

## ФРАКТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

Драч І. В.

Хмельницький національний університет, e-mail: cogitare410@gmail.com

Термін «фрактали» - це елемент математичної концепції про те, як абсолютно різні об'єкти можна описати за допомогою однакових математичних співвідношень. Наприклад [1], берегова лінія континенту, яка розглядається з космосу, матиме добре помітні чіткі атрибути, такі як затоки, півострови та відносно прямі ділянки. Вигляд цієї ж самої берегової лінії з висоти авіалайнера містить набагато більше деталей, але в цілому буде видно ті ж атрибути: затоки, півострови, прямі ділянки. Політ на дельтаплані все одно збереже загальні функції зображення, навіть якщо масштаб цих атрибутів набагато менший, ніж у двох попередніх прикладах. Якщо представити берегову лінію за допомогою техніки підгонки математичної кривої, такої як сплайн-функції, то можна застосувати точно той самий метод для всіх трьох випадків. Цей приклад демонструє концепцію фракталів.

Розглянемо базову термінологію, яка допоможе зрозуміти унікальні властивості фракталів.

**Самоподібність.** Усі фрактали демонструють певну ступінь самоподібності. Це означає, що, оглядаючи ближче і ближче деталі фрактала, можна побачити копію цілого. Такі самоподібні моделі є результатом простого рівняння або математичного виразу. Можна створювати фрактали, повторюючи це рівняння через цикл зворотного зв'язку в процесі, що називається ітерацією, де результати однієї ітерації утворюють вхідне значення для наступної [2]. Ці моделі часто мають фрактальні розміри, які не є цілими числами. Це відображає їхню природу: об'єкт, що заповнює простір і самовідтворюється.

**Рекурсивність.** Фрактали рекурсивні, незалежно від масштабу.

**Фрактальні виміри.** Фрактальна геометрія перетворює концепцію звичної геометрії на викривлену, створюючи неправильні форми у фрактальному вимірі; фрактальна розмірність форми - це спосіб вимірювання складності цієї форми [2].

Таким чином, чистий фрактал – це геометрична фігура, яка є самоподібною через нескінченні ітерації в рекурсивному шаблоні та через нескінченну кількість деталей.

У цій статті обговоримо спектр застосувань фрактального моделювання у галузі матеріалознавства та зміст використання цього уніфікованого інструментарію в зазначеній сфері.

Деякі з ключових застосувань фракталів у галузі матеріалознавства такі:

– фрактальний аналіз поверхонь матеріалів - використовується для характеристики шорсткості поверхонь, у тому числі поверхонь матеріалів, шляхом вимірювання фрактальних розмірів їх профілів. Це може бути корисним для визначення площі поверхні, пористості та інших властивостей матеріалів, які впливають на їх ефективність [3];

– моделювання структур матеріалів. Фрактальні моделі використовуються для моделювання структури та поведінки матеріалів у різних масштабах, що особливо корисно при вивченні матеріалів зі складною структурою, таких як полімери та кераміка [3]. Ці моделі також можна використовувати для розробки матеріалів зі специфічними властивостями, такими як висока міцність або теплопровідність;

– фрактальний аналіз руйнування матеріалів - для вивчення руйнування матеріалів, включаючи корозію та зношування, шляхом вимірювання змін їхніх фрактальних розмірів з часом [4]. Це може допомогти інженерам розробити кращі матеріали з довшим терміном роботи;

– фрактальні датчики. Фрактальні шаблони використовуються в розробці датчиків, які виявляють зміни фізичних властивостей, таких як тиск, температура та деформація [5]. Ці датчики можна інтегрувати в матеріали, щоб забезпечити моніторинг їх роботи в реальному часі;

– фрактальні наноструктури. Розроблені фрактальні наноструктури з унікальними властивостями, які можна налаштувати для конкретних застосувань, таких як зберігання енергії і сенсорні пристрої [5];

– метаматеріали. У розробці метаматеріалів, які виявляють унікальні оптичні, акустичні та електромагнітні властивості, яких немає в природі, використовуються конструкції на основі фракталів [5]. Ці матеріали мають потенційне застосування в маскуванні, суперлінзах і антенах;

– біоміметичні матеріали. Фрактали можна знайти в багатьох біологічних структурах, таких як кістки та судинні системи рослин. Дослідники використовують ці природні фрактальні конструкції для розробки біоміметичних матеріалів, які імітують властивості та функції біологічних систем [5];

– оптимізація на основі фракталів – методи для проектування та оптимізації матеріалів з певними властивостями, такими як висока міцність, ударна в'язкість або теплопровідність [5]. Ці методи використовують фрактальний аналіз для визначення оптимальної структури та складу матеріалу.

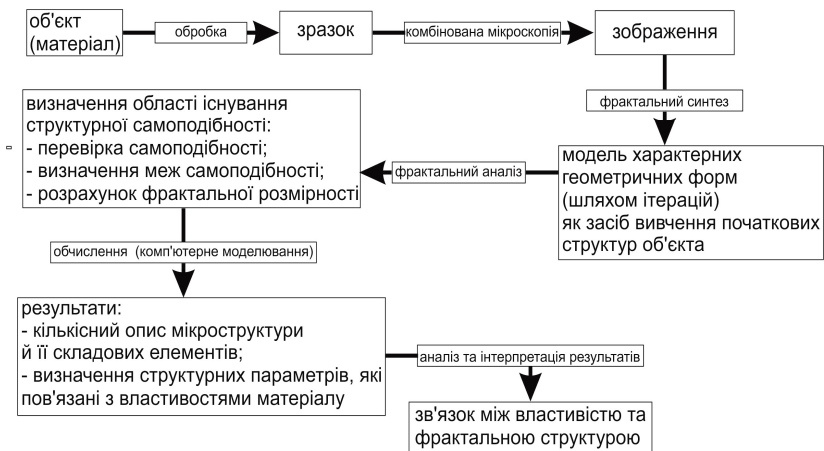
Загалом, фрактали є потужним інструментом для розуміння та проектування матеріалів зі складною структурою та властивостями.

Фрактальна розмірність дозволяє кількісно описувати мікроструктури і складові їх елементи, встановлювати дійсну площу зіткнення фаз, дійсні довжини «шорстких» ліній і поверхонь і визначати інші структурні параметри, пов'язані із властивостями матеріалів.

Для визначення фрактальної розмірності необхідним є використання оптичної мікроскопії у широкому інтервалі зміни збільшення і роздільної здатності. Це досягається при комбінуванні світлової, скануючої електронної і трансмісійної електронної мікроскопії (в окремих випадках використовують іонну тунельну електронну мікроскопію).

Самоподібність мікроструктур встановлюють на основі аналізу певних геометричних картин та їх вимірів при різних масштабах збільшення. Для того щоб встановити фрактальність структури, необхідно [6]: 1) перевірити самоподібність; 2) визначити межі самоподібності; 3) розрахувати фрактальну розмірність.

На основі аналізу літературних джерел розроблено інформаційну модель фрактального моделювання структури в реальних матеріалах (рис. 1).



**Рис. 1. Інформаційна модель дослідження структурних характеристик матеріалу на основі фрактального аналізу**

Слід зазначити, що визначення зв'язку між властивістю і фрактальною структурою є складною задачею, оскільки існуючі моделі, що встановлюють ці зв'язки для періодичних структур, не застосовні до фрактальних. Розв'язання вказаної задачі потребує розробки фрактального аналізу мікроструктур, визначення області існу-

вання структурної самоподібності, а також розробки фрактального синтезу, що включає моделювання характерних геометричних форм (шляхом ітерацій) як способу для вивчення початкових структур в реальних матеріалах.

### Література

1. Battat, B., Rose, D. Application of Fractals to Materials Science. *Advanced Materials And Processes Technology* 2001, № 12, pp. 33162–33166.
2. Mecholsky, J.J., Freiman, S.W., The Relationship Between Fractal Geometry and Fractography. *J. Am. Ceram. Soc.* 1989, 72.
3. Wang, L.; Tang, S. Investigation and Application of Fractals in Civil Engineering Materials. *Fractal Fract.* 2023, 7, 369. <https://doi.org/10.3390/fractalfract7050369>
4. Zhao, X.; Yang, B.; Niu, Y.; Yang, C. Seepage-Fractal Characteristics of Fractured Media Rock Materials Due to High-Velocity Non-Darcy Flow. *Fractal Fract.* 2022, 6, 685. [Google Scholar] [CrossRef]
5. Babič, M., Fragassa, C., Lesiuk, G., Marinković D. A New Method for Complexity Determination by Using Fractals and its Applications in Material Surface Characteristics. *IJQR* 2020, 14 (3): 705–716. DOI:10.24874/IJQR14.03-04
6. Hornbogen, E. Intern. Mater. Rev. 1989. Vol. 34, № 6, pp. 277–296.

## МОДЕЛЬ ГІДРОДИНАМІЧНОГО РОЗВОЛОКНЕННЯ ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ

Скиба М. Є.<sup>1</sup>, Кравчук А. Ю.<sup>2</sup>, Магдін В. В.<sup>3</sup>  
<sup>1-3</sup>Хмельницький національний університет  
E-mail:<sup>2</sup> iiiiokiiiiilokiiii@gmail, <sup>3</sup> synoleg@ukr.net

Розглянуті в [1] механічні методи ослаблення волокнистої структури при розволокненні шкіряних матеріалів виявляються мало-ефективними, коли розволокненню піддаються відходи шкіри площею, меншою за (1...3) см<sup>2</sup>. І тут на перший план виступають гідродинамічні методи розволокнення відходів шкіряних матеріалів [1–3], які широко використовуються у виробництві взуттєвого картону. При розмелюванні у водяному середовищі відбувається розщеплення надфібрилярної структури шкіри, так звана фібрилізація волокон [3, 4]. Відповідно до існуючих фізико-хімічних уявлень, у цьому випадку виникає двофазна суспензія [4]. При цьому частина макромолекул