

Ветлужский Александр Юрьевич
 кандидат физико-математических наук,
 с.н.с. лаборатории радиозондирования природных сред
 Институт физического материаловедения СО РАН

Vetluzhsky A. Yu.
 Candidate of Physico-Mathematical Sciences
 Institute of Physical Materials Science SB RAS

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СЛУЧАЙНОЙ ДИСКРЕТНОЙ СРЕДЕ

THE METHODS OF DETERMINATION OF LOCALIZATION PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN THE RANDOM DISCRETE MEDIUM

Аннотация. Рассматриваются два метода определения локализационной длины электромагнитных волн в случайных дискретных средах.

Ключевые слова: локализация, случайная дискретная среда, рассеяние.

Summary. Two methods of determining the localization length of electromagnetic waves in random discrete media is considered.

Key words: localization, random discrete medium, scattering.

Распространение электромагнитных волн в случайных дискретных средах сопровождается рядом эффектов. Одним из наиболее исследуемых в течение двух последних десятилетий является сильная локализация излучения. Изначально концепция данного эффекта была предложена Андерсоном [1] в середине прошлого века применительно к описанию диффузии электронов в кристаллических решетках в случайном потенциале. Начиная с 1980-х годов понятие «локализация» начинает использоваться для описания эффектов, сопровождающих распространение электромагнитных (классических) волн в случайных дискретных средах.

На сегодняшний день существуют два основных критерия наступления локализации электромагнитных волн:

1. Коэффициент прохождения волн через не поглощающую структуру приобретает экспоненциально убывающий характер, описываемый законом

$$T \approx \exp(-L/l_{loc}),$$

где L — линейная протяженность среды, l_{loc} — локализационная длина, являющаяся параметром, определяющим степень локализации излучения.

2. Критерий Иоффе — Регеля: $k l \leq 1$, где k — волновое число, l — длина свободного пробега электромагнитной волны.

$$l = 1/\sigma \cdot n, \quad (1)$$

где σ — поперечник рассеяния элементов среды, n — концентрация (количество элементов на единицу площади).

Целью данной работы является сравнительный анализ двух методик определения локализационной длины: на основе строгого численного метода и аналитического подхода.

Исследуемая структура представляла собой N круговых бесконечно протяженных цилиндров радиуса $a=0,05$ мм, размещенных случайно и параллельно друг другу в однородной среде в пределах прямоугольной площадки длиной $L=12$ мм и шириной $W=90$ мм, со средней плотностью $\rho=0,5$ мм⁻². Структура возбуждалась полем линейного электрического тока, ориентированного параллельно цилиндрам, таким образом, рассматривался случай Е поляризации волн (рис. 1).

Численное моделирование проводилось на основе теории многократного рассеяния [2]. Методика расчетов применительно к задачам рассеяния волн на системах цилиндрических элементов подробно обсуждалась в [3].

Длина локализации классических волн в такой системе может быть определена как:

$$l_{loc} = -L / \langle \ln |T|^2 \rangle \quad (2)$$

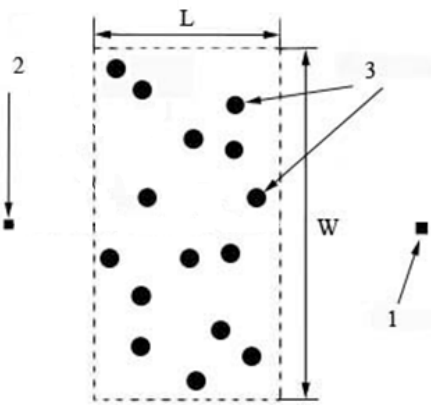


Рис. 1. Концептуальная схема рассматриваемой в работе системы. 1 — источник поля, 2 — точка наблюдения, 3 — цилиндрические рассеиватели.

Анализ процесса рассеяния в рассматриваемых средах может базироваться и на аналогии между распространением электромагнитной волны в дискретной среде и диффузионным движением носителей заряда в твердом теле. В этом случае состояние локализации может характеризоваться отсутствием диффузионного движения волновых процессов. При этом, исходя из основных положений теории эффективной среды, дискретная случайная структура значительной протяженности при большой плотности компоновки элементов может рассматриваться как сплошная, процесс распространения волн в которой характеризуется эффективным волновым числом k_{eff} . При этом длина свободного пробега волны будет вычисляться по формуле:

$$l = 1/2 \text{Im}(k_{eff}). \quad (3)$$

Тогда локализационная длина может быть определена как [4]:

$$l_{loc} = l \exp[\pi/2 * \text{Re}(k_{eff}) * l], \quad (4)$$

где l зависит от мнимой части k_{eff} в соответствии с (3).

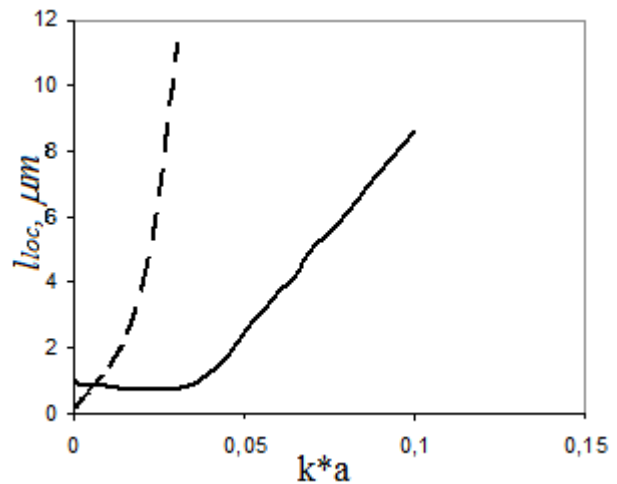


Рис. 2. Частотная зависимость локализационной длины. Сплошная линия — строгий расчет, пунктир — расчет на основе аналитических выражений.

В ходе сравнительного анализа результатов, получаемых по двум описанным методикам, было установлено, что качественно результаты, полученные исходя из строгого и приближенного подходов, совпадают. Это следует из результатов, представленных на рис. 2, где изображены соответствующие зависимости локализационной длины волн от безразмерного параметра ka .

Однако, если численное моделирование позволяет определить частотные границы локализации в пределах $ka = 0 \div 0,03$, то аналитическое описание процессов приводит к выявлению локализационных состояний в значительно меньшем частотном диапазоне. Таким образом, корректная оценка локализационной длины возможна только на основе строгого описания распространения волн в случайной среде.

Литература

1. Anderson P. W. Absence of Diffusion in Certain Random Lattices // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 109. — P. 1492–1505.
2. Ветлужский А. Ю. Локализация излучения в двумерных случайных средах конечной протяженности // ЖЭТФ. — 2009. — Т. 136. — № 2. — С. 356–361.
3. Ветлужский А. Ю., Ломухин Ю. Л. Возбуждение штыревого слоя // Радиотехника и электроника. — 2004. — Т. 49. — № 3. — С. 282–287.
4. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах / М.: Мир, 1981. Т. 2. С. 322.