

5. Piotr Michalak. The simple hourly method of EN ISO 13790 standard in Matlab/Simulink: A comparative study for the climatic conditions of Poland // *Energy №75*. 2014. Pp. 568-578.

6. EN 13790:2008. Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. — CEN. European Committee for Standardization, 2008. — 53 p.

7. Офіційний сайт EnergyPlus Energy Simulation Software. <https://energyplus.net>.

8. International Weather for Energy Calculations: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

УДК 539.4+620.1

**Грабовський А.П., канд. техн. наук, доцент
Бондарець О.А., мол. наук. співробітник**

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», bondarets.o@gmail.com

МІКРОМЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА СПОРУД

Надійне прогнозування ресурсу конструктивних вузлів об'єктів на стадії проектування, оцінка виробленого і прогноз залишкового ресурсу на стадії експлуатації неможливі без розробки адекватних математичних моделей руйнування конструкційних матеріалів на основі континуальної механіки пошкоджуваності для індивідуальних умов експлуатації конкретних об'єктів. На стадіях накопичення розсіяних пошкоджень в конструкційному матеріалі такі моделі розробляються в рамках механіки пошкодженого середовища, яка об'єднує еволюційні рівняння процесів деформування матеріалу і процесів накопичення пошкоджень і утримуючий інтегральні параметри стану, що відображають процеси перетворення структури матеріалу на мезорівні, до утворення магістральної тріщини в ньому.

Авторами [1-4] при проведенні досліджень встановлено, що основними домінуючими процесами вичерпання ресурсу матеріалу являються процеси накопичення пошкоджень, пов'язані з розпушенням матеріалу, що призводить до деградації його фізико-механічних властивостей для двох видів руйнувань, модулів пружності на відрив E та зріз G . Одним з параметрів деградації фізико-механічних властивостей під дією пружно-пластичного навантаження являється зміна модулів пружності E та G при напруженні конкретних об'єктів. Параметром деградації являється пошкоджуваність матеріалу при осьовому навантаженні D_σ та при зсуві D_τ , які характеризують процес руйнування матеріалів при дії нормальних напружень σ та дотичних τ , оцінюються відношенням:

$$D_\sigma = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{E}_i}{E_0}}; \quad D_\tau = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{G}_i}{G_0}} \quad (1)$$

де E_0, G_0 – першопочаткове значення модулів пружності;

\tilde{E}_i, \tilde{G}_i – поточні значення модулів пружності.

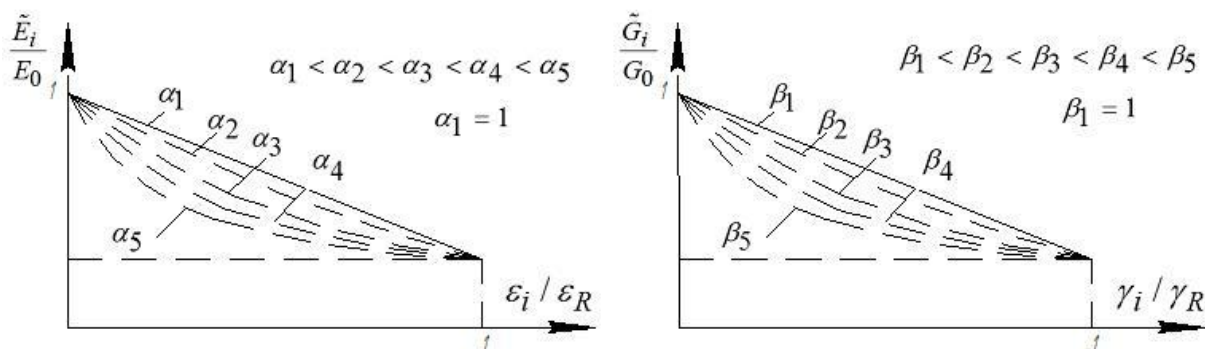


Рис. 1 – Кінетика накопичення пошкоджень в відносних величинах

$$\tilde{E}_i / E_0 = f(\epsilon_i / \epsilon_R); \quad \tilde{G}_i / G_0 = f(\gamma_i / \gamma_R);$$

Авторами розглядається зміна модулів пружності в залежності від величини пружно-пластичних деформацій до руйнування. На рис.1 представлені криві відносної зміни модулів пружності від зміни пружнопластичних відносних деформацій при осьовому навантаженні та при зсуві, де ε_i, γ_i – поточні величини лінійних та кутових деформацій, ε_R, γ_R – величини лінійних та кутових деформацій в момент руйнування.

Авторами отримані відношення для оцінки кінетики накопичення пошкоджень:

$$D_{\sigma} = 1 - \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_R} \right)^{\alpha}} ; D_{\tau} = 1 - \sqrt{1 - \varphi_{\tau} \left(\frac{\gamma_i}{\gamma_R} \right)^{\beta}} \quad (2)$$

де $\varphi_{\sigma} = \frac{E_0 - \tilde{E}_R}{E_0}$, $\varphi_{\tau} = \frac{G_0 - \tilde{G}_R}{G_0}$ – глибини зміни модулів пружності при осьовому навантаженні та зсуві.

В роботі отримані показники степенів відносних деформацій лінійних α та кутових β залежно від пластичних властивостей матеріалу. На рис. 2 представлені криві визначення показників степенів α та β залежно від пластичних властивостей матеріалів $\delta(\%)$.

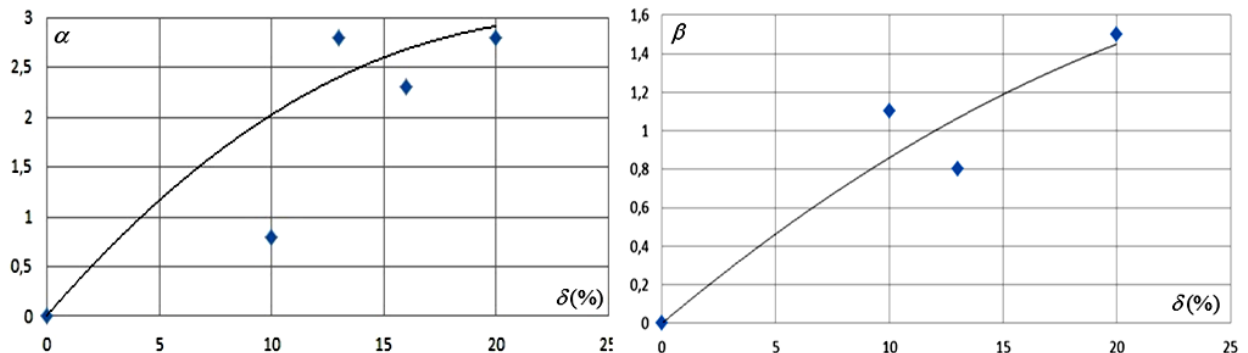


Рис. 2 – Криві залежностей показників степенів α та β залежно від пластичних властивостей матеріалів – $\delta(\%)$

Із аналізу рис. 2 отримані аналітичні залежності визначення коефіцієнтів α та β від величини пластичних деформацій:

$$\alpha = 15,7 \cdot 10^{-2} \delta - 6 \cdot 10^{-4} \delta^2 ; \quad \beta = 10^{-2} \delta - 14 \cdot 10^{-4} \delta^2 ; \quad (3)$$

Крім того, в роботі отримані залежності критичних значень пошкоджень $D_{\sigma R}$ та $D_{\tau R}$ від величини пластичних властивостей конструкційних матеріалів $\delta(\%)$.

$$D_{\sigma R} = 1,45\delta - 2,24\delta^2 + 3,74\delta^3 ; \quad D_{\tau R} = 0,65\delta - 0,93\delta^2 \quad (4)$$

Список посилань

1. Lemaitre J. A. Course on Damage Mechanics, second ed. / J. A. Lemaitre. – Springer – Berlin Heidelberg, 1996. – 228 p.
2. Леметр Ж. Континуальная модель повреждения [Текст] / Леметр Ж. // Теоретические основы, т. 108. – № 1. – 1985. – с. 90-98.
3. Голуб В.П. Нелинейная маханика континуальной поврежденности [Текст]/ В. П. Голуб. // Прикладная механика. – 2000. – №3. – с.31 – 66.
4. Бобырь Н.И. Обобщенная модель повреждаемости [Текст] / Н. И. Бобырь. // Проблемы прочности. – 2000. – №5. – с.112-121.