

УДК 539.3

СИМУЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ У ОПТИМІЗАЦІЇ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИСТИХ БІОМАТЕРІАЛІВ

Олександр Сад, Олена Мікуліч, Наталя Коменда

Луцький національний технічний університет

sadolexandr@gmail.com, shyprao@gmail.com, nvkomenda@gmail.com

Нинішня ситуація в Україні, що пов'язана з військовою агресією та бойовими діями на території України, які спричиняють поранення та каліцтво не тільки військових, а і цивільних жителів, вимагає розробки власних сучасних методів протезування. Всі ці заходи дозволять задовольнити потреби українців, що зазнали мінно-вибухових травм та забезпечать їх повернення до звичайних умов життя. Тому актуальною є проблема удосконалення наявних та розроблення нових матеріалів і технологій, що використовуються у протезуванні. Зокрема, це стосується створення та розроблення матеріалів, які матимуть наперед задані механічні характеристики. Такий підхід забезпечить не тільки хороші експлуатаційні характеристики протезів, а й швидко адаптацію людини до даного протеза.

Виходячи з вище сказаного, метою роботи є розроблення методу оцінювання оптимальності механічних характеристик спінених та пористих біоматеріалів, який би дозволив аналізувати зміну певних характеристик на механічну поведінку відповідних тіл. Дослідження проведені в рамках моментного континууму Коссера, що дозволяє враховувати структурну неоднорідність матеріалу через вплив обертально-зсувних деформацій частинок середовища [1, 2]. Використання апарату моментної теорії пружності для моделювання дало можливість більш точно врахувати структурну неоднорідність досліджуваних матеріалів. Такий підхід використовується також і іншими авторами [3], що підтверджує його раціональність.

Використана для моделювання модель Кобба-Дугласа [4] дозволяє врахувати нелінійну залежність модуля зсуву від густини та пористості матеріалу. Розроблений підхід дав змогу оцінити вплив густини матеріалу та пористості на зміну механічної поведінки матеріалів за різних типів навантаження.

Аналіз ефективності розробленого підходу здійснено на основі результатів експериментальних досліджень та числової симуляції для біоматеріалів, що використовуються для виготовлення біокісток [5, 6] та спінених полімерів [7], які мають широке застосування в протезуванні під час виготовлення амортизуючих елементів приймальної гільзи протеза людини.

Метод аналітико-числового моделювання, заснований на запропонованих у роботі підходах, зручний і практичний для спінених, пористих та інших типів структурно неоднорідних матеріалів. Перевагою такого підходу є можливість провести аналіз та визначити значення оптимальних величин механічних характеристик спінених та пористих біоматеріалів, які широко використовуються в протезуванні. Такий підхід також значно розширить область застосування спінених полімерів.

1. *Erofeev V.I.* Wave processes in solids with microstructure. – Singapore: World Scientific, 2003. – 276 p.
2. *Mikulich O.* Wave propagation speed analysis in polyurethane foams / In: Tonkonogyi V., Ivanov V., Trojanowska J., Oborskyi G., Pavlenko I. (eds.) // *Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering.* Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_44.
3. *Eremeyev V.A., Skrzat A., Stachowicz F.* Linear micropolar elasticity analysis of stresses in bones under static loads // *Strength of Materials.* – 2017. – **49**. – P. 575–585.
4. *Mahaboob B., Ajmath K., Venkateswarlu B., Narayana C., Praveen J.* On Cobb-Douglas production function model // *AIP Conference Proceedings.* – 2019. – **2177**. – 020040.
5. *Buechner P.M., Lakes R.S.* Size effects in the elasticity and viscoelasticity of bone // *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology.* – 2003. – **1**. – P. 295–301.
6. *Ramézani H., El-Hraiech A., Jeong J., Benhamou C.* Size effect method application for modeling of human cancellous bone using geometrically exact Cosserat elasticity // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering.* – 2012. – **240**. – P. 227–243.
7. *Chen S., Lei S., Zhu J., Zhang T.* The influence of microstructure on sound absorption of polyurethane foams through numerical simulation // *Macromolecular Theory and Simulation.* – 2021. – **30**, No. 5. – 2000075.

SIMULATION ANALYSIS IN OPTIMIZATION OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF POROUS BIOMATERIALS

The research is devoted to the solution of the actual problem of developing a method for optimizing the mechanical characteristics of porous and foam structurally heterogeneous materials. The approach can be used to create and manufacture materials with predetermined mechanical characteristics. The developed method for assessing the optimality of the mechanical characteristics of foam and porous biomaterials allows for analyzing the change of specific characteristics in the mechanical behaviour of the corresponding bodies. The research was carried out within the framework of the Cosserat elasticity, which allows accounting for the structural heterogeneity of the material due to the influence of rotational-shear deformations of the medium particles. The Cobb-Douglas model was used in the development of the method, which made it possible to take into account the nonlinear dependence between the mechanical characteristics of the material. The analysis of the effectiveness of the developed approach was carried out on the basis of the results of experimental studies and numerical simulation for biomaterials used for the manufacture of biobones and foamed polymers, which are widely used in prosthetics in the manufacture of amortizing elements. This approach also significantly expands the scope of the application of structurally heterogeneous materials.