

Ячменева О.Е. Влияние критических параметров на распространение и затухание волны пробоя в световоде. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей IX Междунар. научно-техн. конф. – Пенза: ПДЗ, 2009. – С. 127-131.

ВЛИЯНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ЗАТУХАНИЕ ВОЛНЫ ПРОБОЯ В СВЕТОВОДЕ

О.Е. Ячменева

Институт структурной макрокинетики и проблем
материаловедения (ИСМАН) РАН,
г. Черноголовка, Московская область, Россия

Рассмотрено влияние критических параметров на распространение и затухание волны пробоя в одномодовом волоконном световоде. В качестве критических параметров берутся время остывания световода и интенсивность питающего лазерного излучения. Исследование волны пробоя основано на применении модели одномерного уравнения теплопроводности. Практическая важность исследования обусловлена широким применением световодов в оптических системах передачи данных.

Yachmeneva O.E. Critical parameters influencing on fiber fuse propagation and extinction.

Critical parameters such as time to get fiber cold and laser intensity are considered in this article. Fiber fuse research is based on the one-dimensional thermal conductivity equation model. Practical importance of this research is determined by the wide use of optical fiber in data transmission systems.

Волна пробоя возникает под действием лазерного излучения высокой интенсивности при наличии дефектов внутри световода [1 – 3]. Внешне явление представляет собой движение области яркого белого или голубоватого свечения в области сердцевинки световода. После прохождения волны в сердцевине световода образуются полости, при этом волноводные свойства полностью нарушаются. Исследование волны пробоя имеет важное практическое значение, поскольку световоды широко используются в системах передачи данных.

В настоящей работе волна пробоя рассматривается на основе одномерного уравнения теплопроводности. На основе построенной модели проводятся эксперименты по исследованию зависимости скорости волны пробоя в световодах от интенсивности лазерного излучения при заданном времени остывания световода. Вторая серия экспериментов показывает изменение критического значения времени остывания световода с изменением интенсивности излучения.

Нестационарная одномерная модель волны пробоя в световоде в безразмерной форме описывается системой из двух уравнений:

$$\frac{\partial}{\partial x} I(t, x) = -\alpha(T) I(t, x), \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} T(t, x) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} T(t, x) - \frac{\partial}{\partial x} I(t, x) - \frac{T}{\tau}, \quad (2)$$

где I – интенсивность лазерного излучения; T – температура; x – координата вдоль оси световода; t – время; τ – время остывания; $\alpha(T)$ – коэффициент поглощения лазерного излучения, выбранный следующим образом $\alpha(T) = ke^{-\frac{1}{T}}$.

Излучение с интенсивностью I_0 вводится в волокно на левой границе световода в точке $x = -x_0$:

$$I(t, 0) = I_0. \quad (3)$$

Считаем, что сток тепла с концов световода отсутствует: $\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=-x_0} = \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=+x_0} = 0$.

В качестве начальных условий берется профиль волны в виде «ступеньки»:

$$I(0, x) = \begin{cases} I_0, & x < x_0, \\ 0, & x \geq x_0. \end{cases} \quad T(x, 0) = \begin{cases} e^{p_+ x}, & x < x_0, \\ e^{p_- x}, & x \geq x_0, \end{cases}$$

где $p_{\pm} = \frac{u}{2} \pm \sqrt{\frac{u^2}{4} + \frac{1}{\tau}}$; u – скорость распространения оптического заряда, для $t = 0$ $u = 1$;

τ – время остывания световода.

Ожидается, что решение задачи Коши с такими начальными условиями приведет к выходу волны на установившийся режим равномерного движения с некоторой скоростью u за время $\square 1$. Для следующих вариантов с меньшим временем остывания в качестве начальных условий берутся установившиеся профили интенсивности излучения I и температуры T , полученные в предыдущем варианте.

Ожидается, что для некоторого τ_n будет выход на режим равномерного движения (время выхода растет по мере уменьшения параметра τ), а для следующего τ_{n+1} решение будет стремиться к $I = 1$, $T = 0$, т.е. произойдет «потухание» разряда. В этом случае следует брать точку в середине интервала (τ_n, τ_{n+1}) , чтобы как можно точнее определить критические значения времени остывания световода и скорости движения фронта волны.

Уравнение интенсивности излучения (1) представляет собой обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка с заданным начальным условием (3). Для численного решения данного уравнения применим одношаговый метод Рунге-Кутты второго порядка [4]. Уравнение теплопроводности (2) представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных параболического типа. Для численного решения воспользуемся методом конечных разностей [5]. Конечно-разностную схему, полученную в результате аппроксимации, можно решить методом прогонки [5].

На основе выбранных алгоритмов разработана программная реализация в системе MATLAB. На базе разработанного программного обеспечения проведен вычислительный эксперимент, направленный на исследование зависимости картины распространения волны от критических параметров.

Критическое время остывания световода обратно пропорционально интенсивности излучения (рис. 1). Чем выше интенсивность излучения, тем меньше значение параметра τ , при котором происходит затухание волны. Через точки на

рисунке можно провести граничную линию, ниже которой волна пробоя не распространяется.

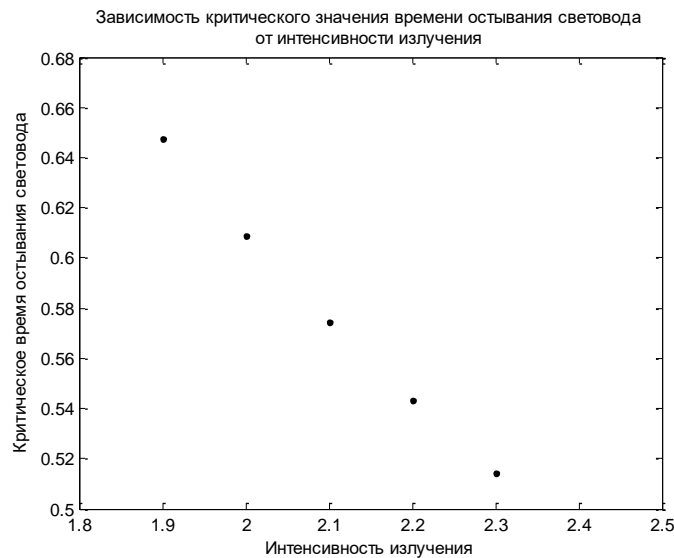


Рис. 1. Зависимость $\tau_{кр}(I_0)$

Для заданного значения параметра τ можно построить зависимость скорости волны от интенсивности лазерного излучения (рис. 2). При построении графика берется средняя скорость волны после выхода на установившийся режим. В данном эксперименте берется критическое значение $\tau_{кр}(I_0 = 2) = 0.6086$.

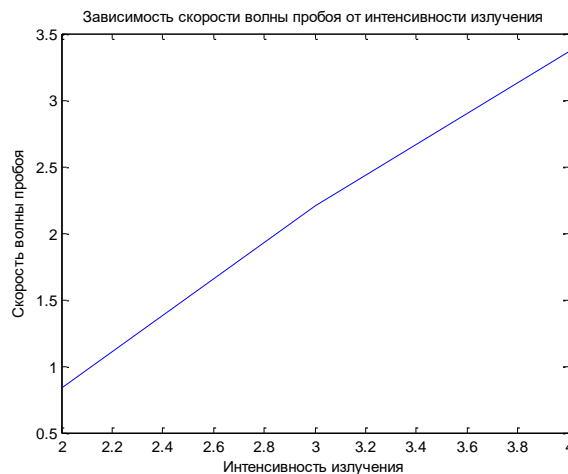


Рис. 2. Зависимость $u(I_0)$

Вычисления проводятся при $\tau_{кр}(I_0 = 2)$, поэтому при значениях $I_0 < 2$ волна пробоя не распространяется. Кривая заканчивается в точке, где при данном значении $I_0 = 2$ величина τ оказывается критической.

Проведенные расчеты показали адекватность выбранной упрощенной модели волны пробоя. Построенные зависимости критических параметров согласуются с экспериментальными данными.

Библиографический список

1. Буфетов И.А., Дианов Е.М. Оптический разряд в волоконных световодах // Успехи физических наук. – 2005. – Т. 175. – №1. – С. 100 – 103.
2. Ткачев А.Н., Яковленко С.И. Расчет скорости и порога тепловой волны поглощения лазерного излучения в волоконном световоде // Квантовая электроника. – 2004. – №8. – С. 761 – 764.
3. Райзер Ю.П. Оптические разряды // Успехи физических наук. – 1980.– Т. 132. – Вып. 3. – С. 550 – 581.
4. Хайрер Э. Нёрсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи. – М. : Мир, 1990. – 512 с.
5. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М. : Наука, 1989. – 616 с.