

Література

1. Базалеев, Н. И. Влияние излучательной способности на информативность поля инфракрасного излучения./ Н. И. Базалеев, Б. Б. Бандурян, В. В. Брюховецкий, В. Ф. Клепиков, В. В. Литвиненко. //Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – 5/4. – С.32–36.
2. Тепловізійний неруйнівний контроль і дефектоскопія на основі активної інфрачервоної радіометрії. М. І. Базалеев, Б. Б. Бандурян, В. В. Брюховецкий, В. Ф. Клепиков, В. В. Литвиненко, Є. М. Прохоренко. /Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. Збірник наукових статей за результатами в 2007-2009 рр. – Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України. – Київ, 2009. – С.245-250.
3. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики./ А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: Наука, 1972. – 735с.
4. Абрамовиц М. Справочник по специальным функциям./ Под ред. М. Абрамовица и И. Стигана.пер.с англ. – М.: Мир, 1979. – 830с.

УДК 531.983

КРИТИЧНА КОНЦЕНТРАЦІЯ ТА ЇЇ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПЕРКОЛЯЦІЙНИХ ТЕНЗО- ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЛІНІЙНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Ю. О. Кубрак

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра автомобілів і механіки технічних систем*
Контактний тел.: 067-476-96-83
E-mail: kubrak79@ukr.net

О. І. Грабар

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра економіки*
Контактний тел.: 067-766-23-10
E-mail: grabar-olga@rambler.ru

*Житомирський державний технологічний університет
вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, Україна, 10005

Встановлено, що залежність значення критичної концентрації від товщини шару чутливого елемента перколяційного тензоперетворювача лінійних деформацій при переході від одномірного до тривимірного простору забезпечує побудову математичної залежності критичної перколяції від кінцевих заданих геометричних розмірів
Ключові слова: перколяційний тензоперетворювач, критична концентрація

Установлено, что зависимость значения критической концентрации от толщины шара чувствительного элемента перколяционного тензопреобразователя линейных деформаций при переходе от одномерного до трехмерного пространства обеспечивает построение математической зависимости критической перколяции от конечных заданных геометрических размеров
Ключевые слова: перколяционный тензопреобразователь, критическая концентрация

Determined, that dependence of critical concentration value from the sensitive element's thickness of percolation strain gauge of linear deformation on transition from one-dimensional to tridimensional space provides mathematical model construction of critical concentration from the given geometry
Key words: percolation strain gauge, critical concentration

1. Вступ

Наразі в різних областях науки і техніки залишається необхідність отримання високоточних резуль-

татів вимірювань лінійних деформацій. Теоретичні та експериментальні дослідження [1–4], а також надзвичайна перспективність застосування перколяційних систем в високих технологіях дає можливість ство-

рювати унікальні структури, властивості яких дозволяють побудувати надчутливий тензоперетворювач вимірювання лінійних деформацій (ТЛД) з підвищеними метрологічними характеристиками. Дані ТЛД дозволяють проводити вимірювання як на розтяг, так і на стиск, та отримувати результати з заданою наперед точністю.

2. Аналіз останніх досліджень

Основні результати досліджень перколяційних систем отримані завдяки комп'ютерному моделюванню [5]. Однак, у відомих роботах [1-7 та інші] відсутні відомості щодо дослідження на ЕОМ залежностей зміни електричного опору ТЛД від деформації, матеріалу підкладки, матеріалу електропровідної компоненти та інше.

Вивченню властивостей перколяційних систем присвячено ряд робіт вітчизняних та закордонних авторів [1-8]. Наразі виникла необхідність створення аналітичної моделі поведінки перколяційних ТЛД. Одними з найзастосовуваніших в техніці випадків перколяційних систем є переходи "провідник – діелектрик", провідність електричної сітки (випадковий резисторний ланцюг).

3. Виділення невирішених раніше частин проблеми

Для вимірювання лінійних деформацій широко використовуються тензоперетворювачі (ТП) різних типів [9-12, та інші]. Однак, аналіз літератури та експериментальних досліджень тензоперетворювачів показує, що відомі ТП мають такі основні недоліки: недостатньо високу чутливість та недостатньо велику базу ТП.

Розроблений перколяційний ТЛД знімає всі ці обмеження. Даний ТЛД в змозі при зміні довжини на 1 % збільшувати електричний опір на 500 % і більше.

Перколяційний ТЛД являє собою суміш не взаємодіючих (квазінезалежних) мікрочастинок типу «провідник-діелектрик», що наноситься тонким шаром і закріплюється на деформованій підкладці. Причому концентрація провідникової компоненти P більше критичної концентрації P^* .

Встановлено, що миттєве значення опору датчика збігається з теоретичним значенням [13]:

$$\frac{R}{R_0} \cong \left[\frac{P - P^*}{\frac{P}{(1 + \epsilon)(1 - \mu\epsilon)} - P^*} \right]^v \quad (1)$$

де R , R_0 – електричний опір деформованого і недеформованого середовища, ϵ - деформація, μ - коефіцієнт Пуассона підкладки, v – критичний індекс (для плоскої системи - $v \cong 1$).

Оскільки перколяційний ТЛД має кінцеві розміри, а значення критичних концентрацій P^* , що відомі з літератури [5], для плоскої моделі $P^* = 0,5927$, а для об'ємної $P^* = 0,31$, розраховані для нескінченно великих ґраток $L \times L$ або $L \times L \times L$, виникає необхідність побудови кінцевої моделі для визначення критичного значення ймовірності заповнення.

4. Основний матеріал дослідження

Метою даної статті є отримання кількісних залежностей ймовірності виникнення з'єднуючого кластера від ймовірності заповнення перколяційної структури кінцевих розмірів електропровідною компонентою. Це дасть змогу ввести корекцію в математичну модель (1), що дозволить проектувати перколяційні ТЛД з більшою точністю.

В роботі [14] проводились подібні до наведених нижче дослідження для плоских моделей розміром до 800×800 та для об'ємних розміром до $200 \times 200 \times 200$. Завдяки удосконаленню хвильового алгоритму та збільшенню оперативної пам'яті сучасних ПК з'явилась можливість зменшити час обчислення для одного експерименту та збільшити розміри досліджуваних об'єктів (для плоских моделей до 12800×12800 , а для об'ємних до $400 \times 400 \times 400$).

Для досягнення поставленої мети було розроблено алгоритм та в середовищі .NET при використанні програмного забезпечення VS2008 на мові C# реалізовано програму **Percol**, що дозволяє кількісно оцінити ймовірність появи з'єднуючого кластера при переході від простору R^1 до R^2 та від R^2 до R^3 . Подібні задачі знаходження найкоротшого шляху між точками А і В на довільній поверхні з довільно розміщеними перешкодами характерна, в першу чергу, для популярних сьгодні тактичних та стратегічних задач. Програму **Percol** (рис. 1, рис. 2) побудовано на удосконаленому авторами хвильовому алгоритмі (рис. 3), що використовується для знаходження найкоротшого шляху в транспортних задачах.

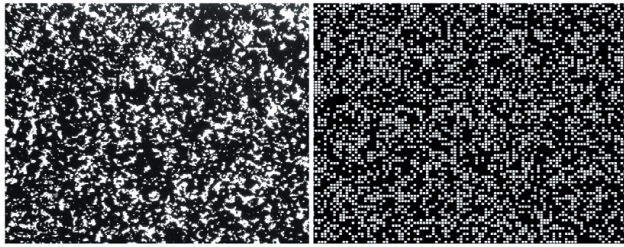


Рис. 1. Приклад розрахунку ймовірності появи з'єднуючого кластера для двовірної моделі при різних ймовірностях заповнення електропровідним компонентом ($L = 40, H = 30$)

Алгоритм знаходження з'єднуючого кластера працює наступним чином:

- Випадково заповнюємо масив нулями та одиницями (з урахуванням заданих параметрів).
- Робимо цикл по всьому масиву. Коли зустрічаємо одиницю, хвильовим алгоритмом (рис. 3) позначаємо її і всі сусідні з нею комірки. Потім рекурсивно повторюємо останню дію для всіх суміжних комірок до позначених, що дорівнюють 1. Якщо таких немає, повертаємось і продовжуємо цикл. Після проходження всієї області у нас є визначені унікальними номерами всі окремі кластери.

– Перевіряємо, якщо на протилежних гранях присутні однакові номери (які належать одному кластеру), то з'єднуючий шлях існує.



а) б)

Рис. 2. Фото перколяційно-фрактальної суміші (а) (чорний колір – ТРГ) та її комп'ютерна модель (б)

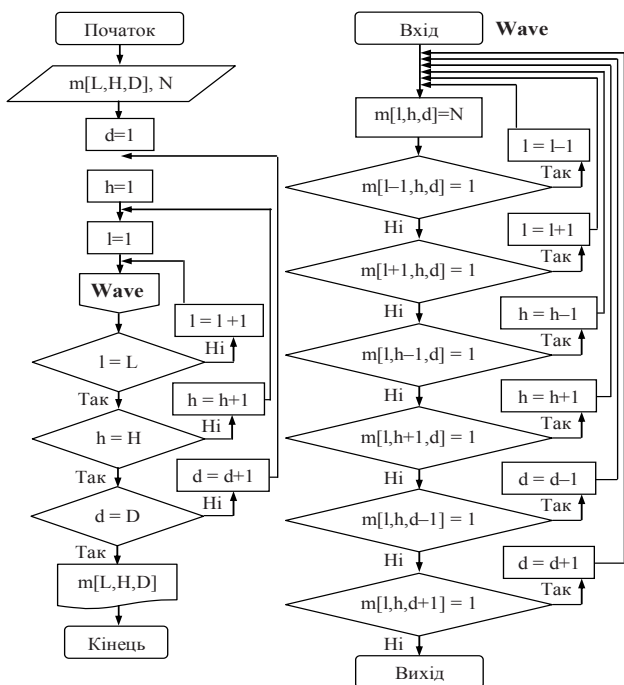


Рис. 3. Удосконалений хвильовий алгоритм визначення окремих кластерів

В даному випадку використано декартове розбиття області елементарними підобластями. Підобласті заповнено за допомогою генератора випадкових чисел. Методом статистичного моделювання на базі 100000 повторення проведено статистичний розіграш виникнення з'єднуючого кластера, як функції розмірів області $a \times b \times c$ та ймовірності $W(P)$ заповнення ґратки компонентою X в компоненті Y . Було побудовано залежності існування з'єднуючого кластера від ймовірності заповнення ґраток простору від R^1 до R^3 різного масштабу. За отриманими результатами було отримано значення критичних ймовірностей, що відповідають значенню 50% ймовірності виникнення з'єднуючого кластера.

В результаті статистичного моделювання встановлено, що зміна критичної ймовірності від ймовірності заповнення середовища для плоских і об'ємних моделей підкоряється статистиці, аналогічній розподілу Фермі-Дірака:

$$W(P) = \left[1 + \exp(L \cdot (P^* - P)) \right]^{-1} \quad (2)$$

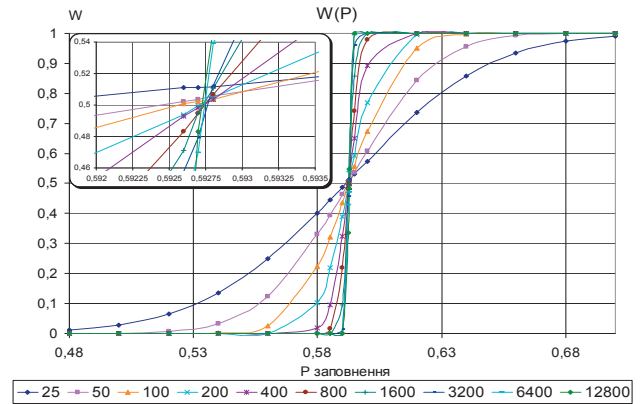


Рис. 4. Залежність критичної ймовірності від ймовірності заповнення середовища для плоских моделей $L \times L$

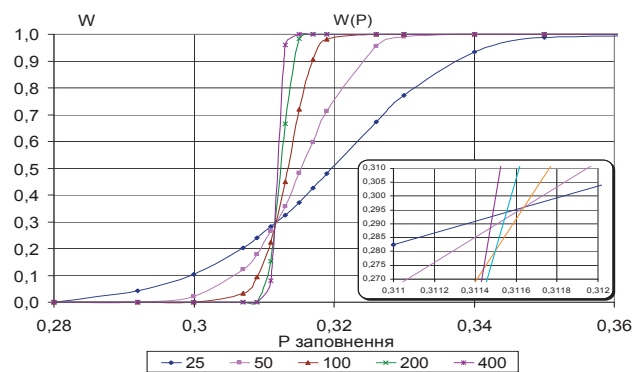
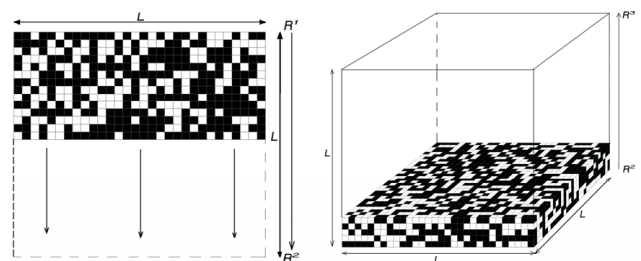


Рис. 5. Залежність критичної ймовірності від ймовірності заповнення середовища для об'ємних моделей $L \times L \times L$

З рис. 4 і рис. 5 видно, що значення P^* як для $L \times L$, так для $L \times L \times L$ набуває відповідно значень 0,5927 та 0,3118, що вказуються в літературі, при $L > 200$. Тобто, при побудові перколяційного ТЛД ми маємо використовувати таку фракцію електрикопровідної компоненти, щоб площа датчика була більшою від 40000 елементарних підобластей. В іншому випадку параметри отриманого ТЛД не задовольнятимуть заданим умовам.



а) б)

Рис. 6. Сценарій дослідження ґратки при переході від простору R^1 до R^2 (а) і від R^2 до R^3 (б)

На рис. 6 – рис. 8 наведено залежності зміни P^* від товщини шару H для простору $R^1 \rightarrow R^2$ для $L = 200, 400, 800, 3200$ і для простору $R^2 \rightarrow R^3$ для $L = 200, 400$. Для останніх (рис. 8) дані відрізняються незначно, тому на графіку майже повторюють одну криву. Для отримання даних для побудови залежностей на рис. 4 – рис. 8 було витрачено близько 1400 машино-годин.

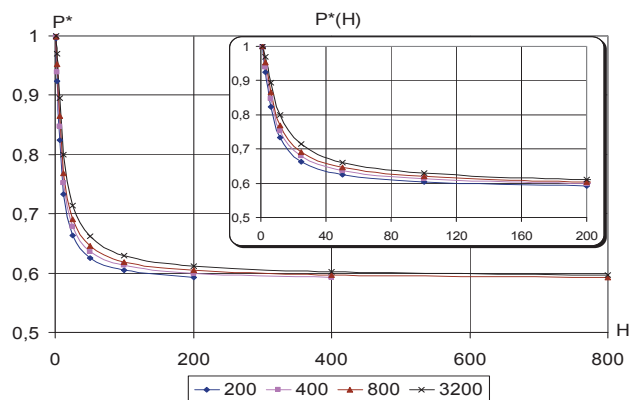


Рис. 7. Залежності зміни P^* від товщини шару (рис. 4) для простору $R^1 \rightarrow R^2$, для $L = 200, 400, 800, 3200$, для $L = 200, P^*(H) = 0,483 \cdot H - 0,442 + 0,5927$

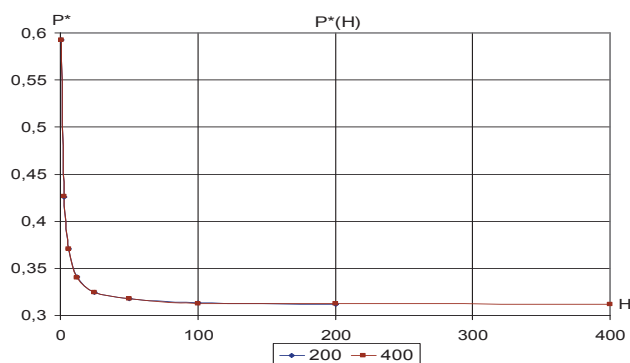


Рис. 8. Залежності зміни P^* від товщини шару для простору від R^2 до R^3 , для $L = 200, 400, P^*(H) = 0,286 \cdot H - 0,845 + 0,3118$

В загальному випадку залежність, наведену під графіками, можна представити у вигляді:

$$P^*(H) = a \cdot H^{-b} + P_D^*, \quad (3)$$

де a, b – константи, P_D^* – критична ймовірність для простору, що досліджується.

Використовуючи отримані залежності, з'являється можливість за розмірами фракції провідникової компоненти і розмірами області визначити P^* для заданого перколяційного ТЛД. Отримані значення P^* надалі буде враховано для більш точної побудови ТЛД з заданим коефіцієнтом чутливості за наближенням (1).

5. Область можливого використання

Запропоновані перколяційні ТЛД можливо використовувати для вимірювання фізичних величин (лінійних переміщень, деформації, сили, тиску) в автоматизованих системах та в комп'ютеризованих технологіях, в сучасному приладобудуванні, машинобудуванні.

6. Висновки

Розроблено алгоритм і проведено моделювання на ЕОМ виникнення з'єднуючого кластера на кінцевих моделях; отримано статистику розподілу

ймовірності W виникнення з'єднуючого кластера, як функцію розмірів області та ймовірності заповнення i -тої підобласті електропровідною компонентою.

Встановлено, що:

- зміна критичної ймовірності від ймовірності заповнення середовища, як для плоских моделей, так і для об'ємних, аналогічна статистиці Фермі-Дірака;

- зміни P^* від товщини шару перколяційного чутливого елемента при переході $R^1 \Rightarrow R^2 \Rightarrow R^3$ забезпечують побудову математичної моделі кінцевих заданих розмірів $P^*(l, h, d)$ для створення плоских та об'ємних перколяційних ТЛД з наперед заданими властивостями.

Література

1. Грабар І.Г., Грабар О.І. Теоретико-ймовірнісне моделювання механічних властивостей деформованих перколяційних середовищ // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 15. – С. 3–7.
2. Селяков В.И., Кадет В.В. Перколяционные модели процессов переноса в микронеоднородных средах. - М.: Недра, 1995. – 221 с.
3. Грабар І.Г. Самоподібність в закономірностях жорсткості та пружності фрактальних та фрактально-перколяційних систем // Вісник ЖІТІ. – 1996. – № 3. – С. 38–44.
4. Тарасевич Ю.Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы. 2002. 112 с.
5. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. – М.: Мир, 1990. – Т. 2. – 400 с.
6. Эфрос А.Л. Физика и геометрия беспорядка. Пер. с рус. – Таллин: Валгус, 1987. – 135 с.
7. M. Harris and R. Meester. Nontrivial Phase Transitions in a Dependent Parametric Bond Percolation Model. Markov Processes and Related Fields. 1996. Volume 2. pp. 513-528.
8. F.P. Machado. Large Deviations for the Number of Open Clusters per site in Long Range Bond Percolation. Markov Processes and Related Fields. pp. 513-528. 1997. Volume 3. p. 367.
9. Плечистий Д.Є. Датчики: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 354 с.
10. Раннев Г.Г., Тарасенко А.П.. Методы и средства измерений. Учебник: М.: Академия, 2003 - 330,[1] с.ил.,22 см... - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 326-328.
11. Титаренко Е. И. Физические основы измерений: Учеб. пособие. Е.И. Титоренко, Ю.И. Ткачева; М-во образования Рос. федерации. Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т", Комсомольск-на-Амуре, 2002 (Полигр. лаб. ГОУВ-ПО КнАГТУ - 131 с.ил., табл., 20 см.
12. Технические измерения: учебное пособие. Е. Н. Кузнецов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Пензен. гос. ун-т. Пенза: ИИЦ ПГУ, 2005 - 219, [2] с.ил.,20 см.
13. Грабар І.Г. Перколяційно-фрактальні матеріали – надперспективні матеріали для тензOMETричних датчиків-перетворювачів // Вісник ЖІТІ. – 1997. – № 6. – С. 3–7.
14. Грабар І.Г., Грабар О.І., Гутніченко О.А., Кубрак Ю.О. Перколяційні матеріали: властивості, технології, застосування: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – 354 с.