

4. Голуб Г. А. Критерії оптимізації параметрів машин та обладнання / Г. А. Голуб // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. – Львів, ЛНАУ, 2008. – № 12 (2). – С. 17–24.
5. Ермолов Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники // Л. С. Ермолов, В. М. Кряжков, В. Е. Черкун. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Колос, 1982. – 271 с.
6. Селиванов А. И. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники // А. И. Селиванов, Ю. Н. Артемьев. – М.: Колос, 1978. – 248 с.
7. Косилов Н. И. Интенсификация сепарирования зернового вороха: автореферат дис. ... д.т.н.: 05.20.01. – Челябинск, 1989. – 43 с.
8. Кузьмич А. Я. Обґрунтування параметрів та режимів роботи сепаруючих поверхонь повітряно-решітних очисток комбайнів. – Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. – Глеваха, 2013. – 218 с. – С. 130–132.

Обосновано выбор критерия оптимизации для определения параметров средств механизации и оборудования в технологических процессах сельскохозяйственного производства.

Оптимизация, параметры машин и оборудования, критерии.

The choice of criterion for optimization is grounded for determination of parameters of facilities of mechanization and equipment in the technological processes of agricultural production.

Optimization, parameters of machines and equipment, criteria's.

УДК 620.1

ІННОВАЦІЙНІ МОДЕЛІ МЕХАНІКИ ПЕРКОЛЯЦІЙНО-ФРАКТАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ

***І. Г. Грабар, доктор технічних наук
Житомирський національний агроекологічний університет
О. І. Грабар, кандидат технічних наук
Житомирський державний технологічний університет***

Показано, що результати, отримані з позицій механіки суцільного середовища, не задовольняють для цілого ряду задач сучасної механіки матеріалів. Для підвищення достовірності результатів пропонується застосовувати моделі механіки перколяційно-фрактальних середовищ. Наведено ряд розв'язків актуальних задач на основі МПФС.

Механіка перколяційно-фрактальних середовищ, поріг перколяції, кінцевомірні моделі, фрактальна розмірність.

© І. Г. Грабар, О. І. Грабар, 2015

Постановка проблеми. Механіка перколяційно-фрактальних середовищ (МПФС), на відміну від механіки суцільного середовища (МСС), високо інноваційна галузь науки, народження котрої відбувається на початку 21 століття.

Інноваційний характер розвитку суспільства ставить перед світовою науковою спільнотою небачені темпи залучення у виробництво наукових інновацій. Підвищення режимів технологічних параметрів, зростання зусиль, температур та їх градієнтів, невпинне зростання вимог до функціонального призначення та показників якості продукції вимагають постійного зростання вимог до матеріалознавства, серед найактуальніших задач якого є: композити, кераміки, наноматеріали, матеріалів з наперед заданими властивостями. І для вирішення більшості цих задач необхідно залучення моделей МПФС, так як моделі МСС є надто грубі.

Початок 21 століття знаменується важливими науковими досягненнями на перетині сучасного матеріалознавства, нелінійної динаміки, фізики критичних явищ та синергетики, у вивченні багатофазних перколяційно-фрактальних систем [1-10], що дає потужний імпульс для технологій завтрашнього дня, а саме: виготовлення і застосування матеріалів з наперед заданими властивостями; нових класів надчутливих матеріалів для датчиків і сенсорів; нових класів матеріалів заданої структури; електропровідних перколяційно-фрактальних матеріалів з будь-яким законом зміни електричних властивостей у просторі і часі (під необхідну конфігурацію поля); нових класів перколяційно-фрактальних систем для фазового розділення, фільтрування та очищення газів, рідин на мікро дисперсних сумішей тощо; моделювання та виробництва нових біосумісних пористих покриттів поверхні ґрунту для регулювання газообміну та накопичення вологи тощо.

Аналіз останніх досліджень. Створення перколяційно-фрактальних систем – ключовий напрямок сучасного матеріалознавства, бо саме вони мають надзвичайно унікальні властивості для використання в якості адсорбентів (практично необмежена площа поверхні), фільтрів (розвинена структура каналів), сенсорів і датчиків (перколяційно-фрактальні суміші „провідник–діелектрик” з необмеженими можливостями чутливості), біосумісних пористих керамік, регулювання вологи в біодинамічній системі «рослина – ґрунт» [1-10].

До недавнього часу більшість таких задач розглядалися в евклідовій постановці R^n ($n = 1, 2, 3$) з позицій суцільних середовищ, хоча в останні роки все більше необхідність вводити ріманові простори, оскільки в новітніх композитах межі між окремими компонентами нечіткі, бо в результаті хімічної, механічної, дифузної взаємодії набувають складної форми і часто не мають кінцевої міри – довжи-

ни, площі, об'єму. В цьому випадку варто говорити про фрактальну природу такої межі. Наприклад, якщо взяти на карті берегову лінію, де берег дуже порізаний (фьорди в Норвегії чи русло р. Прип'ять перед злиттям з Дніпром), і будемо виміряти довжину цієї берегової лінії відрізками довжини d . Змінюючи d , ми прийдемо до парадоксального (для евклідової постановки!) результату – сумарна довжина такої лінії буде залежати від „кроку” d по степеневому закону

$$L(d) = A \times d^{1-D},$$

де: A – деяка константа розмірності, D – константа (для наведених прикладів $1 < D < 2$), яка називається фрактальною розмірністю, або розмірністю Хаусдорфа–Безиковича. Звідки витікає, що фрактальна розмірність може бути знайдена із формули:

$$D = -\ln(N(d))/\ln d.$$

Наприклад, для множини Кантора, що будується відкиданням середнього відрізка із кожного, отриманого діленням на три попереднього, починаючи з відрізка $[0; 1]$, $D = -\ln 2 / \ln 3 = 0,6390$.

Значний вклад в теорію фракталів внесли Мандельброт, Федер, Шустер, Контор, Хакен, Фейгенбаум та інші. І хоча навіть строго визначення фрактала поки не існує, фрактальні підходи дають дуже гарні результати в багатьох напрямках розвитку науки, мистецтва, і навіть в теорії інформації.

Перколяція – це широке поле для розробки нових алгоритмів, це простий, але могутній інструмент, що дозволяє в єдиному підході вирішувати найрізноманітніші життєві задачі. Теорія перколяції дає нам ключ до розуміння різноманітних фізичних процесів [5-9, 10-12].

Теорія перколяції крокує поруч і багато в чому переплітається з теорією фракталів, з цією областю математичного мистецтва, коли за допомогою найпростіших формул і алгоритмів утворюються картини надзвичайної краси і складності. У контурах побудованих зображень нерідко вгадуються листя, дерева і квіти. Сучасна фізика і механіка тільки починають вивчати поведінку фрактальних об'єктів.

Мета досліджень. Розробити теоретичні засади для створення і впровадження моделей механіки перколяційно-фрактальних середовищ, алгоритмів їх розрахунку та отримання узагальнень досліджень в вигляді інженерних співвідношень для конструювання та розрахунку виробів в наближенні МПФС.

Результати досліджень. На даному етапі розвитку технологій все частіше постає питання підвищення точності роботи виконавчих механізмів, що, в свою чергу, потребує підвищення чутливості контролюючих пристроїв, датчиків. Важко переоцінити значення побудови та дослідження надчутливих перколяційно-фрактальних датчиків для таких галузей, як машинобудування, робототехніка, медицина, авіаційна та космічна техніка тощо. На основі МПФС проведені тео-

ретичні дослідження природи виникнення з'єднуючого кластера електропровідної компоненти в системі наночастинок «провідник-діелектрик» на кінцевомірних декартових областях розміром $L \times L$ та $L \times L \times L$. На рис. 1 наведені результати комп'ютерного моделювання.

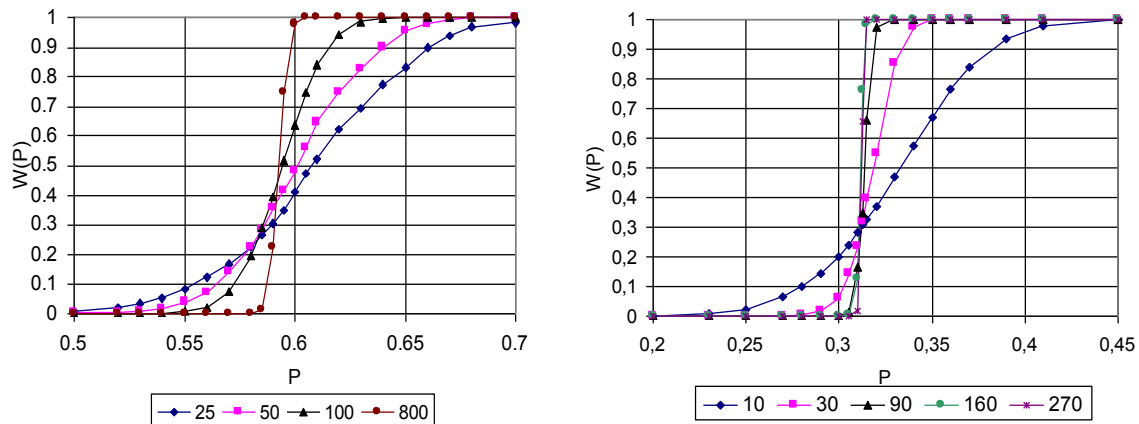


Рис. 1. Результати моделювання виникнення з'єднуючого кластера на кінцевомірних декартових решітках $L \times L$ та $L \times L \times L$ [11].

Результати комп'ютерного моделювання показують, по-перше, що на кінцевомірних декартових решітках масштабний фазовий перехід розмивається, і ймовірність виникнення з'єднуючого кластера досить точно описується формулою проф. І. Г. Грабара:

$$W(P) = \frac{1}{1 + \exp[L(P_* - P)]} \quad (1)$$

По-друге, як видно з рис. 1, критична перколяція P_* , котру за результатами моделювання знаходили з умови: $P_* = P(W=0,5)$, також залежить від розміру решітки, причому зменшується при збільшенні розміру області. До речі, при збільшенні розміру області $L \Rightarrow \infty$ залежність $W(P)$ все більше наближається до ступінчастої, характерної для критичних явищ. Нами проведено теоретичне дослідження критичної перколяції P_* , як функції фрактальної розмірності простору D та отримано функціональну залежність:

$$P_* = 1 - \ln \frac{D+1}{2}, \quad (2)$$

що блискуче підтверджується відомими експериментальними даними (рис. 2) для декартових решіток. Високе значення коефіцієнта кореляції 0,9999 підтверджує достовірність формули (2), що дозволяє говорити про наявність функціонального зв'язку між фрактальною розмірністю простору та порогом перколяції для цього простору. За результатами рис. 1 та формул (1) і (2) отримано: на решітках $L \times L$ з декартовим розбиттям значення порога перколяції і розмір області з високим значенням тісноти зв'язку описується наступним кореляційним співвідношенням:

$$P_* = 0,5927 + \frac{6,3966}{L^{1,7396}}; r_{1/1}^2 = 0,9736. \quad (3)$$

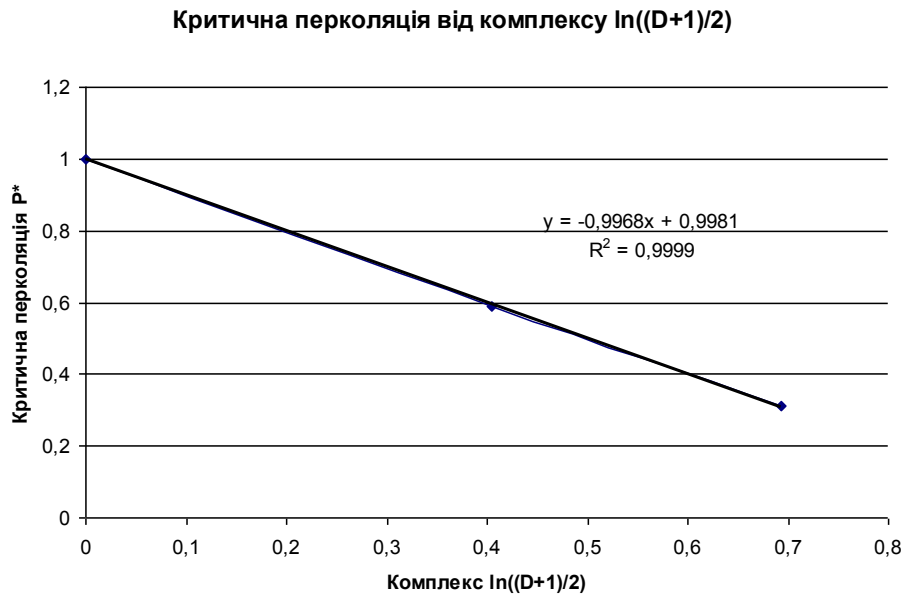


Рис. 2. Результати апроксимації відомих експериментальних значень критичної перколяції від розмірності простору формулою (2).

Відповідно на решітках $L \times L \times L$ маємо:

$$P_* = 0,3118 + \frac{0,0104}{e^{0,0183L}}; r_{1/1}^2 = 0,9656. \quad (4)$$

Для конструювання чутливих елементів нами запропоновано ряд інженерних співвідношень. Так, електричний опір перколяційної двокомпонентної суміші „провідник – діелектрик”, закріпленої на плоску деформовану підкладку, можна прогнозувати за формулами проф. І. Г. Грабара:

- для лінійного напруженого стану:

$$\frac{R_\varepsilon}{R_0} = \left[\frac{1 - P^*}{\frac{P}{(1 + \varepsilon)(1 - \mu\varepsilon)} - P^*} \right]^v. \quad (5)$$

- та для плоского напруженого стану:

$$\frac{R_\varepsilon}{R_0} = \left[\frac{1 - P^*}{\frac{P}{(1 + \varepsilon - \mu\lambda\varepsilon)(1 + \lambda\varepsilon - \mu\varepsilon)} - P^*} \right]^v. \quad (6)$$

де: R_ε – електричний опір перколяційної суміші мікрочастин „провідник – діелектрик” при ймовірності P заповнення провідникової компоненти та при деформації ε , R_0 – електричний опір провідникової

компоненти, P^* – поріг перколяції провідникової компоненти, λ – коефіцієнт двовісності навантаження. Аналіз (5) і (6) показує, що при належному підборі концентрації провідникової компоненти – на кілька відсотків більше P^* – можливо виготовити ПФС-тензодатчика деформації, що матиме чутливість 100-10000, що на 3-4 порядки краще, ніж традиційні тензометричні перетворювачі.

На основі кінцевомірного наближення запропоновано метод оцінки фрактальної розмірності квазіфрактала, та показано, що наночастинки розмірами 10...20 міжатомних відстаней мають розмірність простору менше трьох. І хоча відхилення невелике – в межах 3-7 %, це може суттєво впливати на відхилення процесів, що протікають на нанорівні, в порівнянні з відомими фізичними законами, отриманими для МСС наближень макросистем, а також в змозі пояснити багато феноменів нанотехнологій.

Автори мають надію, що запропоновані постановки задач перколяційно-фрактального матеріалознавства та їх розв'язки знайдуть відгук у зацікавлених осіб – науковців, інженерів, аспірантів і студентів всіх спеціальностей машино- та приладобудування, енергетики, екології, біомедичних напрямків тощо.

Висновки

1. На основі останніх досягнень в теорії перколяції, теорії фракталів, синергетики, нелінійної динаміки стає можливим в ряді задач МСС запропонувати більш точні моделі МПФС.

2. Отримано ряд розв'язків задач для МПФС та отримано в загальному виді функції ймовірності виникнення з'єднуючого кластера на кінцеврмірних декартових решітках, залежність порога перколяції від розмірності простору (декартове наближення),

3. На основі співвідношення (2) запропоновано альтернативну методологію оцінки фрактальної розмірності квазіфрактала за відомим значенням порога перколяції.

4. Порівняльний аналіз наближень МСС та МПФС моделей наведено в таблиці:

№п/п	Характеристика	МСС	МПФС
1	Питома вага	$\rho = m/V$	$\rho \Rightarrow 0$
2	Площа поверхні	$S = 6a^3$	$S \Rightarrow \infty$
3	Чутливість тензодатчика $\Delta R / R_0$	0,01...0,02	100...1000
4	Критична перколяція для декартового наближення		
		R^2	0,59
		R^3	0,31
5	Фрактальна розмірність наночастинки	3	2,6...2,9
6	Конденсація вологи на поверхні	Пропорційна площі поверхні	

Список літератури

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – Ижевск: ИКИ, 2010. – 656 с.
2. Фракталы в физике. Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике. – М.: Мир, 1988. – 672 с.
3. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы / М. Шредер. – Ижевск: РХД, 2005. – 528 с.
5. Falconer K. Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications. – Wiley, 2003.
6. Эфрос А. Л. Физика и геометрия беспорядка. (Библиотечка «Квант», вып. 19) / А. Л. Эфрос. – М.: Наука, 1982. – 176 с.
7. Kesten H. Percolation Theory for Mathematicians. – Boston: Birkhauser, 1982. Русский перевод: Кестен Х. Теория просачивания для математиков. – М.: Мир, 1986. – 392 с.
8. D. Stauffer and A. Aharony, Introduction to Percolation Theory, Taylor and Francis, London, 1994.
9. A. Bunde, S. Havlin, Percolation I (pp. 51-95), Percolation II (pp. 97-149), in: Fractals and disordered systems, eds. A. Bunde, S. Havlin, Springer, Berlin, 1996.
10. Грабар І. Г. Термоактиваци́йний аналіз та синергетика руйнування / І. Г. Грабар. – Житомир: ЖІТІ. – 2002. – 312 с.
11. Грабар І. Г. Перколяційно-фрактальні матеріали / І. Г. Грабар, О. І. Грабар, О. А. Гутніченко, Ю. О. Кубрак. – Житомир. – ЖДТУ. – 2007. – 354 с.
12. Грабар І. Г. Фрактали і тензори в наукових дослідженнях / І. Г. Грабар, О. І. Грабар. – Житомир: ЖДТУ. – 2007. – 69 с.

Показано, что результаты, полученные в приближениях моделей механики сплошных сред, не удовлетворяют многим задачам современной механики материалов. Для повышения достоверности результатов предлагается использовать модели механики перколяционно-фрактальных сред. Приведены решения ряда актуальных задач на основе моделей МПФС.

Механика перколяционно-фрактальных сред, порог перколяции, конечномерные модели, фрактальная размерность, наноматериалы.

Shown that the results obtained in the approximations of the models of continuum mechanics do not satisfy many tasks of modern materials mechanics. To increase the reliability of results is offered to use model mechanics percolation-fractal environments. Are solutions of a number of pressing tasks on the basis of models mechanics percolation-fraktalnih environments.

Mechanics percolation-fractal environments, threshold of percolation, finite-dimensional model, fractal dimension, nanomaterials.