

УДК 621.375

Н.В.Михеева (асп., каф. КЭ), С.В.Кружалов, к.т.н., доц.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ СФОКУСИРОВАННЫМИ ПУЧКАМИ

ABSTRACT: A numerical model for nonlinear frequency conversion process was constructed. The model appropriates for optical layouts with spherical or line focusing into the nonlinear crystal. The focused beam is presented by a set of parallel rays with the phase-mismatch depending on the direction of the ray propagation. The model allows estimating the optimal focal geometry for optical layout.

Нелинейное преобразование лазерного излучения позволяет получать когерентное излучение в тех областях спектра, где отсутствуют активные элементы с требуемыми свойствами. Эффективность процесса преобразования частоты зависит от многих факторов: плотности мощности и расходимости основного излучения, свойств нелинейного кристалла (НК) и др. В случае нелинейного преобразования маломощных лазерных пучков, для повышения плотности мощности излучения основной частоты в НК используются фокусирующие системы. Из необходимости определения параметров фокусирующей оптики, при которых достигаются максимально возможные величины КПД нелинейного процесса, следует актуальность теоретического рассмотрения распространения и взаимодействия пучков основного и преобразованного излучения в НК. В случае генерации второй гармоники (ГВГ) в НК моделируется взаимодействие двух волн – основной частоты и второй гармоники (ВГ). Процесс нелинейного преобразование при этом описывается системой дифференциальных нелинейных уравнений вида:

$$\frac{\partial \varepsilon_j(x, y, z, t)}{\partial z} = \frac{i}{2k_j} \left[ \frac{\partial^2 \varepsilon_j(x, y, z, t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_j(x, y, z, t)}{\partial x^2} \right], \quad (1)$$
$$- \tan(\rho_j) \frac{\partial \varepsilon_j(x, y, z, t)}{\partial x} + P_j(x, y, z, t) - \alpha_j \varepsilon_j(x, y, z, t)$$

где  $j$  – индекс, соответствующий частоте распространяющегося в НК излучения ( $j=1$  – основная гармоника,  $j=2$  – ВГ);  $k_j$  – волновой вектор;  $\rho_j$  – угол сноса в НК;  $\varepsilon_j(x, y, z, t)$  – комплексные амплитуды электрического поля  $E_j$ :

$$E_j = \frac{1}{2} \{ \varepsilon_j \exp[-i(\omega_j t - k_j z)] + \varepsilon_j^* \exp[i(\omega_j t - k_j z)] \},$$

$\alpha_j$  – линейные потери в кристалле и  $P_j$  – нелинейная поляризация.

Система уравнений (1) не имеет аналитического решения, поэтому задача описания распространения пучков в НК сводится к численному дифференцированию системы методом Рунге-Кутты, с применением алгоритмов прямого и обратного Фурье-преобразования для учета изменения фазы пучков. В случае преобразования параллельных лазерных пучков данный способ численного моделирования процесса позволяет достаточно точно рассчитать эффективность ГВГ, зная параметры пучка основного излучения и свойства НК.

Вследствие фокусировки излучения в НК приходится учитывать зависимость распределения интенсивности в поперечном сечении взаимодействующих пучков от координаты  $z$ , соответствующей направлению распространения. Формально в этом случае поле основного излучения можно представить в виде произведения двух независимых функций: одна описывает изменение поперечных размеров пучка при распространении в НК, а вторая – истощение мощности за счет ГВГ. Однако, подстановка выражения для

электрического поля в виде произведения двух независимых функций в систему (1) и ее дальнейшее решение описанным выше способом часто приводит к плохой обусловленности системы. Таким образом, возникает необходимость разработки другой качественной модели, корректно описывающей процесс нелинейного преобразования сфокусированных пучков.

В работе предлагается способ оценки эффективности нелинейного преобразования излучения для случая фокусировки излучения в НК на примере ГВГ. Суть метода сводится к следующему: сфокусированный пучок представляется в виде набора параллельных пучков, распространяющихся под разными углами к направлению синхронизма в НК. Преобразование каждого пучка находится при численном дифференцировании системы уравнений (1). Учет отклонения распространения пучка от направления синхронизма осуществляется путем введения в систему уравнений соответствующей углу отклонения волновой расстройки.

Возможности предложенной модели оценивались путем расчета эффективности ГВГ лазера на парах меди (ЛПМ) в одноосном НК ВВО при изменении параметров системы фокусировки и распределения интенсивности в поперечном сечении пучка основного излучения. Рассматривались случаи линейной и сферической фокусировки излучения в НК при гауссовом и равномерном распределении интенсивности излучения на входной грани кристалла, теоретически рассчитывались зависимости КПД нелинейного процесса от фокусного расстояния системы, как для сферической, так и для линейной фокусировки. Полученные данные сравнивались с результатами экспериментальных работ, посвященных исследованию процессов нелинейного преобразования частоты ЛПМ. Результаты проведенного сравнения показали, что предложенный в работе метод позволяет находить оптимальные параметры пучка преобразуемого излучения и схем сферической и линейной фокусировки в диапазоне плотностей мощности, не превышающих значений, при которых начинает сказываться влияние тепловых эффектов на КПД нелинейного преобразования. Поэтому в случае жесткой фокусировки для лучшего согласования с экспериментом необходимо учитывать влияние проявляющихся при этом тепловых эффектов на эффективность нелинейного преобразования.