

Турбулентность в пограничном слое за плоской ударной волной

ШИ ЛИНЬ 404 ГРУППА

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ доцент И.В. МУРСЕНКОВА

Актуальность исследования

Большинство течений жидкостей, газов и плазмы в природе, на обтекаемой поверхности и в технических устройствах является турбулентными. В настоящее время активно продолжаются экспериментальные, теоретические и численные исследования турбулентности.

Турбулентность - явление, наблюдаемое во многих течениях жидкостей и газов и заключающееся в том, что в этих течениях образуются многочисленные вихри различных размеров, вследствие чего их гидродинамические и термодинамические характеристики испытывают хаотические флуктуации и потому изменяются от точки к точке и во времени нерегулярно.



Сверхзвуковой самолет МИГ-21.

<http://www.turplace.ru/stati-2-2/pochemu-grazhdanskie-samolety-ne-letayut-na-sverkhzvukovykh-skor>

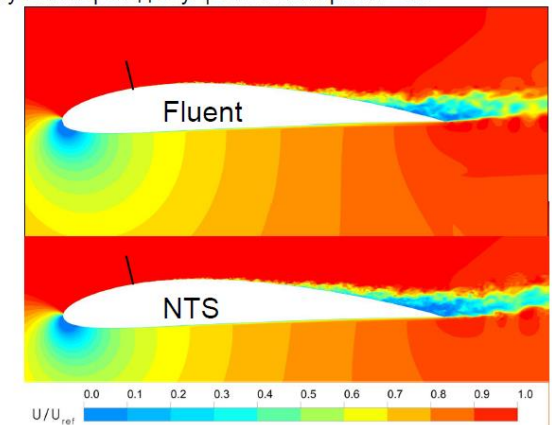
Число Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

Сравнение Fluent и NTS



- Расчет крылового профиля NACA4412
 - $Re=1.5 \cdot 10^6$, $AoA=13.87^\circ$
 - FLUENT: двухстадийный SST RANS - alg. WMLES расчет
 - NTS: одностадийный SST RANS - SST IDDES расчет
 - В обоих случаях переход осуществлялся при $x/c=0.2$

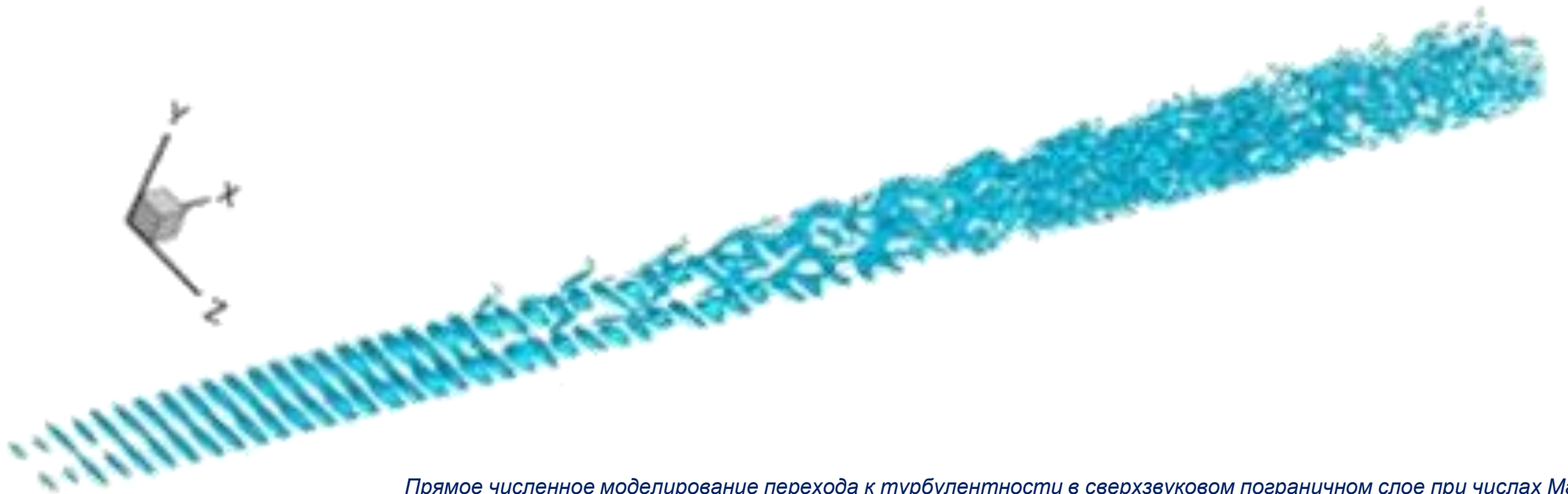


Гарбарук А.В. Курс лекций «Современные методы расчета турбулентных течений»

(http://cfd.spbstu.ru/agarbaruk/lecture/modern_methods)

Цель работы

Анализ структурных элементов пограничного слоя сверхзвукового потока за фронтом плоской ударной волны на основе обработки фотоизображений свечения импульсного поверхностного скользящего разряда



Прямое численное моделирование перехода к турбулентности в сверхзвуковом пограничном слое при числах Маха 2 и 6

<http://tsagi.ru/pressroom/events/seminars/videoseminar-aeromekh/14.02.2017>

Экспериментальная установка

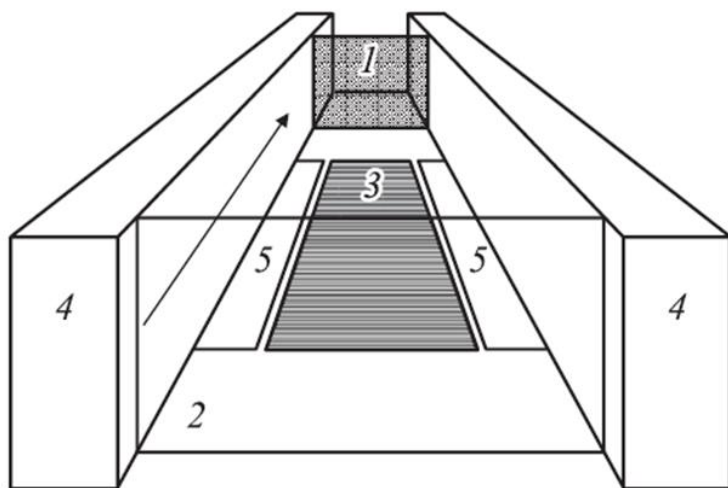
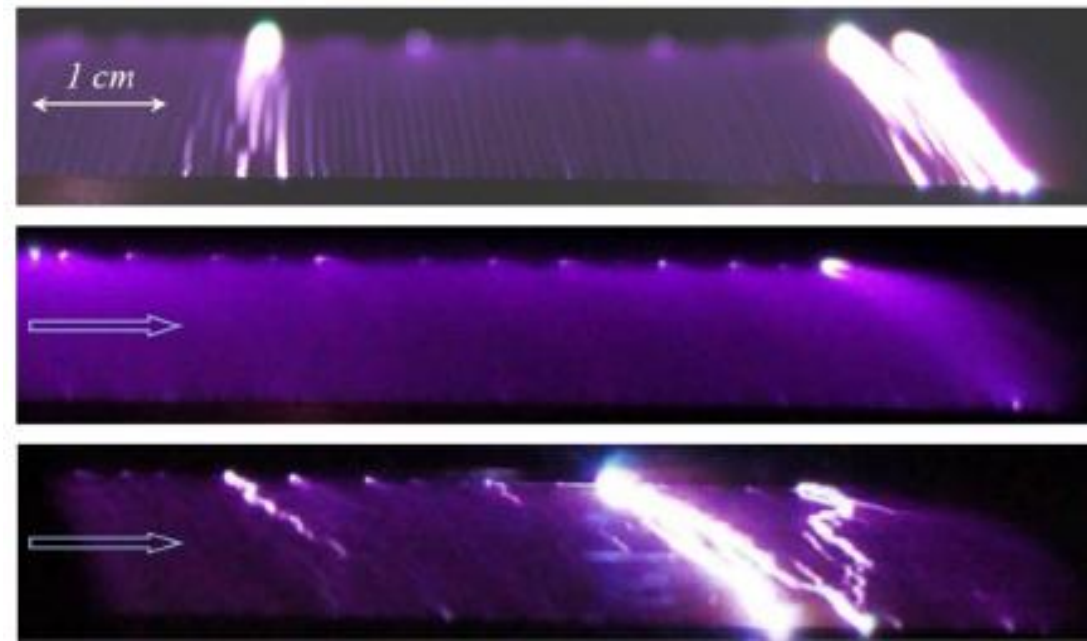


Схема течения в канале ударной трубы [5]: 1 – фронт ударной волны, 2 – контактная поверхность, 3 – область поверхностного разряда, 4 – стекла, 5 – электроды разряда. Стрелкой показано направление потока.

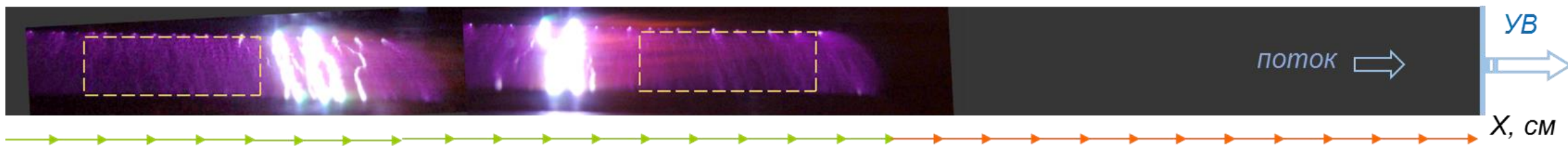
[И.А. Знаменская, Д.Ф. Латфуллин, И.В. Мурсенкова. Ламинарно-турбулентный переход в сверхзвуковом пограничном слое при инициировании импульсного поверхностного разряда. Письма в ЖТФ, 34 (15), 2008.]

Изображения свечения разряда



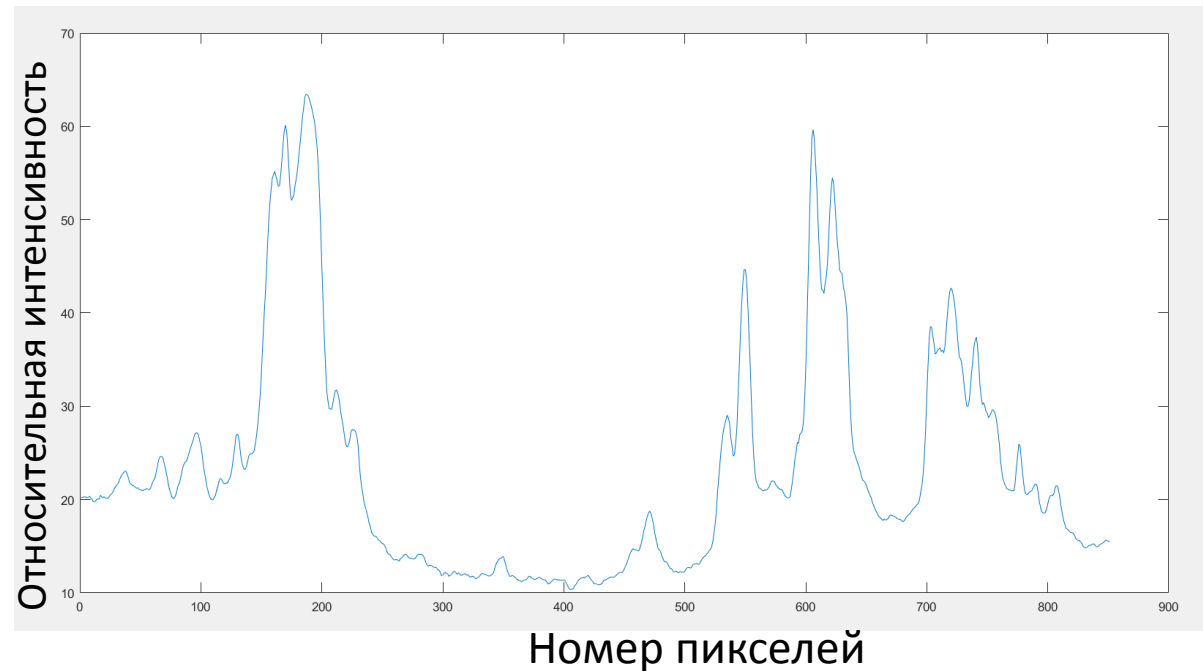
Фотографии свечения разряда в разрядной камере в неподвижном воздухе (а), в сверхзвуковых потоках в ламинарном (б) и турбулентном (в) пограничном слое. Стрелкой показано направление потока.

Mursenkova I.V., Znamenskaya I.A. and Lutsky A.E. Influence of shock waves from plasma actuators on transonic and supersonic airflow. J. Phys. D: Appl. Phys., 2018. Vol. 51, No 5. 105201.



Экспериментальные условия

	M_0	M_{II}	p_1 (торр)	ρ_1 (кг/м ³)	ρ_2 (кг/м ³)	Re ($\cdot 10^5$)	$\Delta X,$ см
1	2,38-2,44	1.17	33	0.056	0.18	2,4	3-28
2	3,6-3,72	1.52	15	0.025	0.11	2,6	6-22
3	4,17-4,48	1.59	7.6	0.013	0.06	1,6	26-29

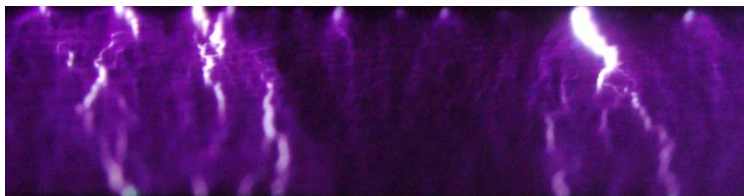


Результат сканирования интенсивности свечения разряда по направлению потока.

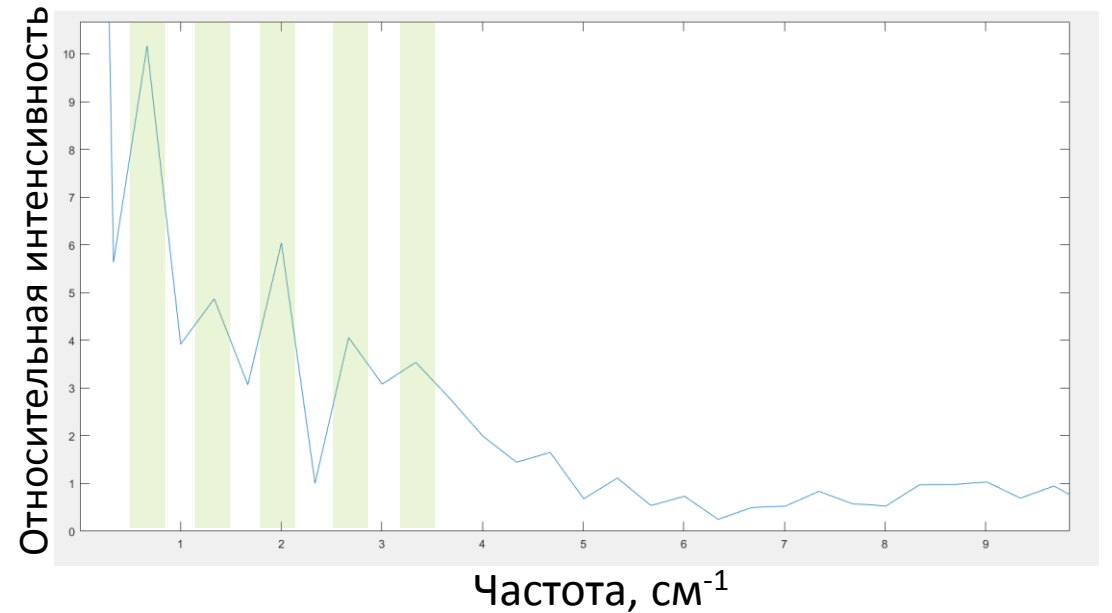
Обработка экспериментальных изображений



оригинальное изображение свечения разряда

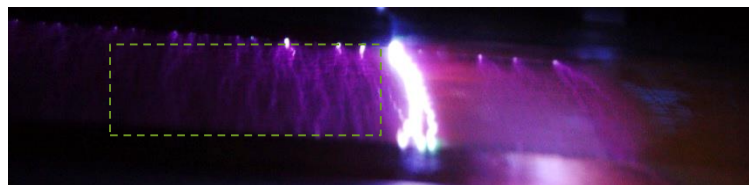


модифицированное изображение

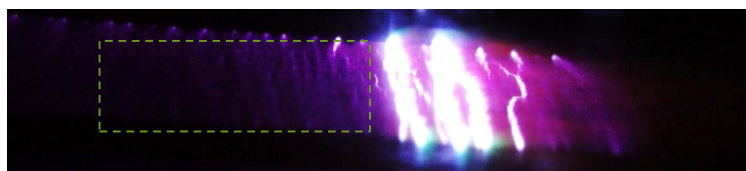


Спектр Фурье интенсивности свечения

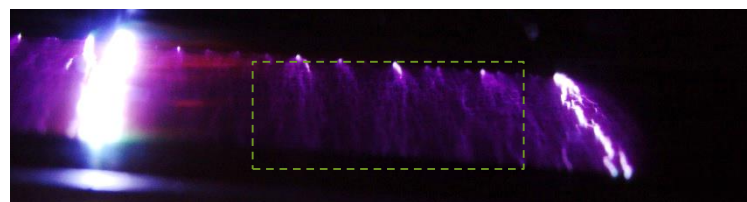
1 серия экспериментов



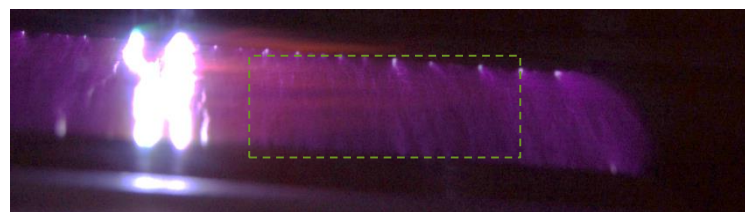
25 см



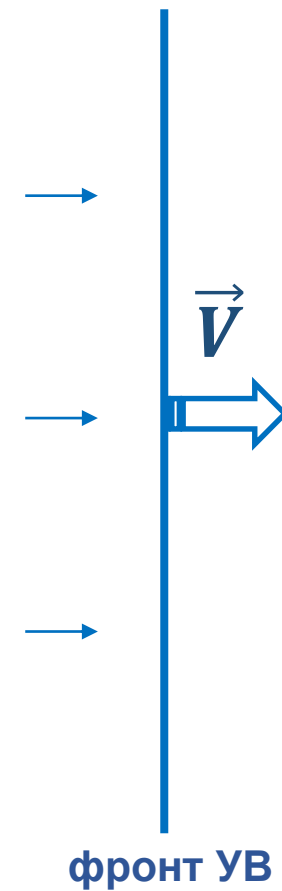
21 см



14 см



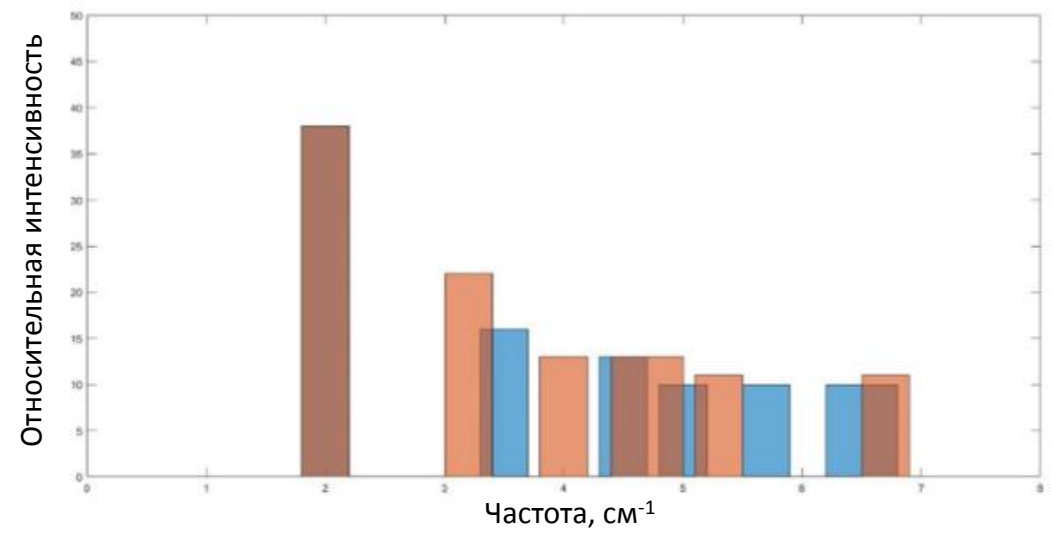
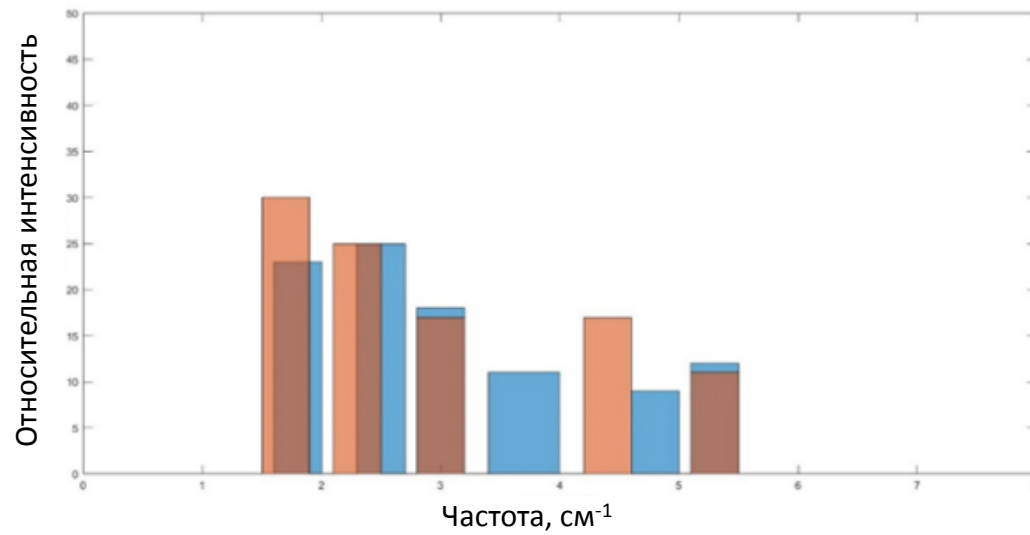
12 см



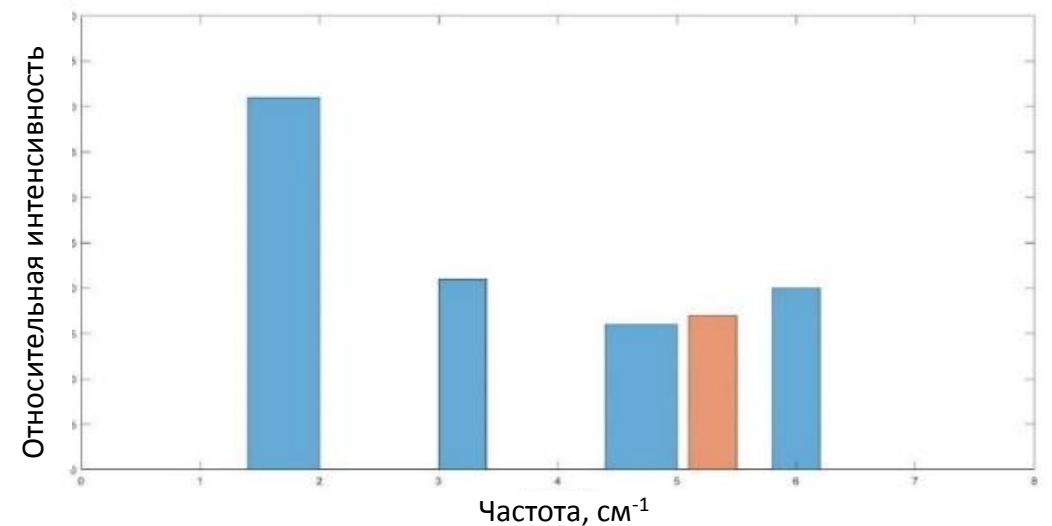
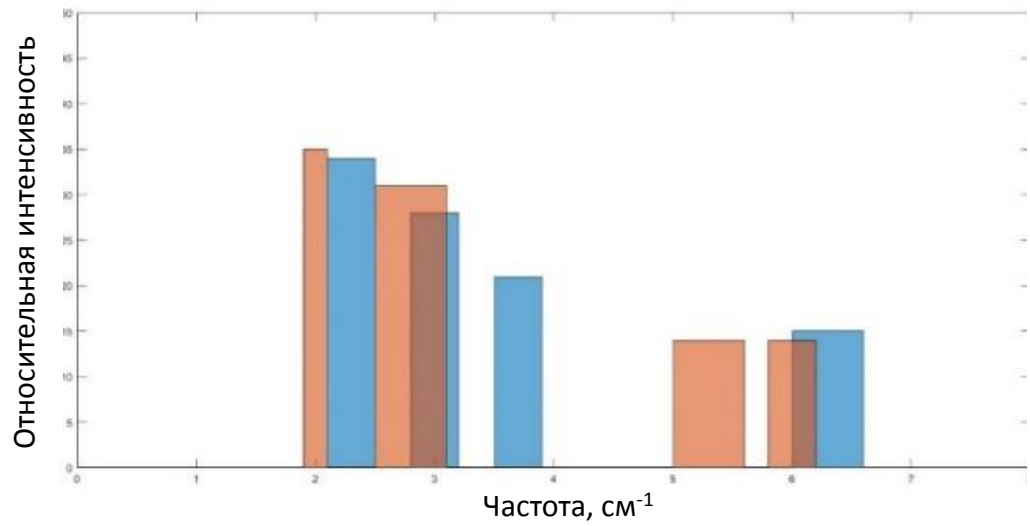
фронт УВ

0





Гистограмма распределения частот (обратного линейного размера) при $\Delta X = 12$ см (а) и 14 см (б). Синим цветом показаны результаты сканирования по направлению потока, коричневым – в перпендикулярном потоку направлении.



Гистограмма распределения частот при $\Delta X = 21$ см (в) и 25 см (г).

Выводы

- Проанализированы фотоизображения свечения импульсного скользящего поверхностного разряда в сверхзвуковых потоках в ударной трубе. Использован математический инструмент Фурье- преобразования интенсивности свечения для анализа турбулентной структуры пограничного слоя.
- Масштабы турбулентных структур в пограничном слое, определенные путем сканирования интенсивности свечения разряда и Фурье- преобразования сигнала, достигают 5 мм при числах Маха потока 1.17-1.59.
- Характер турбулентных структур в пограничном слое при разных экспериментальных условиях имеет общие черты, отражающие динамику развития турбулентности.

Литература

- [1] Курбацкий А.Ф. Лекции по турбулентности. 2000.
- [2] Носов М. А. Лекции по теории турбулентности. Москва, 2013.
- [3] Xin Z., Yong H., Xunnian W., et al. Turbulent boundary layer separation control using plasma actuator at Reynolds number 2000000. Chinese Journal of Aeronautics, 2016.
- [4] Mursenkova I.V., Znamenskaya I.A. and Lutsky A.E. Influence of shock waves from plasma actuators on transonic and supersonic airflow. J. Phys. D: Appl. Phys., 2018. Vol. 51, No 5. 105201.
- [5] И.А. Знаменская, Д.Ф. Латфуллин, И.В. Мурсенкова. Ламинарно-турбулентный переход в сверхзвуковом пограничном слое при инициировании импульсного поверхностного разряда. Письма в ЖТФ, 34(15):75–80, 2008.
- [6] Мурсенкова И.В., Сысоев Н.Н., Уваров А.В. Основы физической гидродинамики: уравнения, граничные условия, простейшие примеры. М., МГУ, 2015. 132 с.
- [7] Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М., 1974. 712 с.

СПАСИБО за внимание!