

Применение методов моделирования волоконных лазеров к исследованию пропускной способности солитонных оптических линий связи

Г.А. Патрин^{1,2,*}, О.В. Штырина¹, И.С. Чеховской¹, М.П. Федорук¹

¹ Новосибирский государственный университет

² Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий

*E-mail: g.patrin@g.nsu.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.178-179

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) в настоящее время являются наиболее востребованным способом передачи данных [1]. Эта технология лидирует на рынке телекоммуникаций, благодаря множеству преимуществ перед другими средствами передачи информации на большие расстояния. Однако, несмотря на высокий уровень развития технологий передачи данных в настоящее время, из-за стремительных темпов роста объема мирового трафика линии связи требуют дальнейшего увеличения пропускной способности.

В настоящее время известно множество различных технологий подавления вредоносного влияния оптических эффектов, искажающих передаваемый сигнал, и повышения эффективности передачи данных. Например, оптическая фильтрация для подавления шумов усилителей, средства электронной компенсации дисперсионных эффектов, технологии спектрального уплотнения канала для эффективного использования пропускной полосы оптоволокна и т.д. Тем не менее, волоконные линии связи подходят к пределу своих возможностей. Основным ограничением роста пропускной способности ВОЛС является наличие нелинейных эффектов волокна [2], влияние которых усиливается с ростом мощности сигнала.

Одним из способов минимизации искажений, вносимых нелинейностью, является использование солитонов в качестве импульсов, переносящих информацию. Солитон является когерентной устойчивой структурой и не подвержен нелинейным искажениям. Фундаментальные солитоны, соответствующие стационарным решениям нелинейного уравнения Шрёдингера (НУШ), способны распространяться, сохраняя свою форму за счет взаимной компенсации нелинейных и дисперсионных эффектов в оптическом канале. Однако этот подход обладает рядом недостатков. Ввиду наличия оптических потерь в пассивных участках ВОЛС фундаментальные солитоны при распространении теряют часть мощности. Это приводит к снижению влияния нелинейных эффектов и, как следствие, к нарушению их баланса с дисперсионными. Стоит отметить, что в солитонных системах передачи данных, где импульсы в последовательности следуют один за другим, возможно взаимодействие соседних импульсов. При этом линейная суперпозиция двух солитонов, как правило, не является солитонным решением НУШ, и такие вредоносные взаимодействия хорошо описаны в литературе [3]. Перечисленные явления вносят искажения в передаваемый сигнал и негативно сказываются на точности его детектирования.

Таким образом, концепция использования фундаментальных солитонов для передачи информации не принимает во внимание тот факт, что ВОЛС состоит из повторяющихся протяжённых участков пассивного волокна, на конце каждого из которых находится усилитель, компенсирующий оптические потери. Учёт этой

периодичности структуры линий связи приводит к модели, соответствующей некоторому кольцевому волоконному резонатору. В данной работе для исследования ВОЛС применяется подход, аналогичный расчёту многократного прохождения импульсов в таком модельном резонаторе, его схема приведена на Рис. 1. Устойчивые структуры в системах, подобных таким лазерам, соответствуют стационарным решениям уравнения Гинзбурга-Ландау (УГЛ) с насыщением и неравномерностью спектра усиления. Для распределённой модели, описываемой УГЛ, известно семейство стационарных решений в виде диссипативных солитонов. Такие структуры сохраняют форму в распределённой модели благодаря взаимной компенсации нелинейных, дисперсионных, диссипативных и усиливающих эффектов. Учёт усилителя как отрезка активного волокна с насыщением и неравномерным спектром усиления позволяет получить устойчивую генерацию в резонаторе. Такой подход обеспечивает периодическое восстановление передающего сигнала в линии связи и может привести к повышению точности детектирования.

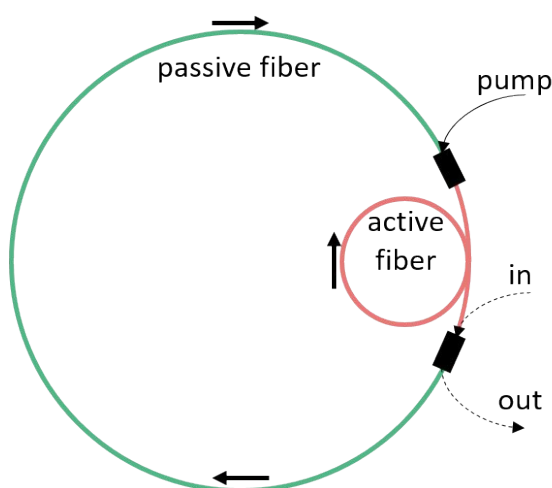


Рис. 1. Схема модельного кольцевого волоконного резонатора.

В результате исследования был разработан алгоритм получения приближённого аналитического решения УГЛ в виде последовательности импульсов, пригодной для кодирования информации и периодически восстанавливающей характеристики при распространении в ВОЛС. При помощи моделирования распространения сигнала полученной формы в осреднённой и в полной моделях резонатора (Рис.1) верифицированы его периодические свойства. Путём прямого численного моделирования показано, что разработанный подход применим для задач кодирования информации в волоконно-оптических линиях связи и проведена оценка эффективности одноканальной ВОЛС, основанной на предложенном подходе.

Работа Патрина Г.А. (численное моделирование), Чеховского И.С. (анализ результатов) и Федорука М.П. (постановка задачи) была выполнена при поддержке проекта РФФИ №20-11-20040, <https://rscf.ru/project/20-11-20040/>. Теоретическое исследование выполнено Штыриной О.В. при поддержке государственного задания на проведение фундаментальных исследований FSUS-0.1

Литература

- [1] Е.М. Дианов, *Вестник РАН*. **70**, 1010-1015 (2000)
- [2] R. Essiambre, G. Kramer et al., *J. Lightwave Technology* **28**, 662-701 (2010)
- [3] V.I. Karpman and V.V. Solovjev, *Physica D*. **3**, 487–502 (1981)