

**0.1. Патрин Г.А., Штырина О.В., Чеховской И.С. Численный алгоритм для расчёта многосердцевинных световодов с учетом насыщения усиления сигнала**

При численном моделировании лазерных систем на основе многосердцевинных волокон (multi-core fibers – MCF) необходимо учитывать различные физические эффекты, в том числе потери и усиление в световоде. Также это важно при расчете волоконно-оптических линий связи на основе MCF, когда необходима численная реализация модели распределенного рамановского усиления [1].

Многосердцевинные волокна состоят из нескольких сердцевин, расположенных под общей оболочкой. Распространение электромагнитного поля в MCF с одномодовыми сердцевинами может быть описано системой связанных нелинейных уравнений Шрёдингера (coupled nonlinear Schrödinger equations – CNLSE), заданных в приближении медленно меняющейся огибающей. В этой системе рассматриваются связи только между соседними сердцевинами. Систему CNLSE, описывающую распространение сигнала по  $N + 1$ -сердцевинному волокну, можно представить в векторном виде следующим образом [2]:

$$\frac{\partial}{\partial z} \mathbf{A} = -i\frac{\beta}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \mathbf{A} + i\gamma |\mathbf{A}|^2 \mathbf{A} + \sigma \mathbf{A} + i\mathbf{C}\mathbf{A} \quad (1)$$

Здесь  $\mathbf{A} = (A_0 \ A_1 \ \dots \ A_n)^T$ ,  $A_n(t, z)$  – это комплексная огибающая сигнала в  $n$ -й сердцевине,  $t$  – время,  $z$  – пространственная координата,  $\sigma = \frac{g(A_n)}{2} - \frac{\alpha}{2}$  – разность усиления и линейных потерь,  $g(A_n) = \frac{g^{const}}{1 + E_n(A_n)/E^{sat}}$  – коэффициент насыщенного усиления,  $g^{const}$  – усиление по малому сигналу,  $\alpha$  – коэффициент линейных потерь,  $E_n(A_n)$  – энергия сигнала и  $E^{sat}$  – энергия насыщения,  $\beta$  – коэффициент дисперсии групповых скоростей,  $\gamma$  – коэффициент нелинейности Керра. Энергия сигнала определяется как  $E_n(A_n) = \int_{-\infty}^{+\infty} |A_n|^2 dt$ . В общем случае для каждого уравнения коэффициенты NLSE индивидуальны и обозначены соответствующим индексом  $n$ . Матрицу  $\mathbf{C}$  называют матрицей связей.

Для моделирования динамики оптического сигнала в MCF в рамках системы (1) был разработан эффективный численный алгоритм. Его особенностью является возможность учета линейных потерь и насыщенного усиления в волокне. Поскольку в дальнейшем планируется моделирование световодов с небольшим числом сердцевин (до 9), предпочтение было отдано разработке алгоритма на основе Фурье метода расщепления по физическим процессам (SSFM), а не применению разностных схем повышенного порядка точности. Моделирование с помощью разностных схем предпочтительнее для численного интегрирования больших систем НУШ, поскольку их вычислительная сложность растёт линейно с увеличением числа сердцевин, в то время

как реализация SSFM требует вычисления матричной экспоненты и векторно-матричного умножения на каждом шаге интегрирования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-11-20040).*

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания на проведение фундаментальных исследований (FSUS-2020-0034).*

*Научный руководитель – к.ф.-м.н. Чеховской И. С.*

**Список литературы**

- [1] BARNARD C., MYSLINSKI P. ET AL. Analytical Model for Rare-Earth-Doped Fiber Amplifiers and Lasers // IEEE J. Quantum Electronics. 1994. Vol. 30. N. 8. P. 1817–1830.
- [2] СНЕКHOVSKOY I., RUBENCHIK A. ET AL. Nonlinear pulse combining and pulse compression in multi-core fibers // OPTICS LETTERS. 2015. Vol. 40. N. 5. P. 721–724.