

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

УДК 533.6.08

С.Ю. Колесников, Н.М. Скорнякова.

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: SkorniakovaNM@mpei.ru*

PIV-ДИАГНОСТИКА ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ В МОДЕЛИ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена исследованию вихревых структур, возникающих в результате сгорания топлива в специализированных котлах – топочных камерах, при помощи бесконтактного оптического метода PIV (Particle Image Velocimetry) на экспериментальной модели. Измерены поля скоростей турбулентных течений при различных режимах подачи аэрозоля (модели топлива).

PIV, ВИХРЕВОЙ ПОТОК, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ, ПОЛЕ СКОРОСТЕЙ, АЭРОЗОЛЬ

ВВЕДЕНИЕ

Анемометрия по изображениям частиц (АИЧ, PIV) используется для измерения скорости в выбранном сечении потока в гидро- и аэродинамических экспериментах [1, 2]. АИЧ метод занимает особое место в ряду других инструментов для исследования структуры течений, поскольку позволяет регистрировать поле мгновенного пространственного распределения скоростей. Он обладает рядом достоинств, таких как отсутствие возмущающего влияния на поток, широкий динамический диапазон измеряемых скоростей [3], что позволяет использовать его для исследования сложных турбулентных течений, а также возможность собирать и обрабатывать на обычном персональном компьютере значительный объем экспериментальных данных. Данные преимущества позволяют изучать крупномасштабные вихревые структуры, струи, слои смешения. Благодаря этому методу возможно получить информацию о динамике и структуре потока, масштабе, а также рассчитать статистические и дифференциальные характеристики течения.

Метод PIV в настоящее время является широко распространенным и востребованным в различных технических областях, таких как автомобилестроение и авиастроительная промышленность (диагностика картины обтекания воздухом элементов), энергетике, машиностроении (оптимизация аэрогидродинамики). К примеру, PIV применяется для визуализации течений газа на поверхности твердых тел [4], которые выступают в качестве аэродинамических моделей, и вихревой структуры пламени в нескольких режимах [5].

Технологический прогресс в лазерной технике, электронике и видеоаппаратуре всячески способствует усовершенствованию методики экспериментов, позволяя измерять мгновенные поля скорости с высоким пространственным и временным разрешением и автоматизировать процесс обработки.

Области применения PIV-метода постоянно расширяются, однако, на данный момент не исследована его применимость к изучению аэродинамики топочных камер – котлов, в которых происходит сжигание топлива. Аэродинамика данных устройств влияет на все

стадии процессов горения, поэтому важно детально изучить аэродинамическую картину течения потока в топке и оценить ее влияние на структуру потока в топочном пространстве.

Целью данной работы является исследование эффективности метода PIV для реализации его в модели топочной камеры. Оценка производится по картинам поля скоростей потока, построенных для случаев распространения специального аэрозоля по поверхности модели и на выходе из цилиндрической трубы с наличием возмущающего воздушного течения.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Для измерения мгновенной скорости потока использовалась PIV система диагностики потоков LaVision FlowMaster, состоящая из импульсного лазера Nd:YAG, работающего на длине волны 532 нм (частота следования импульсов 15 Гц, длительность импульса 6 – 9 нс с энергией в импульсе 150 мДж), CCD камеры Imager pro SX 5M (разрешение 5 Мп, разрядность 12 бит) и синхронизирующего процессора. Управление системой, сбор, хранение и обработка данных осуществлялась при помощи компьютера с программным обеспечением DaVis. Поток аэрозоля (средний диаметр 1 мкм) освещался лазерным ножом толщиной 4 мм. Для регистрации частиц, рассеивающих лазерное излучение, использовался оптический фильтр.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Схемы экспериментальных установок представлены на рис. 1 и рис. 2. На рис. 1 показана схема установки для исследования распространения аэрозоля по объему аквариума. Выходная трубка генератора аэрозоля помещена в аквариум, вследствие чего поток частиц распространялся по его пространству вверх и по внутренней поверхности стенок. Лазерная плоскость, создаваемая с помощью специальной оптической насадки, подсвечивала исследуемый поток, и CCD камера, синхронизированная с импульсами лазера, регистрировала изображения трассеров, попавших в выбранное сечение.

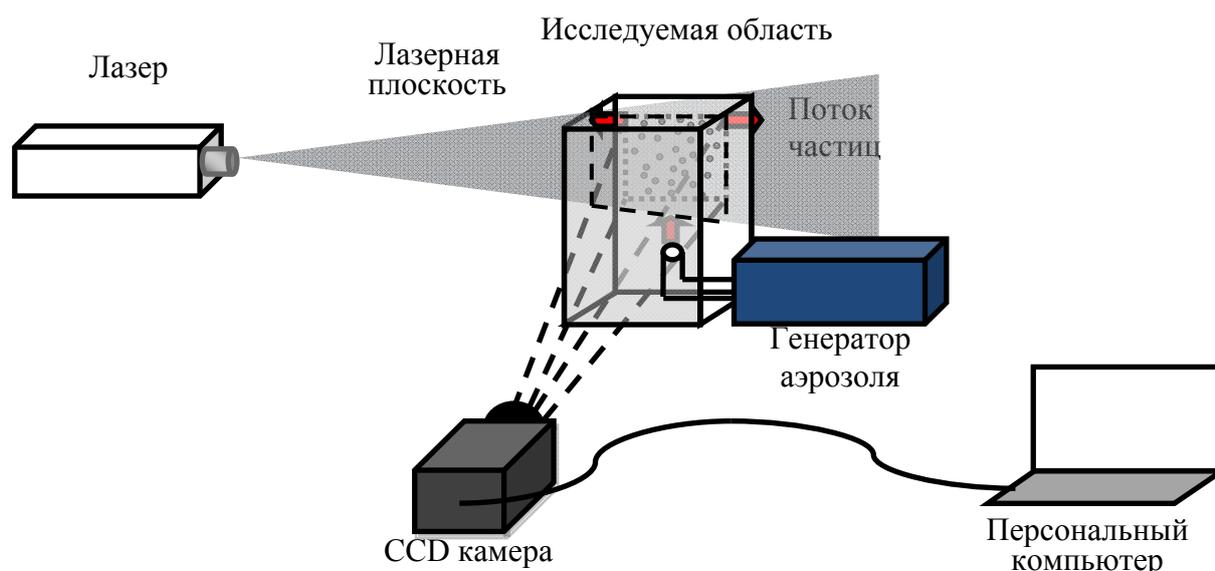


Рис. 1. Схема установки для исследования распространения аэрозоля по объему аквариума

На рис. 2 приведена схема установки для исследования распространения аэрозоля на выходе из цилиндрической трубы под действием потока воздуха. В отличие от предыдущего эксперимента выходная трубка генератора аэрозоля располагается в плоскости входного отверстия трубы высотой 50 см и диаметром 12,5 см. На выходе из цилиндрической трубы создавался поток воздуха, направленный нормально по отношению к потоку исследуемых частиц. Скорость возмущающего течения составляла 1,2 м/с. Изображения трассеров, рассеивающих лазерное излучение, также фиксировалось CCD камерой.

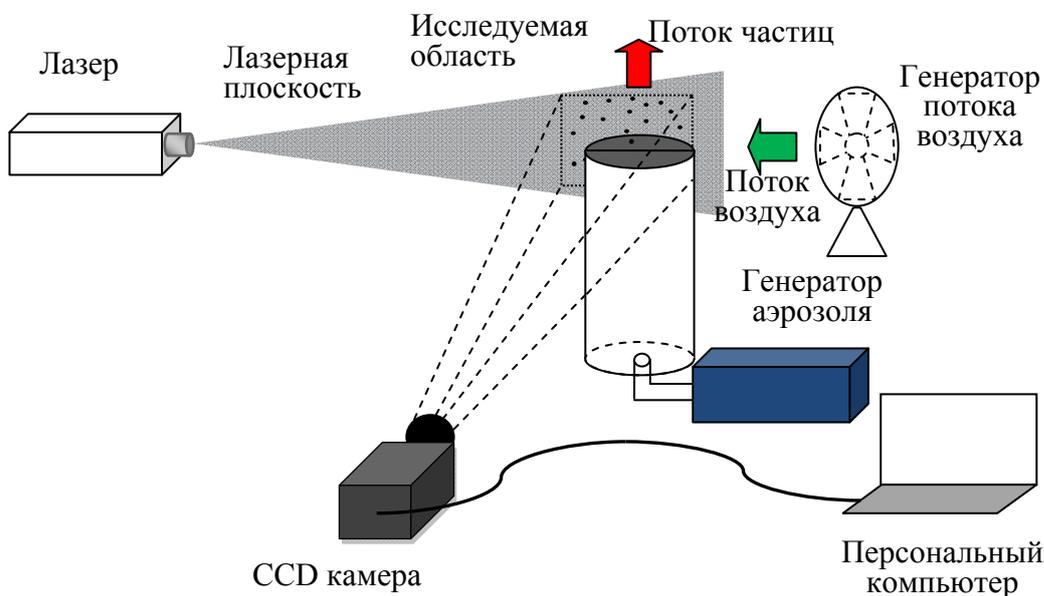


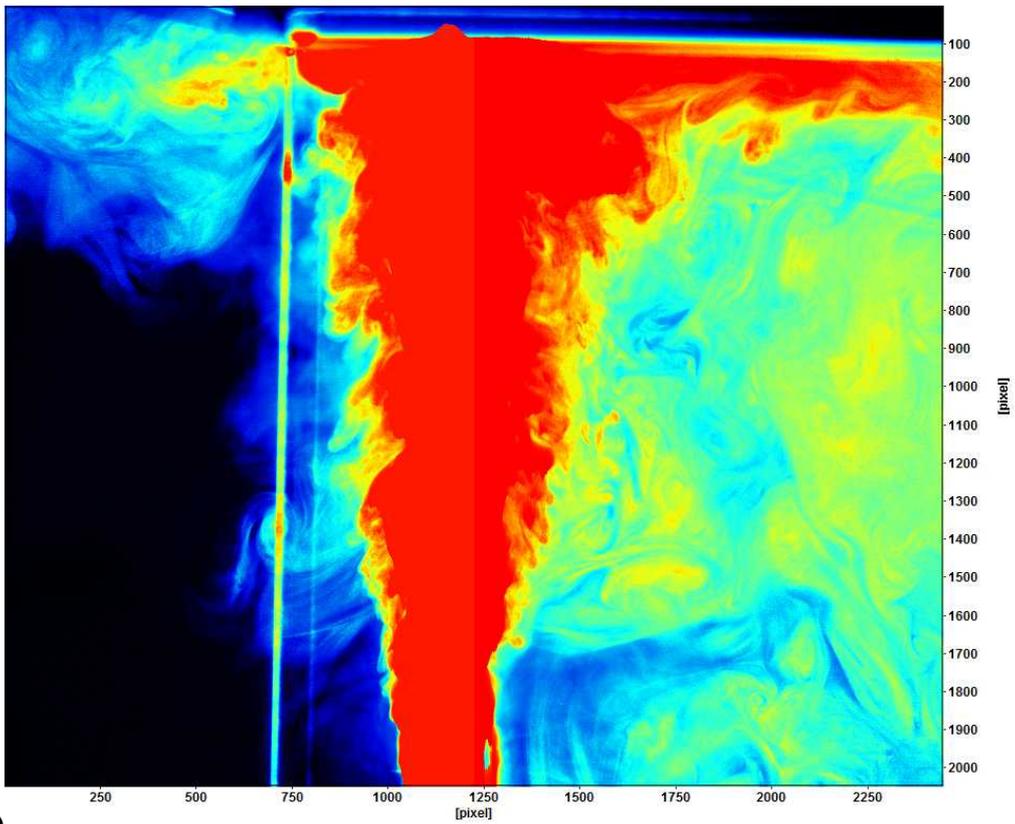
Рис. 2. Схема установки для исследования распространения аэрозоля на выходе из цилиндрической трубы под действием потока воздуха

Полученные изображения подвергались кросскорреляционной обработке, заключающейся в нахождении корреляционных максимумов [6]. Основными параметрами обработки, от которых зависит результат визуализации, являются размер и форма окна опроса, а также процент перекрытия опрашиваемых областей. В итоге были получены векторные поля скоростей частиц наблюдаемого потока

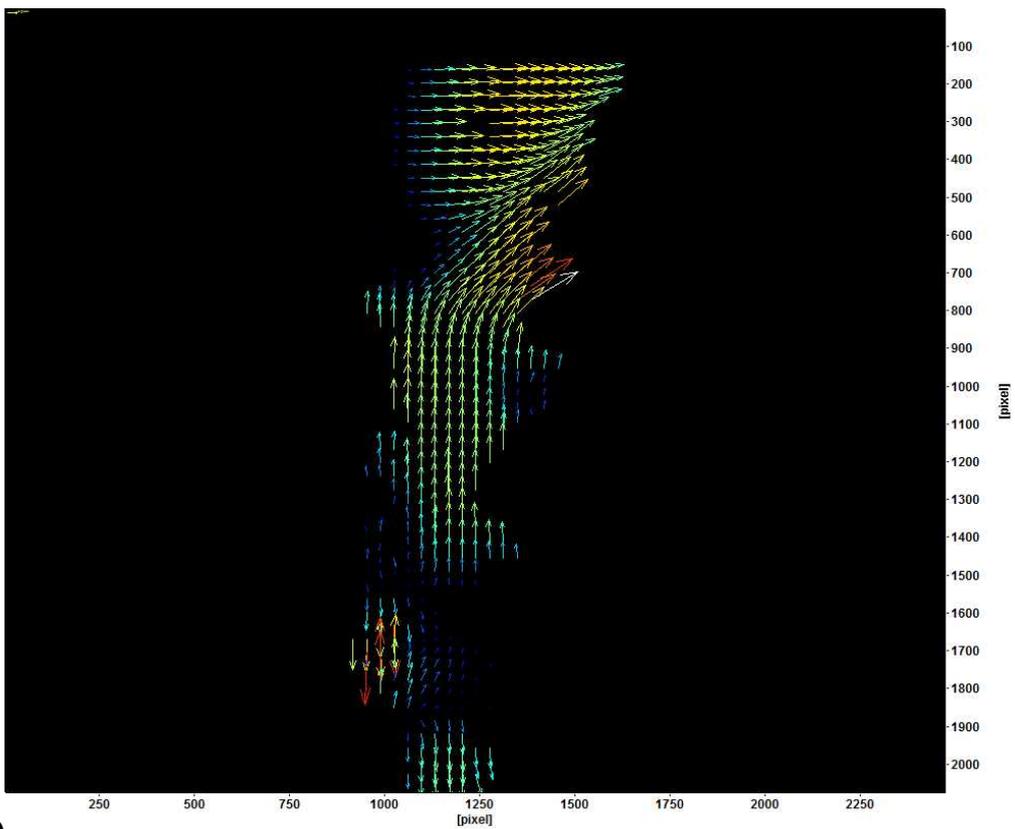
РЕЗУЛЬТАТЫ

Изображение потока аэрозоля в аквариуме и соответствующее ему поле скоростей представлены на рис. 3. Для ускорения расчетов обрабатывалось только основная часть вихря (необрабатываемая часть изображения имеет черный фон). Цвет и размер стрелок зависят от скоростей исследуемых частиц. Направления корреляционных векторов совпадают с направлениями движения трассеров, вследствие чего можно говорить о достаточно точной обработке картины распределения аэрозоля по объему камеры.

На рис. 4 приведены изображения потока аэрозоля на выходе из цилиндрической трубы. На изображении рис. 4, а) видно влияние воздушного возмущения, вследствие чего наблюдается унос исследуемых частиц в сторону, чему соответствуют и вектора поля скоростей (рис. 4, б). Так как поток воздуха турбулентный, набор изображений, полученных с видеокamеры, представляет собой комплекс картин с периодически повторяющейся структурой (рис. 4, б), на которых заметны характерные области наибольших завихрений. С помощью PIV метода удалось наблюдать меняющийся аэрозольный поток и построить для него соответствующую качественную картину векторов.

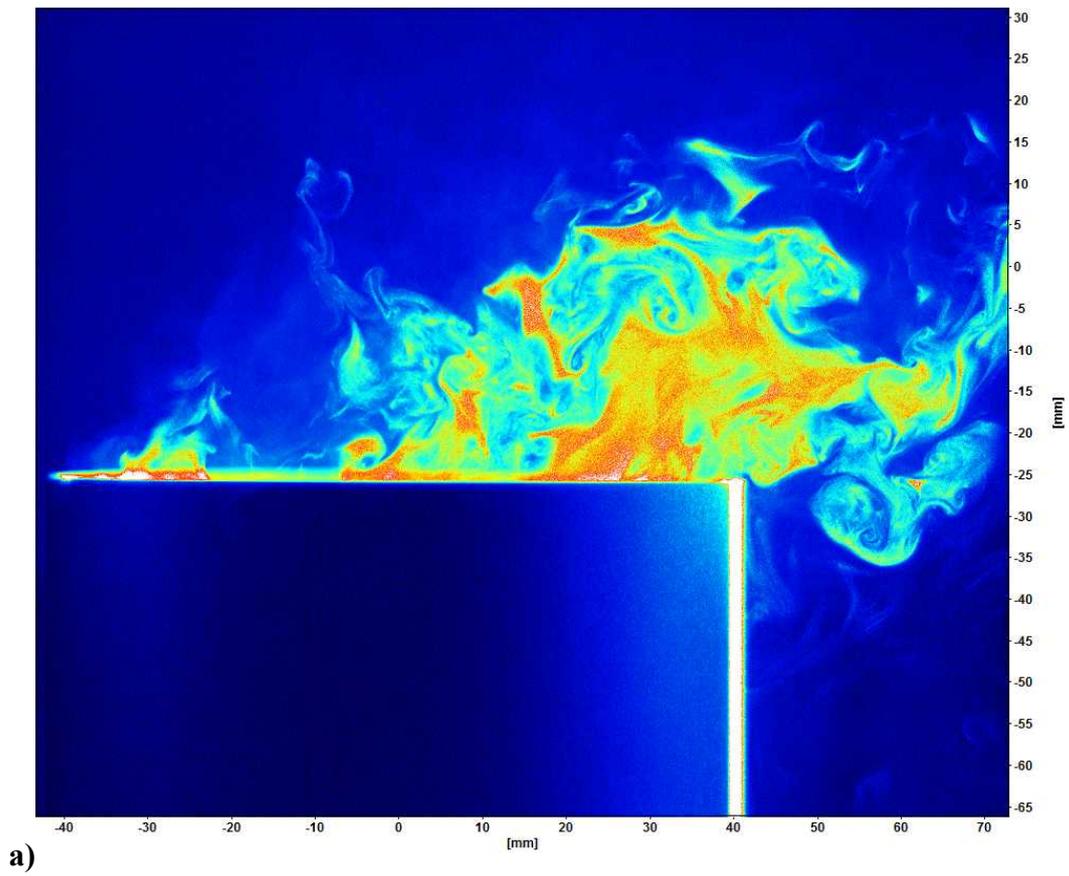


а)

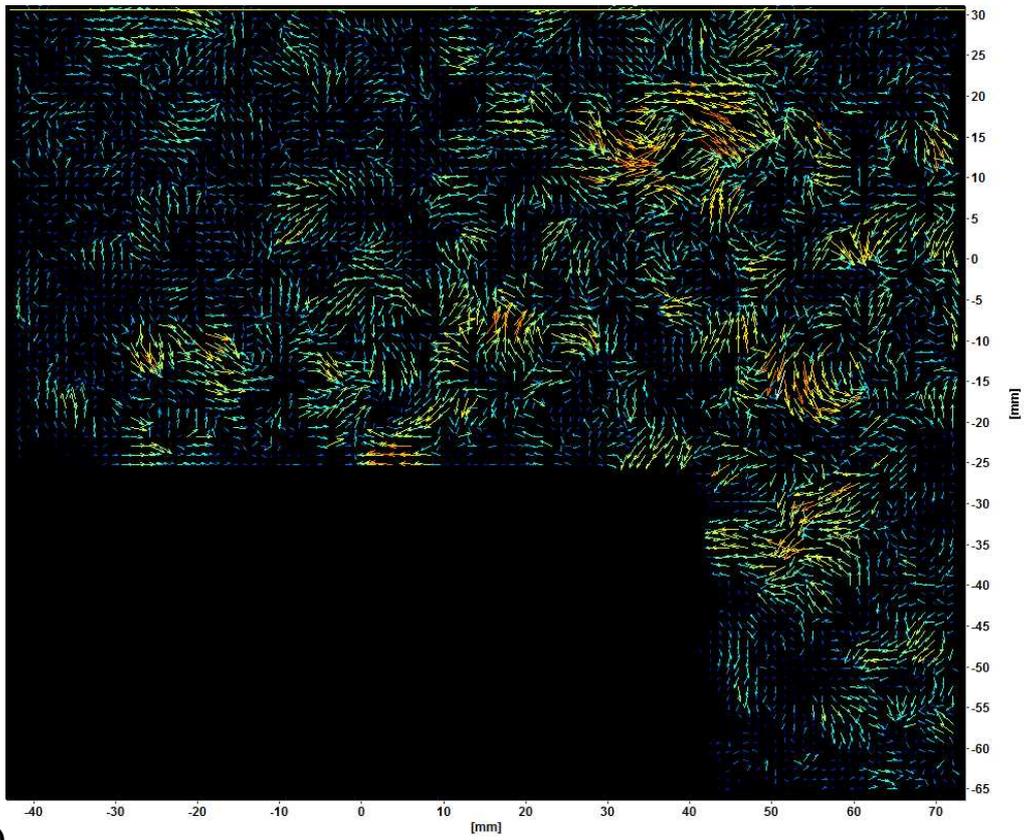


б)

Рис. 3. Визуализация эксперимента с аквариумом: а) – изображение потока аэрозоля; б) – соответствующее поле скоростей



а)



б)

Рис. 4. Визуализация эксперимента с цилиндрической трубой: а) – изображение потока аэрозоля; б) – соответствующее поле скоростей

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе реализован метод PIV для измерения полей скоростей в выбранном сечении потока. Проведенные исследования показали возможность применения методики анемометрии по изображениям частиц для анализа вихревых структур в объеме аквариума, вариация которого может выступать в роли модели топочной камеры, а также для рассмотрения процессов распространения трассеров при наличии стороннего воздействия на примере потока воздуха. Качественные картины полей скоростей частиц с большой вероятностью соответствуют настоящим процессам.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансировании Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-07-00929).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Скорнякова Н.М, Ринкевичюс Б.С. Оптические методы диагностики микропотоков.// Оптические методы исследования потоков 2009. Сборник трудов МНТК. М.: Изд. дом МЭИ. 2009.
- 2) Адриан Р.Дж. Двадцать лет оптическому методу измерения полей скорости жидкости или газа в выбранном сечении потока // Experiments in Fluids (2005) 39: 159–169.
- 3) Баун М. Р., Макиннес Дж. М. и Аллен Р. В. К. Моделирование и измерение скорости потока в микроканалах сложной конфигурации с помощью метода микро-PIV // Meas. Sci. Technol. 16 (2005) 619–626.
- 4) Мошаров В.Е., Радченко В.Н. Методы визуализации течений газа на поверхности// Оптические методы исследования потоков 2009. Сборник трудов МНТК. М.: Изд. дом МЭИ. 2009.
- 5) Дулин В.М., Козорезов Ю.С., Маркович Д.М. Stereo PIV диагностика вихревой структуры пламен. Оптические методы исследования потоков 2009. Сборник трудов МНТК. М.: Изд. дом МЭИ. 2009.
- 6) Raffel, M., Willert, C.E., Wereley, S.T., Kompenhans, J. Particle image velocimetry: a practical guide/ 2nd ed. 2007, XX, P. 79-95.

S. Y. Kolesnikov, N.M. Skornyakova

*National research university «MPEI», Russia,
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, E-mail: SkorniakovaNM@mpei.ru*

PIV-DIAGNOSTICS OF VORTEX FLOW IN MODEL OF THE COMBUSTION CHAMBER

This work is devoted to research of the vortex structures resulting combustion of fuel in specialized coppers – combustion chambers, by means of the contactless optical PIV method (Particle Image Velocimetry) on experimental model. Fields of speeds of turbulent flows are measured at various modes of giving of an aerosol.

PIV, VORTEX FLOW, VISUALIZATION, FIELD OF SPEEDS, AEROSOL