

# Генерация, усиление и сжатие волновых пакетов с большой глубиной фазовой модуляции: формирование гигантских оптических импульсов типа блуждающих волн или волн-убийц

А.С. Абрамов<sup>1,\*</sup>, И.О. Золотовский<sup>1</sup>, Д.А. Коробко<sup>1</sup>, В.А. Камынин<sup>2</sup>, А.А. Фотиади<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Ульяновский государственный университет

<sup>2</sup> Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН

<sup>3</sup> University of Mons, Belgium

\*E-mail: aleksei\_abramov@mail.ru

DOI:10.31868/RFL.2022.48-49

В настоящей работе предложен механизм генерации субпикосекундных лазерных импульсов в каскадных волоконных схемах, основным элементом которых является волоконный модулятор, реализованный на основе световода со сформированной бегущей волной изменения показателя преломления (БВИПП) [1] и обеспечивающего формирование волновых пакетов с большой глубиной модуляции. Показано, что в результате развития модуляционной неустойчивости из глубоко модулированного излучения могут формироваться импульсы с пиковой мощностью, на порядки превосходящей мощность фонового излучения.

Для получения последовательностей ультракоротких лазерных импульсов с высоким значением пиковой мощности может быть использована волоконная каскадная схема, включающая в себя элемент-модулятор, последовательно соединенный с участками пассивного и активного волокна (рис.1).

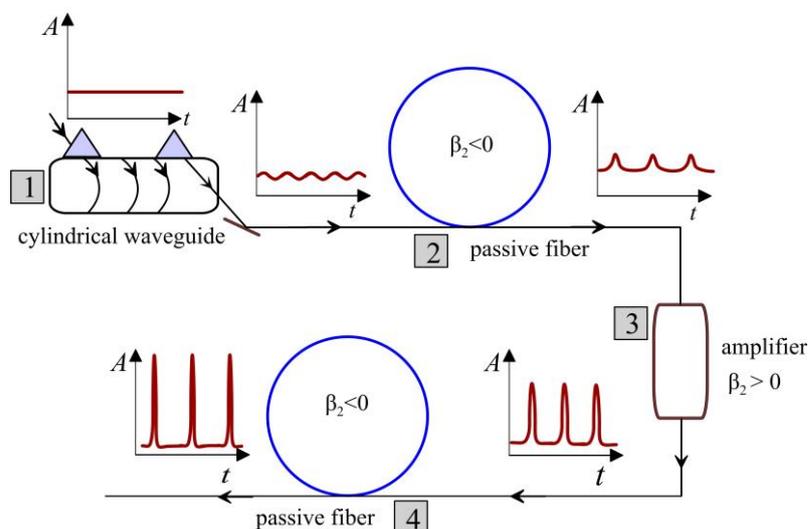


Рис. 1. Каскадная схема генерации последовательностей УКИ. 1 - модулятор на основе световода с БВИПП, 2,4- пассивные участки волокна с аномальной ДГС, 3 - активный участок волокна с положительной ДГС.

Первый элемент предлагаемой схемы представляет собой модулятор БВИПП, необходимый для получения глубокой модуляции волнового пакета. В дальнейшем, по мере распространения сильно модулированного излучения в световоде с аномальной дисперсией групповых скоростей (элемент 2) в результате развития режима модуляционной неустойчивости начинает выделяться последовательность импульсов с частотой следования  $\Omega$ . Если

участок 2 достаточно протяженный, то на определенной длине световода происходит стремительный распад непрерывного модулированного излучения на отдельные субпикосекундные импульсы с частотой следования  $\Omega$ , равной частоте модуляции. Длины световода, на которых происходит «взрывное» образование определяются как особые точки в решении уравнения Гросс-Питаевского [2] и будут зависеть от значений частоты и глубины модуляции, а также от величины дисперсии групповых скоростей соответствующего световода.

Генерация последовательностей импульсов рассматривалась в каскадных схемах с различными длинами первого участка пассивного световода: 50 (a), 500 (b) и 1000 м (c,d) и длине усилителя 10 метров (рис. 2). Здесь 2, 4 - участки пассивного волокна с аномальной дисперсией, 3- участок усиливающего волокна. Процесс формирования гигантских импульсов из непрерывного модулированного излучения происходит на относительно малых длинах, которая при выбранных в работе параметрах существенно меньше 10 метров. Над штриховой кривой к каждому рисунку приведены числовые значения для пиковой мощности генерируемых импульсов.

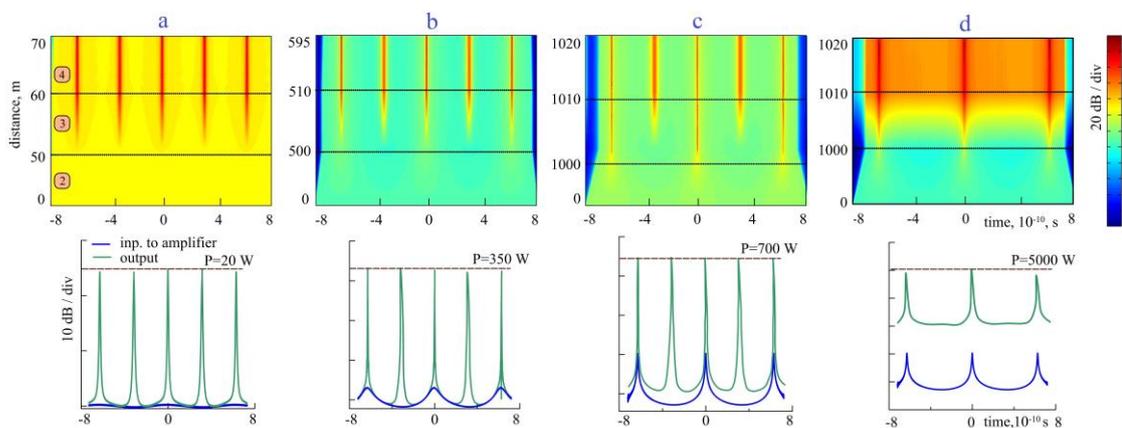


Рис.2. Эволюция временного профиля огибающей в рассматриваемом волоконном каскаде. Внизу - соответствующие эволюционной картине временные профили последовательностей импульсов в полулогарифмическом масштабе на входе в усилитель (синие кривые) и на выходе из каскада (зеленые кривые). Ширина линии усиления  $\Delta\omega_l = 10^{12} \text{ c}^{-1}$  (a-c) и  $\Delta\omega_l = 4 \cdot 10^{13} \text{ c}^{-1}$  (d),  $g \approx 0,3 \text{ м}^{-1}$ .

Таким образом, рассмотрена схема формирования волновых пакетов с большой глубиной фазовой модуляции. Соответствующие волновые пакеты в результате промежуточного усиления и развития модуляционной неустойчивости могут трансформироваться в последовательность ультракоротких импульсов с управляемой частотой повторения и пиковой мощностью отдельных импульсов свыше одного киловатта. Подобные волновые пакеты имеют значительное сходство с т.н. *freak-wave* или *rogue wave* – волновыми образованиями привлекающими, в последнее двадцать лет, большое внимание исследователей [3].

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (Программа «Мегагрантов» заявка 2020-220-08-1369 и стипендией президента РФ - проект № СП-4058.2021.5).

## Литература

- [1] В.П. Торчигин, *Квантовая электроника* **22**, 509-510 (1995)
- [2] I. O. Zolotovskii, D. A. Korobko et al *J. Opt. Soc. Am. B* **36**, 2877-2883 (2019)
- [3] D.R. Solli, C. Ropers et al, *Nature* **450**, 1054 (2007)