

УДК 53.072

С.В. Баюн, Н.М. Скорнякова, Б.В. Ермаков

*НИУ МЭИ, Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: sam777-93@mail.ru*

ВОЗМОЖНОСТИ МУЛЬТИЦВЕТНОЙ АНЕМОМЕТРИИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ЧАСТИЦ

АННОТАЦИЯ

Представлен принцип мультицветной анемометрии по изображению частиц (МАИЧ), основанный на одновременном освещении исследуемого потока лазерными плоскостями разных цветов. Метод позволяет получить распределение скорости потока аэрозоли в трех параллельных плоскостях, расположенных друг от друга на расстоянии 0,015 м. При применении интерполяционных и экстраполяционных методов позволяет получить 3D изображение потока.

МЕТОД МУЛЬТИЦВЕТНОЙ АНЕМОМЕТРИИ, 2D ПОЛЕ СКОРОСТЕЙ, 3D ИЗОБРАЖЕНИЕ ПОТОКА

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время очень важной остается проблема регистрации и определения скорости потоков в газовых средах, такие исследования актуальны в таких областях, как: аэродинамика, аэродинамические трубы, турбиностроение, потоки в двигателях, потоковые явления в жидкостях и газах. Существуют различные методы решения этих задач. Так практическое применение нашел метод лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА), основанный на эффекте Доплера, принцип которого заключался в том, что облучается движущийся объект лазерным пучком от неподвижного источника, и отраженное от объекта излучение регистрируется неподвижным приемником.[1] Вследствие эффекта Доплера частота излучения, попадающего на приемник, будет отличаться от частоты излучения неподвижного источника на некоторую величину, пропорциональную скорости движения объекта относительно источника и приемника. Метод позволяет измерять локальное значение вектора частиц в диапазоне от 0,01 мм/с до 1000 м/с с высокой точностью. Другим способом измерения поля скоростей потока является метод анемометрии по изображению частиц (АИЧ), где информацию о скорости частиц в потоке можно получить из обработки двух изображений потока. Этот метод обладает преимуществом визуализации потока с возможностью регистрации мгновенных как двухмерных, так и трехмерных полей скорости некоторой области исследуемого течения.

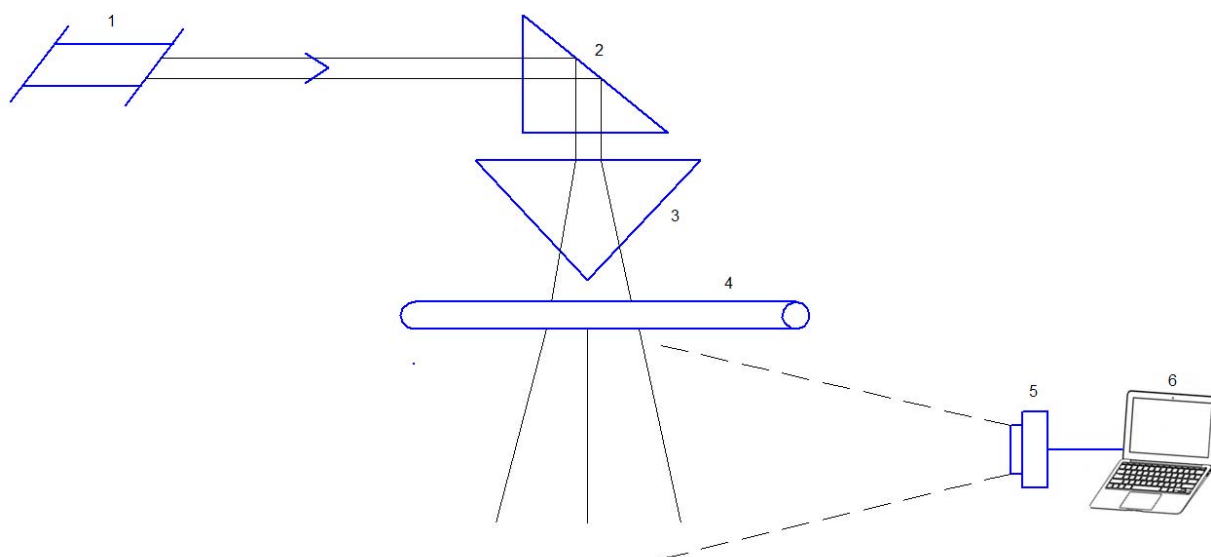
ПРИНЦИП МАИЧ

Известно, что АИЧ метод представляет собой оптический метод для измерения мгновенных скоростей потоков в жидких и газообразных средах. Он заключается в регистрации на цифровую камеру лазерного излучения, рассеянного на введенных в поток

частицах. Область измерения ограничивается лазерной плоскостью. Скорость потока определяется расчетом перемещения, которое совершают частицы за время между лазерными вспышками. Обработке подвергаются попарно регистрируемые кадры, которые разбиваются на области опроса. На основе кросскорреляционного метода анализа смещения частиц строится векторное поле скоростей потока. Имеются различные модификации АИЧ метода [1]. Предлагаемый метод отличается от известных методов, тем что применяется так называемый мультицветный АИЧ метод, главным преимуществом которого является возможность фиксировать векторное поле скоростей одновременно в нескольких плоскостях.

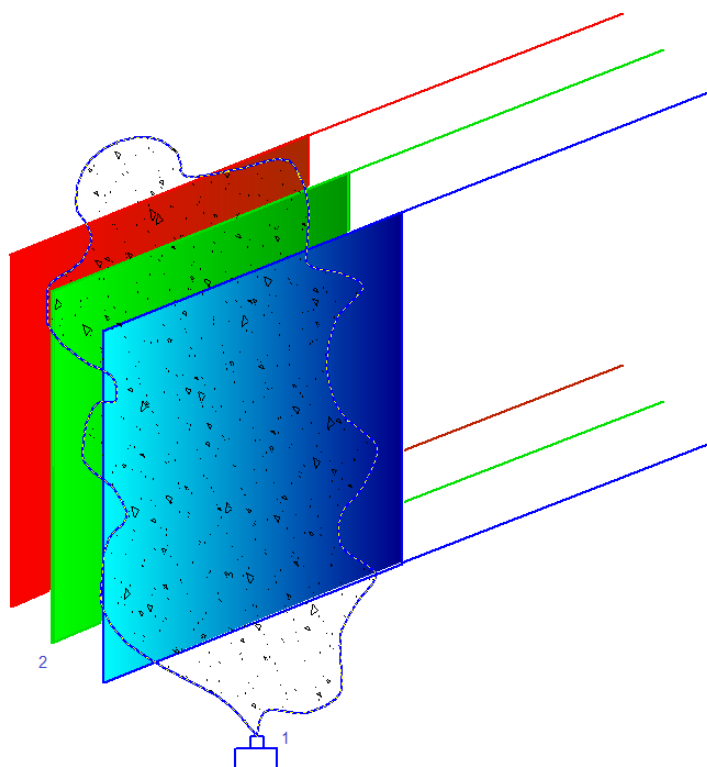
СХЕМА УСТАНОВКИ

В экспериментальной установке используется достаточно простая схема, в которую входит криптон-аргоновый лазер, оптическая система, которая создает три плоскости, генератор частиц (аэрозоли), цифровая камера. На рисунке 1 и 2 представлена схема установки и плоскости регистрации потока соответственно.



1 – лазер; 2 – поворотная призма; 3 – спектральная призма; 4 – цилиндрическая линза; 5 – цифровая камера; 6 – компьютер

Рис. 1. Схема установки (вид сверху)



1 – генератор аэрозоли; 2 – три лазерные плоскости

Рис. 2. Плоскости регистрации потока

В установке используется лазер серии Chroma 10 компании Spectra-Physics, его уникальность заключается в его конструктивной особенности. Имеется металлокерамическая разрядная труба в которой получается лазерное излучение на смеси аргона и криптона, то есть генерируется излучение в видимом диапазоне спектра - от ультрафиолета до ближнего ИК. В таблице 1 представлены основные технические характеристики

Таблица 1. Технические характеристики лазера Chroma 10

Выходная оптическая мощность	8 Вт
Генерируемые длины волн (диапазон):	
Красный (647 – 676 нм)	2,1 Вт
Зеленый (514 – 520 нм)	1,55 Вт
Синий (476 -488 нм)	1,55 Вт
Темно-синий (457,8 нм)	175 мВт
Диаметр пучка	2 мм
Расходимость	1,1 мрад
Поляризация	> 100:1

Для создания в области регистрации трех плоскостей используется оптическая система, которая включает в себя поворотную и спектральную призму, а также цилиндрическую линзу. Спектральная призма используется для разложения в спектр излучения лазера, после устанавливается цилиндрическая линза и таким образом получается три плоскости с разными интенсивностями. Максимум интенсивности наблюдается у плоскостей красного, синего и зеленого цвета. Эти три плоскости располагаются на одинаковых расстояниях друг от друга, порядка 0,015 м. При регистрации потока используется цифровой фотоаппарат Nikon 1 J1 с возможностью видеосъемки в формате HD с разрешением 1920 × 1080 30 кадр./сек прогрессивной развертке или 60 кадр./сек чересстрочной развертки. В качестве объекта исследования используется генератор аэрозоли LaVision FlowMaster PIV, принцип действия основа на разделении жидкости на частицы в субмикронном диапазоне размеров (средний диаметр 1 мкм). В качестве жидкости используется диизооктиловый эфир (Bis (2-ethylhexyl) Sebacate).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С помощью установки, представленной на рисунке 1, было проведено исследование распределения скорости в вертикальном потоке аэрозоли. В результате регистрируется визуализированная аэрозолью, так называемая RGB лазерная плоскость, из которой можно получить информацию о распределении векторного поля скоростей потока аэрозоли в трех плоскостях. На рисунке 3 представлено изображение, регистрируемое цифровой камерой. Для контроля регистрируемой области и контроля глубины резкости в кадре введен провод.



Рисунок 3 – Регистрируемая RGB лазерная плоскость

Регистрируемое изображение имеет три основных цвета, отличающиеся интенсивностью. АИЧ анализ изображений проводится отдельно по каждому каналу цвета. На рисунке 4 приведена схема разделения по цветовым каналам получаемого цветного изображения для дальнейшего АИЧ анализа.

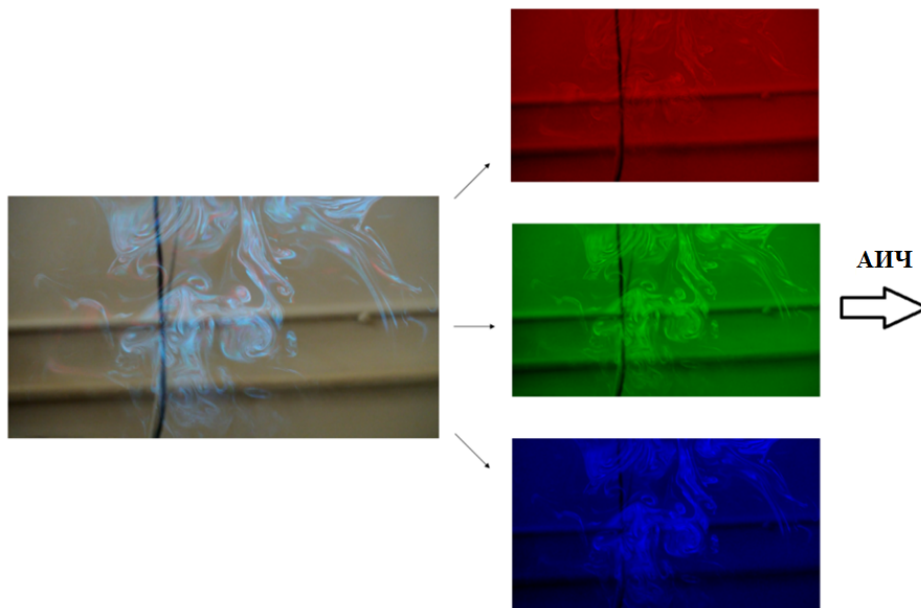


Рис. 4. Схема обработки регистрируемого изображения

Далее были обработаны изображения по каждому из каналов цвета, на рисунках 5, 6, 7 представлены векторные поля скоростей для каждого цвета.

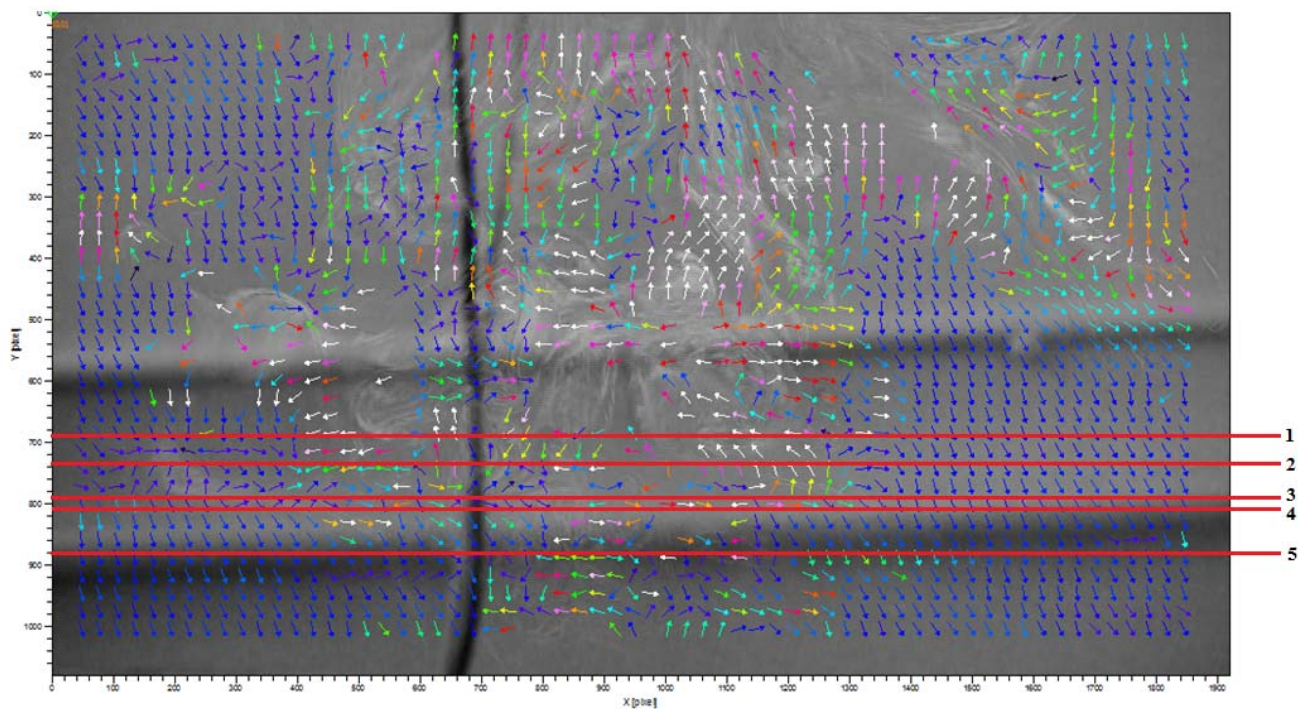


Рис. 5. Векторное поле скоростей в канале красного цвета

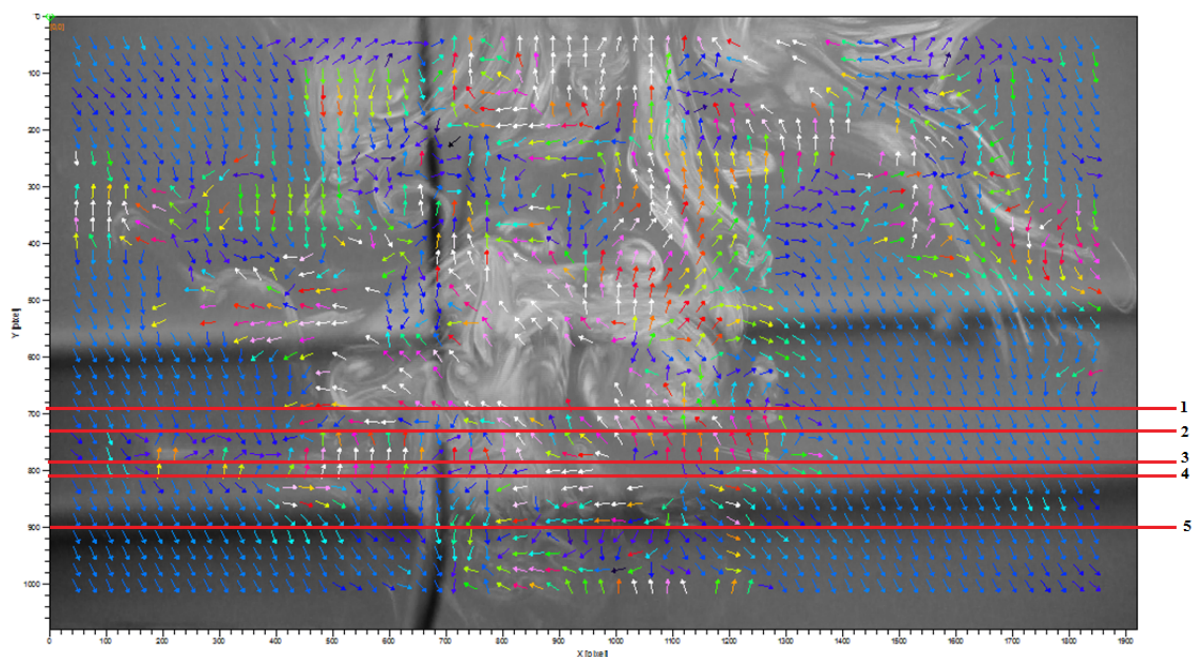


Рис. 6. Векторное поле скоростей в канале зеленого цвета

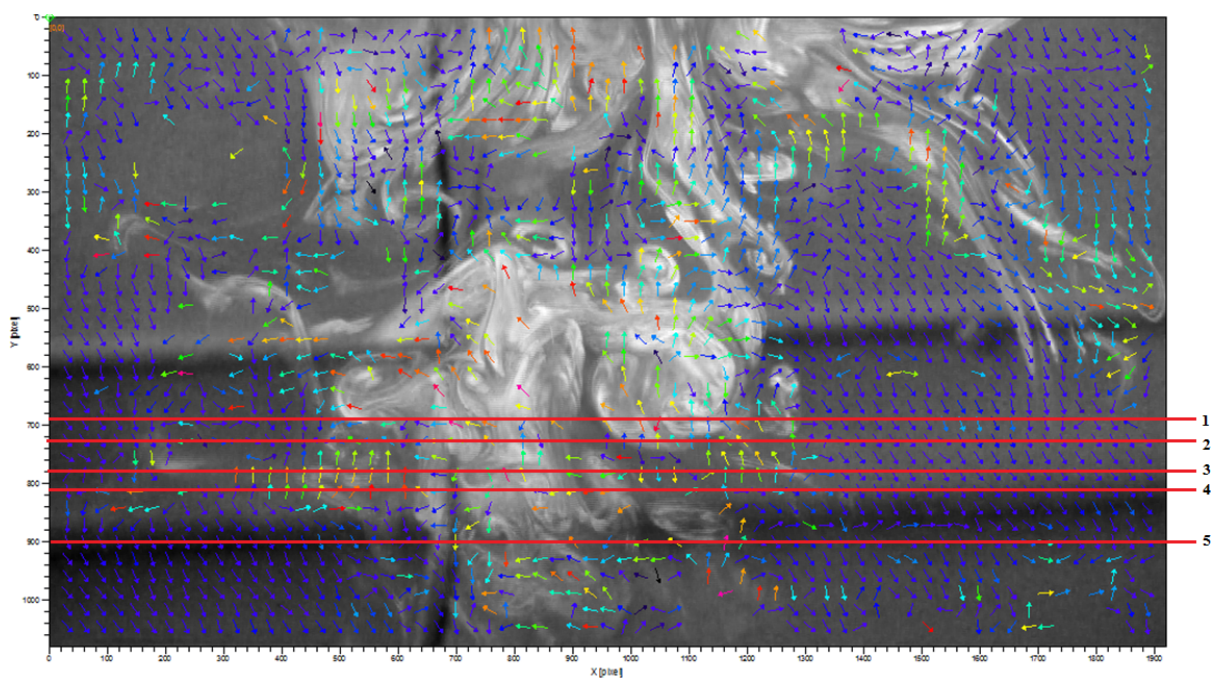


Рис. 7. Векторное поле скоростей в канале синего цвета

Как видно из изображений, для каждого цветового канала наблюдается изменение скорости смещения трассирующих частиц. На основе полученных данных могут быть построены распределения скоростей частиц по выбранным сечениям в вертикальной плоскости потока аэрозоли. Цифрами обозначены сечения для которых построены распределения скоростей. На рисунках 8, 9, 10 представлены распределения скоростей частиц по сечениям.

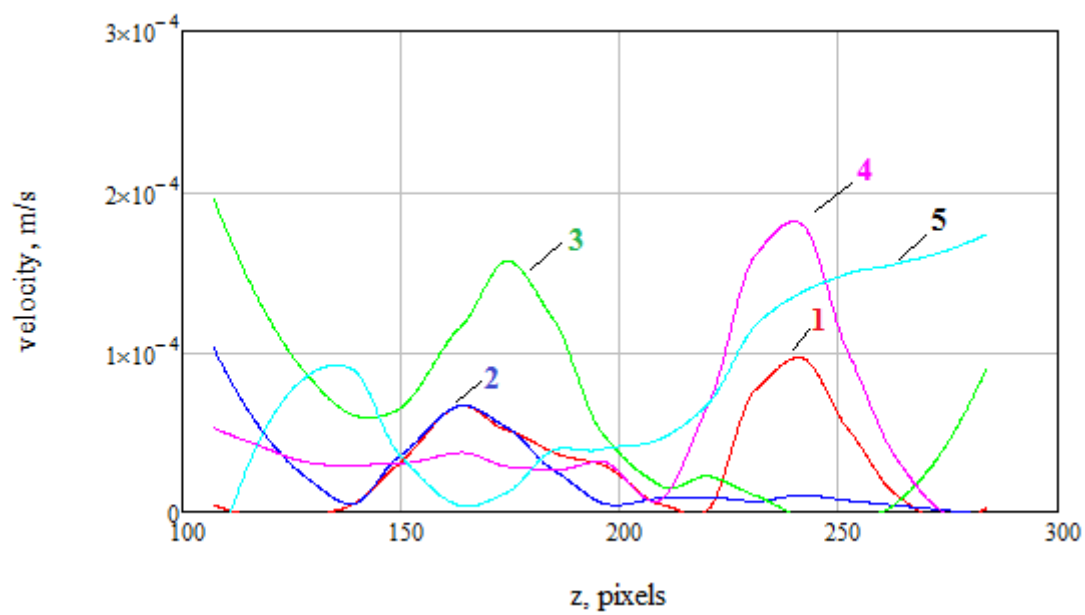


Рис. 8. Зависимость скоростей по сечению в вертикальной плоскости потока в канале красного цвета

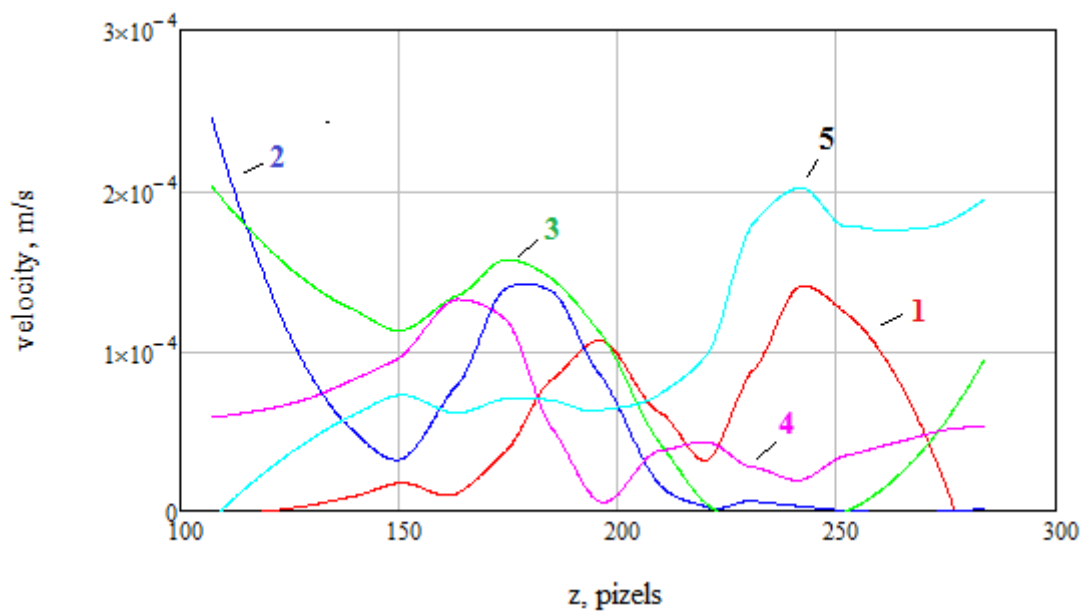


Рис. 9. Зависимость скоростей по сечению в вертикальной плоскости потока в канале зеленого цвета

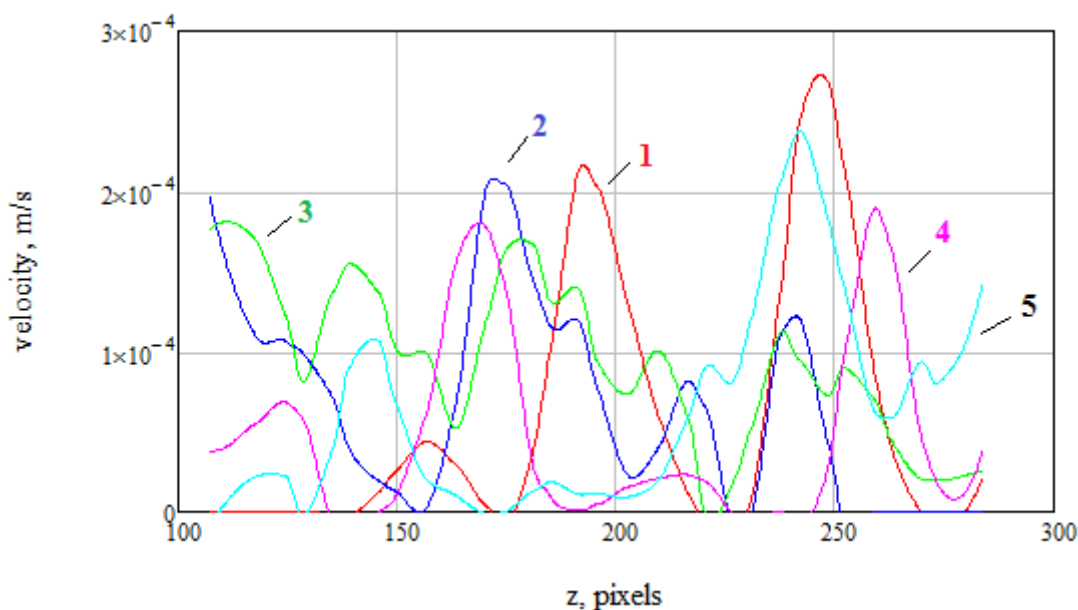


Рис. 10. Зависимость скоростей по сечению в вертикальной плоскости потока в канале синего цвета

Из полученных результатов видно, распределение скоростей трассирующих частиц в заданной исследуемой области находятся в пределах от 0 до $3 \cdot 10^{-4}$ м/с для каждого из цветных каналов и, соответственно, в трех параллельных плоскостях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный метод позволяет получить векторное поле скоростей потока одновременно в трех параллельных плоскостях, расположенных на расстоянии 0,015 м друг от друга, что является главным достоинством перед классическим АИЧ методом, который дает распределение только в одной выбранной плоскости. Метод МАИЧ позволит получать томографическое визуализированное изображение потока с использованием криптон-аргонового лазера и одной цифровой камеры.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по гранту РФФИ 13-07-00929а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубнищев Ю. Н., Ринкевичюс Б. С., Фомин Н. А. Новые методы лазерной анемометрии в исследованиях сложных газодинамических течений. // Инженерно-физический журнал. Т76, № 6. 2004. С3 -12.
2. Raffel M., Willert C.E., Kompenhans J. Particle image velocimetry. A practical guide. Corrected 3rd printing. Springer, Germany, Berlin. (1998)
3. Маркович Д.М., Токарев М.П., Бильский А.В. Адаптивные алгоритмы обработки изображений частиц для PIV-метода // Современные оптические методы исследования потоков / Под ред. Б.С. Ринкевичюса. – М.: Оверлей. 2011 – С.360.
4. Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И. Использование современных методов анемометрии по изображениям частиц при лабораторном моделировании геофизических течений // Современные оптические методы исследования потоков / Под ред. Б.С. Ринкевичюса. – М.: Оверлей. 2011 – С.360.

S.V. Bayun, N.M. Skornyakova, B.V.Ermakov

¹ *National Research University (MPEI), Russia,
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, E-mail: nmskorn@mail.ru*

FEATURES OF MULTICOLOR PARTICLE IMAGE ANEMOMETRY

ABSTRACT

The principles of multicolor particle image velocimetry (Color PIV), based on the simultaneous illumination of the test flow with laser planes of different colors are presented. This method allows to obtain the distribution of spray flow velocity in three parallel planes, spaced apart by a distance of 0,015 m. It allows received a 3D image stream by application of interpolation and extrapolation methods.

METHOD OF MULTICOLOR VELOCIMETRY, 2D VELOCITY FIELD, 3D IMAGE OF FLOW