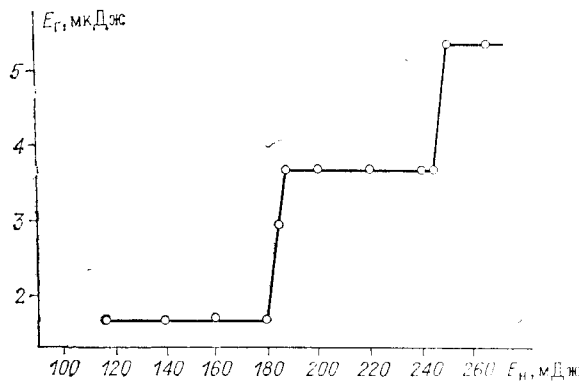


Рис. 3. Зависимость энергии генерации лазера от энергии накачки в режиме модуляции добротности



руемых за один импульс накачки. Регистрация производится при фиксированной импульсной электрической мощности 900 Вт, подводимой к светодиодам. Варьирование энергии накачки осуществляется за счет изменения длительности импульса возбуждения. Частота повторения импульсов накачки 20 Гц.

Следует отметить, что светодиодная накачка по сравнению с ламповой отличается высокой стабильностью, что обеспечивает стабильность параметров генерации лазера. Нами произведено измерение кратковременной нестабильности временного положения импульса генерации относительно начала импульса накачки. Она не превышает 10 нс.

Проведенные исследования показывают, что в лазерах со светодиодной накачкой возможна реализация режимов генерации коротких импульсов, отличающихся большей выходной мощностью по сравнению с полупроводниковыми источниками и существенно более высокой стабильностью, чем в лазерах с ламповой накачкой. Кроме того, малая инерционность системы светодиодов и возможность работы в большом диапазоне мощностей открывают широкие возможности по оптимизации режимов возбуждения твердотельных лазеров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин С. Л., Закгейм А. Л., Марахонов В. М. и др. Лазер на кристалле  $KGd(WO_4)_2$  с полупроводниковой системой накачки // Журн. прикл. спектр.— 1982.— 37, № 2.
2. Ханин Я. И. Динамика квантовых генераторов.— М.: Сов. радио, 1975.
3. Куратов И. И. Твердотельные лазеры с полупроводниковой накачкой // Изв. АН СССР. Сер. физ.— 1984.— 48, № 8.

Поступило в редакцию 23 февраля 1989 г.

УДК 778.38.004.4 : 681.3

Ф. Г. ХУЗИН, Ю. Н. ЦИГЛЕР  
(Казань)

#### МЕТОД РАСЧЕТА СИНТЕЗИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВНУТРИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ЦЕНТРИРОВАННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Приведенный в [1] и обобщенный в [2] метод расчета синтезированных голограмм показал свою высокую скорость и надежность. Однако из соображений дифракционной эффективности, уменьшения aberrаций, конструктивных требований положение голограммы за оптической системой не обязательно является оптимальным. Поэтому возникает необходимость разработать способ расчета голограмм, расположенных в произвольном месте в любых центрированных оптических системах с поверхностями всех известных на сегодня типов. Эта задача и решается в настоящем сообщении.

Пусть задана произвольная центрированная оптическая система. Набор оптических элементов до голограммы (она может быть нанесена на любую поверхность) обозначим через  $P_1$ , после — через  $P_2$ .  $P_1$  и  $P_2$  могут быть как угодно сложными и содержать любое число параметров. В [1] показано, что положение предмета на бесконечности или нет — не играет роли. Формулы будут одни и те же с точностью до обозначений: вместо высоты  $h$  — угол  $u$  (или наоборот). Поэтому для определенности будем считать, что на оптическую систему падает пучок лучей, параллельный оптической оси.

**Порядок вычислений. 1.** На максимальной высоте просчитывается луч по формулам Федера [1—4] и определяется разность хода данного луча и осевого. По этой разности делением на  $\lambda$  вычисляется максимальный порядок интерференции  $M$  [1].

© 1990 Хузин Ф. Г., Циглер Ю. Н.

7 Автометрия № 5, 1990 г.

2. По формулам (8) или (9) из [1] вычисляется нулевое приближение высоты на входе.

3. Просчитывается луч через  $P_1$  и определяется нулевое значение радиуса голограммы  $\rho_{m0}$  ( $m$  — порядок интерференции, в нашем случае  $m = 0$ , второй индекс — номер итерации).

4. В обратном ходе от  $S'$  (точка изображения) через  $P_2$  опять-таки с начальным приближением по тем же формулам отыскивается радиус голограммы  $\rho'_{m0}$ .

5. Вычисляется  $|\rho'_{m0} - \rho_{m0}|$ . Если эта величина меньше заданного  $\epsilon$ , радиус найден, если нет, то высота (или угол) в обратном ходе изменяется в  $\rho_{m0}/\rho'_{m0}$  раз и снова через  $P_2$  обчисляется луч и определяется  $\rho'_{m1}$ . Опять сравнивается  $|\rho'_{m1} - \rho_{m0}|$  с  $\epsilon$ . Если условие «меньше» не выполнено, снова меняется высота (угол) на входе в  $\rho_{m0}/\rho'_{m1}$  раз и процесс повторяется.

6. После того как радиусы голограммы в прямом и обратном ходе совпали с заданной точностью  $\epsilon$ , проверяется, соответствует ли найденный радиус истинному, т. е. равна ли разность оптических длин путей полученного осевого луча, деленная на длину волны света, заданному порядку интерференции  $m$ . Если нет, то теперь меняется высота на входе системы в  $\Delta L_m/\Delta L_m^{\text{тек}}$  раз ( $\Delta L_m$  — нужная разность оптических длин,  $\Delta L_m^{\text{тек}}$  — полученная на предыдущем шаге).

7. Процесс в пп. 3—6 повторяется до тех пор, пока  $|\Delta L_m - \Delta L_m^{\text{тек}}|$  не станет меньше  $\delta$  (в наших расчетах  $\delta = 10^{-5}\lambda$ ); вычислительный радиус голограммы является искомым.

8. Порядок интерференции  $m$  увеличивается на 1. Нулевая высота на входе — последнее ее значение в предыдущем расчете. Все остальное повторяется в соответствии с пп. 3—7. Расчет радиусов голограммы выполняется до  $m = M$ .

Алгоритм, приведенный в настоящем сообщении, был реализован в программах на ЕС-1033 и применен в практических расчетах голограмм. Решения задачи на ЕС-1033 показали высокую скорость расчета радиуса осевых голограмм: например, определение параметров голограммы на шестой поверхности оптической системы, состоящей из восьми поверхностей, заняло 2 мин 54 с процессорного времени на 740 радиусов, т. е. среднее время расчета одного радиуса 0,23 с при точности расчета  $10^{-5}\lambda$ . Использование других методов, например [5], требуют значительно больше времени, по крайней мере на порядок. Приведенный алгоритм пригоден для расчета голограммных оптических элементов с монотонно возрастающим эйконалом, например, для голограммы, нанесенной на произвольную поверхность (плоскую, сферическую, асферическую) в оптических системах с поверхностями всех известных на сегодня типов. Голограмма может быть многоуровневой, в частности бинарной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Циглер Ю. Н. Об одном методе расчета синтезированных голограмм // Автометрия.— 1987.— № 4.
2. Хузин Ф. Г., Циглер Ю. Н. Упрощенные формулы расчета хода лучей через центрированные оптические системы, содержащие голограммные элементы // Автометрия.— 1987.— № 4.
3. Feder D. P. Optical calculations with automatic computing machinery // JOSA.— 1951.— 44, N 9.— P. 630.
4. Слюсарев Г. Г. Методы расчета оптических систем.— Л.: Машиностроение, 1969.
5. Ган М. А. Теория и методы расчета голограммных и киноформных оптических элементов: Метод. пособие.— Л.: ГОИ, 1984.

*Поступило в редакцию 18 января 1989 г.*

УДК 621.373.824 : 315.61

Ю. А. БЫКОВСКИЙ, В. Г. ЖЕРЕГИ, Ю. Н. КУЛЬЧИН, В. Л. СМІРНОВ  
(Москва)

## ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ СОГЛАСОВАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ВОЛНОВОДНОМ ТРАКТЕ

Возможность передачи и обработки оптических сигналов в волноводном тракте позволяет создавать устройства оптической обработки информации (ООИ), имеющие высокую надежность, помехозащищенность, малые габариты [1, 2]. Вызванным направлением развития волноводных процессоров является разработка чисто волноводных способов когерентно-оптической обработки аналоговых сигналов [3]. Однако