

creativity.

It is proven that the development of project technologies can be an integrated element of an interdisciplinary curriculum through special disciplines, trainings, master classes or interdisciplinary projects.

Keywords: *creative potential, project technology, future teacher of musical art, higher art education, artistic and creative activity, creativity, professional training, project method. acting techniques.*

DOI: <https://doi.org/10.31392/NZ-udu-157.2024.08>

УДК 539.375:519.6

**Рудяк Ю. А., Багрій-Заяць О. А., Паласюк Б. М.,
Горкуненко А. Б., Майхрук З. В.**

ВИКОРИСТАННЯ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАГІСТРІВ СТОМАТОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ МІЦНОСТІ КІСТКОВОГО КОМПЛЕКСУ ЗА ДОПОМОГОЮ КРИТЕРІЮ ТЕНЗОРА ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ

Однією з основних макрофізичних характеристик діелектриків є діелектрична проникність. Стаття присвячена моделюванню міцності кісткового комплексу у стоматології за допомогою розробленого авторами фізико-механічного критерію тензора діелектричної проникності. Оскільки даний критерій граничного стану базується у своїй основі на теоретичних підходах Максвелла-Неймана, які записані для діелектриків, таке моделювання можна застосовувати і у ширших класах задач механіки, які будуть мати практичне значення для стоматології. Це і міцність нарощених тканин, це і міцність зубів, як природних, так і штучних, як монолітних, так і при наявності геометричних або технологічних концентратів напружень. навантаженнями при жуванні та впливом різних за хімічним вмістом середовищ. Тому моделювання міцності граничних станів при розв'язанні таких задач, особливо якщо критерій враховує не лише механічні, але і фізичні чинники, може надати результати, які будуть ефективно використані у процесі підготовки магістрів стоматології на засадах STEM-підходу, а також у практичній стоматології.

Ключові слова: *магістри стоматології, компетентнісний підхід, біомеханіка, вибіркові дисципліни, інтеграція знань, STEM-підхід, механічні властивості, моделювання у стоматології.*

Сучасні технології у стоматології дозволяють вирішувати широке коло клінічних завдань та мають чималий дидактичний потенціал для покращення якості підготовки магістрів стоматології у медичних ЗВО. Важливим є те, що окрім функціональної реалізації, пацієнти отримують естетично довершену систему стоматологічних послуг. Традиційно в стоматології одним з першочергових завдань є забезпечення міцнісної надійності створеної конструкції. Адже вся сутнісна природа функціонування зубо-щелепної системи людського організму безпосередньо пов'язана із постійними механічними навантаженнями при жуванні з урахуванням впливу різних за хімічним вмістом середовищ. Тому моделювання міцності граничних станів при

розв'язанні таких задач, особливо якщо критерій враховує не лише механічні, але і фізичні та біохімічні чинники, може надати результати, які мають інтегративний характер і можуть бути ефективно використані у процесі підготовки магістрів стоматології на засадах STEM-підходу та мають непересічне значення для практичної стоматології.

Існуючі методи механіки деформованого твердого тіла, як експериментальні, так і аналітико-чисельні дозволяють розв'язувати широке коло задач [1, 2, 3, 4]. У роботі [1] автори застосували експериментальний метод акустичної емісії для дослідження міцності полімерних композитів, які застосовуються для пломбування зубів. У роботах [2, 4] застосовані оптичні методи експериментальної механіки дослідження міцності багатошарових структур, як без концентраторів, так і при можливій наявності геометричних концентраторів типу поверхневих мікротріщин. Але, мабуть, однією з основних проблем при дослідженні напружено-деформованого та граничного станів кісткового комплексу у стоматології є певний розрив між чисто механічними підходами спеціалістів в області міцності та глибоким розумінням стоматологічних задач. Адже, класичний дослідник міцності отримав фізико-математичну, або відповідну інженерну освіту, але не має навіть базової стоматологічної підготовки. Тому, на нашу думку, доцільно у базову підготовку студентів стоматологів вводити елементи механіки деформованого твердого тіла, можливо, як певну частину вибіркової дисципліни створеної на базі біомеханіки. Можливо, саме цей існуючий розрив не дозволяє створити повністю комплексне бачення стоматологічних проблем міцності і надійності. На такий абсолютно всеохоплюючий підхід не претендує і наша робота, адже проблеми міцності у стоматології – це досить складний ряд задач, які важко і, мабуть, неможливо вирішити одним дослідженням.

Мета роботи – створити можливість оцінювати граничний стан міцності кісткового комплексу шляхом моделювання за допомогою фізико-механічного критерію граничного стану діелектриків (критерію тензора діелектричної проникності) та адаптувати отримані результати для використання у процесі підготовки магістрів стоматології на засадах STEM-підходу.

Для досягнення поставленої мети необхідним є створення і застосування критерію граничного стану, який би поєднував як суто механічні, так і фізичні чинники.

Нижче будуть наведені фізико-механічні підходи реалізації вказаної мети дослідження. Відомо, що кісткова тканина є діелектриком, тому для аналізу її напружено-деформованого стану можна застосувати базові рівняння Масквелла і Неймана [5, 6, 7, 8]. Однією з основних макрофізичних характеристик діелектриків є діелектрична проникність. Оскільки це одна з базових величин, яка інтегрально характеризує фізико-механічний комплекс параметрів діелектрика, логічно зв'язати граничний стан полімера з граничними значеннями компонент тензора діелектричної проникності (ТДП). Такий підхід, на нашу думку, дозволить більш глибоко, в комплексі, оцінювати граничний стан полімерів, ніж існуючі класичні механічні критерії міцності. Крім

того, критерій ТДП дозволить більш точно реагувати на, навіть незначні, зміни структури самого полімера, його температури, вологості оточуючого середовища. Оскільки «фізична складова» у питаннях механічної міцності полімерів набагато вагоміша, ніж у випадку виробів з інших матеріалів, наприклад металів.

Зв'язок компонент ТДП та параметрів напруженого стану описують відомі рівняння Максвелла:

$$\begin{cases} \chi_1 = \chi_0 + C_1\sigma_1 + C_2(\sigma_2 + \sigma_3) \\ \chi_2 = \chi_0 + C_1\sigma_2 + C_2(\sigma_1 + \sigma_3), \\ \chi_3 = \chi_0 + C_1\sigma_3 + C_2(\sigma_1 + \sigma_2) \end{cases} \quad (1)$$

де χ_i ($i=1,2,3$) - головні компоненти ТДП;

σ_i ($i= 1,2,3$) – головні компоненти напружень;

C_1, C_2 – абсолютні оптико-механічні сталі діелектрика за напруженнями.

Зв'язок компонент ТДП та параметрів деформованого стану описують рівняння Неймана:

$$\begin{cases} \chi_1 = \chi_0 + \psi_1\varepsilon_1 + \psi_2(\varepsilon_2 + \varepsilon_3) \\ \chi_2 = \chi_0 + \psi_1\varepsilon_2 + \psi_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_3), \\ \chi_3 = \chi_0 + \psi_1\varepsilon_3 + \psi_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \end{cases} \quad (2)$$

де χ_i ($i=1,2,3$) - головні компоненти ТДП;

ε_i ($i= 1,2,3$) – головні компоненти деформацій;

ψ_1, ψ_2 – абсолютні оптико-механічні сталі діелектрика за деформаціями.

Перепишемо систему (1) у вигляді (3):

$$\begin{cases} \chi_1 - \chi_0 = C_1\sigma_1 + C_2(\sigma_2 + \sigma_3) \\ \chi_2 - \chi_0 = C_1\sigma_2 + C_2(\sigma_1 + \sigma_3), \\ \chi_3 - \chi_0 = C_1\sigma_3 + C_2(\sigma_1 + \sigma_2) \end{cases} \quad (3)$$

Розділимо праві і ліві частини рівнянь системи (3) на C_2 .

Одержимо систему:

$$\begin{cases} \frac{\chi_1 - \chi_0}{C_2} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_1 + (\sigma_2 + \sigma_3) \\ \frac{\chi_2 - \chi_0}{C_2} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_2 + (\sigma_1 + \sigma_3), \\ \frac{\chi_3 - \chi_0}{C_2} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_3 + (\sigma_1 + \sigma_2) \end{cases} \quad (4)$$

Введемо позначення:

$$\begin{cases} \chi_1 - \chi_0 = \Delta\chi_1 \\ \chi_2 - \chi_0 = \Delta\chi_2 \\ \chi_3 - \chi_0 = \Delta\chi_3 \end{cases} \quad (5)$$

Тоді система (4) прийме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\Delta\chi_1}{C_2} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_1 + (\sigma_2 + \sigma_3) \\ \frac{\Delta\chi_2}{C_2} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_2 + (\sigma_1 + \sigma_3), \\ \frac{\Delta\chi_3}{C_2} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_3 + (\sigma_1 + \sigma_2) \end{cases} \quad (6)$$

Введемо позначення:

$$\begin{cases} \frac{\Delta\chi_1}{C_2} = \sigma_{*1} \\ \frac{\Delta\chi_2}{C_2} = \sigma_{*2}, \\ \frac{\Delta\chi_3}{C_2} = \sigma_{*3} \end{cases} \quad (7)$$

З врахуванням (7) перепишемо систему (6) у вигляді:

$$\begin{cases} \sigma_{*1} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\ \sigma_{*2} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_2 + \sigma_1 + \sigma_3, \\ \sigma_{*3} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_3 + \sigma_1 + \sigma_2 \end{cases} \quad (8)$$

Виходячи з системи (8) сформулюємо фізико-механічний критерій (критерій ТДП) для діелектриків наступним чином: граничний стан діелектрика визначається граничною величиною відносної (на одиницю оптичної чутливості) зміною компонент тензора діелектричної проникності. Підкреслено, що вирази $\frac{\Delta\chi_i}{C_2} (i=1,2,3)$ – напруження, а праві частини рівнянь системи (8) – це

вирази для еквівалентних напружень за критерієм ТДП:

$$\begin{cases} \sigma_{екв1} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\ \sigma_{екв2} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_2 + \sigma_1 + \sigma_3, \\ \sigma_{екв3} = \frac{C_1}{C_2}\sigma_3 + \sigma_1 + \sigma_2 \end{cases} \quad (9)$$

Тоді систему (8) запишемо у наступному вигляді:

$$\begin{cases} \sigma_{*1} = \sigma_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}1} \\ \sigma_{*2} = \sigma_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}2}, \\ \sigma_{*3} = \sigma_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}3} \end{cases} \quad (10)$$

Згідно фізико-механічного критерію ТДП руйнування полімеру буде мати місце при виконанні умови:

$$\sigma_{*i \max} = \sigma_*^0, (i=1,2,3) \quad (11)$$

де σ_*^0 – граничне значення відносної компоненти ТДП при даних фізичних умовах (температурі, вологості навколишнього середовища, радіаційному фоні) та певних механічних факторах (вид напруженого стану, співвідношення компонент напруженого стану, масштабний фактор).

Нехай $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Тоді, згідно з критерієм ТДП, умова руйнування діелектрика буде:

$$\sigma_{екв1} = \sigma_{*P}^0, \quad (12)$$

де σ_{*P}^0 – границя міцності на розтяг.

Висновки. Таким чином, запропоновано оцінювати граничний стан кісткового комплексу у стоматології шляхом моделювання із застосуванням запропонованого авторами фізико-механічного критерію тензора діелектричної проникності. Базові елементи такого підходу можуть бути корисним засобом інтеграції знань у процесі підготовки магістрів стоматології. Перспективним є включення їх у зміст вибіркових дисциплін, що поєднують природничі науки, технології, інженерні рішення, математику. Наприклад, «Біомеханіка у стоматології», «Біомеханіка зубо-щелепного апарату», «Інформаційні технології у стоматології», «Комп'ютерне моделювання» тощо.

Використана література:

1. Makeev V., Kukhta V., Kurmanov O., Klinchkovska N., Skalsky V., Stankevich O. Оцінювання параметрів міцності полімерних композитів, що застосовуються для пломбування зубів методом акустичної емісії. *Актуальні проблеми сучасної медицини* : вісник Української медичної стоматологічної академії.
2. Rudyak Y., Pidgurskyi M., Matvieieva I., Groza V., Sichko V., Merzliuk V. Pidgurskyi I. Photoelastic research of three-dimensional problems of fracture mechanics. *Scientific Journal of TNTU*. 2021. Vol. 101. № 1. P. 5–14.
3. Grevtsev, O., Selivanova, N., Brych, V., Rozum, R., Rudyak, Y. Mathematical Modeling of the Stress-strain State in Variable Thickness Axial Bodies. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies. ACIT 2022. 2022. P. 211–214.
4. Рудяк Ю. А., Підгурський М. І. Оптичні дослідження міцності багатошарових структур із прозорих діелектриків. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. Львів, ФМІ, 2015. № 2. С. 68-71. SCOPUS.
5. Рудяк Ю. Критеріальне оцінювання ресурсу полімерних елементів машин. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2012. № 4 (68). С. 88-91.
6. Рудяк Ю. А. Граничний стан елементів машин та конструкцій з діелектриків, коли руйнування проходить в умовах плоскої деформації. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Луганськ, 2013. № 4 (193). С. 224-226.
7. Рудяк Ю. А. Граничний стан елементів машин та конструкцій з діелектриків, коли руйнування проходить в умовах плоского напруженого стану. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Луганськ, 2012. № 14 (185). Частина 2. С. 112-115.
8. Рудяк Ю. А. Фізико-механічний критерій граничного стану діелектриків. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2013. № 1. С. 275-277.

References:

1. Makeev V., Kukhta V., Kyrmanov O., Klinchkovska N., Skalsky V., Stankevich O. Otsiniuvannia parametriv mitsnosti polimernykh kompozytiv, shcho zastosovuiutsia dlia plombuvannia zubiv metodom akustychnoi emisii []. *Aktualni problemy suchasnoi medytsyny: visnyk Ukrainскоi medychnoi stomatolohichnoi akademii* [in Ukrainian].
2. Rudyak Y., Pidgurskyi M., Matvieieva I., Groza V., Sichko V., Merzliuk V. Pidgurskyi I. (2021). Photoelastic research of three-dimensional problems of fracture mechanics. *Scientific Journal of TNTU*. Vol. 101. № 1. P. 5–14 [in English].
3. Grevtsev O., Selivanova N., Brych V., Rozum R., Rudyak Y. (2022). Mathematical Modeling of the Stress-strain State in Variable Thickness Axial Bodies. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies. ACIT 2022. P. 211–214 [in English].
4. Rudiak Yu. A., Pidhurskyi M. I. (2015). Optychni doslidzhennia mitsnosti bahatosharovykh struktur iz prozorykh dielektrykiv. *Fizyko-khimiichna mekhanika materialiv*. Lviv, FMI. № 2. S. 68-71. SCOPUS [in Ukrainian].
5. Rudiak Yu. (2012). Kryterialne otsiniuvannia resursu polimernykh elementiv mashyn. *Visnyk Ternopilskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. № 4 (68). S. 88-91 [in Ukrainian].
6. Rudiak Yu. A. (2013). Hranychnyi stan elementiv mashyn ta konstruktzii z dielektrykiv, koly ruinovannia prokhodyt v umovakh ploskoi deformatsii. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*. Luhansk. № 4 (193). S. 224-226 [in Ukrainian].
7. Rudiak Yu. A. (2012). Hranychnyi stan elementiv mashyn ta konstruktzii z dielektrykiv, koly ruinovannia prokhodyt v umovakh ploskoho napruzhenoho stanu. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*. Luhansk. № 14 (185). Chastyna 2. S. 112-115 [in Ukrainian].
8. Rudiak Yu. A. (2013). Fizyko-mekhanichni kryterii hranychnoho stanu dielektrykiv. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. № 1. S. 275-277 [in Ukrainian].

Y. RUDYAK, O. BAHRIY-ZAYATS, B. PALASYUK, A. HORKUNENKO, Z. MAYKHRUK. Modeling bone complex strength in dentistry using a dielectric permittivity tensor criterion

One of the fundamental macrophysical characteristics of dielectrics is their dielectric permittivity. The article is devoted to modeling the strength of the bone complex in dentistry using a physico-mechanical criterion based on the dielectric permittivity tensor developed by the authors. Since this limit-state criterion is fundamentally based on the Maxwell–Neumann theoretical approaches formulated for dielectrics, such modeling can also be applied to broader classes of mechanical problems that hold practical significance for dentistry. This includes the strength of augmented tissues and the structural integrity of both natural and artificial teeth, whether monolithic or containing geometric or technological stress concentrators. Therefore, modeling the strength of limit states when solving such problems, especially if the criterion takes into account not only mechanical but also physical factors, can provide results that will be effectively used in the process of training masters of dentistry on the basis of STEM-approach, as well as in practical dentistry.

Keywords: *master of Dentistry, competency-based approach, biomechanics, knowledge integration, elective disciplines, STEM-approach, mechanical properties, modeling in dentistry.*