

АНАЛІЗ КІНЕТИКИ СТОХАСТИЧНОГО ПРОЦЕСУ НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ВТОМИ В ГУМОВИХ МАТЕРІАЛАХ З УРАХУВАННЯМ СТАРІННЯ

Ларін О. О.

Національний Технічний Університет
«Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна

Елементи конструкцій, що виготовлені з гумоподібних матеріалів є поширеними об'єктами в сучасному машинобудуванні. Відповідні конструктивні елементи під час своєї експлуатації, зазвичай, зазнають суттєвого зовнішнього динамічного впливу. Циклічна деформація з часом призводить до накопичення втоми в матеріалі. Таким чином, актуальним питанням в оцінці надійності для широко класу елементів конструкцій, що створені із гумоподібних матеріалів, є розробка моделей, що описують процеси накопичення втоми в цих елементах і у такий спосіб надають можливість прогнозувати їх ресурс та надійність.

Разом із тим треба відзначити, що під час прогнозу ресурсу елементів конструкцій з еластивимірних матеріалів необхідно враховувати, що їх характеристики пружності, міцності (особливо втомної) здатні суттєво змінюватись з часом в наслідок процесів старіння. При чому ці процеси протікають одночасно із експлуатацією конструкції, і формуються поряд із накопиченням втоми. Враховуючи що звичайні строки експлуатації є співставимими із часом старіння, і той факт, що деградаційні процеси поступово але безперервно змінюють опір втомі під час самої експлуатації, виникає проблема отримання кінетичного рівняння накопичення пошкоджуваності, що враховує старіння матеріалу в часі та методи його рішення.

Додатково слід наголосити, що експериментальні дані щодо характеристик втоми еластивимірних матеріалів, зазвичай мають досить суттєвий розкид, який, звичайно, зберігається під час старіння (навіть слід очікувати, що попередній рівень невизначеності буде збільшуватись). Отже, дослідження росту пошкоджуваності втоми необхідно проводити у ймовірнісній постановці з урахуванням стохастичної зміни характеристик опору втомі матеріалу.

В даній роботі пропонується застосувати критерій приведення складного НДС до еквівалентних напружень в рамках теорії континуальної механіки пошкоджуваності [1, 2]. Такий підхід дозволяє отримати математичну модель для опису процесу накопичення пошкоджуваності втоми, що надає критерій для оцінки накопичення втоми при складному НДС, а також надає можливість визначати накопичення втоми при змінних параметрах навантажень.

При цьому пропонується розширити підхід, що описаний у [1] на дослідження процесу накопичення пошкоджуваності втоми, як випадкового процесу

$$\frac{dD}{dt} = \frac{\omega_e}{N_0(t) \cdot (m+1) \cdot S_{eq}^m} \left(\frac{S_{eq}}{1-D} \right)^m, \quad (1)$$

де D – скалярний параметр пошкоджуваності, S_{eq} – еквівалентні напруження, що визначені відповідно до [2], m , S_{eq} та N_0 – параметри кривої Велера, які побудовані відносно амплітуд еквівалентних напружень, ω_e – частота циклів зміни НДС. Вплив процесів старіння на характеристики опору втомі матеріалів було досліджено в роботі [3], де показано, що відповідні зміни можуть бути описані функціонально зміною лише одного з показників кривої Велера – базового числа циклів до відмови зразку N_0 , який пропонується вважати стохастичним процесом гіперболічного типу:

$$N_0(t) = N_{00} (1 + \gamma \cdot t)^{-1}, \quad (2)$$

де N_{00} , γ – незалежні нормальні випадкові величини, які представляють собою початкове значення даної характеристики та параметр, що визначає швидкість її зміни. Із введенням позначень (2) отримаємо диференціальне рівняння із двома незалежними випадковими параметрами, розв'язком якого є процес накопичення пошкоджуваності втоми із врахуванням деградаційних процесів старіння.

Використання, підходу, що запропонований автором в роботі [4] дає можливість визначити одновимірну щільність ймовірності пошкоджуваності $f_D(D, t)$. Інтегрування цієї щільності ймовірності по області допустимих значень дає ймовірнісні характеристики пошкоджуваності, як функції часу, а також функції надійності (4), яка задається ймовірністю безвідмовної роботи $P(t)$ об'єкту, що досліджується

$$P(t) = \Pr[D \in (0,1)] = \int_0^1 f_D(D, t) dD \cdot \quad (3)$$

У якості практичного прикладу в роботі розглянуто оцінку надійності пневматичних шин легкових автомобілів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ayoub G. Multiaxial fatigue life prediction of rubber-like materials using the continuum damage mechanics approach / G. Ayoub, M. Naït-abdelaziz, F. Zaïri, J M. Gloaguen // *Procedia Engineering*. — 2010. — Vol. 2, No. 1. — P. 985–993.
2. Larin O.O. Probabilistic Model of Fatigue Damage Accumulation in Rubberlike Materials / O.O. Larin // *Strength of Materials*, 2015. – Vol. 47 (6). – Pp 849-858
3. Ларін О. О. Дослідження характеристик опору втомі гумових сумішей, що входять до складу елементів пневматичних шин після штучного старіння матеріалу / О.О. Ларін // *Вісник НТУ «ХПІ» Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях»*. – № 346 (1155), 2015. – С. 45-50
4. Vodka O.O. A probability approach to the estimation of the process of accumulation of the high-cycle fatigue damage considering the natural aging of a material / Larin O.O., Vodka O.O. // *Int. J. Damage Mech*. – 2015. – v.24(2). – P.294-310.