

УДК 535.8

**ОПТИЧЕСКАЯ ГИЛЬБЕРТ-ТОМОГРАФИЯ ГАЗОВЫХ СТРУЙ****В.А. Арбузов<sup>1</sup>, Э.В. Арбузов<sup>1,2</sup>, Ю.Н. Дубнищев<sup>1</sup>, О.С. Золотухина<sup>1</sup>,  
В.В. Лукашов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН*<sup>2</sup>*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН*

Методы гильберт-оптики и преобразования сигналов служат основой для современных информационных и измерительных технологий. Физически преобразование Гильберта в частотном пространстве сводится к определенному виду фазовой трансформации фурье-спектра сигнала в широкой полосе частот. В работе на примере исследования изотермического течения струи фреона-22 обсуждается возможность реализации гильберт-томографии. Разработана оптическая система на базе широкоапертурного модернизированного теневого прибора ИАБ-463М, позволяющая выполнять четырехракурсную диагностику исследуемого фазового объекта с использованием зондирующих световых пучков, ориентированных под углами  $0$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi/4$  и  $3\pi/4$  к оптической оси теневого прибора, и одновременно регистрировать на отдельных участках ПЗС-матрицы скоростной камеры все четыре томографические проекции в виде гильберт-изображений. Для нахождения параметров исследуемой среды по данным гильберт-томографии в дальнейшем предлагается использование итерационной схемы Гершберга–Папулиса. Этот алгоритм реконструкции функции по ее данным Радона, полученным при ограниченном числе проекций, заключается в итерационных переходах от оценки функции в фурье-плоскости к ее оценке в пространственной области с корректировкой на основании априорной информации. В результате итерационного процесса спектр восстанавливаемой функции определяется на всей частотной плоскости, что позволяет определить значения искомой функции.

*Ключевые слова:* оптическая томография, метод Гершберга–Папулиса, преобразование Гильберта, невозмущающая диагностика, изотермическое течение, газовая струя.

DOI: 10.17212/1727-2769-2023-3-59-66

**Введение**

Методы оптической томографии нашли широкое применение в диагностике газо- и гидродинамических потоков, плазмы, явлений тепло- и массообмена и т. д. [1–4]. Для получения проекционных данных в оптической томографии обычно используются классические способы регистрации волнового фронта [5, 6].

В работах [7, 8] представлены результаты исследований газовых и реагирующих сред (пламен) методами гильберт-оптики в приближении осевой симметрии объекта визуализации. Гильберт-преобразование – это интегральная операция, выполняющая перераспределение энергии оптического сигнала в заданной полосе пространственных частот зондирующего поля [9]. При этом минимизируются энергетические потери сигнала. Методы гильберт-оптики позволяют визуализировать поля оптической фазовой плотности исследуемой среды в пространстве, заданном структурой зондирующего поля и оценивать, при соответствующей обработке, температурные поля и молярные концентрации продуктов горения.

Целью настоящей работы является развитие оптических томографических технологий в сочетании с гильберт-фильтрацией сигналов на диагностику полей фазовой оптической плотности газовых и реагирующих сред.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН № 121031800217-8, ИМ СО РАН № FWNF-2022-0009.

### 1. Томографический комплекс

На базе теневого прибора [10] ИАБ-463М разработан комплекс, позволяющий выполнять четырехракурсное зондирование исследуемой среды с одновременной регистрацией томографических проекций гильберт-визуализированных фазовых структур (рис. 1).

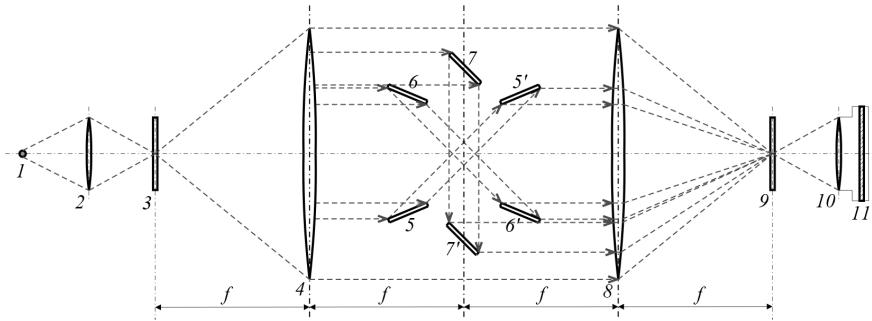


Рис. 1 – Упрощенная оптическая схема гильберт-томографа, выполняющего четырехракурсное зондирование исследуемого фазового объекта

Fig. 1 – A simplified optical setup of the Hilbert tomograph performing four-angle probing of the studied phase object

Комплекс содержит осветительный модуль, состоящий из источника излучения 1, объектива 2 и щелевой диафрагмы 3, помещенной в переднюю фокусно-плоскости объектива 4. В качестве источника излучения используется лазер KLM-532-2000 с подавлением пространственной когерентности. Структура зондирующих световых полей, реализующих 4D томографическую диагностику, образована попарной конфигурацией зеркал 5 и 5', 6 и 6', 7 и 7', габаритные размеры которых 100×15×145 мм, формирующих пучки, ориентированные относительно оптической оси теневого прибора под углами  $\psi_q = \pi(q-1)/4$ , где номер проекции  $q = 1, \dots, 4$ . Фурье-спектр фазовых возмущений, индуцируемых в зондирующих полях объектом исследования, локализуется в частотной плоскости объектива 8, где помещен гильберт-фильтр 9. Объектив 10 преобразует фильтрованное поле в зависимости от спектральных характеристик светового источника в аналитический или гильберт-сопряженный оптический сигнал [7], который регистрируется ПЗС-матрицей скоростной видеокамеры 11.

Выбор технического решения томографа обусловлен возможностью использования большого поля зрения (400 мм) теневого прибора ИАБ-463М для организации четырехракурсной гильберт-диагностики исследуемой среды (рис. 2).

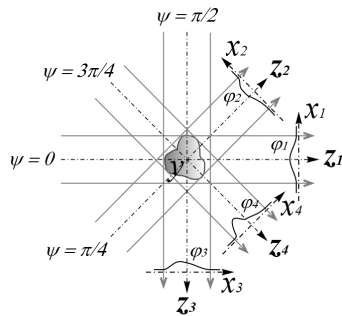


Рис. 2 – Схема зондирования и данные Радона (фазовая структура) для четырех проекций

Fig. 2 – A sounding scheme and Radon data (phase structure) for four projections

Направление оси  $\vec{z}_q$   $q$ -й проекции совпадает с направлением зондирующего светового пучка. По оси  $\vec{x}_q$  задаются аргументы проекций Радона [11]. Исследуемое сечение расположено по нормали к общей для всех проекций оси  $\vec{y}$ .

Фазовые структуры зондирующих световых полей в каждой проекции будут определяться как

$$\Delta\varphi_q(x_q, y) = \frac{2\pi}{\lambda} \int_{z'}^{z''} [n(x_q, y, z_q) - n_\infty] dz_q,$$

где  $\lambda$  – длина волны источника излучения;  $n(x_q, y, z_q)$  – показатель преломления неоднородности в точке;  $(x_q, y, z_q)$   $n_\infty$  – показатель преломления невозмущенной среды;  $z'$  и  $z''$  – точки входа и выхода луча из объекта для определенной проекции.

В результате на выходе оптической системы для каждой  $q$ -й проекции в точке  $x_q^*$  формируется изображение гильбертограммы:

$$H[\Delta\varphi_q](x_q^*) = \left\{ \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\cos[\Delta\varphi_q(x_q, y)]}{x_q^* - x_q} dx_q \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin[\Delta\varphi_q(x_q, y)]}{x_q^* - x_q} dx_q \right\}^2.$$

На рис. 3 представлен пример гильберт-визуализации изотермического течения струи фреона-22, вытекающей из трубки эллиптического сечения в неподвижный воздух, где последовательно показаны боковая проекция струи  $\psi = \pi/2$ , проекция для  $\psi = 3\pi/4$ , фронтальная проекция  $\psi = 0$  и проекция под углом  $\psi = \pi/4$ .

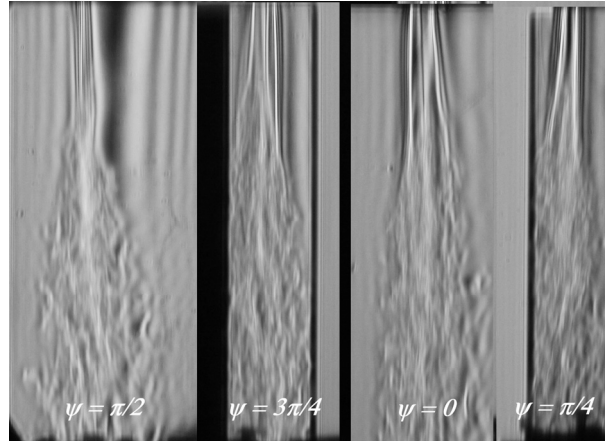


Рис. 3 – Четырехракурсная гильберт-визуализация изотермического течения струи фреона-22, вытекающей из трубки эллиптического сечения

Fig. 3 – Four-angle Hilbert visualization of the isothermal flow of a freon-22 jet flowing out of an elliptical tube

## 2. Итерационный алгоритм Гершберга–Папулиса

Восстановление значения фазовой функции  $\Delta\Phi$  и, соответственно, показателя преломления  $n$  исследуемой среды по четырем проекциям гильберт-изображений сводится к решению задачи сверхмалоракурсной томографии, где необходимо применять итерационные алгоритмы, использующие максимум априорной информации об объекте [12]. Одним из наиболее популярных методов является итерационная схема Гершберга–Папулиса [13–15], которую можно представить как итерационные переходы от оценки объекта в спектральной плоскости к его оценке в пространственной области с внесением в процессе их выполнения априорной информации о каждой из областей. В результате необходимо выполнить следующие операции.

1. По известным данным Радона вычисляются одномерные фурье-образы, таким образом определяется функция  $S_q$ , равная значениям двумерного преобразования Фурье от искомой функции на направлениях, соответствующих углам проекций, и равная нулю в остальных точках фурье-плоскости.

2. Определяется начальное приближение  $n_0$ : выполняется обратное двумерное преобразование Фурье от функции  $S_q$  и вносится априорная информация о положительности показателя преломления  $n$  и ограниченности области его задания (применяется оператор  $C_q$ ).

3. Выполняется двумерное преобразование Фурье от начального приближения, и значения спектра на направлениях, соответствующих углам проекций, заменяются значениями, вычисленными на шаге 1.

4. Выполняется обратное двумерное преобразование Фурье от полученной на предыдущем шаге функции и к результату применяется оператор  $C_q$ .

5. Проверяются критерии окончания итерационной процедуры. Если они не выполняются, то повторяются шаги 3, 4. Критериями окончания итерационной процедуры могут быть малость нормы отклонения полученной функции от ее значений на предыдущем шаге; равенство нормы отклонения фурье-спектра полученной функции на направлениях, соответствующих углам проекций, норме шума в данных Радона (критерий невязки).

Таким образом, итерационный алгоритм Гершберга–Папулиса можно представить как

$$\Phi^0 = S_q, \quad n^0 = C_q F^{-1}[\Phi^0],$$

$$\Phi^{i+1} = S_q + F^{+1}[n^i](1 - H_q),$$

$$n^{i+1} = C_q F^{-1}[\Phi^{i+1}],$$

$F^{+1}$  и  $F^{-1}$  – операторы прямого и обратного двумерных преобразований Фурье,  $H_q$  – характеристическая функция направлений для  $q$  проекций:  $H_q(K_x, K_y) = 1$  при  $K_y = K_x \operatorname{tg} \psi_q$  и  $H_q(K_x, K_y) = 0$  при  $K_y \neq K_x \operatorname{tg} \psi_q$ , где  $K_x$  и  $K_y$  – пространственные частоты.

В результате многократного выполнения операций с третьей по пятую реконструируется функция показателя преломления.

### Заключение

В работе рассматривается метод малоракурсной гильберт-томографии полей фазовой оптической плотности на примере неосесимметричного струйного течения газа. Оптическая система, выполненная на базе модернизированного теневого прибора ИАБ-463М, позволяет выполнять четырехракурсное зондирование исследуемого объекта с одновременной регистрацией томографических проекций в виде гильберт-изображений. Выбор технического решения томографа обусловлен возможностью использования большого поля зрения (400 мм) теневого прибора ИАБ-463М. Приведены экспериментально полученные гильбертограммы газовой струи фреона-22, вытекающей из трубки эллиптического сечения в неподвижный воздух. Для восстановления требуемых параметров в исследуемых объектах по данным гильберт-томографии в дальнейшем предлагается использование итерационного метода Гершберга–Папулиса, который является перспективным для восстановления томограмм при сверхмалом числе проекций.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Yang W.Q., Liu S.** Role of tomography in gas/solids flow measurement // *Flow Measurement and Instrumentation*. – 2000. – Vol. 11 (3). – P. 237–244. – DOI: 10.1016/S0955-5986(00)00023-6.
2. Measurement of fluid-flow-velocity profile in turbid media by the use of optical Doppler tomography / X. Wang, T.E. Milner, Z. Chen, J.S. Nelson // *Applied Optics*. – 1997. – Vol. 36 (1). – P. 144–149. – DOI: 10.1364/AO.36.000144.
3. **Bulba A.V.** Application of optical tomography for the research of dusty plasma structures // *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 2011. – Vol. 39 (11). – P. 2728–2729. – DOI: 10.1109/TPS.2011.2140133.
4. Tomography-based pore level analysis of combined conductive-radiative heat transfer in an open-cell metallic foam / C. Fan, X.-L. Li, X.-L. Xia, C. Sun // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2020. – Vol. 159. – P. 120122. – DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120122.
5. Optical tomography of phase objects by holographic interferometry / H. Philipp, T. Neger, H. Jäger, J. Woisetschlager // *Measurement*. – 1992. – Vol. 10 (4). – P. 170–181. – DOI: 10.1016/0263-2241(92)90026-Z.
6. **Терещенко С.А.** Трансмиссионная томография пропорциональных рассеивающих сред // *Журнал технической физики*. – 2008. – Т. 78 (7). – С. 69–75.
7. Hilbert-optic diagnostics of hydrogen-oxygen inverse diffusion flame / V.A. Arbuzov, E.V. Arbuzov, Yu.N. Dubnischev, O.S. Zolotukhina, V.V. Lukashov, A.V. Tupikin // *Energies*. – 2022. – Vol. 15 (24). – P. 9566. – DOI: 10.3390/en15249566.
8. Полихроматическая диагностика пламени с гильберт-верификацией визуализированной фазовой структуры / Ю.Н. Дубнищев, В.А. Арбузов, Э.В. Арбузов, О.С. Золотухина, В.В. Лукашов // *Научная визуализация*. – 2021. – № 13 (4). – С. 1–8.
9. **Дубнищев Ю.Н.** Теория и преобразование сигналов в оптических системах. – СПб.: Лань, 2011. – 368 с.
10. **Васильев Л.А.** Теневые методы. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
11. **Левин Г.Г., Вишняков Г.Н.** Оптическая томография. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
12. **Пикалов В.В., Мельникова Т.С.** Низкотемпературная плазма. Т. 13. Томография плазмы. – Новосибирск: Наука, 1995. – 229 с.
13. **Papoulis A.** A new algorithm in spectral analysis and band-limited extrapolation // *IEEE Transactions on Circuits and Systems*. – 1975. – Vol. 22 (9). – P. 735–742.
14. **Пикалов В.В., Казанцев Д.И.** Свойства регуляризованного алгоритма Гершберга–Папулиса в задаче всеерной томографии // *Вычислительные технологии*. – 2008. – Т. 13 (6). – С. 121–133.
15. **Pickalov V.V., Kazantsev D.I.** New iterative reconstruction methods for fan-beam tomography // *Inverse Problems in Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 26 (2). – P. 773–791. – DOI: 10.1080/17415977.2017.1340946.

## OPTICAL HILBERT TOMOGRAPHY OF GAS JETS

Arbuzov V.A.<sup>1</sup>, Arbuzov E.V.<sup>1,2</sup>, Dubnishchev Yu.N.<sup>1</sup>, Zolotukhina O.S.<sup>1</sup>,  
Lukashov V.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Hilbert-optics and signal conversion methods form the basis for modern information and measurement technologies. The Hilbert transform in the frequency space is physically reduced to a certain phase transformation of the Fourier spectrum of the signal in a wide frequency band. The article discusses the possibility of Hilbert tomography using the example of studying the isothermal flow of a freon-22 jet. An optical system based on the IAB-463M modernized wide-aperture shadow device has been developed. This system makes it possible to perform four-angle diagnostics of the studied phase object using probing light beams. The beams orientation is defined at angles of  $0$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi/4$  and  $3\pi/4$  to the optical axis of the shadow device. This makes it possible to simultaneously register all four tomographic projections in the form of Hilbert images in separate sections of the CCD-matrix of the high-speed camera. The use of the iterative Gershberg-Papulis scheme for finding the parameters of the medium under study based on Hilbert tomography data is further proposed. This algorithm for reconstructing a function from its Radon data obtained by a limited number of projections consists in iterative transitions from estimating the function in the Fourier plane to its estimate in the spatial domain, corrected based on a priori information. The spectrum of the restored function is determined on the entire frequency plane as a result of an iterative process, which makes it possible to determine the values of the required function.

**Keywords:** Optical tomography, Gershberg-Papoulis method, Hilbert transform, non-disturbing diagnostics, isothermal flow, gas jet.

DOI: 10.17212/1727-2769-2023-3-59-66

## REFERENCES

1. Yang W.Q., Liu S. Role of tomography in gas/solids flow measurement. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2000, vol. 11 (3), pp. 273–244. DOI: 10.1016/S0955-5986(00)00023-6.
2. Wang X., Milner T.E., Chen Z., Nelson J.S. Measurement of fluid-flow-velocity profile in turbid media by the use of optical Doppler tomography. *Applied Optics*, 1997, vol. 36 (1), pp. 144–149. DOI: 10.1364/AO.36.000144.
3. Bulba A.V. Application of optical tomography for the research of dusty plasma structures. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2011, vol. 39 (11), pp. 2728–2729. DOI: 10.1109/TPS.2011.2140133.
4. Fan C., Li X.-L., Xia X.-L., Sun C. Tomography-based pore level analysis of combined conductive-radiative heat transfer in an open-cell metallic foam. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2020, vol. 159, p. 120122. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120122.
5. Philipp H., Neger T., Jäger H., Woisetschlager J. Optical tomography of phase objects by holographic interferometry. *Measurement*, 1992, vol. 10 (4), pp. 170–181. DOI: 10.1016/0263-2241(92)90026-Z.
6. Tereshchenko S.A. Transmission tomography of proportional scattering media. *Technical Physics*, 2008, vol. 53, pp. 887–893. Translated from *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*, 2008, vol. 78 (7), pp. 69–75.
7. Arbuzov V.A., Arbuzov E.V., Dubnishchev Yu.N., Zolotukhina O.S., Lukashov V.V., Tupikin A.V. Hilbert-optic diagnostics of hydrogen-oxygen inverse diffusion flame. *Energies*, 2022, vol. 15 (24), p. 9566. DOI: 10.3390/en15249566.
8. Dubnishchev Yu.N., Arbuzov V.A., Arbuzov E.V., Zolotukhina O.S., Lukashov V.V. Polikhromaticheskaya diagnostika plameni s gil'bert-verifikatsiei vizualizirovannoi fazovoi struktury [Polychromatic diagnostics of the flame with Hilbert verification of the visualized phase structure]. *Nauchnaya vizualizatsiya = Scientific Visualization*, 2021, vol. 13 (4), pp. 1–8.
9. Dubnishchev Yu.N. *Teoriya i preobrazovanie signalov v opticheskikh sistemakh* [Theory and conversion of signals in optical systems]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2011. 368 p.

10. Vasiliev L.A. *Tenevye metody* [Shadow methods]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 400 p.
11. Levin G.G., Vishnyakov G.N. *Opticheskaya tomografiya* [Optical tomography]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1989. 224 p.
12. Pikalov V.V., Mel'nikova T.S. *Nizkotemperaturnaya plazma*. T. 13. *Tomografiya plazmy* [Low temperature plasma. Vol. 13. Plasma tomography]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1995. 229 p.
13. Papoulis A. A new algorithm in spectral analysis and band-limited extrapolation. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 1975, vol. 22 (9), pp. 735–742.
14. Pikalov V.V., Kazantsev D.I. Svoistva regularizovannogo algoritma Gershberga–Papulisa v zadache veeranoi tomografii [Properties of the regularized Gershberg–Papoulis algorithm in a fan-beam type tomography]. *Vychislitel'nye tekhnologii = Computational Technologies*, 2008, vol. 13 (6), pp. 121–133.
15. Pikalov V.V., Kazantsev D.I. New iterative reconstruction methods for fan-beam tomography. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 2018, vol. 26 (2), pp. 773–791. DOI: 10.1080/17415977.2017.1340946.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Арбузов Виталий Анисифорович** – родился в 1946 году, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория физических основ энергетических технологий 7.4, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Область научных интересов: оптические измерительные технологии, оптическая обработка информации, оптическая диагностика потоков. Опубликовано 200 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т ак. Лаврентьева, 1. E-mail: arbuzov@itp.nsc.ru).

**Arbuzov Vitaly Anisiforovich** (b. 1946) Doctor of Sciences (Eng.), leading researcher, laboratory of physical foundations of energy technologies 7.4, Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. His research interests are currently focused on optical measuring technologies, optical information processing, and flow optical diagnostics. He is the author of 200 scientific papers. (Address: 1, Ac. Lavrentiev Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: arbuzov@itp.nsc.ru).



**Арбузов Эдуард Витальевич** – родился в 1968 году, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, лаборатория условно-корректных задач У1, Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН. Область научных интересов: обратные и некорректные задачи, обработка изображений, томография. Опубликовано 50 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т ак. Коптюга, 4. E-mail: arbuzov@math.nsc.ru).

**Arbuzov Eduard Vitalievich** (b. 1968) – Candidate of Sciences (Phys. & Math.), senior researcher, laboratory of conditionally correct problems U1, Sobolev Institute of Mathematics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. His research interests are currently focused on inverse and ill-posed problems, and image processing, tomography. He is the author of 50 scientific papers. (Address: 4, Ac. Koptyug Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: arbuzov@math.nsc.ru).



**Дубнишев Юрий Николаевич** – родился в 1941 году, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Лаборатория физических основ энергетических технологий 7.4, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Область научных интересов: оптические измерительные технологии, оптическая обработка информации, оптическая диагностика потоков. Опубликовано 284 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т ак. Лаврентьева, 1. E-mail: dubnistchev@itp.nsc.ru).

**Dubnishchev Yuri Nikolaevich** (b. 1941) – Doctor of Sciences (Eng.), professor, chief researcher, laboratory of physical foundations of energy technologies 7.4, Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. His research interests are currently focused on optical measuring technologies, optical information processing, and flow optical diagnostics. He is the author of 284 scientific papers. (Address: 1, Ac. Lavrentiev Prospekt, Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: dubnistchev@itp.nsc.ru).



**Золотухина Ольга Сергеевна** – родилась в 1994 году, канд. техн. наук, инженер-исследователь, лаборатория физических основ энергетических технологий 7.4, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Область научных интересов: оптические измерительные технологии, гильберт-оптика. Опубликовано 34 научные работы. (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т ак. Лаврентьева, 1. E-mail: melexina-olga17@ya.ru).

**Zolotukhina Olga Sergeevna** (b. 1994) – Candidate of Sciences (Eng.), research engineer, laboratory of physical foundations of energy technologies 7.4, Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Her research interests are currently focused on optical measurement technologies and Hilbert optics. She is the author of 34 scientific papers. (Address: 1, Ac. Lavrentiev Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: melexina-olga17@ya.ru).



**Лукашов Владимир Владимирович** – родился в 1966 году, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Лаборатория физических основ энергетических технологий 7.4, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Область научных интересов: динамика сплошной среды, тепломассообмен, химические и фазовые превращения. Опубликовано 105 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т ак. Лаврентьева, 1. E-mail: luka@itp.nsc.ru).

**Lukashov Vladimir Vladimirovich** (b. 1966) – Candidate of Sciences (Eng.), leading researcher, laboratory of physical foundations of energy technologies 7.4, Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. His research interests are currently focused on continuum dynamics, heat and mass transfer, and chemical and phase transformations. He is the author of 105 scientific papers. (Address: 1, Ac. Lavrentiev Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: luka@itp.nsc.ru).

Статья поступила 05 июня 2023 г.

Received June 05, 2023

---

#### To Reference:

Arbuzov V.A., Arbuzov E.V., Dubnishchev Yu.N., Zolotukhina O.S., Lukashov V.V. Opticheskaya gil'bert-tomografiya gazovykh strui [Optical Hilbert tomography of gas jets]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2023, no. 3 (60), pp. 59–66. DOI: 10.17212/1727-2769-2023-3-59-66.