

## Теоретическое описание динамики энергии в диссипативном волоконном лазере

О.В. Штырина<sup>1,2</sup>, И.А. Яруткина<sup>1,2,\*</sup>, М.П. Федорук<sup>1,2</sup>, С.К. Турицын<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск

<sup>2</sup>Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

<sup>3</sup>Университет Астона, Бирмингем, Великобритания

\* E-mail: i.yarutkina@gmail.com

Действие многих современных волоконных лазеров, генерирующих высокоэнергетичные импульсы, определяется комплексным взаимодействием большого числа физических эффектов, включающих в себя усиление, потери, дисперсию и нелинейность. Такие эффекты, как насыщение усиления, а также нелинейная динамика излучения в лазерном резонаторе, делают подобные лазеры еще более сложными физическими системами. Поэтому оптимизация различных конфигураций и моделирование таких лазеров является сложной задачей, требующей больших временных затрат, что делает важным поиск аналитических методов решения этих задач. Аналитические формулы позволяют уменьшить число параметров системы, которые необходимо оптимизировать с целью получения импульсов, обладающих необходимыми характеристиками, а также позволяют упростить процесс подбора параметров в математической модели для наилучшего согласования результатов расчетов с экспериментами [1].

В работе представлена теоретическая формула, описывающая изменение энергии в диссипативном волоконном лазере с кольцевым резонатором [2], состоящим из активного эрбиевого волокна, пассивного волокна, насыщающегося поглотителя и ответвителя. Оба волокна обладают нормальной дисперсией. Схема резонатора приведена на Рис. 1.



Рис. 1. Схема лазерного резонатора

Энергия на выходе из световода для приведенного кольцевого резонатора выражается следующим образом:

$$E_{out} = \frac{1-R}{R} E_{sat} \frac{1-s}{s} \exp[G(s-S)] \frac{\sinh[G(1-S)s]}{\sinh[G(1-s)S]}.$$

Здесь  $S = \frac{\alpha_A L_A + \alpha_P L_P + l}{g_A L_A}$  – отношение всех потерь к полному усилению,

$s = \frac{\alpha_A L_A}{g_A L_A}$  – отношение потерь в активном световоде к полному усилению,

$R = \exp[(-l) \cdot \ln(10)/10]$  – доля энергии, сохранившейся в системе после устройства вывода,  $G = g_A L_A \cdot \ln(10) \cdot 0.05$  – коэффициент усиления,  $E_{out}$  –

энергия на выходе из резонатора,  $E_{sat}$  – энергия насыщения,  $L_A, L_P$  – длины активного и пассивного световодов,  $g_A$  – усиление на единицу длины,  $\alpha_A, \alpha_P$  – потери на единицу длины в активном и пассивном световодах,  $l$  – потери на выходе из резонатора. Все потери и усиление выражены в дБ.

В общем случае для других схем в зависимости от расположения элементов аналогичная формула, в принципе, может отличаться от представленной в данной работе.

В ходе исследования проводилось сравнение результатов, полученных путем применения приведенной выше теоретической формулы, с результатами численных расчетов.

В ходе численного моделирования варьировались параметры  $g_0 = g_A \cdot L_A$  и  $l$ . При этом остальные параметры оставались неизменными:  $\alpha_A = \alpha_P = 0.2$  дБ/км,  $E_{sat} = 1.12$  нДж,  $L_A = 2$  м,  $L_P = 10$  м.

Рис. 2 иллюстрирует зависимость результирующей энергии от значения потерь на выходе из резонатора при различных значениях полного усиления. Сплошными линиями показаны теоретические значения, пунктирными – результаты математического моделирования. Разрыв пунктирной линии при  $g_0 = 28$  дБ соответствует области отсутствия устойчивой импульсной генерации, полученной в численных расчетах.

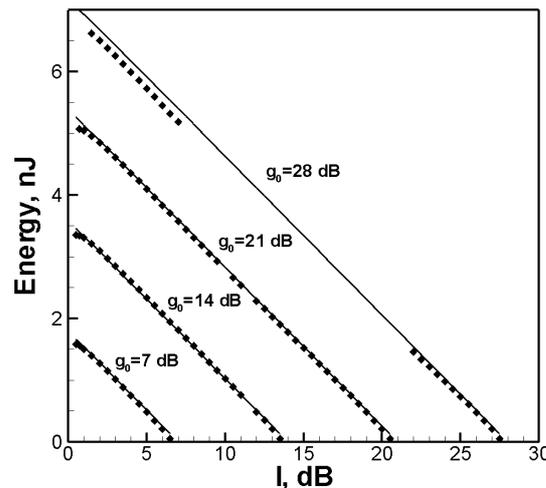


Рис. 2. Зависимость энергии выходного импульса от потерь на выходе из резонатора при различных значениях полного усиления. Сплошные линии – теоретические значения, пунктирные – результаты расчетов

Максимальное расхождение в теоретических и расчетных результатах, составляющее около 3%, обусловлено приближением о равномерности усиления, а также отсутствием учета потерь на насыщающемся поглотителе в аналитической формуле.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, гос. контракт № 14.В25.31.0003.

## Литература

- [1] S.K. Turitsyn, *Opt. Express* **17**, 11898-11904 (2009)
- [2] I.A. Yarutkina, O.V. Shtyrina et al, *Opt. Express* **21**, 12942-12950 (2013)