$$A_i = \sqrt{\frac{3}{2}}\sqrt{\alpha_s^2 + \alpha_t^2 + \alpha_z^2}\ , \qquad (3)$$

где s_j - компоненты девиатора напряжений, χ_j - остаточные микронапряжения

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

$$A_i < H_e - \delta\ , \qquad (4)$$

где δ – заданная величина допустимой погрешности, H_e - параметр, характеризующий ширину упругой области на обобщенной диаграмме деформирования, является функцией температуры *T* и накопленной пластической деформации ε_p^*.

Для Стали 3 можно принять

$$H_e\left(\varepsilon_p^*, T\right) = \sigma_{\text{T}}^0\left(T\right) + \frac{\varepsilon_p^*}{\dfrac{1}{E_{\text{k}}} - \dfrac{1}{E}} - E_\chi\left(T\right)\varepsilon_p^*$$

где

$$E\left(T\right) = 2\cdot 10^5 - 100\cdot T\text{, МПа;}\ E_{\text{k}}\left(T\right) = 4000 - 2T\text{, МПа;}$$

$$E_{\text{ч}}\left(T\right) = 3000 - 1{,}5\ T\text{, МПа;}\ \sigma_{\text{T}}^0\left(T\right) = 200 - 0{,}1143T\text{, МПа;}$$

Величину допустимой погрешности принять равной 1%.

Если условие (4) выполняется, точка остается упругой. Для точек, где выполняется условие

$$H_e - \delta < A_i < H_e + \delta\ , \qquad (5)$$

полагаем *plast* = 1 и повторно определяются приращения напряжений на шаге нагружения с учетом внесенных изменений.

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

В пластических узловых точках (*plast* = 1) проверяется выполнение условий развития пластического течения. Если для части точек эти условия не выполняется, что означает упругую разгрузку, принимается для них *plast* = 0 и повторно определяются приращения напряжений.

Если все указанные условия выполняются, вычисляются приращения накопленных повреждении и накопленных деформации в конце рассматриваемого ***n***-го этапа нагружения, после чего переходят к расчету следующего этапа.

Выполнив решение задачи, находятся значения параметров напряженно-деформированного состояния конструкции на заданном интервале изменения параметра τ, получая, таким образом, полное описание кинетики неизотермического упругопластического деформирования конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Математическая модель циклического упругопластического деформирования элементов конструкции, И.А. Дорофеева, Л.Д. Луганцев, Я.А. Саитова. Издана в: Фундаментальные исследования: Материалы Всероссийской элект.-науч. конф. РАЕ, февраль 2007г.

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

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

Саитова Я.А.

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 **М**. В поперечных сечениях бруса возникает постоянный крутящий момент

$$M_к = \mathbf{M}. \qquad (1)$$

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

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

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

Уравнение равновесия отсеченной части бруса

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

При построении математической модели кинетики процесса упругопластического деформирования материалов на основе теории неизотермического течения вводим параметр τau, определяющий развитие процесса нагружения изделия (обобщенное время). Полагаем, что программа нагружения, определяемая функциями М = М(τau), T = T (τau), 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

$$\{Z\} = \left[\sigma_1 \ \sigma_2 \ \sigma_3 \ \varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \varepsilon_3 \ \varepsilon_1^p \ \varepsilon_2^p \ \varepsilon_3^p \ \varepsilon_p^* \ \chi_1 \ \chi_2 \ \chi_3\right],$$

который полностью характеризует напряженно-деформированное состояние исследуемой конструкции. Начальный вектор состояния $\{Z_0\}$ 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 $\Delta \mathrm{M}$ и ΔT.

Первая группа уравнений, определяющая статическую сторону задачи, определяется уравнением (3). Геометрическую сторону задачи определяет уравнение $\gamma = r\theta$. (5)

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

$$\tau = G\gamma = G\theta r. \qquad (6)$$

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

Решим задачу в главных напряжениях, т.е.:

$$\sigma_1 = \tau$$

$$\sigma_2 = 0$$

$$\sigma_3 = -\tau$$

Далее последовательно вычисляем: $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, 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

$A_i < H_e - \delta$, где δ - заданная величина допустимой погрешности.

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

Если в некоторых точках $A_i > H_e + \delta$, 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

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.