

УДК 535.8:535.1:535.548

## К применению адаптивного фазоконтрастного метода с нелинейными фильтрами

Е.Л. Бубис, С.А. Гусев, И.Е. Кожеватов, В.О. Мартынов, А.Н. Степанов

*Рассмотрены некоторые вопросы применения адаптивного фазоконтрастного метода с нелинейными фильтрами Цернике для визуализации газовых микропотоков и регистрации слабого поглощения оптического излучения. Проведено численное моделирование качества визуализированного изображения прозрачных объектов и структур.*

PACS: 07.60.-j

Ключевые слова: нелинейная оптика, тепловое самовоздействие, фазовый контраст.

### Введение

Адаптивный фазоконтрастный метод с фототермическими фильтрами широко используется для визуализации (детектирования) неоднородностей среды (см., например, [1–6] и имеющиеся там ссылки).

В данной работе рассмотрена возможность применения данного метода для визуализации газовых микропотоков и регистрации слабого поглощения жидкостей и газов. Близкие вопросы с использованием фазоконтрастных систем с линейными фильтрами описаны в [7–9]. Важным преимуществом схем с использованием нелинейных фильтров является их адаптивность и, соответственно, их устойчивость к уходам освещающего лазерного пучка и вибрациям установки.

### Исследование нелинейного метода Цернике

В эксперименте по визуализации газового микропотока применялась однолинзовая схема формирования изображения с нелинейным (фототермическим) фильтром, расположенным в фокальной плоскости объектива [1–5]. В качестве освещающего объекта источника излучения использовался одномодовый по поперечной структуре He–Ne-лазер мощностью 10 мВт. При расчете процесса визуализации рассматривался случай переноса изображения из  $2f$  в  $2f$  аналогич-

но [3]. Для расчета выходного поля использовался дифракционный интеграл Френеля–Кирхгофа в параксиальном приближении. Исследовались схемы, использующие фототермические фильтры Цернике с продольным и поперечным теплоотводом [1].

На рис. 1 представлены результаты численных расчетов по визуализации фазовой полоски разной ширины (широкая полоска имеет размер 400 мкм, самая узкая – 30 мкм) с глубиной модуляции  $0,1\pi$  при использовании тепловой ячейки с поперечным теплоотводом с  $\theta_z = \pi/2$ .

Из представленного рисунка следует, что при визуализации присутствует процесс усиления краев, зарегистрированный экспериментально ещё в [2], но при этом качество изображения остается хорошим.

Ранее в [9] была описана фазоконтрастная схема с линейными фильтрами для измерения слабого оптического поглощения в чистых жидкостях. Недостатком этой схемы была сложность настройки. На рис. 2 представлены результаты численного моделирования подобной схемы, но уже с нелинейной (фототермической) ячейкой Цернике. Конкретно, здесь отражены результаты расчета визуализации для двух случаев:

а) нестационарный нагрева среды круглым пучком с радиусом 0,1 см;

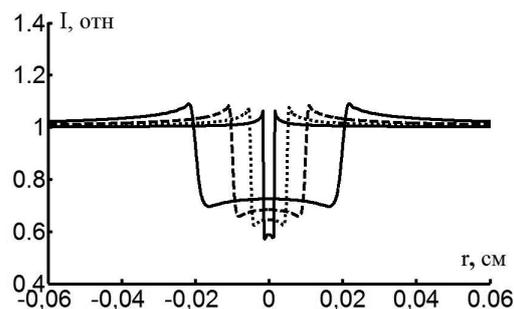


Рис. 1. Визуализации фазовой полоски разной ширины

Бубис Евгений Львович, старший научный сотрудник.  
Гусев Сергей Александрович, ведущий научный сотрудник.  
Кожеватов Илья Емельянович, ведущий научный сотрудник.

Мартынов Виталий Олегович, магистрант.  
Степанов Андрей Николаевич, заведующий лабораторией.  
Институт прикладной физики РАН.  
Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46.  
E-mail: bel@appl.sci-nnov.ru

Статья поступила в редакцию 10 июля 2013 г.

© Бубис Е.Л., Гусев С.А., Кожеватов И.Е., Степанов В.О., 2013

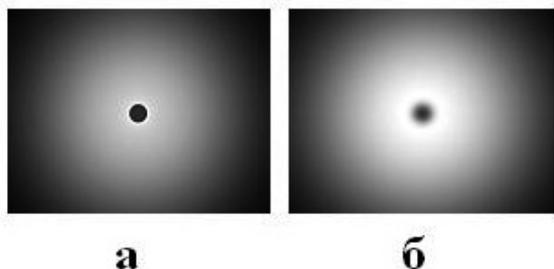


Рис. 2. Численное моделирование фазоконтрастной схемы с нелинейной ячейкой Цернике

б) нагрев гауссовым пучком шириной 0,1 см, создающим набег фазы, с глубиной модуляции 0,1 и при использовании тепловой ячейки со сдвигом фазы  $\pi/2$ .

Как и в предыдущем случае, при просвечивании жидкости пучком с резкими краями появляется некоторое усиление краев, что, однако, не мешает процессу измерения при существенном упрощении процесса настройки и менее чувствительностью к уходам установки.

Фазоконтрастные схемы были продемонстрированы также для визуализации газовых потоков [8]. На рис. 3, а представлены визуализированные изображения газового микропотока в воздухе шириной 1 мм. На рис. 3, б представлены результаты численного моделирования схеме с мощностью падающего пучка, обеспечивающего наилучший контраст. Размер падающего пучка 1 см, размер объектов 0,2 см, величина фазовой модуляции у объектов 0,1 рад.

### Заключение

В данной работе показано, что фазоконтрастные схемы с использованием фототермических фильтров Цернике хорошо работают при задачах визуализации газовых микропотоков и регистра-

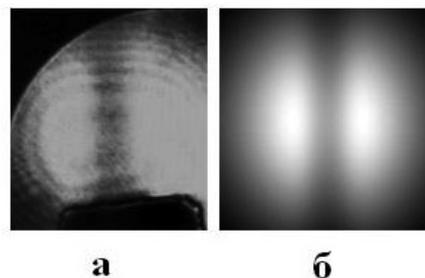


Рис. 3. Фазоконтрастные схемы для визуализации газовых потоков

ции слабого поглощения оптического излучения. Однако для учета небольших искажений требуются предварительные расчеты из-за различия пространственных спектров прозрачных объектов с плавными и резкими краями.

### Литература

1. Бубис Е.Л., Гусев С.А., Кожеватов И.Е., Мартынов В.О. и др. // Прикладная физика. 2012. № 5. С. 16
2. Бубис Е.Л. // Квант. электр. 2011. Т. 41. № 6. С. 568
3. Бубис Е.Л., Матвеев А.З. // Квант. электр. 2012. Т. 42. № 4. С. 361
4. Бубис Е.Л., Гусев С.А., Кожеватов И.Е., Мартынов В.О. // ПТЭ. 2012. № 5. С. 88
5. Trevino-Palacios C.G., Iturbe-Castillo M.D., Sanchez-de-la-Llave et al. // Appl.Opt. 2003. V. 42. P. 5091
6. Pavlov A, Pavlov A, Golubev M. // 16-th Int Symp on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, 2012.
7. Давыденко В.И., Иванов А.А., Вайсен Г. Экспериментальные методы диагностики плазмы. Лекции, Часть 1. — Новосибирск: НГУ, 1999.
8. Roland C. Anderson and Steven Lewis // Appl.Opt. 1985. V. 24. No. 22. P. 3687
9. Бабин А.А., Бубис Е.Л., Ложкарев В.В. и др. // Квант. электрон. 1998, Т. 25. № 8. С. 758

## Using the adaptive phase contrast method with nonlinear filters

*E.L. Bubis, S.A. Gusev, I.E. Kozhevato, V.O. Martynov, and A.N. Stepanov*

Institute of Applied Physics  
46 Ul'yanov str., Nizhny Novgorod, 603950, Russia  
E-mail: bel@appl.sci-nnov.ru

***Certain questions of medium inhomogeneities and gas microflows detection by the phase contrast method with Zernike photothermal cell are considered. Results of numerical simulation are shown.***

PACS: 07.60.-j

Keywords: nonlinear optics, thermal self-action, phase contrast.

Bibliography — 9 references

Received July 10, 2013