

Инженерный анализ несущей способности и ресурса технологического трубопровода при нестационарном термомеханическом нагружении

И.А. Дорофеева

Московский государственный университет инженерной экологии

В химическом машиностроении широко используются тонкостенные цилиндрические конструкции. Это корпуса аппаратов, роторы центрифуг, сепараторов и конечно технологические трубопроводы. До сих пор актуальным остается вопрос об оценке долговечности таких конструкций при меняющихся термомеханических нагрузках. Расчет несущей способности при малоцикловых усталостных нагружениях для тонкостенной цилиндрической оболочки может быть основан на математической модели циклического деформирования элементов конструкции [1].

В качестве объекта рассмотрения берется технологический трубопровод, работающий под действием внутреннего давления - q , осевого усилия - P и температуры- T . Все параметры нагружения меняются по заданной программе нагружения. Физико-механические характеристики конструкционного материала так же меняются во времени в зависимости от параметров нагружения.

Для компьютерной реализации расчета конструкции необходимо программу нагружения разбить на ряд малых этапов, расчет которых выполняется последовательно. Ей в соответствие ставится параметр *plast* (признак пластичности), который принимает значение 0, если в рассматриваемой точке материал деформируется упруго, или 1, если имеет место пластическое течение.

Расчет рассматриваемой конструкции шаговым методом включает две основных процедуры.

Первая процедура связана с определением приращений напряжений на шаге нагружения. Полагая известными приращения ΔP , Δq и ΔT в начале очередного n -го этапа нагружения, вычисляются физико-механические характеристики конструкционного материала и приращения напряжений в этой точке процесса. Данная задача зависит от вида нагружения конструкции. Рассматриваемая программа нагружения приводит к двухосному напряженно-деформированному состоянию материала. Приращения напряжений рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta s_s &= \frac{\Delta P}{F} \\ \Delta s_t &= \frac{\Delta q r}{h} \end{aligned} \quad (1)$$

Затем необходимо определить величину активных напряжений и интенсивность активных напряжений:

$$a_j = s_j - c_j \quad (j = s, t, z), \quad (2)$$

$$A_i = \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{a_s^2 + a_t^2 + a_z^2}, \quad (3)$$

где s_j - компоненты девиатора напряжений, c_j - остаточные микронапряжения

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

$$A_i < H_e - d, \quad (4)$$

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

Для Сталей 3 можно принять

$$H_e(e_p^*, T) = s_T^0(T) + \frac{e_p^*}{\frac{1}{E_k} - \frac{1}{E}} - E_c(T) e_p^*$$

где $E(T) = 2 \cdot 10^5 - 100 \cdot T$, МПа; $E_k(T) = 4000 - 2T$, МПа;

$E_c(T) = 3000 - 1,5 T$, МПа; $s_T^0(T) = 200 - 0,1143T$, МПа;

А величину допустимой погрешности принять равной 1%.

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

$$H_e - d < A_i < H_e + d, \quad (5)$$

полагаем $plast = 1$ и повторно определяются приращения напряжений на шаге нагружения 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 определит приращения напряжений.

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

Если все указанные условия выполняются, вычисляются приращения накопленных повреждений 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 t , получая, таким образом, полное описание кинетики неизотермического упругопластического деформирования конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

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.

