

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

В настоящей работе представлена структура и описаны схемы функционирования комплекса программ, реализующего аналитический вариационный метод решения трехмерных статических и динамических задач теории упругости.

Специфика многих инженерных конструкций не позволяет осуществить эффективную замену трехмерной задачи теории упругости одномерной или двумерной на основе приближенных гипотез, область применения которых определяется геометрическими характеристиками конструкций. Решение задач статического и динамического анализа подобных элементов необходимо производить в трехмерной постановке.

Разработка методов и алгоритмов расчета элементов конструкций в пространственной постановке невозможна без самого широкого привлечения ЭВМ. В последнее время наряду с работой по созданию новых алгоритмов, исследованию точности методов и области их применения все больше внимания уделяется созданию пакетов программ математического обеспечения серийных инженерных расчетов.

Создание пакетов программ для автоматизации расчетов трехмерных моделей элементов конструкций требует специального отбора численных методов, пригодных не вообще для решения трехмерной задачи теории упругости, а удовлетворяющих дополнительным требованиям. При разработке пакетов программ для решения трехмерных задач выбор метода счета необходимо осуществлять с учетом не только класса решаемых задач, но и возможностей машины (ее быстродействия, объема памяти).

Представленный в настоящей работе комплекс программ ориентирован на ЭВМ средней мощности типа ЕС-1020, ЕС-1022. В качестве расчетного метода используется аналитический вариационный метод, основанный на вариационном принципе Лагранжа [1].

Комплекс программ представляет собой пакет модулей, различные комбинации которых, оформленные в виде головных программ, позволяют решать достаточно широкий класс задач. Разбивка алгоритма на отдельные процедуры обеспечивает одновременно компактность и универсальность программного комплекса. Конструирование того или иного алгоритма решения задач сводится к составлению головной (управляющей) программы. Головная программа вызывает модули в последовательности, определенной алгоритмом решения задачи, и тем самым управляет прохождением задания на ЭВМ.

На рис. 1 изображена принципиальная блок-схема алгоритма решения задач анализа. Последовательность работы блоков при решении различных классов трехмерных задач (рис. 1): решение задач статики (головная программа BASE)

1 → 2 → 3 (или 4) → 5 → 6 → 7 → 8 → 10 → 12 → 14;
решение задач о собственных колебаниях (головная программа EIG);

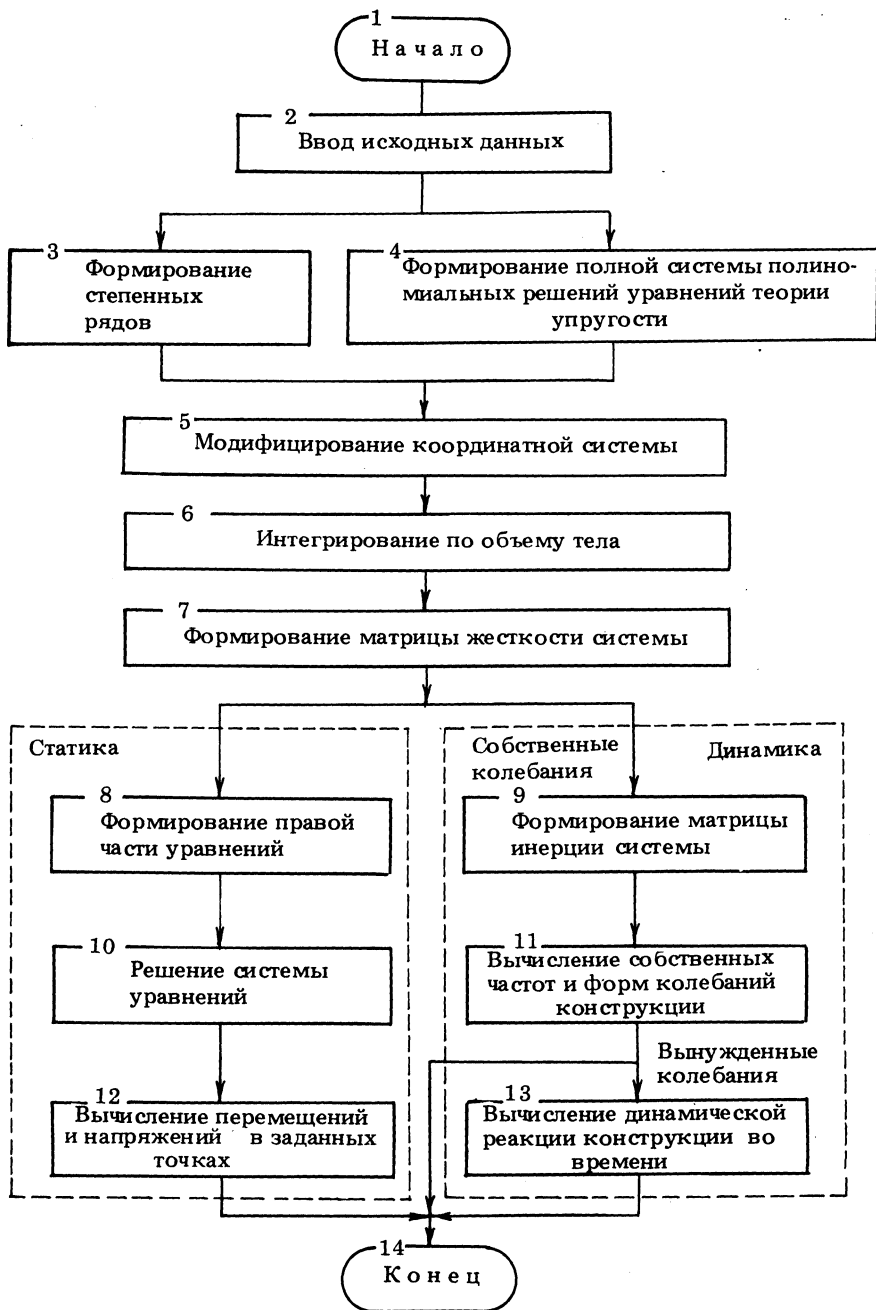


Рис. 1. Принципиальная схема алгоритма

1 → 2 → 3 (или 4) → 5 → 6 → 7 → 9 → 11 → 14;
решение задач о вынужденных колебаниях (головная программа WIBR),
1→2→3 (или 4)→5→6→7→9→11→13→14.

Все программы реализованы на алгоритмическом языке FORTRAN.

Система математического обеспечения расчетов включает 27 программных модулей. Достигнута значительная степень унификации модулей. Так, приблизительно 70 % модулей используется как при решении задач статики, так и при решении задач динамики.

Программная реализация метода расчета по разработанным алгоритмам предусматривает рациональное использование объема памяти ЭВМ и требует сравнительно небольших затрат машинного времени (от 5, до 30 мин на ЭВМ ЕС-1022). Это делает возможной организацию вычислительного процесса за один этап. При этом весь обмен информацией внутри этапа осуществляется в оперативном запоминающем устройстве ЭВМ. Внешние запоминающие устройства не используются. Все вычисления в программах проводятся обычной точностью.

Программа BASE предназначена для решения трехмерных упругих статических задач и имеет следующие основные возможности.

1. Рассматриваются произвольные трехмерные области, представимые совокупностью параллелепипедов, призм и цилиндров.

2. Граничные условия в перемещениях удовлетворяются по координатным плоскостям и в отдельных произвольных точках тела. Граничные условия в напряжениях могут быть точно удовлетворены на некоторой системе точек.

3. Программа позволяет за один этап расчета получить результаты нескольких приближений решения (при различных порядках аппроксимации решения) и оценить сходимость приближенных решений.

При необходимости исследования сходимости приближенных решений матрица разрешающих уравнений формируется сразу для максимального порядка аппроксимации (максимального номера n приближений) вектора смещений тела. Разрешающие системы алгебраических уравнений i -х приближений ($i = 1, 2, \dots, n-1$) образуются путем усечения разрешающей системы n -го приближения.

В данном варианте программа позволяет использовать системы, состоящие не более чем из 200 уравнений. Посредством изменения размерностей массивов в головной программе число используемых уравнений может быть увеличено.

Программа EIG предназначена для решения трехмерных упругих задач о собственных колебаниях. Возможности ее аналогичны программе BASE за исключением п. 3.

Программа WIBR предназначена для решения трехмерных упругих задач о нестационарных вынужденных колебаниях. Программа позволяет рассчитывать вынужденные колебания тел при таких условиях нагружения или закрепления, которые исключают возможность смещения тела как жесткого целого.

Количество перфокарт с исходными данными для расчета обычно не превышает 50. Контроль правильности ввода данных в ЭВМ производится пользователем по распечатке исходных данных.

Назначение блоков, изображенных на рис. 1, следующее.

Блок 2 осуществляет ввод исходной информации, которая включает: свойства материала; координаты параллелепипедов, призм и цилиндров, составляющих область; координаты точек, в которых вычисляются перемещения и напряжения и т.д.

Блоки 3, 4 и 5 формируют основные координатные системы и при необходимости модифицируют их с целью точного удовлетворения граничных условий в отдельных точках.

Блоки 6, 7, 8 и 9 формируют матрицы и правые части систем разрешающих алгебраических уравнений.

Блоки 10, 11, 12 и 13 решают алгебраические системы, вычисляют значения перемещений и напряжений в заданных точках детали и печатают их в виде таблиц.

Разработанный комплекс программ использовался при решении большого числа трехмерных статических и динамических задач теории упругости, а также прикладных технических задач [2–5]. Накоплен значительный опыт эксплуатации пакета программ. Численные исследования показали, что полиномиальная аппроксимация вектора смещений тела позволяет определить перемещения, формы и частоты собственных колебаний элементов конструкций с помощью сравнительно небольшого ($N < 120$) числа координатных функций с достаточной для инженерной практики точностью. Однако использование полиномиальных разложений при расчете тонкостенных конструкций обычно приводит к плохой обусловленности матрицы разрешающей системы уравнений и потере устойчивости вычислительного процесса. Это является естественным ограничением области применимости метода. Для частичного его преодоления необходимо проводить вычисления с удвоенной точностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. К р у ш е в с к и й А.Е. Вариационные методы расчета корпусных деталей машин. — Минск: Наука и техника, 1967. — 228 с.
2. К р у ш е в с к и й А.Е., А п а н о в и ч В.Н. Решение задач о свободных колебаниях массивных конструкций методом последовательных приближений. — Изв. вузов. Машиностроение, 1981, № 9, с. 17–20.
3. К р у ш е в с к и й А.Е., А п а н о в и ч В.Н. Распространение упругих волн в кубическом образце при импульсивном нагружении. — В кн.: Теоретическая и прикладная механика. Минск: Выш. шк., 1983, вып. 10, с. 27–31.
4. Б о г о м о л о в С.И., С и м с о н Э.А., А п а н о в и ч В.Н. Расчет и оптимизация трехмерных моделей элементов конструкций при высокочастотных колебаниях. — В кн.: Прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения: Тез. докл. III Всесоюз. семинара. Киев, 1981, с. 62–63.
5. А п а н о в и ч В.Н. Исследование изгиба кривого бруса в постановке трехмерной задачи теории упругости. — В кн.: Теоретическая и прикладная механика. Минск: Выш. шк., 1983, вып. 10, с. 57–61.