

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

И.А. Дорофеева, Л.Д. Луганцев, Я.А. Саитова

Московский государственный университет инженерной экологии

Характерной особенностью работы современного оборудования является нестационарность силового и температурного воздействия. Повторные воздействия механической нагрузки и нестационарного температурного поля вызывают в ряде случаев циклическое упругопластическое деформирование элементов конструкций и приводят к накоплению усталостных и квазистатических повреждений.

При построении математической модели кинетики процесса упругопластического деформирования вводим параметр t , определяющий развитие процесса нагружения изделия (обобщенное время). Полагаем, что программа нагружения, определяемая функциями $F_i = F_i(t)$, $T = T(t)$, задана. Определены также физико-механические характеристики конструкционного материала.

Предлагаемая математическая модель содержит три группы уравнений. Первую группу уравнений составляют дифференциальные уравнения равновесия, которым должны удовлетворять компоненты напряженного состояния. Вторую группу уравнений образуют уравнения совместности деформаций. Третью группу уравнений составляют уравнения пластического течения конструкционного материала. В данной работе эти уравнения получены на основе соотношений теории неизотермического пластического течения с трансляционным и изотропным упрочнением [1]:

$$\{\Delta e\} = \left([B^e] + [B^p] \right) \{\Delta s\} + \{F_T\} \Delta T, \quad (1)$$

Программу нагружения разбиваем на ряд малых этапов, расчет которых выполняем последовательно. Модель изделия представляем в виде совокупности узловых точек, количество и расположение которых зависит от характерных особенностей конструкции и требуемой точности расчета. Каждой узловой точке ставим в соответствие параметр $plast$ (признак пластичности), который принимает значение 0, если в рассматриваемой точке материал деформируется упруго, или 1, если имеет место пластическое течение.

Для всех узловых точек рассматриваемой конструкции вводим в рассмотрение вектор состояния $\{Z\} = [s_1 \ s_2 \ s_3 \ e_1 \ e_2 \ e_3 \ e_1^p \ e_2^p \ e_3^p \ e_p^* \ c_1 \ c_2 \ c_3]$. Совокупность значений этих векторов полностью характеризует напряженно-деформированное состояние исследуемой конструкции. Начальный вектор состояния $\{Z_0\}$ полагаем заданным.

Расчет рассматриваемой конструкции шаговым методом включает две основных процедуры.

Первая процедура связана с решением краевой задачи. Полагая известными компоненты векторов состояния в начале очередного n -го этапа нагружения, вычисляем физико-механические характеристики конструкционного материала в этой точке процесса t и выполняем решение краевой задачи. В процессе решения краевой задачи формирования матриц $[B^e]$ и $[B^p]$ в уравнении (1) выполняем с учетом текущих значений параметров материала. В результате решения находим приращения напряжений и деформаций Δs_j , Δe_j на n -м этапе во всех узловых точках конструкции.

Вторая процедура связана с анализом параметров состояния в узловых точках конструкции в конце n -го этапа нагружения. В упругих точках ($plast = 0$) проверяем условие пластичности

$$A_i < H_e - d, \quad (2)$$

где A_i - интенсивность активных напряжений; $2H_e$ - мгновенная ширина упругой области на обобщенной диаграмме деформирования; d - заданная величина допустимой погрешности.

Если условие (2) выполняется, точка остается упругой. Для точек, где выполняется условие

$$H_e - d < A_i < H_e + d, \quad (3)$$

полагаем $plast = 1$ и повторно решаем краевую задачу с учетом внесенных изменений.

В пластических узловых точках ($plast = 1$) проверяем выполнение условий развития пластического течения. Если для части точек эти условия не выполняются, что означает упругую разгрузку, принимаем для них $plast = 0$ и повторно решаем краевую задачу.

Если все указанные условия выполняются, вычисляем компоненты вектора состояния в конце рассматриваемого n -го этапа нагружения и переходим к расчету следующего этапа.

Выполнив решение задачи, находим значения векторов состояния $\{Z\}$ во всех узловых точках на заданном интервале изменения параметра t , получая полное описание кинетики неизотермического упругопластического деформирования конструкции.

Численная реализация предложенного метода расчета осуществлена в виде программного комплекса, предназначенного для применения в отраслевых САПР. С его помощью можно выполнять компьютерный мониторинг несущей способности и ресурса изделий, прогнозировать их долговечность в условиях нестационарного силового и температурного воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Термопрочность деталей машин. Под ред. И.А.Биргера и Б.Ф.Шорра. М., "Машиностроение". 1975. 455 с., ил.