

УДК 620.91:662.997:631.563.2

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО НАБЛИЖЕННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ВЗАЄМОДІЇ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ВОЛОГОВІСТКИМИ СЕРЕДОВИЩАМИ

**В. Ф. Рєзцов<sup>1</sup>, Т. В. Суржик<sup>2</sup>, В. А. Щокіна<sup>3</sup>**

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,  
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна, тел.:  
+38(093) 588-12-96, e-mail: [schokinaviktoriya@gmail.com](mailto:schokinaviktoriya@gmail.com)*

*У роботі наведено електромагнітне наближення при взаємодії сонячного випромінювання з вологовісткими середовищами та розглянуто раціональні способи знаходження рішення в загальному випадку.*

**Ключові слова:** сонячне випромінювання, електромагнітне наближення, вологовістке середовище.

## FEATURES OF USE ELECTRODYNAMIC APPROXIMATION AT INTERACTION MODELING OF SOLAR RADIATION WITH MOISTURE CONTAINING MEDIUMS

**V. Ryeztsov<sup>1</sup>, T. Surzhyk<sup>2</sup>, V. Shchokina<sup>3</sup>,**

*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science  
of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094*

*The article presents electromagnetic approximation at interaction modeling of solar radiation with moisture containing mediums and reviewed rational ways to finding solutions in general case.*

**Keywords:** solar radiation, electromagnetic approximation, moisture containing mediums.

**ORCID:**<sup>1</sup>0000-0001-8431-3968;<sup>2</sup>0000-0002-1418-7748;  
<sup>3</sup>0000-0003-2506-3131.

Відомо, що найбільш розвинутими моделями взаємодії сонячного випромінювання з середовищами є електромагнітне наближення [1], згідно з яким базовою моделлю є система рівнянь Максвела

$$\begin{aligned}\nabla \times \vec{H} &= \vec{\delta}_{np} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, & \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \nabla \cdot \vec{D} &= \rho, & \nabla \cdot \vec{B} &= 0, \\ \vec{\delta}_{np} &= \sigma \vec{E}, & \vec{B} &= \mu \vec{H}, & \vec{D} &= \varepsilon \vec{E}.\end{aligned}\quad (1)$$

Тут  $\vec{H}$ ,  $\vec{E}$ ,  $\vec{\delta}_{np}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{D}$  – відповідно напруженості магнітного й електричного поля, густина струму провідності, індукції магнітного й електричного поля для обраної частоти сонячного випромінювання;  $\sigma$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$  – питома електрична провідність, магнітна та діелектрична проникність;  $t$  – час.

При нормальному (звичайному, перпендикулярному) падінні сонячного випромінювання в напрямку осі  $z$ , коли вектори  $\vec{H}$ ,  $\vec{E}$  у декартовій системі координат за компонентними складовими мають вигляд

$$\vec{H} = (0, H_y(z, t), 0), \quad \vec{E} = (E_x(z, t), 0, 0) \quad (2)$$

перші два рівняння в системі (1) трансформуються до вигляду

$$-\frac{\partial H_y}{\partial z} = \sigma E_x + \varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} \quad (3)$$

$$-\frac{\partial E_x}{\partial z} = \mu \frac{\partial H_y}{\partial t},$$

які відповідають наближенню плоскої електромагнітної хвилі.

Далі система рівнянь (1), (3) виключенням магнітного або електричного поля перетворюється до канонічної форми рівнянь математичної фізики [2], які при використанні метода комплексних амплітуд мають вигляд звичайних диференціальних рівнянь, для яких відома структура загального рішення.

Для вологовмістких середовищ, в яких під дією сонячного випромінювання структура стає неоднорідною [3,4], електрофізичні та теплові характеристики можуть суттєво залежати від просторових координат.

Так, наприклад, для характерного випадку  $\varepsilon, \mu - const, \sigma = \sigma(z)$  система рівнянь (3) для комплексних амплітуд  $\dot{H}_{ya}(z), \dot{E}_{xa}(z)$

$$\begin{aligned} H_y(z, t) &\rightarrow \dot{H}_{ya}(z) \exp(i\omega t), \\ E_x(z, t) &\rightarrow \dot{E}_{xa}(z) \exp(i\omega t) \end{aligned} \quad (4)$$

набуває вигляду

$$\begin{aligned} -\frac{d\dot{H}_{ya}}{dz} &= [\sigma(z) + i\omega\varepsilon] \dot{E}_{xa}, \\ -\frac{d\dot{E}_{xa}}{dz} &= i\omega\mu \dot{H}_{ya}(z). \end{aligned} \quad (5)$$

З системи рівнянь (5) видно, що до канонічного вигляду може бути приведено тільки рівняння для  $\dot{E}_{xa}(z)$

$$\frac{d^2 \dot{E}_{xa}}{dz^2} + k^2(z) \dot{E}_{xa} = 0, \quad (6)$$
$$k^2(z) = \omega^2 \varepsilon \mu - i \omega \mu \sigma(z),$$

з якого визначається  $\dot{H}_{ya}(z)$  з другого рівняння (5) диференціюванням  $\dot{E}_{xa}$  по  $z$ .

Отже, основною проблемою, яка виникає при вирішенні рівняння (6) з урахуванням залежності електрофізичних характеристик вологовмістких середовищ від просторових координат, зокрема електричної провідності, є побудова загального рішення для рівняння (6) при довільних залежностях  $\sigma = \sigma(z)$ .

Оскільки такого рішення в загальному випадку немає [5], то для практичних потреб раціонально використовувати таке:

а. – викласти рішення рівняння (6) при максимальних і мінімальних значеннях  $\sigma(z)$  з аналізом поведінки функції  $\dot{E}_{xa}(z)$  у граничних випадках;

б. – використовувати метод малого параметра, розкладаючи функцію  $\sigma(z)$  по малому параметру, якщо це фізично обґрунтовано [6];

в. – здійснити розшарування простору, що займає вологовмістке середовище, на шари, з використанням схеми Абеля [7].

### **Література:**

1. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами: пер. с англ. – Москва: Мир, 1986, 664 с., илл.
2. А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. Уравнения математической физики. Москва: Наука, 1977, 735 с.
3. Резцов В. Ф., Суржик Т. В., Щокіна В. А. Синергетичний аналіз можливих причин формування просторових неоднорідних структур при геліосушці вологоємистких матеріалів // Відновлювана енергетика XXI століття: матеріали XV Міжнар. наук.-практ. конф. 16–20 вересня 2014 р. Київ, 2014. С. 198–201.
4. Резцов В. Ф., Суржик Т. В., Щокіна В. А. Можливі причини формування неоднорідних структур при геліосушці вологоємистих середовищ // Відновлювана енергетика, 2015, №1. С. 28–31.
5. Камке Э. Справочник по обыкновенным уравнениям: пер. с англ. – Москва: Наука, 1971, 576 с., илл.
6. Найфэ А. Х. Методы возмущений: пер. с англ. – М.: Мир, 1976, 456 с.
7. Бинько И. Ф., Курочкин Г. Ф., Нивеницын Э. Л., Резцов В. Ф., Шевчук В. И. Киев, 1991, 24 с. (Препр./АН УССР. Ин-т электродинамики; № 689).