

И.В. Измайлов, А.Л. Магазинников, Б.Н. Пойзнер

**ЛАЗЕРНЫЙ ПУЧОК В КОЛЬЦЕВОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ:
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ**

Томский государственный университет

Поступила в редакцию 27.09.99 г.

Математической моделью процессов в нелинейном кольцевом интерферометре служит система обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздыванием. Сделан расчет границ областей устойчивости. На основе построенной бифуркационной диаграммы, фазового портрета и Фурье-спектра идентифицирована нелинейная динамика структурообразования в поперечном сечении пучка.

В данной статье продолжены исследования сложной динамики в модели процессов структурообразования. Эти процессы имеют место в поперечном сечении лазерного пучка, распространяющегося в нелинейном кольцевом интерферометре (НКИ), содержащем несколько керровских сред, оптические поля в которых взаимосвязаны [1]. Особенностью данной модели является возможность учесть запаздывание T оптического поля в контуре обратной связи интерферометра. Эта возможность отмечалась авторами работы [2], но специально не исследовалась. В практическом плане представляет интерес выяснить совместное влияние нелинейности K , запаздывания T и поворота на угол Δ оптического поля в контуре обратной связи интерферометра на динамику процессов структурообразования. Это актуально в связи с применением НКИ в адаптивной атмосферной оптике [3].

Согласно [2] поворот оптического поля на угол $\Delta = 2\pi/N$, где N – число контуров обратной связи в интерферометре [1, рис. 2]. Для $\Delta = 120^\circ$ ($N = 3$) динамику нелинейной фазовой модуляции в кольцевом интерферометре описывают три уравнения:

$$\tau \, du_j(t)/dt + u_j(t) = K[1 + \gamma \cos(u_i(t - T))],$$

где $j = 1, 2, 3$; $i = 2, 3, 1$; $u_j(t) > 0$ – фазовый набег в j -м канале; τ – время релаксации; T – время запаздывания; K – параметр нелинейности; γ – контрастность.

Решение уравнения производилось методом Рунге–Кутты 4-го порядка. Анализ на устойчивость стационарных решений позволил построить бифуркационные диаграммы на плоскости: стационарные решения u_{1*} – параметр нелинейности K с учетом нормированного времени запаздывания $\nu = T/\tau$, где τ – время релаксации нелинейной части показателя преломления (рис. 1).

Сопоставление бифуркационной диаграммы со случаем, когда $\nu = 0$, приводит к следующим выводам.

1) Запаздывание поля ν внутри кольцевого интерферометра вызывает появление и/или смещение (вдоль оси K) бифуркаций устойчивости стационарных состояний. Но запаздывание не влияет на расположение стационарных состояний в структуре бифуркационной диаграммы.

2) Когда запаздывание поля ν растет, количество устойчивых стационарных состояний уменьшается, а размеры интервалов значений параметра нелинейности, при ко-

торых имеет место потеря устойчивости стационарных состояний, увеличиваются.

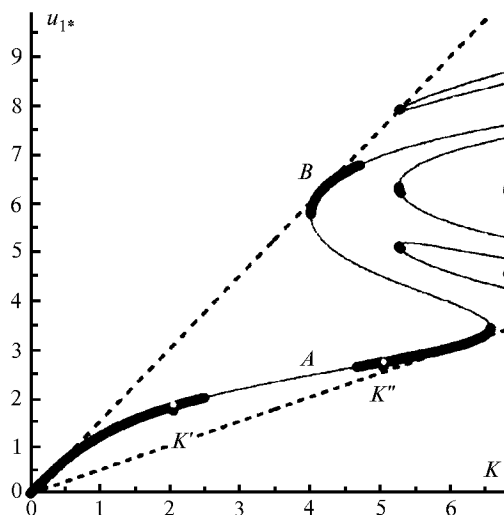


Рис. 1

Рассмотрим интервал значений параметра нелинейности K (от 0 до 6,62), когда все u_j одинаковы, т.е. в поперечном сечении лазерного пучка генерируется структура типа моностабильность. Действие запаздывания ν выражается в появлении неустойчивого состояния на нижней ветви A при значениях величины $\nu = 0,44$ (см. рис. 1). Расстояние вдоль оси K между возникшей таким образом парой бифуркаций устойчивости увеличивается с ростом ν . Этот рост ограничен значениями $K' = 2,05$ и $K'' = 5,07$, приближение к которым бифуркационного параметра K происходит асимптотически с увеличением ν .

Установлено, что потеря устойчивости стационарного состояния сопровождается возникновением устойчивого предельного цикла, т.е. имеет место бифуркация Андронова–Хопфа [4]. С увеличением бифуркационного параметра K на нижней ветви A имеет место лишь периодическое движение без бифуркаций удвоения периода. Аналогичные переходы от стационарного состояния к предельному циклу (бифуркация Андронова–Хопфа) и обратно наблюдаются также на участках диаграммы B , расположенной выше

ветви A и соответствующей тому же типу состояния, когда все u_j одинаковы. Однако здесь с увеличением бифуркационного параметра K появляется последовательность бифуркаций удвоения периода. Кроме того, на ветви B

наблюдаются окна периодичности, т.е. появляются более простые периодические движения. Поэтому можно констатировать, что с переходом на ветвь B бифуркационной диаграммы характер динамики усложняется.

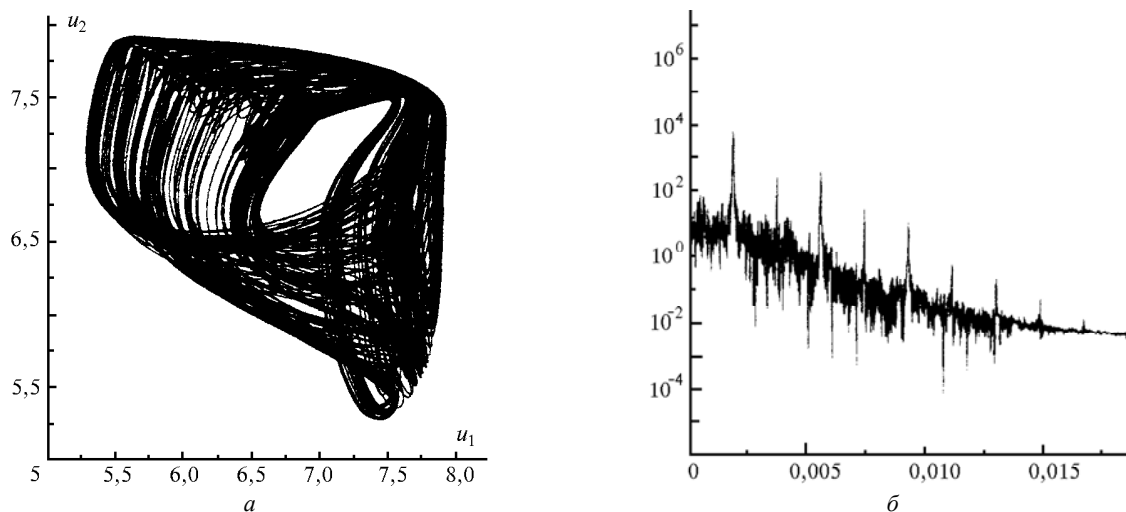


Рис. 2

Выяснить особенности сложного движения помогают взятые в совокупности фазовый портрет на плоскости (u_1, u_2) и временной энергетический Фурье-спектр. Они изображены на рис. 2, соответственно, при $\Delta = 120^\circ$ и $K = 5,3$. В литературе принято судить о степени хаотичности движения по наличию либо отсутствию ярко выраженных узких пиков (максимумов) в спектре частот. Если движение периодически, то его Фурье-спектр имеет ряд узких пиков. С приближением к хаотическому режиму в спектре появляется непрерывное распределение частот [4]. Если руководствоваться этими признаками, то на основании выполненного моделирования можно заключить, что хаотизацию вызывают как рост параметра нелинейности K , так и уменьшение угла поворота Δ .

Изложенные выше результаты изучения бифуркационного и хаотического поведения процессов структурообразования в НКИ с запаздыванием можно использовать при разработке и оптимизации устройств адаптивной атмосферной оптики, рассматриваемых в [3].

1. Аршинов А.И., Мударисов Р.Р., Поизнер Б.Н. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 2. С. 249–253.
2. Akhmanov S.A., Vorontsov M.A., Ivanov V.Yu., et al. // J. Opt. Soc. Am. B. 1992. V. 9. N 1. P. 78–90.
3. Лукин В.П. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 1–2. С. 280–290.
4. Мун Ф. Хаотические колебания. М.: Мир, 1990. 312 с.

I.V. Izmailov, A.L. Magazinnikov, B.N. Poizner. Laser Beam in Ring Interferometer with Delay: Simulation of Structurization.

System of the ordinary differential equations with retarded argument serves as the mathematical model of processes in nonlinear ring interferometer. Computation of stability domains boundaries has been performed. Based on the bifurcation diagram, phase pattern, and the Fourier spectrum, the identification of nonlinear dynamics of optical structures formation in cross section of laser beam is realized.