# АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И РЕСУРСА ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ КРУЧЕНИИ И ТЕМПЕРАТУРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

*Я.А. Саитова*
Московский государственный университет инженерной экологии

В качестве объекта рассмотрения выбрана тонкостенная цилиндрическая оболочка. Рассматриваем случай кручения прямого бруса с кольцевым поперечным сечением. К торцам бруса приложены крутящие моменты **M**. В поперечных сечениях бруса возникает постоянный крутящий момент

$$M_к = \mathbf{M} .$$

(1)

Толщина стенки $h = R_{нар} - R_{вн}$ мала по сравнению с размерами поперечного сечения цилиндра. Вследствие малости $h$ можно полагать, что касательные напряжения $t$ постоянны по радиусу. Уравнение равновесия в этом случае можно проинтегрировать. В результате получим

$$t \cdot 2p R^2 h = \mathbf{M}, \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{R} = \dfrac{R_{нар} + R_{вн}}{2}$ – радиус срединной поверхности рассматриваемой цилиндрической оболочки.

Принимаем гипотезу плоских сечений, в соответствии с которой поперечные сечения, как в пределах упругости, так и за пределами упругости остаются плоскими, а радиусы прямолинейными.

В поперечных сечениях бруса возникают касательные напряжения $t = t\left(r\right)$. Парные им напряжения возникают в продольных сечениях бруса. В упругой стадии работы бруса напряжения $t$ распределяются вдоль радиуса по линейному закону, [1]. За пределами упругости линейный закон нарушается.

Уравнение равновесия отсеченной части бруса

$$t \cdot 2p R^2 h = \mathbf{M} \qquad (3)$$

При построении математической модели кинетики процесса упругопластического деформирования материалов на основе теории неизотермического течения вводим параметр $t\,au$, определяющий развитие процесса нагружения изделия (обобщенное время). Полагаем, что программа нагружения, определяемая функциями М = М($t\,au$), $T$ = $T$ ($t\,au$), задана. Определены также физико-механические характеристики конструкционного материала, которые меняются во времени в зависимости от параметров нагружения.

Программу нагружения разбиваем на ряд малых этапов, расчет которых выполняем последовательно. 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.

Вводим в рассмотрение вектор состояния

$$\left\{Z\right\} = \left[s_1 \;\; s_2 \;\; s_3 \;\; e_1 \;\; e_2 \;\; e_3 \;\; e_1^p \;\; e_2^p \;\; e_3^p \;\; e_p^* \;\; c_1 \;\; c_2 \;\; c_3\right],$$

который полностью характеризует напряженно-деформированное состояние исследуемой конструкции. Начальный вектор состояния $\left\{Z_0\right\}$ полагаем заданным.

Алгоритм расчета конструкции шаговым методом включает две основных процедуры.

Первая процедура связана с определением приращений напряжений на шаге нагружения.Приращения термомеханической нагрузки на шаге составляют $\Delta M$ и $\Delta T$ .

Первая группа уравнений, определяющая статическую сторону задачи, определяется уравнением (3). Геометрическую сторону задачи определяет уравнение $g = rq$ . (5)

Связь между напряжениями и деформациями в упругой стадии определяется законом Гука для сдвига:

$$t = Gg = Gqr . \qquad (6)$$

Уравнения (3), (5), (6) полностью решают задачу.

Решим задачу в главных напряжениях, т.е.:

$s_1 = t$

$s_2 = 0$

$s_3 = -t$

Далее последовательно вычисляем:

$e_1, e_2, e_3$, завершая тем самым решение задачи.

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

$A_i < H_e - d$ ,

где $d$ - заданная величина допустимой погрешности.

Если условие $A_i < H_e - d$ выполняется, точка остается упругой. Для точек, где выполняется условие $H_e - d < A_i < H_e + d$ ,полагаем *plast* = 1 и повторно решаем краевую задачу с учетом внесенных изменений.

Если в некоторых точках $A_i > H_e + d$ , это свидетельствует о несогласованности заданной величины этапа нагружения и величины допустимой погрешности. В этом случае необходимо изменить соответствующим образом их значения и повторно решить задачу.

**Литература**

1.Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. - М., Наука, 1970, 544 с, ил.

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