

УДК 629.7.02:539.3

Е.Г.Макеев

ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНЫЙ БАЛОЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Предлагается конечный элемент для моделирования лонжеронов, шпангоутов, окантовок вырезов, различных балок и ребер, работающих в условиях изгиба, растяжения-сжатия и сдвига. Элемент имеет четыре узла с поступательными перемещениями и успешно используется в расчетных моделях совместно с элементами других типов (мембранные треугольники и четырехугольники, стержни и пр.).

В состав элемента входят два пояса, воспринимающие осевые силы, и стенка, работающая на нормальные и касательные напряжения. В общем случае стенка может быть неплоской, а пояса - смещенными относительно узлов элемента.

Стенка набирается из четырех треугольников, матрицы жесткости которых включаются в суммарную матрицу с уточняющими коэффициентами. Значения этих коэффициентов определяются из условия равенства энергий деформаций конечного элемента и балки, работающей по инженерной теории изгиба с учетом сдвига. Такой простой прием позволяет довольно точно описать изгибные деформации элемента при использовании только линейных форм перемещений.

Закрученность элемента учитывается с помощью преобразования матрицы жесткости, основанного на уравнивании системы узловых сил по методу наименьших квадратов.

Полученный элемент обеспечивает хорошую сходимость, поскольку его функции перемещений удовлетворяют критериям постоянной деформации и непрерывности перемещений на границе.

Сравнение результатов расчета различных конструкций (кольца различной кривизны, прямые и клиновидные балки) с аналитическими решениями показывают высокую точность элемента. Разница между расчетными и точными значениями перемещений при использовании четырех элементов составляет 1-7%, при восьми элементах - менее 1%.