

**Панорамные методы определения параметров потока  
по изображениям движущихся в нем частиц**

И.А. Амелюшкин

Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского

Двухфазные течения играют значительную роль в природе, технике и жизни человека. В настоящей работе разработаны оригинальные методы решения обратных задач восстановления параметров двухфазных потоков по данным оптических измерений. Разработаны математические модели двухфазных потоков в приложении к проблемам обледенения и аэрофизического эксперимента. Учтены эффекты своеобразного поведения зондирующего излучения в дисперсной среде, скоростной неравновесности двухфазного потока и др. Для исследования потоков трассерными методами разработаны поправки на отличие скорости частиц-трассеров от несущего их потока. Разработаны алгоритмы восстановления полей давления, плотности и температуры турбулентного потока по полю скорости движущихся в потоке частиц. Для определения распределения температуры газа стационарного двухфазного потока было получено и использовано следующее выражение

$$T = \frac{\mu_m}{R} \frac{\gamma \mathbf{V} \cdot ((\mathbf{V} \cdot \bar{\mathbf{V}}) \cdot \mathbf{V}) - (\gamma - 1) \bar{\mathbf{V}} \cdot \left( \frac{|\mathbf{V}|^2}{2} \cdot \mathbf{V} \right)}{(\gamma + 1) \bar{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}},$$

где скорость газа  $\mathbf{V}$  связана с параметрами частиц  $\mathbf{V} = \mathbf{V}_p + \left( \partial \mathbf{V}_p / \partial t + (\mathbf{V}_p \cdot \bar{\mathbf{V}}) \mathbf{V}_p \right) \cdot 2\rho_p a_p^2 / 9\mu$  в простейшем случае. Приведены результаты исследования устойчивости решений обратных задач. Приведены иллюстрации использования предложенного ранее критерия идентификации областей скоростной неравновесности двухфазного потока. Приведены результаты обработки изображений. Приведены результаты экспериментального исследования двухфазных потоков. Повышена информативность бесконтактной диагностики потоков жидкости и газа лазерной плоскостью.

Моделирование граничных условий и управление ими на поверхности обтекаемого тела представляет большой научный и практический интерес, в частности, в задачах борьбы с обледенением летательных аппаратов. Для изучения физических механизмов структуры, прилипания и конденсации двухфазного пограничного слоя методом молекулярной динамики проведен расчет обтекания наноструктурированной химически активной пластины. Максимальная высота расчетной области составляла несколько микрон. Численно исследованы пространственные распределения основных газотермодинамических

параметров. Приведены сравнения результатов моделирования с известным аналитическим решением.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13–01–00766.

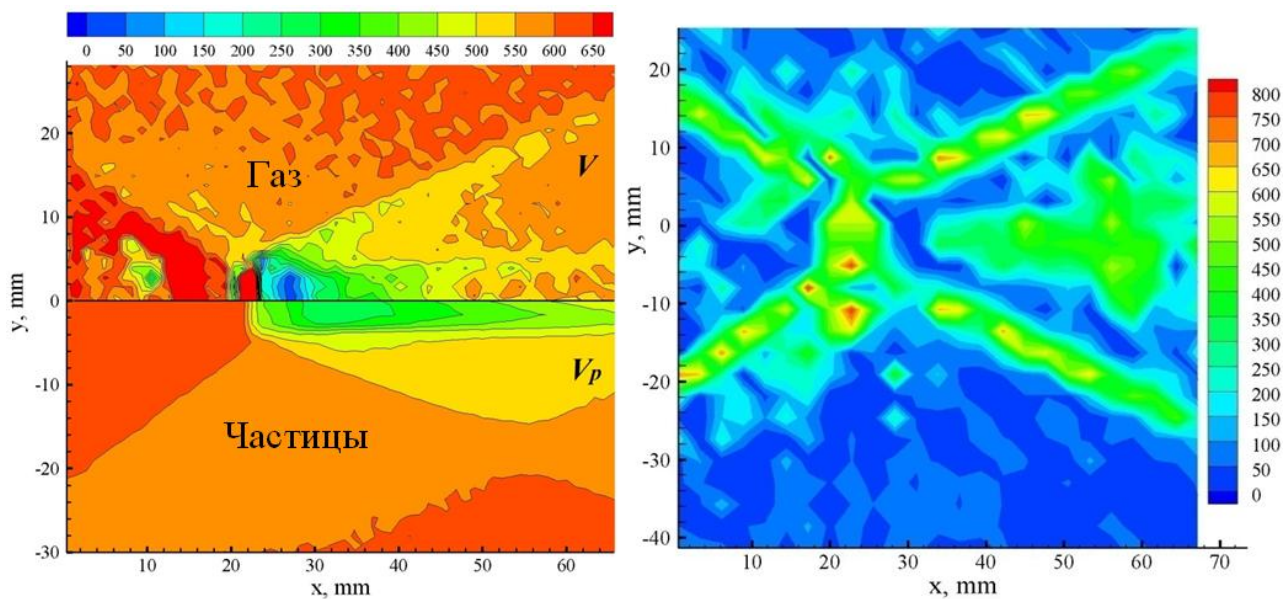


Рис. 1. Слева: Сравнение скорости частиц и восстановленной по ней скорости газа; Справа: предварительные результаты восстановления температуры газа по изображениям частиц.

### Литература

1. Wereley S.T., Hohreiter V.P. Simultaneous, Spatially-Resolved Temperature and Velocity Measurements Using Cross-Correlation PIV // Proceedings of the 11th International Symposium on the Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics. – Lisbon. – Portugal. – July 8–11. – 2002. – paper 15.1,
2. Ghaemi S., Ragni D., Scarano F. PIV-based pressure fluctuations in the turbulent boundary layer // Exp Fluids. – 2012. – V. 53. – P. 1823–1840.
3. Амелюшкин И.А. Способ определения полей числовой концентрации дисперсной фазы аэрозольного потока и устройство для его реализации // Патент на изобретение №2014119714 от 16.05.2014. № 2562153.
4. Амелюшкин И.А. Алгоритмы обработки изображений лазерной плоскости, зондирующей обтекание тел двухфазным потоком // Материалы Тринадцатой международной научно-технической конференции «Оптические методы исследования потоков». на диске. – Москва. – МЭИ. – 19 июня – 03 июля 2015 г. – С. 1–18.
5. Ganiev Yu. H., Lipnitskiy Yu. M., Filippov S.E., Kozlovskiy V.A., Krasilnikov A.V., Markovich D.M., Gobyzov O.A., Lozhkin Yu. A., Ivanov I.E. PIV measurements of shock wave interaction in continuous operated supersonic wind tunnel // Proceedings from the 10<sup>th</sup> Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP10) 2015. – Italy. Paper ID-191.