

УДК 53.087.45: 532.51

В.А. Арбузов<sup>1,2</sup>, Н.А. Дворников<sup>2</sup>, В.Г. Нечаев<sup>1</sup>, О.Н. Новоселова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, Россия,  
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, E-mail: rector@nstu.ru

<sup>2</sup> Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Россия,  
630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, E-mail: aleks@itp.nsc.ru

## ПОЛИХРОМАТИЧЕСКАЯ ГИЛЬБЕРТ-ДИАГНОСТИКА ЭВОЛЮЦИИ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ВИХРЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ДИФРАКЦИИ ФРОНТА ДАВЛЕНИЯ НА ОТВЕРСТИИ

Рассматривается формирование и эволюция распространения газодинамических тороидальных вихревых структур, попарно возникающих и распространяющихся в противоположных направлениях при различных значениях давления в газовой камере. В работе для регистрации вихрей внутри и снаружи камеры применялась цветная гильберт-фильтрация некогерентного оптического поля, возмущенного исследуемой вихревой структурой. Использовался цветной гильберт-визуализатор оптических неоднородностей в реальном времени на базе теневого прибора с полихроматическим целевым источником света, согласованным с квадрантным фазовым фильтром, и цифрового фотоаппарата, управляемого с помощью компьютера.

ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОТОКОВ, ГИЛЬБЕРТ-ОПТИКА, КОЛЬЦЕВЫЕ ВИХРИ

### ВВЕДЕНИЕ

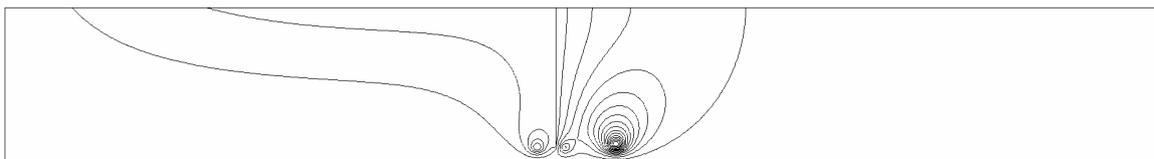
Визуализация полей оптической плотности широко применяется для изучения структурных характеристик потоков газовых и конденсированных сред [1]. Один из основных методов исследования оптических неоднородностей является теневой метод, основанный на выявлении отклонения световых волн в изучаемой среде и, соответственно, распределения градиента показателя преломления. В работе в качестве объекта исследования рассматривается турбулентное течение газа, известное в гидродинамике как вихревое кольцо.

### МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

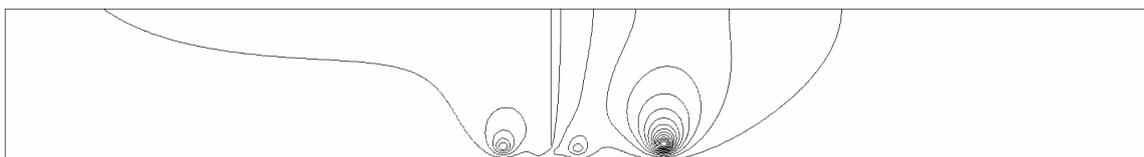
Численное моделирование динамических вихревых структур при внезапной разгерметизации отверстия ( $\varnothing 24$  мм) с повышенным давлением газа выполнялось на основе нестационарных уравнений Навье–Стокса для ламинарного осесимметричного сечения.

Давление во внешней среде  $P = 101325$  Па, температура воздуха 300 К, начальный перепад давления  $\Delta P$  принимал значение 62 Па. На рисунках представлены расчетные линии

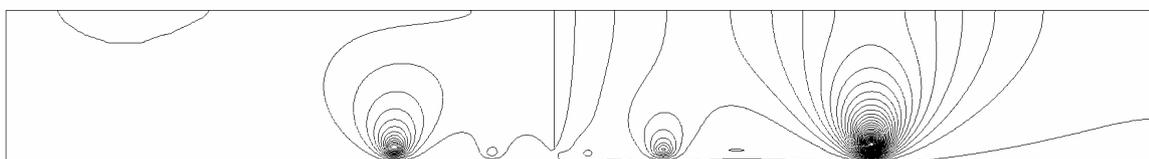
тока, которые определялись по соотношениям  $\frac{\partial \psi}{\partial r} = \rho ur$ ,  $\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\rho vr$ .



Линии тока. 62 Паскалей, 0.02224 сек. Справа прямой вихрь, слева обратный



Линии тока. 62 Паскалей, 0.04 сек. Справа прямой вихрь, слева обратный



Линии тока. 62 Паскалей, 0.12 сек. Справа прямой вихрь, слева обратный

Отличия в скорости движения прямого и обратного вихрей от экспериментальной может быть обусловлена тем, что давление в расчете задается внутри полости, которая разгерметизируется, а в эксперименте давление измеряется на выходе из отверстия, на котором образуется вихрь, при этом реальное давление в полости может быть выше, чем давление в отверстии.

В эксперименте для визуализации вихрей внутри и снаружи камеры использовалась цветная гильберт-фильтрация некогерентного оптического поля, возмущённого исследуемой вихревой структурой.

Оптическая схема экспериментальной установки на базе интерференционно-теневого прибора ИАБ-463М приведена на рис.1. В этой установке визуализация слабых возмущений оптической плотности при низких перепадах давления осуществлялась методами оптической гильберт-диагностики с использованием модифицированной системы оптической фильтрации в сочетании с «точечным» и щелевым источниками освещения. Поле зрения оптической системы ИАБ-463М имеет диаметр 400 мм. Регистрация тенеграмм выполнялась зеркальным цифровым фотоаппаратом Canon 350 с выдержкой 250 мкс.

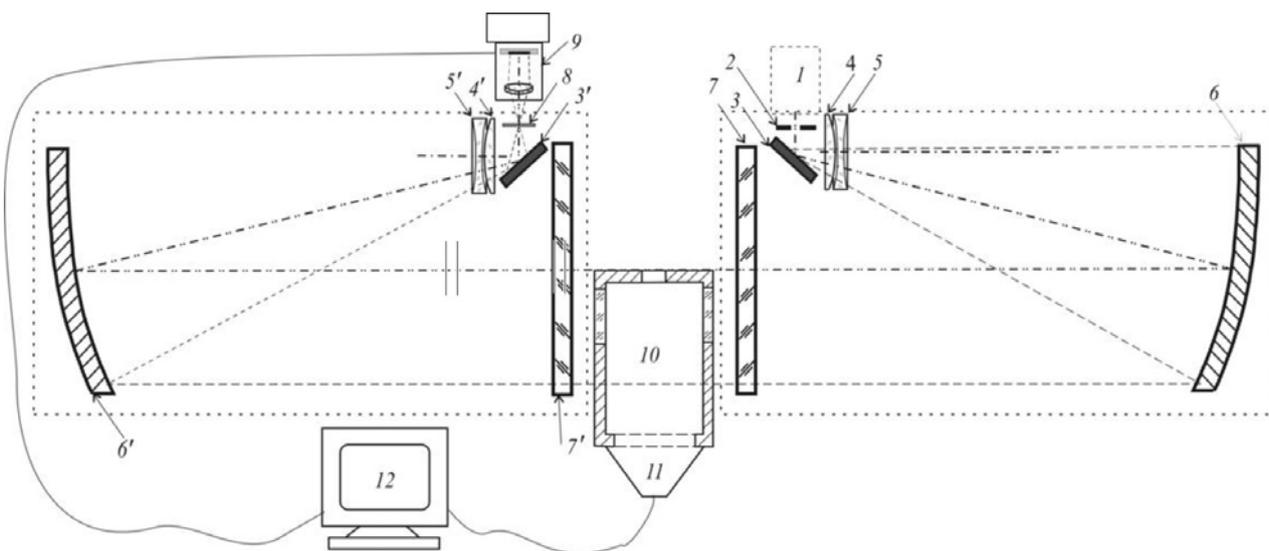


Рис.1. Схема экспериментальной установки на основе теневого устройства ИАБ-463М

На рисунке цифрами обозначены: 1 – осветительный узел; 2 – регулируемая щелевая диафрагма; 3, 3' – диагональные зеркала; 4, 5 и 4', 5' – элементы афокальных компенсаторов; 6, 6' – сферические коллиматорные зеркала; 7, 7' – защитные плоскопараллельные стекла коллиматоров; 8 – полуволновый квадрантный фазовый фильтр Гильберта; 9 – цифровой фотоаппарат; 10 – генератор вихревых колец; 11 – электродинамический генератор акустических сигналов; 12 – персональный компьютер.

На рис. 2 показана упрощённая оптическая схема, реализованная на базе теневого прибора ИАБ–463М, реализация оптических процессов, выполняющих одномерное некогерентное преобразование Фуко-Гильберта.

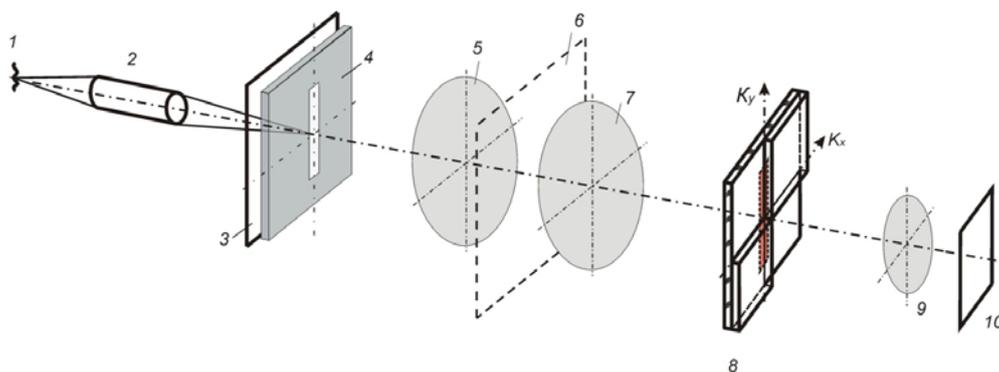


Рис. 2. Оптическая схема цветного гильберт–визуализатора оптической плотности в некогерентном свете

На рисунке цифрами обозначены: 1 – некогерентный источник света; 2 – конденсор; 3, 4 – щелевая диафрагма; 5 – коллиматорный объектив; 6 – исследуемая среда; 7 – фурье–объектив; 8 – квадрантный фазовый фильтр Гильберта; 9 – объектив, выполняющий обратное фурье–преобразование; 10 – регистратор фильтрованного изображения исследуемой структуры.

Градиент оптической плотности в газовой камере создавался с помощью паров этилового спирта. На рис.3 представлен «треугольный» вид импульсного сигнала подаваемого на электродинамический генератор акустических сигналов. На рис.4 представлена динамика изменения давления на отверстии газовой камеры.

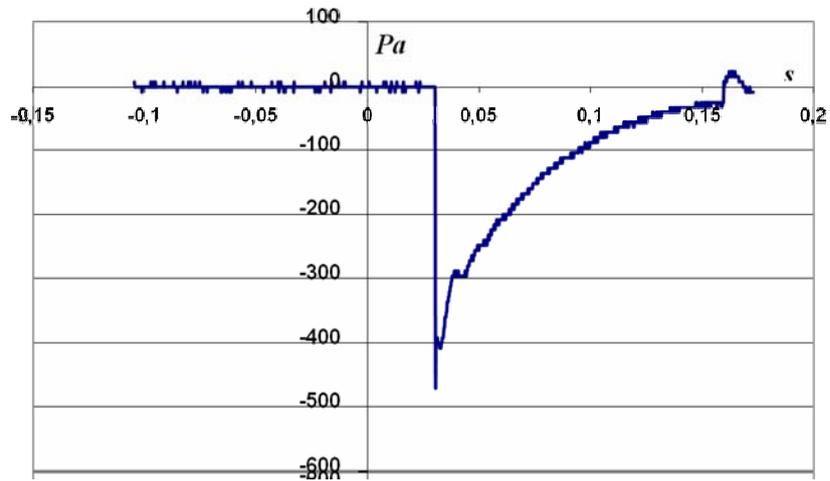


Рис.3. График электрического сигнала «треугольной» формы

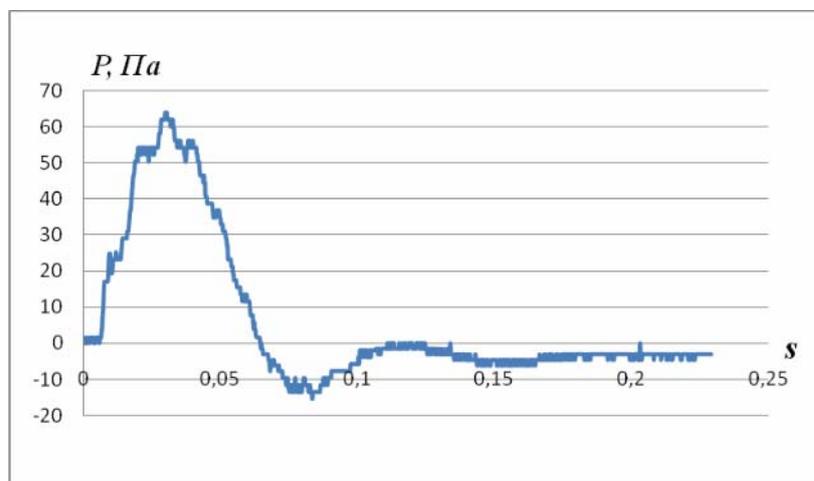


Рис.4. Динамика изменения давления на отверстии газовой камеры

Формирование и эволюцию комплементарных вихревых колец, индуцированных скачком давления иллюстрируют рис. 5 (положительный скачок давления  $\sim 62$  Па) и рис. 6 (отрицательный скачок давления  $\sim 62$  Па).

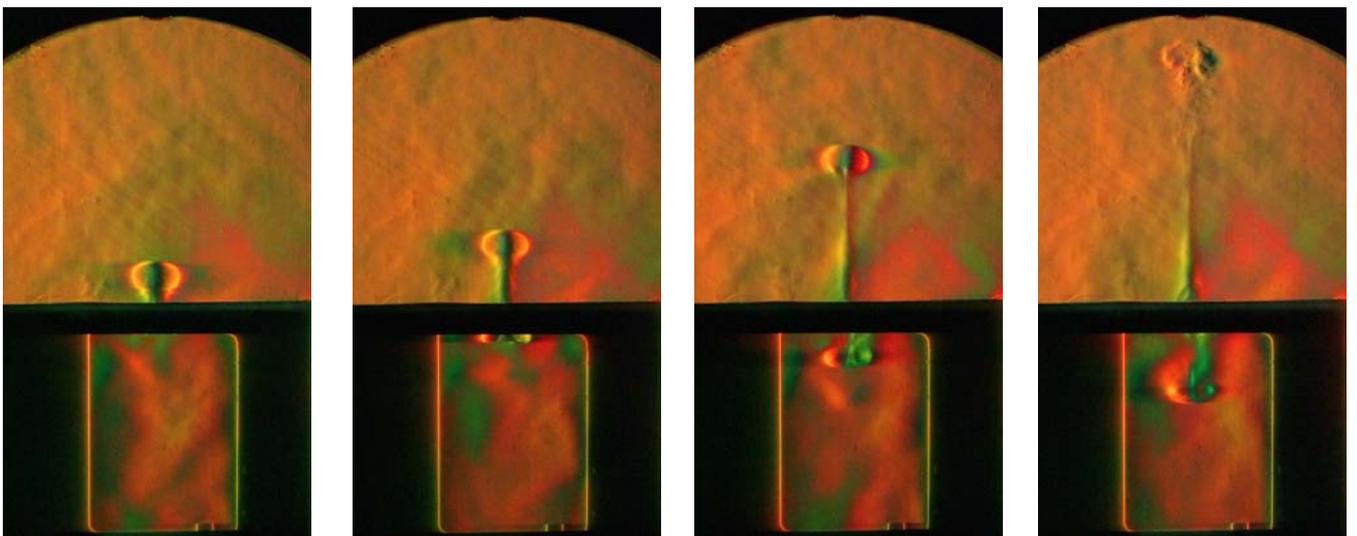


Рис. 5. Эволюция вихревых структур при положительном скачке давления на отверстии (62 Па)

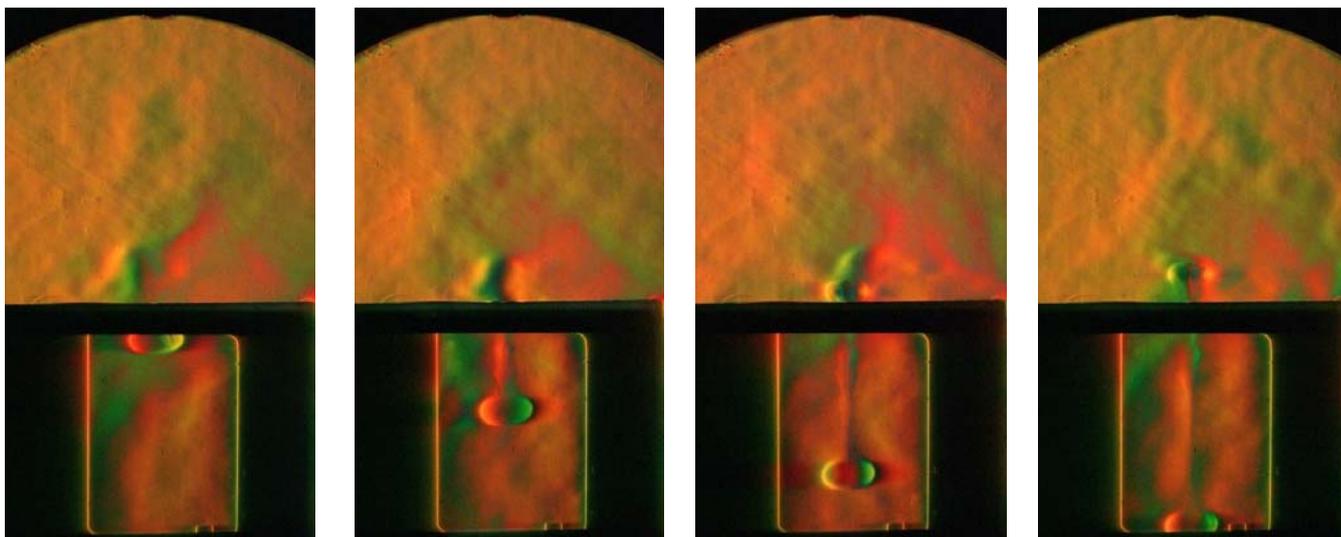


Рис. 6. Эволюция вихревых структур при отрицательном скачке давления на отверстии (62 Па)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод с пространственным квадрантным фильтром Гильберта имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами. Отличительные особенности метода гильберт-визуализации с квадрантным фазовым фильтром: высокая чувствительность; цветная визуализация; полное использование энергии сигнала; широкое поле зрения серийного теневого прибора ИАБ-463М, используемого для визуализации явления (диаметр  $\varnothing$  400 мм).

Методами гильберт-оптики впервые зарегистрирована динамика зарождения и распространения вихревых структур, попарно возникающих и распространяющихся в противоположных направлениях при формировании избыточного давления в газовой камере. В результате обработки полученных тенеграмм выявлена зависимость скорости распространения вихря от величины избыточного давления в газовой камере.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Ю.Н. Дубнищеву за полезные обсуждения и поддержку. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 11-08-00882, 09-08-00882).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арбузов В.А., Дубнищев Ю.Н.** Методы гильберт-оптики в измерительных технологиях // отв. ред. проф. Ю.В. Чугуй. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 316 с.
2. **Vitaly A. Arbuzov, Yury N. Dubnischev, Nikolay A. Dvornikov, Victor G. Nechaev.** Research by the Hilbert optics methods of the vortical structures arising at diffraction of pressure front on an aperture // The 9th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, 2009, Saint-Petersburg, Russia.

V.A. Arbuzov <sup>1,2</sup>, N.A. Dvornikov <sup>2</sup>, V.G. Nechaev <sup>1</sup>, O.N. Novoselova <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Novosibirsk state technical university, Russia,*

*630092, . Novosibirsk, np. K. Marksa, 20, E-mail: rector@nstu.ru*

<sup>2</sup> *Institute of thermophysics of S.S.Kutateladze of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Russia, 1, Acad. Lavrentyev ave., Novosibirsk, 630090, Russia*

*E-mail: aleks@itp.nsc.ru*

## **POLYCHROMATIC HILBERT-DIAGNOSTICS OF EVOLUTION OF THE RING WHIRLWINDS ARISING AT DIFFRACTION OF FRONT OF PRESSURE UPON THE APERTURE**

*Formation and distribution evolution gas-dynamic the toroidal vortical structures in pairs arising and extending in opposite directions at various values of pressure in the gas chamber is considered. In work the color gilbert-filtration of not coherent optical field revolted with investigated vortical structure was applied to registration of whirlwinds inside and outside of the chamber. The color gilbert-visual analyzer phase objects in real time on the basis of the shadow device with the polychromatic slot-hole light source coordinated with the phase filter, and the digital camera operated by means of the computer was used.*

OPTICAL FLOW DIAGNOSTICS, HILBERT OPTICS, VORTEX RING