

и особенностей расположения отдельных элементов (граничные, внутренние), физико-технические и механические характеристики материала и др.

5. Составление системы уравнений путем минимизации соответствующего данной задаче функционала при помощи приведенных выше соотношений.

6. Решение полученной системы уравнений относительно неизвестных в узлах параметров (температуры, компонентов перемещения).

7. Вычисление всех предусмотренных постановкой задачи параметров (температур, деформаций, напряжений и др.) для каждого элемента и графическое изображение полученных результатов в виде полей температур, напряжений, деформаций и перемещений по значениям этих параметров.

Вопросы программирования при решении задач МКЭ представляют самостоятельную, важную и достаточно трудную задачу. Они требуют специального рассмотрения. Остановимся на некоторых вопросах, связанных с составлением и решением системы алгебраических уравнений. Первое – построение матрицы теплопроводности и матрицы жесткости системы, называемой глобальной матрицей. Последняя получается алгебраическим суммированием соответствующих матриц отдельных элементов. При этом в целях экономии машинной памяти в соответствующих матрицах отдельных элементов исключают из рассмотрения все величины, связанные с теми узлами общей системы, которые не входят в рассматриваемый элемент. Строки и столбцы сокращенной матрицы элемента имеют номера тех строк и столбцов глобальной матрицы, на место которых должны попасть при суммировании строки и столбцы сокращенной матрицы элемента.

Есть много способов решения систем линейных алгебраических уравнений. Наиболее часто применяют метод Гаусса, заключающийся в преобразовании расширенной матрицы системы уравнений (т.е. матрицы коэффициентов с присоединенным вектором-столбцом правой части) к треугольному виду и решению преобразованной системы методом обратной прогонки.

Следует отметить, что важное значение имеют также математические проблемы, связанные с применением метода конечных элементов и в первую очередь сходимость решения и оценка его точности. Чисто интуитивно можно утверждать, что в большинстве случаев для рассмотренных выше задач их решение в пределе стремится к точному. При этом выбранные координатные функции формы должны обеспечивать выполнение некоторых требований. Например, перемещение элемента как твердого тела не должно вызывать его деформацию, вид координатных функций должен обеспечивать их непрерывность по объему каждого элемента и по граням, соединяющим элемент со смежными. В рассмотренных задачах первая производная может быть кусочно-непрерывной функцией, т.е. с разрывами первого рода по границам элементов. Только в этом случае функционал всей системы равен сумме функционалов отдельных элементов.

Метод конечных элементов является приближенным методом. Неточность расчетов обусловлена как применением само-

!

Особенность применения метода конечных элементов при расчетах заключается в неразрывной связи метода с использованием ЭВМ, так как системы алгебраических уравнений могут содержать большое число неизвестных, которыми являются узловые значения компонентов искомого параметра.

!

Симметрия и положительная определенность глобальной матрицы, имеющей ленточную структуру, позволяют существенно сократить объем вычислений при решении основной системы алгебраических уравнений.