

# ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ НЕІЗОТЕРМІЧНОЇ ПОВЗУЧОСТІ ТА АНІЗОТРОПНОЇ ПОШКОДЖУВАНОСТІ В РОЗРАХУНКАХ ДОВГОТРИВАЛОЇ МІЦНОСТІ ТУРБІННИХ КОМПОНЕНТІВ

Львов Г.І., Лисенко С.В., Перін Р.П.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», Харків

Для дослідження поведінки елементів конструкцій в умовах неоднорідного розподілу температур і складних навантажень протягом тривалого часу застосовується математична модель неізотермічної повзучості з урахуванням анізотропної пошкоджуваності матеріалу. Використовується модель пошкоджуваності Мураками-Оно, згідно якої вводиться в розгляд симетричний тензор пошкоджуваності другого рангу і тензор ефективних напружень.

Простий спосіб моделювати анізотропну пошкоджуваність – це припустити, що тільки максимальне головне напруження спричиняє пошкоджуваність. Тоді еволюційне рівняння для тензора пошкоджуваності може бути сформульовано таким чином:

$$\mathfrak{D} = B(T) \cdot \left[ \langle S_{\Omega}^{eq} \rangle \right]^m \cdot \left[ tr(\Phi \cdot \mathbf{n}_I \otimes \mathbf{n}_I) \right]^{m-l} \cdot \mathbf{n}_I \otimes \mathbf{n}_I, \quad (1)$$

де  $\mathbf{n}_I$  - головний напрямок, що відповідає першому головному напруженню. Визначальне рівняння повзучості з врахуванням анізотропної пошкоджуваності може бути представлено у вигляді:

$$\mathfrak{D}^r = A(T) \cdot (\mathfrak{S}_{nM}^0)^{n-1} \frac{3}{2} \mathfrak{S}^0, \quad \mathfrak{S}_{nM}^0 = \left[ \frac{3}{2} \mathfrak{S}^0 \cdot \mathfrak{S}^0 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

де  $\mathfrak{S}^0$  - девіатор тензора ефективних напружень. Вплив неоднорідного розподілу температур на повзучість та пошкоджуваність враховується введенням функцій температури:

$$A(T) = A \cdot \exp(-Q_a/R \cdot T), \quad B(T) = B \cdot \exp(-Q_b/R \cdot T), \quad (3)$$

де  $A, B, n, m$  - константи матеріалу, що визначаються з експериментальних кривих повзучості для широкого діапазону температур та напружень. Дана модель повзучості та пошкоджуваності імплементується в скінцево-елементний код пакетів ANSYS та ABAQUS.

Математична модель використовується для розрахунку довготривалої міцності корпусів газових турбін та клапанів парових турбін, де має місце неоднорідний розподіл температур та значний тиск. Досліджена неізотермічна повзучість в клапані шибєрного типу, що регулює витрати пару в трубопроводі при температурі 545°C і тиску 30 МПа.