

# Теоретическое и численное исследование импульсных режимов генерации в гибридных волоконных лазерах на основе полупроводникового оптического усилителя

Д.А. Художиткова<sup>1,\*</sup>, А.Е. Беднякова<sup>1</sup>, М.П. Федорук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет

\*E-mail: khudozhitkova.da@gmail.com

DOI:10.31868/RFL2024.25

В работе представлены результаты численного и теоретического исследования гибридного волоконного лазера на основе полупроводникового усилителя (ПОУ). Как показано в [1], нелинейные свойства ПОУ позволяют смещать центральную длину волны входных импульсов как в красную, так и в синюю область спектра. Таким образом, использование ПОУ в качестве усилителя и нелинейного преобразователя сигнала в волоконном лазере открывает новые возможности для создания лазеров со спектральной перестройкой генерируемых импульсов.

Исследуемый лазерный резонатор состоит из волокна с нормальной дисперсией и сохранением поляризации, одномодового волокна с сохранением поляризации, полупроводникового оптического усилителя, насыщающегося поглотителя, ответвителя и спектрального фильтра с центральной длиной волны 1550 нм. Длина одномодового волокна являлась параметром оптимизации, позволяющим изменять кумулятивную дисперсию резонатора от нормальной до аномальной для изменения режимов распространения импульсов. Полоса пропускания фильтра также рассматривалась как параметр оптимизации, тогда как параметры SOA и насыщающегося поглотителя оставались фиксированными [2].

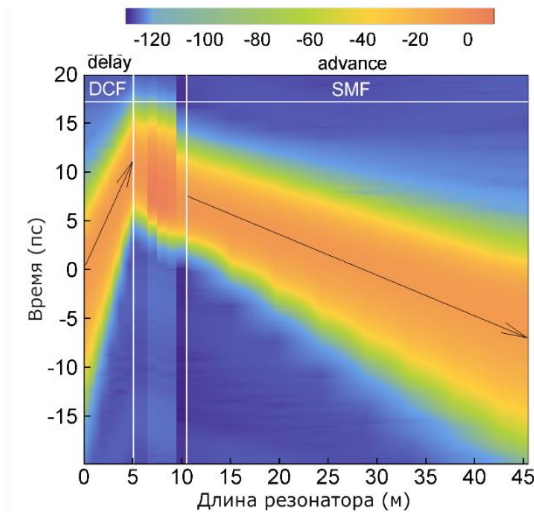


Рис. 1. Эволюция импульса на одном обходе резонатора.

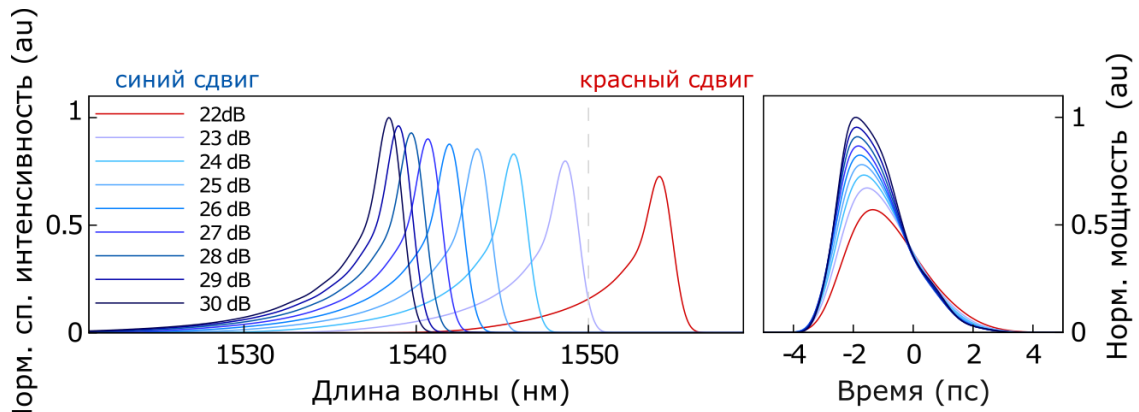


Рис. 2. Спектральные (слева) и временные (справа) профили в зависимости от коэффициента усиления малого сигнала (тока инжекции) при кумулятивной дисперсии  $\beta_2^{\text{cum}} = -0.18 \text{ пс}^2$  и ширине спектрального фильтра 40 нм.

В результате численного моделирования были определены области существования устойчивых одноимпульсных решений. Выявлена нетривиальная внутриврезонаторная динамика, включающая изменение скорости и длительности импульса при распространении в волоконных световодах (рис.1). Исследована зависимость центральной длины волны устойчивого импульса от ширины спектрального фильтра и кумулятивной дисперсии резонатора. Также нами был предложен эффективный способ управления центральной длиной волны излучения путем изменения тока инжекции в ПОУ (рис.2).

Численное моделирование последовательного прохождения поля через каждый элемент внутри резонатора позволяет точнее описать эволюцию импульса, однако из-за нелинейного характера динамики излучения такой подход требует больших временных затрат, особенно в многопараметрических системах. Также он не позволяет осуществить поиск аналитических решений. При малых изменениях характеристик излучения вдоль резонатора моделирование лазера можно выполнять с помощью распределенной модели. Для исследуемого лазера такая модель получена в работе [3]:

$$\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{i\sigma_b}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} - i|u|^2 u = \delta u + \eta \left( \frac{\partial}{\partial \tau} + i\Omega_f \right)^2 u - \rho(1 - i\alpha_H) u \int_{-\infty}^{\tau} |u(\tau')|^2 d\tau'$$

здесь  $u$  – нормированная амплитуда,  $z$  – эволюционная переменная,  $\tau$  – нормированное время,  $\delta$  – разность между линейным усилением и линейными потерями,  $\eta$  – ширина спектрального фильтра,  $\Omega_f$  – максимум пропускания спектрального фильтра,  $\rho$  – коэффициент насыщения усиления,  $\alpha_H$  – фактор Генри. Параметры  $\delta$ ,  $\eta$  и  $\rho$  варьировались в широком диапазоне значений.

В рамках данной работы определены границы применимости модели в пространстве параметров  $\delta$ ,  $\eta$  и  $\rho$ . А также проведено исследование устойчивости аналитических решений уравнения в виде чирпованного и нечирпованного солитона.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 24-12-00314)

## Литература

- [1] A.E. Bednyakova, D.A. Khudozhitkova et al, *Opt. Lett.* **46**, 4757-4760 (2021).
- [2] A. Bednyakova, D. Khudozhitkova & S. Turitsyn, *Scientific Reports* **12** (2022)
- [3] S.K. Turitsyn, *Opt. Lett.* **48**, 3351-3354 (2023)