

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ РОЗКЛАДУ ПОЛІВ ЗА ВЛАСНИМИ ФУНКЦІЯМИ ДО ЗАДАЧІ МІКРОХВИЛЬНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ**

*Гусєва О. В. , к.т.н, доцент; Горб М. С. , аспірант  
Національний Технічний Університет України  
«Київський Політехнічний Інститут», Київ, Україна*

Задача мікрохвильової візуалізації полягає у визначенні розподілу внутрішньої структури — комплексної діелектричної проникності досліджуваного об'єкту, за полем, розсіяним даним об'єктом. Застосування даного методу є актуальним в медицині, через значний контраст у діелектричних властивостях між здоровою та хворою тканинами.

Оскільки більшість реальних досліджуваних об'єктів є тривимірними поперечно та поздовжньо неоднорідними, тому виникає необхідність у застосуванні чисельних методів при їх електродинамічному аналізі. Це вимагає значних чисельних затрат, особливо при розв'язку оберненої задачі, яка потребує багаторазового вирішення прямої задачі. Тому актуальним є пошук та застосування чисельно ефективних методів при розв'язку прямої та оберненої задачі мікрохвильової візуалізації.

В роботі [1] розглянуто модель біологічного об'єкту у вигляді екранованої поперечно однорідної поздовжньо неоднорідної діелектричної структури прямокутної форми. Для даної структури розв'язується задача визначення внутрішньої структури застосовуючи метод розкладу полів за власними функціями. Зрозуміло, що така модель є наближенням до реальних фізичних об'єктів, тому розглядається наступна модель об'єкту дослідження [2]: поздовжньо однорідний та поперечно неоднорідний діелектричний об'єкт довільної форми в поперечному перетині — Рис. 1.

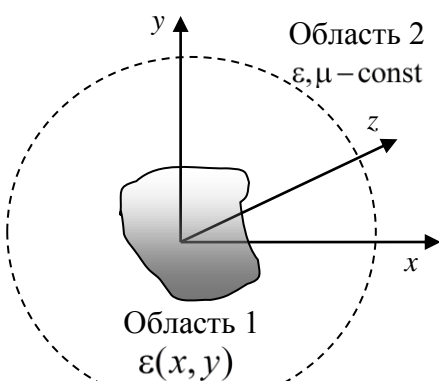


Рисунок. 1 Об'єкт дослідження

При аналізі даного об'єкту можна застосувати метод розкладу полів за власними функціям. В такому випадку задача має розв'язуватися в два етапи [3]: на першому етапі розв'язується задача на власні значення і визначаються власні хвилі, які можуть існувати в даному об'єкті, на другому — на основі заданого джерела збудження визначаються амплітуди знайдених власних хвиль. Перевагою даного підходу є можливість отримання розв'язку по поздовжній координаті методом розділення змінних в

аналітичному вигляді —  $e^{-j\beta z}$ , що зводить тривимірну поздовжньо однорідну задачу до двовимірної. Для поздовжньо неоднорідних структур, які максимально відповідають моделі біологічного об'єкту, можна застосувати метод узгодження мод.

Проведено розрахунок задачі на власні значення поперечно неоднорідного діелектричного об'єкту — Рис. 1. Поле в області 1, яка обмежує неоднорідний об'єкт дослідження, знаходиться методом кінцевих елементів, який здатен описати структуру довільної форми з довільними параметрами. У зовнішній необмеженій області 2 поле представляється у вигляді суми циліндричних гармонік. Отримані власні числа та власні хвилі для поверхневих хвиль.

На Рис. 2 наведено розподіл поля (власного вектора при  $\beta = 352.4$ ) поздовжньої компоненти — Рис. 2 б і поперечних компонент — Рис. 2 в, для об'єкту з однією неоднорідністю — Рис. 2 а. Параметри об'єкта на Рис. 2 а:

$R = 5$  см — радіус об'єкту дослідження

$\lambda = R$  — довжина хвилі

$\varepsilon = 3$   $\varepsilon_i = 10$  — відносна діелектрична проникність основної області та неоднорідності (позначено червоним) відповідно, при цьому об'єкт розбивається на 338 трикутників

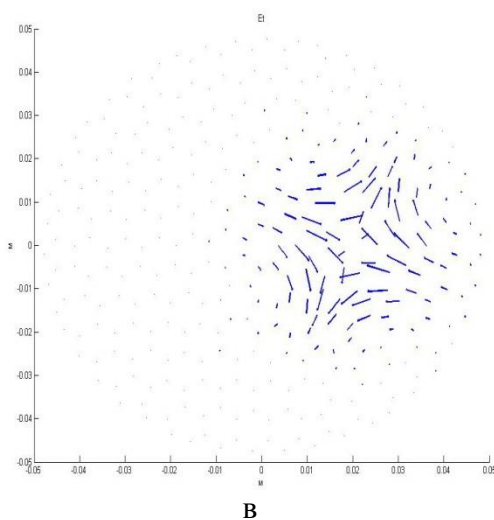
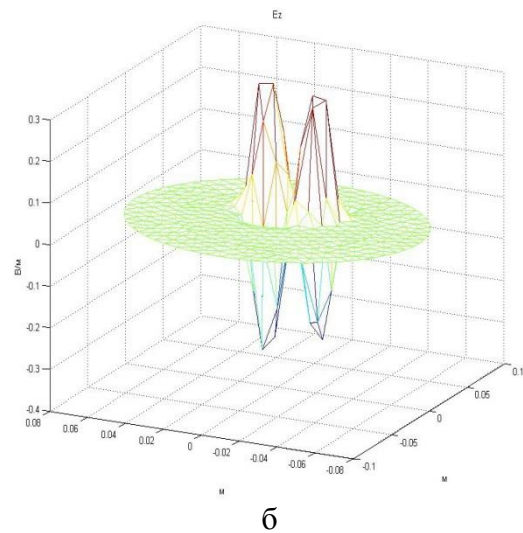
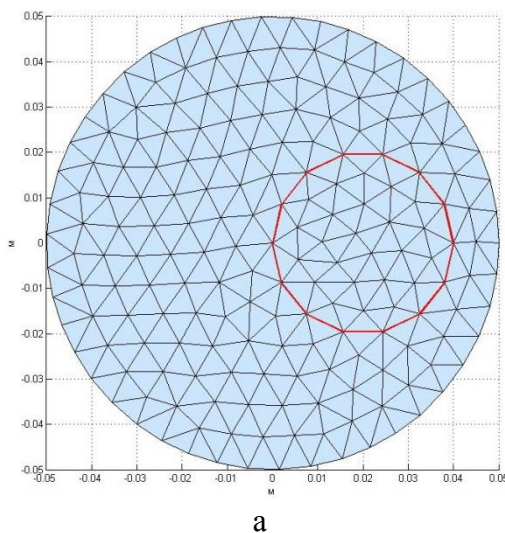


Рисунок 2. а — об'єкт дослідження, б — розподіл поздовжньої компоненти, в — розподіл поперечних компонент

Для перевірки даного алгоритму було проведено розрахунок однорідного діелектричного стрижня, власні хвилі якого можна знайти методом

розділення змінних [4]. Отримані результати співпадають з похибкою менше 1% для поверхневих хвиль.

Вводячи джерело збудження, для представлення поля у вигляді суми власних хвиль, необхідно враховувати всі види хвиль, які можуть існувати у даному об'єкті. У відкритому діелектричному об'єкті — Рис. 1 можуть існувати поверхневі хвилі, комплексні та неперервний спектр хвиль випромінювання [3, 4].

### **Висновки**

Запропоновано застосувати метод розкладу полів по власним функціям до задачі мікрохвильової візуалізації. Проведено розрахунок поверхневих хвиль неоднорідної діелектричної структури, яка моделює об'єкт дослідження в мікрохвильовій візуалізації. Подальший розвиток даної роботи може бути спрямованим на визначення і врахування повного спектру хвиль при розв'язку задачі збудження.

### **Література**

1. Doerstling B. H. A 3-D Reconstruction algorithm for linearized inverse boundary value problem for Maxwell's equations: Ph.D thesis / B. H. Doerstling // Rensselaer Polytechnic Institute. — New York.,1995. — 116 p.
2. Okechukwu F. E. Medical imaging / F. E. Okechukwu — Croatia. : Intech Publisher, 2011. — 400 p. — ISBN 978-953-307-774-1.
3. Барыбин А. А. Электродинамика волноведущих систем. Теория возбуждения и связи волн / А. А. Барыбин— М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 512 с. — ISBN 978-5-9221-0740-2.
4. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны: 2-е изд. перераб. и доп. / Л. А. Вайнштейн — М. : Радио и связь, 1988. — 440с. — ISBN 5-256-00064-0.

### **Анотація**

Розглянуто модель біологічного об'єкту в мікрохвильовій візуалізації, яку запропоновано розраховувати методом розкладу полів по власним функціям. Основною перевагою даного підходу є зменшення чисельних затрат, за рахунок зведення тривимірної задачі до двовимірної.

Ключові слова: розклад поля по власним функціям, мікрохвильова візуалізація.

### **Аннотация**

Рассмотрена модель биологического объекта в микроволновой визуализации, которую предложено анализировать методом разложения полей по собственным функциям. Основным преимуществом данного подхода является уменьшение численных затрат, за счет сведения трёхмерной задачи к двумерной.

Ключевые слова: задача на собственные значения, микроволновая визуализация.

### **Abstract**

Eigenfunction expansion method to calculate fields in microwave imaging was proposed. Main advantage of this approach is ability of reducing numerical costs of the problem.

Keywords: eigenfunction expansion method, microwave imaging.