

Автоматика и телемеханика., 1976, с. 136-145.

2. Д у б о в Ю.А., Копейкин А.Б. Экстремальные свойства задач о выборе цели. Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1977 №6, с. 53-58.

3. Подиновский В.В. Об относительной важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. - В кн.: Многокритериальные задачи принятия решений. М.: Машиностроение, 1978, с. 48-82.

4. Г е р м е й е р Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. М.: Наука, 1971, с. 384.

5. Молдавский М.А. Метод решения задач векторной оптимизации, не предполагающий существования у ЛПР функции полезности. ITU, 1978, с. 144-156.

УДК 629.7:774.32.518.5

А.И. Шулёпов

#### ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОНТРОЛЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ КОМПОНОВКИ

Решение с помощью ЭВМ проектно-конструкторских задач связано с обработкой большого числа исходных данных. Поэтому эффективность использования системы автоматизированного проектирования в большой степени зависит от безошибочного ввода в ЭВМ исходной информации. Исключение ошибок в описаниях входных массивов позволит снизить непроизводительные затраты машинного времени и повысить эффективность комплекса проектирования в целом.

Исходная информация в задаче компоновки включает массивы данных об оболочках объекта, массивы данных о приборах и ограничениях на размещение отдельных элементов, погонные веса связей кабельной сети [1], [2].

Информация о поверхности задается в прямоугольной системе координат коэффициентами уравнения вида:

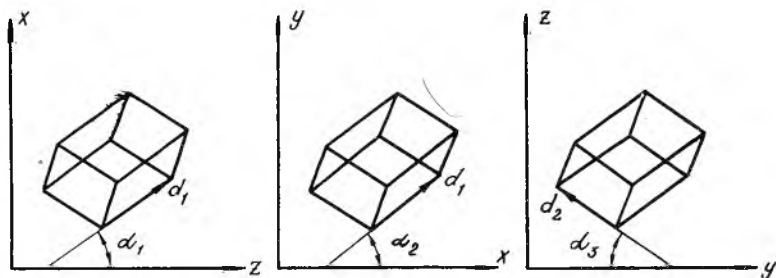
$$\varphi = a_1 x^2 + b_2 y^2 + a_3 z^2 + b_1 x + b_2 y + b_3 z + c = 0$$

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$$

Каждая поверхность ограничена справа и слева по координате.

Охватывающая область описывает максимальные и минимальные координаты оболочки.

Компонуемые приборы представляются в виде прямоугольных параллелепипедов с заданным направлением ребер. Для каждого элемента задаются размеры ребер параллелепипеда ( три числа ) и их угловое положение ( три числа ) проекциями на координатные плоскости в градусах, причем для первого ребра задаются две проекции, для второго - одна ( третье ребро перпендикулярно первым двум и его положение не задается, см. рис. I ). В реальных компоновках отдельные приборы могут



Р и с. I. Задание ориентации приборов

иметь ограничения на размещение, которые накладываются эксплуатацией, функциональными особенностями и т.д. [ I ] .

- Группа требований сводится к размещению приборов относительно:
- координатных плоскостей;
  - плоскости, принадлежащей оболочке отсека;
  - вспомогательной плоскости;
  - любой плоскости грани элемента из списка состава компоновки.

В проектных задачах такого рода ограничения означают размещение приборов в определенных местах отсека. При наличии требований к размещению задается расстояние от прибора до плоскости, ограничивающей размещение, массивом из трех чисел для каждого прибора ( дополнительные данные о размещении ) и логическая информация, которая выделяет эту группу приборов. Ограничения на размещение, позволяющие предусмотреть возможность крепления приборов и обеспечить условия работы, представляются в аналитическом виде системой линейных уравнений и неравенств:

$$A_{ij} \cdot \bar{U}_i \leq C_j;$$

$$A_{ij} = (\alpha_{ij}, \beta_{ij}, d_{ij}); \quad i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, 3, \dots$$

где  $\bar{U}_i$  - вектор положения одного прибора;

$n$  - количество компокуемых приборов с ограничениями на размещение;

$\alpha_{ij}, \beta_{ij}, d_{ij}, C_j$  - заданные коэффициенты [1].

Математическое обеспечение современных вычислительных систем позволяет производить контроль данных с целью обнаружения ошибок в набивке на перфокартах, при записи и считывании с магнитных дисков, магнитных лент и других устройств [6]. Массивы, в которых обнаружены ошибки в набивке или структуре, выводятся с помощью стандартных подпрограмм с соответствующей диагностикой в виде алфавитно-цифрового материала с сообщением о характере и месте ошибки. Применение вычислительной техники к решению проектно-конструкторских задач показало, что организация контроля с использованием имеющихся библиотек стандартных программ (БСП) недостаточно эффективна, поскольку не способна успешно реагировать на любую ситуацию путем надлежащей для данного класса задач диагностики, а, кроме того, не предусматривает контроля информации в привычном для конструктора графическом виде. В связи с этим возникает необходимость разработки методов автоматизированного контроля информации. Характер задачи позволяет использовать для контроля графические устройства отображения [3], [7].

Однако реализация автоматизированного контроля требует разработки алгоритмов и программ и, следовательно, в идеальном случае снижает оперативность получения конструктором конечного результата от вычислительной системы. Поэтому на вводимую информацию накладываются дополнительные требования, с точки зрения организации контроля:

поверхности, ограничивающие компоновку, описываются уравнениями второго порядка (независимо от порядка уравнения поверхности);

компокуемые элементы имеют единую форму представления;

ограничения на размещение отдельных приборов имеют единое представление;

массивы входной информации разбиваются по признаку типовой принадлежности в описаниях (целые, вещественные, логические и т.д.). Такая запись усложняет подготовку данных, но облегчает их контроль.

Объем вводимой информации в ЭВМ и формы ее контроля представлены таблицей I. С помощью избыточной информации можно контролировать все группы исходных данных.

№	Вводимая информация	Максимальный размер массива	Вид контроля	Методы контроля
1.	Коэффициенты поверхностей	200 чисел	<p>1. Анализ соответствия размерности введенному количеству чисел в массиве.</p> <p>2. Проверка числа на попадание в область допустимых значений.</p>	<p>1. Диагностический контроль с помощью БСД транслятора ЭВМ.</p>
			<p>3. Анализ соответствия форме проектируемого отсека.</p>	<p>1. Печать коэффициентов. Ручной контроль.</p>
				<p>2. Программированный контроль на выделение групп чисел массива вне области допустимых значений.</p>
			<p>3. Анализ соответствия форме проектируемого отсека.</p>	<p>1. Вывод чертежа оболочки отсека на графопостроитель или дисплей.</p>
2.	Числовые данные, описывающие элемент	1200 чисел	<p>1. Анализ соответствия размерности введенному количеству чисел в массиве.</p> <p>2. Проверка числа на попадание в область допустимых значений.</p>	<p>1. Диагностический контроль с помощью БСД транслятора ЭВМ.</p>
				<p>1. Печать коэффициентов. Ручной контроль.</p>
				<p>2. Программированный контроль на выделение групп чисел массива вне области допустимых значений.</p>

№	Вводимая информация	Максимальный размер массива	Вид контроля	Методы контроля
3.	Информация об условиях размещения приборов	400 чисел	<p>1. Анализ соответствия размерности введённому количеству чисел в массиве.</p> <p>2. Проверка числа на попадание в область допустимых значений.</p> <p>3. Анализ соответствия ограниченной группе жестко закрепленных приборов.</p>	<p>1. Диагностический контроль с помощью БСЦ транслятора ЭВМ.</p> <p>1. Форматизированная печать массива. Ручной контроль.</p> <p>2. Программированный контроль на выделение группы чисел массива вне области допустимых значений.</p> <p>1. Декодирование массива об условиях закрепления с последующей расшифровкой в виде текстовой и цифровой печати.</p> <p>2. Вывод чертежа поверхности и группы приборов относительно элемента, ограничивающего размещение. (Контроль с вводом избыточной информации).</p>
4.	Дополнительные данные о размещении	600 чисел	<p>1. Анализ соответствия размерности введённому количеству чисел в массиве.</p>	<p>1. Диагностический контроль с помощью БСЦ транслятора ЭВМ.</p>

№	Вводимая информация	Максимальный размер массива	Вид контроля	Методы контроля
5.	Координаты приборов при известном первоначальном варианте компонентов	1200 чисел	1. Анализ соответствия размерности введенному количеству чисел в массиве. 2. Проверка числа на попадание в область допустимых значений.	1. Печать массива. Ручной контроль. 2. Программированный контроль на выделение группы чисел вне области допустимых значений.
6.	Информация о трассах между приборами при минимизации веса	100 чисел	1. Контроль на принадлежность приборов отсечку. 2. Проверка числа на попадание в область допустимых значений.	1. Вывод чертежа обломок и группы приборов с вынесением размерных линий и величин расстояния от прибора до плоскостей, связывающих их взаимное положение по отношению на размещении. 1. Диагностический контроль с помощью БСП транслятора ЭВМ.
			1. Анализ соответствия размерности введенному количеству чисел в массиве. 2. Проверка числа на попадание в область допустимых значений.	1. Печать массива. Ручной контроль. 2. Программированный контроль на выделение группы чисел вне области допустимых значений.
			1. Контроль на принадлежность приборов отсечку.	1. Вывод изображения на графический дисплей.
			1. Контроль линии связи между приборами.	1. Вывод обломок и группы приборов, связанных кабельной сетью в виде отрезков прямой линии на чертеже.

№	Вводимая информация	Максимальный размер массива	Вид контроля	Методы контроля
7.	Дополнительная информация:		Численные значения	I. Печать введенного массива. Ручной контроль.
	1. Количество приборов.	одно число		
	2. Количество поверхностей.	одно число		
	3. Масса приборов.	200 чисел		
	4. Зона размещения.	одно число		
	5. Граница охватываемой области.	6 чисел		
	6. Вес связей кабельной сети	100 чисел		

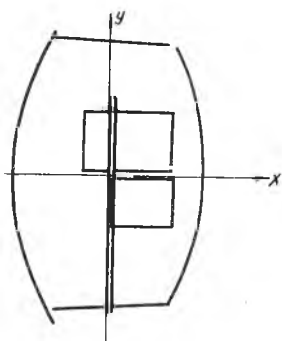
Контроль геометрии приборов можно осуществить, задавая их объемы. Для контроля углового положения следует выводить, вместе с тройкой численных значений углов проекций ребер, сумму квадратов их направляющих косинусов и т.д. Существенным недостатком этого способа контроля является необходимость избыточной информации. Поэтому для рационального использования этот метод желательно применять для контроля данных, которые описываются массивами различной типовой принадлежности.

Программированный контроль в задаче направлен на обработку массивов данных с целью выделения только той группы информации, которая является подозрительной, с точки зрения принятой в отношении этого массива концепции (например, контроль числа на принадлежность его области допустимых значений, позиционное соответствие коэффициентов введенным числовым значениям и т.д.).

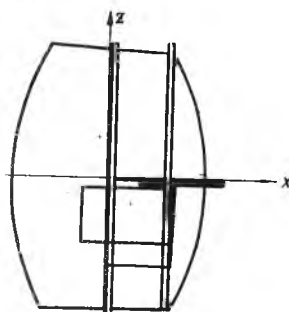
Графический контроль используется как средство отображения той части информации при вводе, которая описывает форму отсека, приборов и их взаимную увязку. Так, группа данных об оболочках и приборах, помимо проверки

соответствия численным значениям коэффициентов, нуждается в контроле соответствия заданной геометрической форме элементов. Вывод числового материала позволяет проверить попадание в область допустимых значений коэффициентов. Все другие виды работы с выведенным числовым массивом с целью проведения ручного контроля ведут к неоправданным затратам времени (вычисление промежуточных значений, ручная прорисовка изображений и т.д.). Контроль логической информации и данных о размещении группы приборов, на которые накладываются ограничения, осуществляется совместно (избыточной информацией). Причем форматизированный вывод численных значений этой группы сочетается с последующим выводом графического изображения оболочки отсека и приборов, связанных ограничением на размещение. Такое сочетание позволяет конструктору предварительно устранить ошибки в кодировке логического массива, а затем по графическому изображению установить соответствие ограничений размещенным по отсеку приборам.

Для контроля границы задания оболочки отсека и требования непересечения группы приборов с оболочкой приборного отсека электромеханическим графопостроителем выведены чертежи (рис.2,3.)



Р и с.2. Контроль данных по оболочке отсека



Р и с.3. Контроль данных по приборам

По чертежу (рис.2) установлено, что группа данных на границу оболочки радиуса задана неверно (контроль по пункту I табл.I). Из чертежа (рис.3) видно, что в требованиях на размещение рамы для крепления приборов допущена ошибка: не выполняются условия на непересечение элементов с оболочкой приборного отсека. Стержни рамы 5,6 и I5 пересекаются с оболочкой отсека (контроль по пункту 3 табл.I).



При заданном первоначальном варианте компоновки контроль данных по приборам включает вывод чертежа на графическое устройство отображения. Совместно с печатью введенного массива чертеж позволяет проконтролировать условия взаимного непересечения и непересечения приборов с оболочкой отсека.

Правильность ввода информации о трассах между приборами достаточно проверить по выведенному графическому изображению оболочки и группы приборов, связанных кабельной сетью в виде отрезков прямой линии на чертеже.

Реализация автоматизированного контроля с помощью графических устройств сводится к машинному построению плоских изображений в проекционной связи оболочки отсека и группы приборов, удовлетворяющих ограничениям на размещение, после ввода информации в память ЭВМ.

Выводимые изображения имеют плотную графическую структуру. Проверка правильности ввода данных затрудняется тем, что проекции приборов на плоскости могут частично или полностью затеняться. В этом случае возникают затруднения в контроле сразу трех групп исходных данных: проекций углов ребер  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  на координатные плоскости, начальной точки размещения и размеров. В связи с этим плоская картина выводимых изображений приборов не должна содержать пересечений. Чтобы обеспечить выполнение этого условия, необходима разработка алгоритма и программы, обеспечивающих анализ пересечения контуров приборов. Используя [4], составляется  $R$ -функция ребра элемента в виде:

$$F_{ij}(\bar{x}_j, \bar{x}_{j+1}, \bar{x}_i) = 0;$$

где  $F_{ij}$  - уравнение прямой, проходящей через точки  $\bar{x}_j$  и  $\bar{x}_{j+1}$  и совпадающей с ребром элемента на плоскости проекции;

$\bar{x}_i$  - координаты вершин элемента, проверяемого на пересечение.

Неравенство

$$F_{ij}(\bar{x}_j, \bar{x}_{j+1}, \bar{x}_i) < 0$$

выполняется, если координаты вершин проверяемого элемента лежат внутри области, ограниченной проекциями ребер второго прибора. Отрицание равнозначности определяет логическую матрицу взаимного положения проекций вершин проверяемого прибора относительно ребер второго.

$$b_{ij} = \{F_{ij}(\bar{x}_j, \bar{x}_{j+1}, \bar{x}_i) \bar{\cap} F_{ij}(\bar{x}_j, \bar{x}_{j+1}, \bar{x}_{i+1})\}.$$

Аналогично определяется логическая матрица взаимного положения проекций вершин второго элемента относительно проекций ребер проверяемого прибора:

$$d_{ji} = \{F_{ji}(\bar{x}_i, \bar{x}_{i+1}, \bar{x}_j) \bar{\wedge} F_{ji}(\bar{x}_i, \bar{x}_{i+1}, \bar{x}_{j+1})\}$$

где  $\bar{\wedge}$  - отрицание равнозначности.

Проекции ребер двух элементов, имеющие общие точки (проекция ребер в этом случае имеют пересечение), определяются выражением:

$$a_{ij} = b_{ij} \times d_{ij}.$$

Накопление элементов для формирования вида на соответствующую плоскость ведется до тех пор, пока логическая матрица  $a_{ij}$  имеет нулевое значение, т.е. плоская картина не имеет пересечений. При отличии хотя бы одной ячейки матрицы  $a_{ij}$  от нулевого значения на внешнее устройство отображения графической информации выдается чертеж компоновки отсека с предыдущего шага просмотра (затененный прибор на данном шаге не выводится, с него начинается формирование следующего вида). Формирование числа таких видов заканчивается ЭВМ при полном переборе всех приборов компоновочного состава, на которые накладываются ограничения.

Как показывает практика проектирования, применение одного из способов контроля не гарантирует полноты контроля всей группы данных или ведет к непроизводительным затратам времени разработки. Поэтому групповой контроль, ориентированный на информационные потребности конструктора, позволяет без больших затрат времени существенно повысить надежность подготовки исходных данных, является условием успешного развития и внедрения АСП к промышленной эксплуатации.

## Л и т е р а т у р а

1. Гаврилов В.Н. Оптимальное размещение элементов в приборных отсеках летательных аппаратов.-В сб.:Оптимальное проектирование авиационных конструкций, Куйбышев, КуАИ, 1973.

2. Гаврилов В.Н. Применение принципа оптимальности Белмана в задачах размещения геометрических объектов.-В сб.:Машинное проектирование, увязка и воспроизведение сложных деталей в авиастроении. Иркутск, ИрПИ, 1976.

3. Д а н и л и н А.И., П е р е с ы п к и н В.П. Контроль исходной информации при расчете конструкций методом конечных элементов.

- В об.: Машинное проектирование, увязка и воспроизведение сложных деталей в авиастроении. Иркутск, ИрПИ, 1976.

4. Р в а ч е в В.Л. Геометрические приложения алгебры логики. Киев.: Наукова Думка, 1967.

5. Автоматизация исследований и проектирования. М.: Наука, 1978.

6. М а з н ы й Г.Л. Программирование на ЭЭСМ-6 в системе "Дубна". М.: Наука, 1978.

7. П р и н с М.Д. Машинная графика и автоматизация проектирования. Пер. с англ. М.: Советское радио, 1975.

УДК 629.7.02:681.068

В.А. Столярчук

#### О ПРОЕКТИРОВАНИИ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В САПР

Процесс проектирования летательного аппарата представляет собой итерационный процесс последовательного приближения от абстрактной модели к реальному объекту. На каждом этапе проектирования обычно разрабатывается своя математическая модель, которая отражает локальные свойства л.а. и определяется знаниями и опытом разработчика. Требования, предъявляемые к различным дисциплинам на разных этапах проектирования, неравнозначны и зачастую противоречивы. Реально эти требования могут быть удовлетворены путем развития программ, созданных для отдельных фаз проектирования, последовательно прогрессирующих от приближенных моделей с соответственно малыми затратами машинного времени к более полным расчетам и соответственно более длительному времени работы вычислительных машин на более поздних этапах проектирования.

Задача проектирования силовых конструкций, т.е. той части конструкции, которая воспринимает основные силовые потоки от действующих сил и моментов, является частью общей задачи проектирования. Эта задача связана с проблемой передачи сил и моментов в пространстве и поэтому определение конструктивных форм, весов, размеров и распределение материала несущих элементов связано с расчетами на прочность.

Расчеты на прочность основаны на результатах теоретических исследований в области строительной механики и теории упругости,