

0.1. Патрин Г.А. Использование модели кольцевого волоконного резонатора для изучения динамики солитонов в оптической линии связи

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) являются наиболее востребованным способом передачи данных за счёт множества преимуществ перед другими средствами передачи информации на большие расстояния [1]. Однако в наши дни из-за стремительных темпов роста объёма мирового трафика линии связи требуют дальнейшего увеличения пропускной способности. Основным ограничением роста пропускной способности в ВОЛС является наличие нелинейных эффектов [2], влияние которых усиливается с ростом мощности сигнала. Для минимизации влияния этих эффектов можно использовать солитоны в качестве носителей информации. Классическим примером таких импульсов можно назвать фундаментальные солитоны [3], являющиеся стационарным решением нелинейного уравнения Шрёдингера (НУШ) за счёт баланса между дисперсионными и нелинейными эффектами. Однако при этом подходе происходит пренебрежение потерями и усилением в оптическом канале, из-за чего в реальных ВОЛС такие солитоны недостаточно эффективны.

Оптический канал в ВОЛС состоит из повторяющихся секций: участков пассивного волокна, на конце каждого из которых находится усилитель для компенсации оптических потерь. В данной работе, в отличие от классического подхода, предлагается учитывать усиление после каждой секции не точно а, распределённо в активном волокне. Тогда нетрудно заметить, что в кольцевых волоконных резонаторах излучение также многократно проходит через пассивную и активную среды. Эта аналогия позволит использовать методы анализа кольцевых лазеров для ВОЛС.

Одним из инструментов анализа кольцевых волоконных лазеров является его осреднённая модель, являющаяся кубическим уравнением Гинзбурга — Ландау:

$$\frac{\partial A}{\partial z} = -i\frac{\beta_2 L_p}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + i\gamma L_p |A|^2 A + \sigma A + \frac{g_s}{2\Omega_g^2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где $A(t, z)$ — комплексная огибающая сигнала, t — время, $z \in [0; 1]$ — продольная координата, L_p — длина пассивного волокна, α_p — параметр ненасыщенных потерь в пассивном волокне, β_2 — коэффициент дисперсии групповых скоростей, γ — коэффициент нелинейности Керра, $g_s(z) = \frac{g_0 L_a}{1 + E(z)/E_{\text{sat}}}$ — коэффициент насыщенного усиления, α_a — параметр ненасыщенных потерь в активном волокне, L_a — длина активного волокна, g_0 — коэффициент усиления по малому сигналу, $E_{\text{sat}} = P_{\text{sat}} \cdot T_{\text{tr}}$ — энергия насыщения, P_{sat} — мощность насыщения, $E(z) = \int_{-T_{\text{tr}}/2}^{+T_{\text{tr}}/2} |A(t, z)|^2 dt$ — энергия, Ω_g — ширина спектра

усиления, $\sigma = \frac{g_s}{2} - \frac{\alpha_p L_p}{2} - \frac{\alpha_a L_a}{2}$, $T_{\text{tr}} = \frac{L_a + L_p}{c_{\text{med}}}$ — время прохождения периодической секции, c_{med} — скорость света в среде. Известно, что солитонное решение осреднённой модели периодически восстанавливает свою форму в резонаторе. Поэтому для уравнения (1) было найдено приближённое аналитическое стационарное решение в виде последовательности солитонов и использовано в качестве модулирующего сигнала в ВОЛС.

В работе исследуются возможности фазового кодирования информации в солитонной линии связи в зависимости от формы полученных модулирующих импульсов, а также рассматриваются перспективы добавления других форматов кодирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 22-11-00287).

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Чеховской И. С.

Список литературы

- [1] Дианов Е. М. От тера-эры к пета-эре // Вестник РАН. 2000. Т. 70. № 11. С. 1010–1015.
- [2] ESSIAMBRE R., KRAMER G., WINZER J., ET AL. Capacity Limits of Optical Fiber Networks // Journal of Lightwave Technology. 2010. Vol. 28. N. 4. P. 662–701.
- [3] MOLLENAUER L. F., GORDON J. P. Solitons in Optical Fibers / Location: Academic Press, 2006. 296 p.