

УДК 004.42

Д. В. Горев

Иркутский государственный университет путей сообщения

О. В. Горева

кандидат физико-математических наук,

Иркутский государственный университет путей сообщения

ПРОГРАММНО-РАСЧЕТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Расчет параметров процесса преобразования излучения по частоте в нелинейных кристаллах с использованием фокусирующих оптических элементов является неотъемлемой частью разработки приборов квантовой электроники различного назначения. Имеющиеся в настоящее время программные продукты, моделирующие такой процесс, не учитывают aberrации фокусирующих оптических элементов, входящих в нелинейно-оптическую систему, что существенно сказывается на различии расчетных и экспериментальных параметров при больших значениях aberrаций используемых фокусирующих линз. Представленный программно-расчетный комплекс предназначен для расчета энергетического и пространственного распределения интенсивности сфокусированного излучения линзами, неисправленными от aberrаций, преобразованного излучения по частоте в нелинейных кристаллах, а также для расчета нелинейно-оптических характеристик кристалла преобразователя. Программный продукт состоит из нескольких функциональных модулей: расчетные модули (разработаны в *Delphi*, *MathCAD*), редактируемая база данных реальных оптических элементов (разработана в *InterBase*), модули ввода и вывода данных. Взаимодействие между модулями осуществляется через форму управления посредством обмена автоматически формируемых файлов *Excel*. В статье представлены некоторые результаты расчета пространственного и энергетического распределения лазерного излучения, сфокусированного линзой неисправленной коматической aberrацией. Полученные результаты адекватны результатам расчета и экспериментальным результатам других авторов.

Ключевые слова: программно-расчетный комплекс; преобразование оптического излучения; преобразование сфокусированного излучения по частоте.

D. V. Gorev

Irkutsk State University of Railway Engineering

O. V. Goreva

PhD in Physical and Mathematical Sciences,

Irkutsk State University of Railway Engineering

CALCULATING APPLICATION PROGRAMS FOR SOLVING THE TASKS OF CONVERSION OF OPTICAL RADIATION

Calculation of parameters of the conversion of radiation frequency in nonlinear crystals using the focusing optical elements is an integral part of developing of quantum electronics devices of various purposes. The currently available software for simulation of this process does not consider the aberrations of the optical focusing elements which are included in the non-linear optical system. Such situation substantially affects the difference between the calculated and experimental parameters for large values of the focusing lens aberrations. The presented complex of calculating application programs devised with an intent to calculate energy and spatial distribution of focused radiation intensity having the aberration frequency converted radiation in nonlinear crystals and to determine the nonlinear optical characteristics of the crystal transducer. The developed software consists of several functional modules: calculation modules

(developed in *Delphi*, *MathCAD*), editable database of real optical elements (developed in *InterBase*), modules of data input and output. The interaction between the modules is realized by means of automatically generated *Excel* files exchange. The article presents the outcomes of calculation of spatial and energy distribution of laser emission focused by a lens with the uncorrected comatical aberration. The obtained results correspond to the calculation and experimental results of other authors.

Keywords: complex of calculating application programs; conversion of optical radiation; frequency conversion of focused radiation.

В настоящее время одной из перспективных задач прикладной квантовой электроники является разработка приборов различного назначения, основанных на нелинейном преобразовании излучения по частоте. Экспериментальные методы исследования в области квантовой электроники являются прецизионными, трудоемкими и зачастую дорогостоящими, поэтому разработка и реализация численных методов, позволяющих прогнозировать результаты натурных экспериментов, является неотъемлемой частью разработки таких приборов. Имеющиеся в настоящее время программные продукты, моделирующие параметры преобразования излучения по частоте в нелинейных средах¹ [4; 6], не учитывают аберрации фокусирующих оптических элементов, входящих в оптическую систему, что существенно сказывается на различии расчетных экспериментальных параметров при больших значениях аберраций используемых фокусирующих линз. Разработанный программно-расчетный комплекс направлен на решение расчетных задач преобразования излучения по частоте в нелинейных кристаллах при фокусировке основного излучения реальными оптическими элементами (линзами, неисправленными от аберраций). Основой для написания программного кода расчетного комплекса являются как стандартные математические модели прикладной нелинейной оптики [2], так и математические модели, модифицированные с целью их унификации для произвольных параметров нелинейно-оптической системы с учетом наличия аберраций у фокусирующих линз [3]. Для математического описания рассматриваемого процесса использовался гибридный метод геометрической и дифракционной (волновой) теории распространения светового излучения.

Программно-расчетный комплекс состоит из нескольких функциональных модулей (рис. 1) и предназначен для решения следующих расчетных задач: расчет пространственных и энергетических параметров излучения сфокусированного линзой неисправленной от аберраций; расчет нелинейно-оптических характеристик кристалла преобразователя; расчет пространственных и энергетических параметров преобразованного по частоте излучения в нелинейном кристалле.

Форма ввода параметров оптической системы предназначена для определения исходной информации, представляющей массив экзогенных параметров моделируемой оптической системы, необходимой при решении всех расчетных задач программно-расчетного комплекса. При этом предусматривается возможность ввода характеристик системы, заданных пользователем, и возможность выбора необходимого оптического элемента, входящего в моделируемую нелинейно-оптическую систему из прикрепленной редактируемой базы данных, включающей характеристики реальных оптических элементов. Взаимодействие системы ввода параметров оптической системы с системой редактируемой базы данных существенно снижает трудозатра-

¹ URL : http://lid.bmstu.ru/rus/soft_fc.html; <http://www.crosslight.com>.

ты при вводе сведений по однотипным элементам оптической системы. При вводе данных осуществляется проверка вводимых данных на ошибки по критериям, заложенным в программе по допустимым значений физических характеристик. Численные методы расчета параметров рассматриваемого процесса преобразования излучения по частоте основаны на использовании фрагментации исходного светового излучения на световые лучи толщиной до дифракционного предела $\lambda/2$, где λ — длина волны светового излучения. При этом в системе ввода предусматривается возможность загрузки собственных значений параметров фокусируемого излучения из заранее сформированного файла в формате *Excel*.

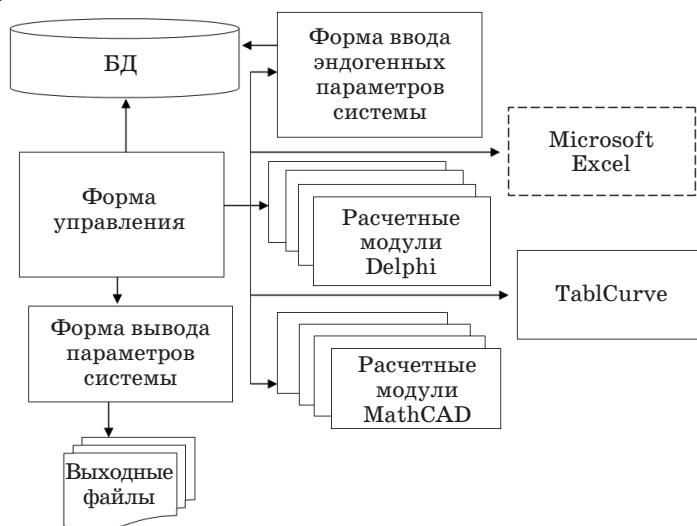


Рис. 1. Структура программно-расчетного комплекса

Расчетные модули представляют собой самостоятельные программные продукты, способные взаимодействовать между собой и с системой ввода параметров оптической системы. Программно-расчетный комплекс содержит следующие расчетные модули: расчет пространственного и энергетического распределения сфокусированного излучения сферическими линзами, не исправленными от сферической или коматической аберраций; расчет пространственного и энергетического распределения сфокусированного излучения цилиндрическими линзами, не исправленными от астигматизма; расчет параметров преобразования излучения по частоте в одноосных кристаллах при генерации второй оптической гармоники¹; расчет пространственного и энергетического распределения преобразованного по частоте излучения на выходе из нелинейного кристалла². Большинство расчетных модулей разработаны на языке программирования *Delphi*, поэтому управляющие инстру-

¹ Расчет параметров коллинераного преобразования излучения по частоте в двуосных кристаллах при смещении частот / А. И. Илларионов, О. В. Горева, Д. В. Горев, И. М. Богданова // Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2013619003. Заявка №2013616475, дата поступления : 25 июля 2013 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 24 сентября 2013 г.

² Расчет пространственно-угловой структуры второй оптической гармоники при преобразовании в одноосных кристаллах излучения сфокусированного линзой, обладающей сферической аберрацией / А. И. Илларионов, О. В. Горева, Д. В. Горев, Д. А. Ушаков // Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2013618959. Заявка №2013616476, дата поступления : 25 июля 2013 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 24 сентября 2013 г.

менты программно-расчетного комплекса также на этом языке программирования, а база данных параметров оптических элементов является базой данных *InterBase*.

Вывод расчетных данных представляются с помощью стандартных инструментов *Delphi* в различных видах: таблицы массива выходных данных, визуальное представление (имитация фотографии профиля светового излучения), двумерные графические зависимости. Для графического представления расчетных характеристик в трехмерном представлении, а также для аппроксимации полученных дифференцированных трехмерных графических представлений математической функции расчеты параметров моделируемого процесса производятся в расчетном модуле, разработанном на системе *MathCAD*, интегрированном с формой управления и модулем ввода параметров оптической системы за счет экспортирования файла экзогенных параметров системы и импортирования файла эндогенных параметров системы, автоматически формируемых в формате *Excel*. Дополнительной возможностью данного программного комплекса является возможность работы с массивом эндогенных параметров системы в специализированной программе *TableCurve 3D*, которая может обрабатывать сложные комплексы исходных данных в виде трехмерных поверхностей и их теоретической аппроксимации. По запросу пользователя модуль вывода расчетных данных предусматривает сохранение расчетного массива данных в файлы в формате *Excel*, а графическое представление в файлы в формате *gif*.

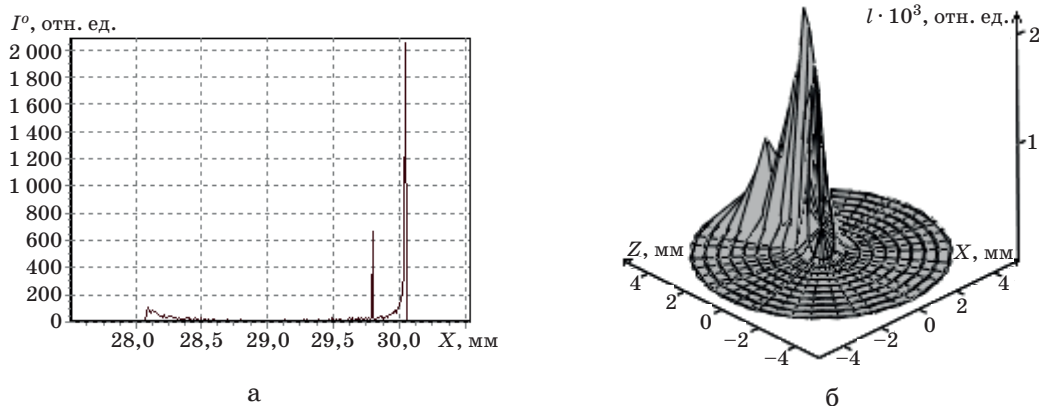


Рис. 2. Пространственное и энергетическое распределение лазерного излучения, сфокусированного линзой, неисправленной от коматической аберрации:
а — распределение в радиальной плоскости пучка, полученное с помощью расчетного модуля в *Delphi*; б — трехмерное распределение по всему профилю пучка, полученного с помощью расчетного модуля в *MathCAD*

Полученные результаты соответствуют выводам, сделанным другими авторами, использовавшими иные алгоритмы расчета (дифракционная теория аберраций) [1], а также данным, полученным экспериментально различными исследователями в области пространственного и энергетического распределения как сфокусированного излучения линзами, неисправленными от аберраций, так и преобразованного излучения по частоте в нелинейных кристаллах [5; 7]. Разработанный программно-расчетный комплекс предназначен для прогнозирования параметров преобразования излучения линзами и нелинейно-оптическими элементами, что необходимо при проектировании и разработке нелинейно-оптических узлов, использующихся в приборах квантовой электроники различного назначения.

Список использованной литературы

1. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. — М. : Наука, 1970. — 856 с.
2. Дмитриев В. Г. Прикладная нелинейная оптика / В. Г. Дмитриев, Л. В. Тарасов. — М. : Физматлит, 2004. — 512 с.
3. Илларионов А. И. Математическое и компьютерное моделирование пространственно-угловой структуры второй оптической гармоники с учетом сферической аберрации фокусирующей линзы / А. И. Илларионов, О. В. Горева, Д. В. Горев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2013. — № 3 (39). — С. 183–187.
4. Калинин Н. А. Математическое моделирование параметрических преобразователей частоты для среднего ИК-диапазона / Н. А. Калинин, А. В. Копыльцов // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. — 2011. — № 138. — С. 16–24.
5. Кривошеков Г. В. Влияние аберраций формирующей оптической системы на нелинейное преобразование лазерного излучения / Г. В. Кривошеков, В. И. Самарин // Оптика и спектр. — 1980. — Т. 48, № 5. — С. 963–967.
6. Dovgii B. P. Mathematical models of intraresonant frequency transformations in nonlinear optics and their numerical realization / B. P. Dovgii // Journal of Mathematical Sciences. — 1994. — Vol. 70, Issue 1. — P. 1534–1539.
7. Stroganov V. I. Optical system aberration effect in the second harmonic generation / V. I. Stroganov, A. I. Illarionov // Opt. Com. — 1980. — Vol. 35, № 3. — P. 455–461.

References

1. Born M., Wolf E. *Principles of optics*. Oxford, Pergamon Press, 1969. (Russ. ed.: Born M., Volf E. *Osnovy optiki*. Moscow, Science Publ., 1970. 856 p.).
2. Dmitriev V. G., Tarasov L. V. *Prikladnaya nelineinaya optika* [Applied nonlinear optics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004. 512 p.
3. Illarionov A. I., Goreva O. V., Gorev D. V. Mathematical and computer modeling of spatial-angular structure of the second optical harmonic with consideration of the focusing lens spherical aberration. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie – Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2013, no. 3 (39), pp. 183–187 (in Russian).
4. Kalintseva N. A., Kopyltsov A. V. Mathematical modeling of MIR parametric frequency converters. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A. I. Gertsena – Izvestia: Herzen University Journal of Humanities and Sciences*, 2011, no. 138, pp. 16–24 (in Russian).
5. Krivoshchekov G. V., Samarin V. I. Influence of aberrations of the forming optical system on nonlinear transformation of laser radiation. *Optika i spektr – Optics and Spectrum*, 1980, vol. 48, no. 5, pp. 963–967 (in Russian).
6. Dovgii B. P. Mathematical models of intraresonant frequency transformations in nonlinear optics and their numerical realization. *Journal of Mathematical Sciences*, 1994, vol. 70, iss. 1, pp. 1534–1539.
7. Stroganov V. I., Illarionov A. I. Optical system aberration effect in the second harmonic generation. *Opt. Com*, 1980, vol. 35, no. 3, pp. 455–461.

Информация об авторах

Горев Дмитрий Владимирович — аспирант, кафедра физики, Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, e-mail: gorevdima@gmail.com.

Горева Ольга Валерьевна — кандидат физико-математических наук, докторант, Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, e-mail: gorevdima@gmail.com.

Authors

Gorev Dmitry Vladimirovich — PhD student, Department of Physics, Irkutsk State University of Railway Engineering, 15 Chernishevskogo St., 664075, Irkutsk, Russia, e-mail: gorevdima@gmail.com.

Goreva Olga Valerievna — PhD in Physical and Mathematical Sciences, a doctoral candidate, Irkutsk State University of Railway Engineering, 15 Chernishevskogo St., 664075, Irkutsk, Russia, e-mail: gorevdima@gmail.com.