или изометрическая проекции в выбранном ракурсе. Одновременно графическая информация сопровождается таблицей отклонений заданных точек от полученной математической модели и таблицей изменения кривизны. Эта информация в совокупности дает полное представление о характере построенной математической модели поверхности лопасти.

III

Программное обеспечение этого этапа ориентировано на два типа колес гидротурбин: радиально-осевые и поворотно-лопастные.

2. Различные расчеты с участием математической модели поверхности лопасти. Содержание этого этапа составляют геометрические расчеты, которые приходится выполнять в инженерной практике при доводке проектов и при подготовке их производства, а именно:

- а) определение точек поверхности, лежащих на заданном луче или прямой;
- б) определение нормали в заданных точках;
- в) расчет плоских и цилиндрических сечений;
- г) определение толщины лопасти в заданных точках;
- д) определение расстояний точек выходной кромки от поверхности соседней лопасти колеса - "расстояние в свету";
- е) локальное изменение поверхности лопасти в окрестности входной и выходной кромок с целью изменения углов набегания и схода потока;
- ж) изменение размеров лопасти путем подрезок или продолжения за границы.

3. Расчет управляющей информации для станков с ЧПУ. Содержание этого этапа определяется технологией производства. Система позволяет эффективно использовать оборудование с числовым программным управлением для изготовления

- а) контрольно-измерительной оснастки - шаблонов,
- б) штампов для изготовления лопастей,
- в) заготовок лопастей для последующей штамповки,
- г) копиров для изготовления лопастей на копировально-фрезерных станках,
- д) самих лопастей.

Расчеты, проводимые по этим пунктам, осуществляются в соответствии с заданной технологической схемой обработки и кинематической схемой применяемого оборудования.

Некоторые сложности возникают в связи с отсутствием устройств и надежных методов контроля рассчитанной информации. В какой-то мере эта проблема может быть решена в рамках системы путем визуализации траектории инструмента на устройствах машинной графики. Для этой цели реализуется программная модель применяемой системы числового управления, которая преобразует пе-

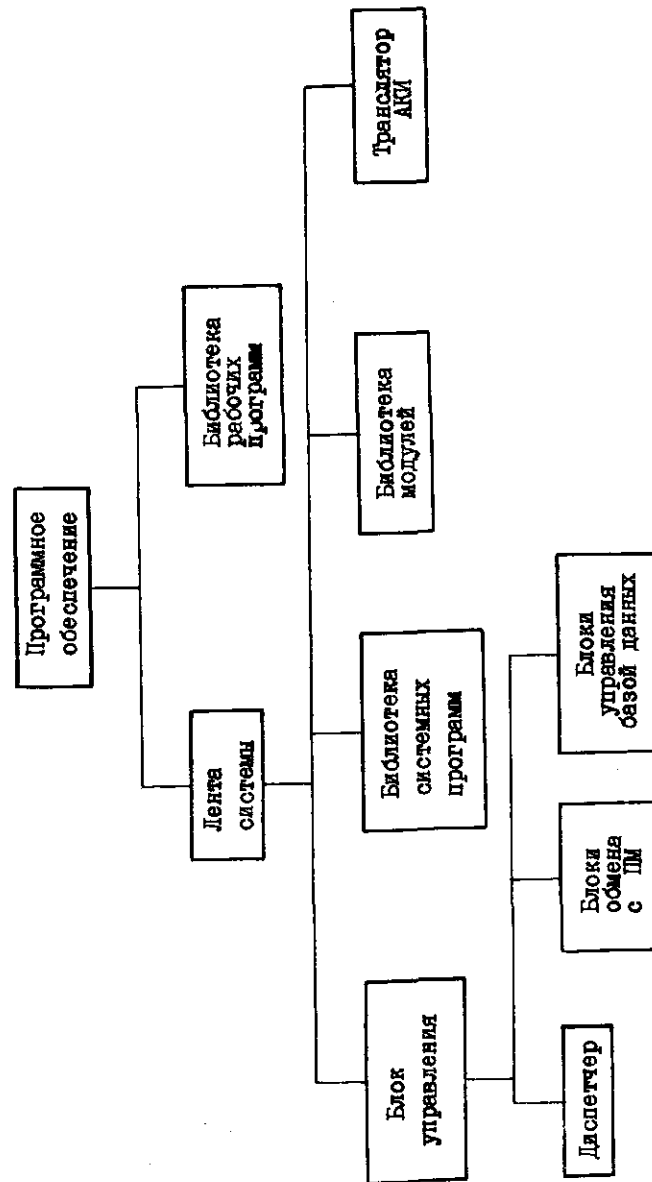


Рис. 2. Структура программного обеспечения

рем. Движение инструмента в пространстве в перемещении пера графо-построителя или светового луча дисплея в плоскости. Одновременно контролируется положение некоторой точки инструмента относительно математической модели обрабатываемой поверхности.

5. Программное обеспечение системы

Структура программного обеспечения системы представлена на рис.2.

Лента системы объединяет часть программного обеспечения, не зависящую от конкретной проблемы, в решении которой участвует система.

Библиотека рабочих программ объединяет программы, реализующие конкретные проблемные операторы системы. В ее состав может быть включена любая программа, которая сгенерирована в некоторой специально отведенной области оперативной памяти. Это позволяет изменить или расширить возможности системы в решении круга конкретных задач.

Блок управления - резидентная часть системы. В момент функционирования системы располагается в отведенной для него области оперативной памяти.

Библиотека системных программ объединяет различные обслуживающие программы. В ее состав может быть включена любая программа, отвечающая определенным требованиям. Тем самым можно изменить или расширить сервисные возможности системы.

Библиотека модулей создана на базе библиотеки подпрограмм транслятора АКИ и объединяет стандартные программы, оформленные в виде стандартных модулей. В ее состав входят модули управления базой данных, модули решения различных геометрических задач, модули управления устройствами машинной графики. Библиотека может быть расширена путем включения в ее состав новых модулей, которые оформляются в соответствии с требованиями, предъявляемыми к библиотечным программам транслятора АКИ.

Транслятор АКИ используется как средство сборки стандартных модулей при генерации рабочих программ из состава БРП.

Диспетчер принимает задание, расшифровывает и осуществляет его выполнение с помощью программ из состава БСП и БРП.

Блоки обмена с ПМ осуществляют связь пользователя с компонентами системы через пульт пишущей машинки.

Блоки управления базой данных осуществляют обмен данными на уровне файлов между компонентами системы и накопителями на магнитной ленте.

6. Общение с системой

Для выполнения каких-либо действий или расчетов в рамках системы составляется задание. Задание представляет собой последовательность операторов, каждый из которых сопровождается значениями его параметров.

Каждому оператору соответствуют одна или некоторая последовательность программ из состава библиотеки стандартных программ или библиотеки рабочих программ, его реализующая.

Список операторов определяет функциональные возможности системы. Его можно расширить путем разработки новых операторов. В частности, представляется возможность любое задание рассматривать как некоторый оператор и включать его в этот список.

Текст заданий может сообщаться системе непосредственно с пульта пишущей машинки или быть предварительно подготовленным на перфоленте.

В момент выполнения задания могут возникнуть аварийные ситуации. Выявление этого факта осуществляется в программах, реализующих конкретные операторы. В этом случае предусматривается вывод соответствующего сообщения в протоколе, который ведется на пишущей машинке во время работы системы. Дальнейшее выполнение задания блокируется, а пользователю предлагается принять решение в соответствии с инструкцией к оператору, при выполнении которого возникла аварийная ситуация.

Л и т е р а т у р а

Г. ЗАВЬЯЛОВ Ю.С. Интерполирование кубическими многозвеньевыми. - В кн.: Вычислительные системы. Вып. 38. Новосибирск, 1970, с. 23-73.

2. ЗАВЬЯЛОВ Ю.С. Интерполирование бикубическими многозвеньевыми. - В кн.: Вычислительные системы. Вып. 38. Новосибирск, 1970, с. 74-101.

3. ЛЕУС В.А. Гладкая окружностная интерполяция кривых. - В кн.: Вычислительные системы. Вып.38. Новосибирск, 1970, с.102-127.

4. COONS S.A. Surfaces for computer - aided design of space forms. Massachusetts Inst.of Technology, 1967, Project MAC.

Поступила в ред.-изд.отд.

17 августа 1976 года