

19 - 24 сентября 2016 года, г. Светлогорск



РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗАКРУЧЕННОЙ СТРУИ

Токталиев П.Д., Миронов А.К.

ЦИАМ им.П.И.Баранова, Москва

Цель работы и актуальность

- Подавляющее большинство современных и перспективных авиационных камер сгорания используют закрутку потока в первичной зоне для стабилизации горения и улучшения смешения, чаще всего с помощью завихрителей. При этом течение за завихрителем является сильно закрученным течением с зоной обратных токов. Известно, что в зависимости от величины закрутки и условий истечения структура такого течения может существенно меняться, в том числе, течение может быть неустойчивым. В связи с этим становится необходимым для дальнейшего улучшения характеристик распыливания и как следствие характеристик процесса горения в КС поиск оптимальных конструктивных схем завихрителей и параметров процесса смесеобразования,
- Первой целью работы является изучение возможности диагностики процессов в закрученной струе (наличие или отсутствие прецессионного движения). Второй целью работы является получение знаний, позволяющих лучше понимать процессы генерации звука турбулентными потоками. Таким образом необходимо уметь диагностировать (PIV, СТА, микрофоны) и рассчитывать средние и пульсационные характеристики в ближнем (DES, LES, DNS) и дальнем поле (FWH) закрученной струи.

Численная процедура и экспериментальное оборудование

Детали расчетной процедуры:

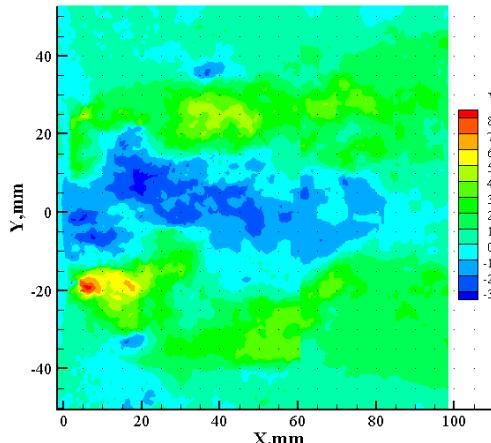
- OpenFOAM 2.3, IDDES (Improved Delayed DES + SA [1]);
- PIMPLE (pressure-implicit split-operator + SIMPLE) алгоритм для уравнений импульса и неразрывности;
- Схемы второго порядка по пространству и времени, реконструкция градиента 3 порядка с лимитером (расширенный шаблон);
- СЛАУ: Гаусс-Зейдель + GAMG (Geometric-Algebraic multi-grid);
- Неотражающие граничные условия для границ присоединенной области;
- FHW для расчета акустических характеристик,

Экспериментальные измерения:

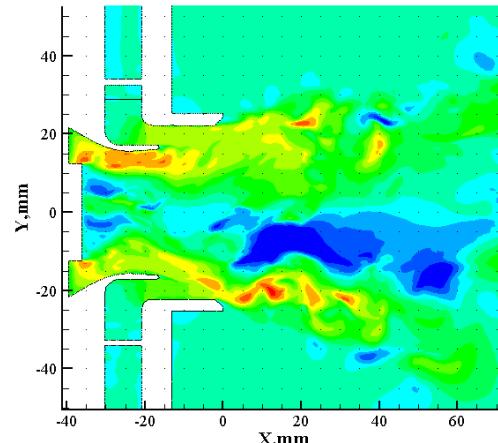
- Поля скорости – Particle Image Velocimetry (PIV);
- Пульсации скорости – термоанемометрические измерения (СТА);
- Пульсации статического давления – микрофонные измерения.

[1] Shur S., Spalart P., Strelets M., Travin A. A hybrid RANS-LES approach with delayed-DES and wall-modelled LES capabilites. International Journal of Heat and Fluid Flow. 2008. Vol.29, №6, p. 1638-1649

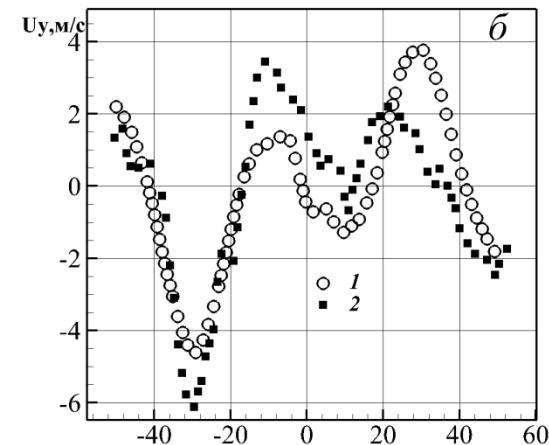
Сравнение расчетных и экспериментальных данных для закрученных струй (средние значения) – устройство 1



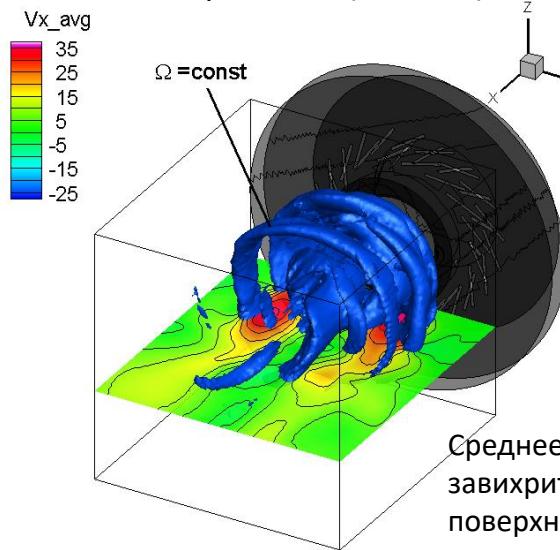
PIV измерения, осевая скорость V_x ($t \sim 0.3$ с)



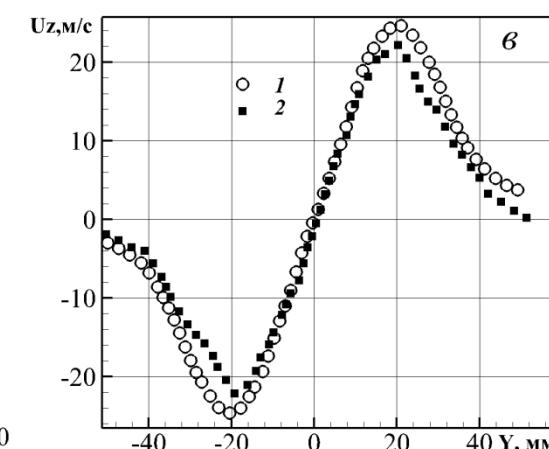
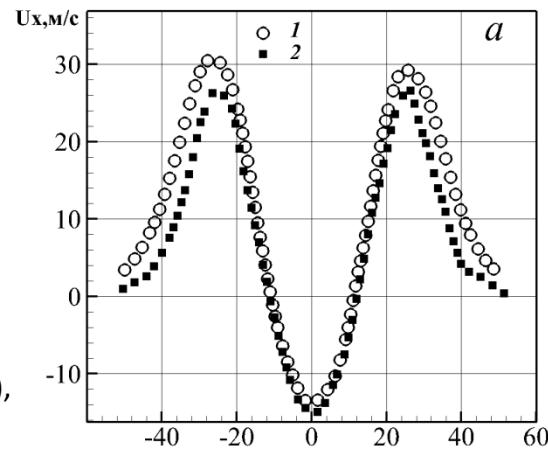
DES расчет, осевая скорость V_x ($t \sim 0.3$ с)



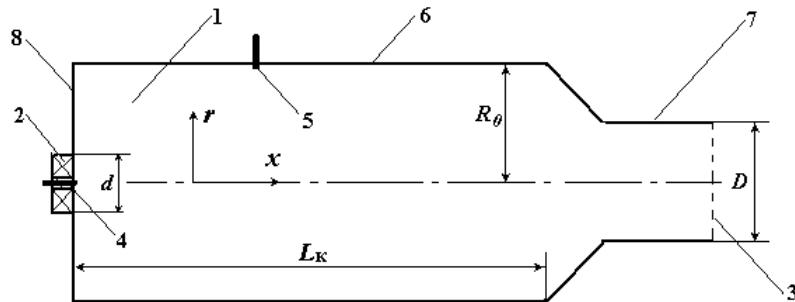
Профили компонент средней скорости на удалении $X = 40$ мм. от среза сопла:
1 - IDDES, 2 – эксперимент, а, б, в.



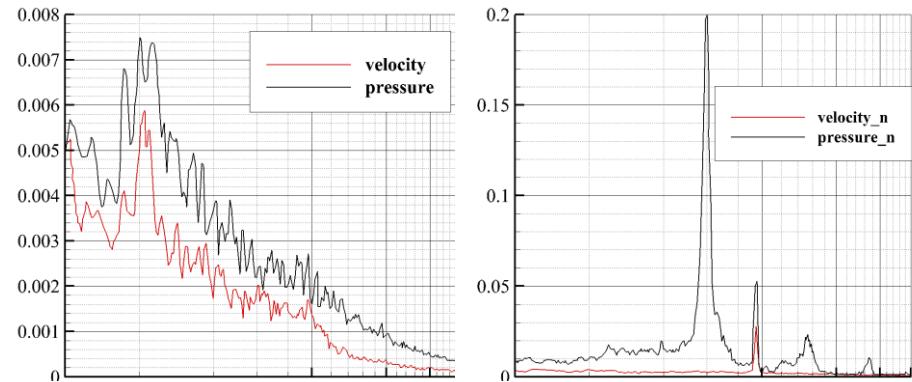
Среднее поле ($t=3$ с),
завихритель №1,
поверхность $Q=\text{const}$



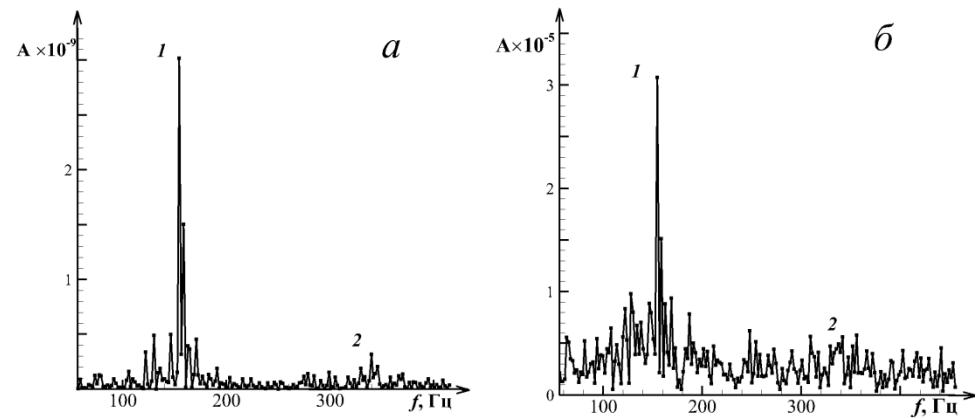
Сравнение расчетных и экспериментальных данных для закрученных струй (спектральный состав) – устройство 1, 2



Экспериментальная установка: 1 – цилиндрическая труба, 2 – завихритель, 3 – сопло, 4 – форсунка, 5 – датчик, 6 – оптическое окно, 7 - сопло



Экспериментальные спектры пульсаций давления и скорости при без прецессии и с прецессией зоны обратных токов в КС, устройство 2



Расчетные спектры пульсаций давления (б) и скорости (а) в слое смешения за устройством 1

Уровни давления в дальнем поле струи – вариант 2

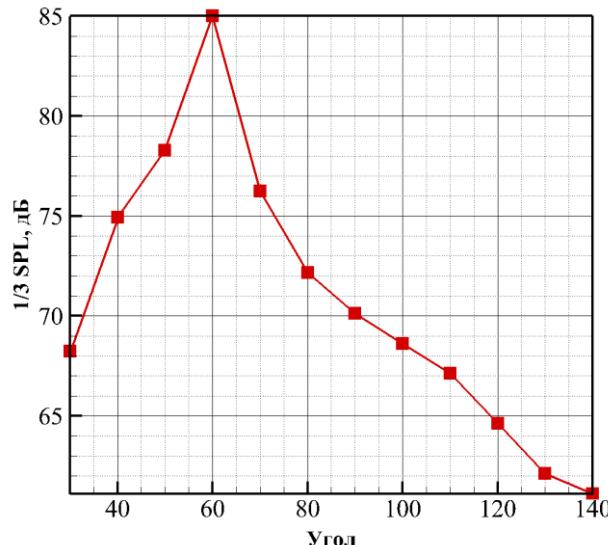
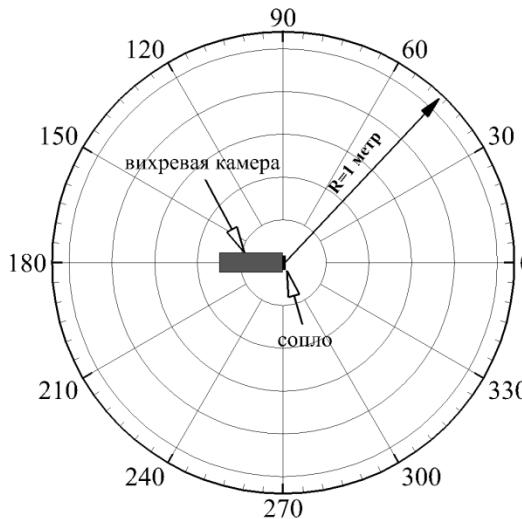
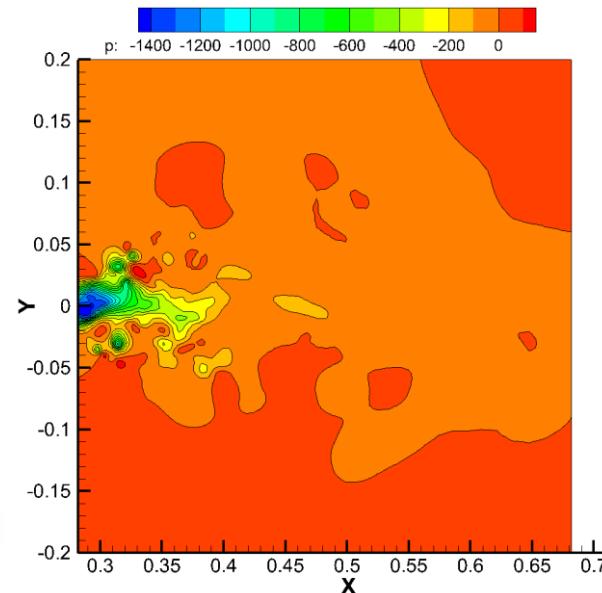
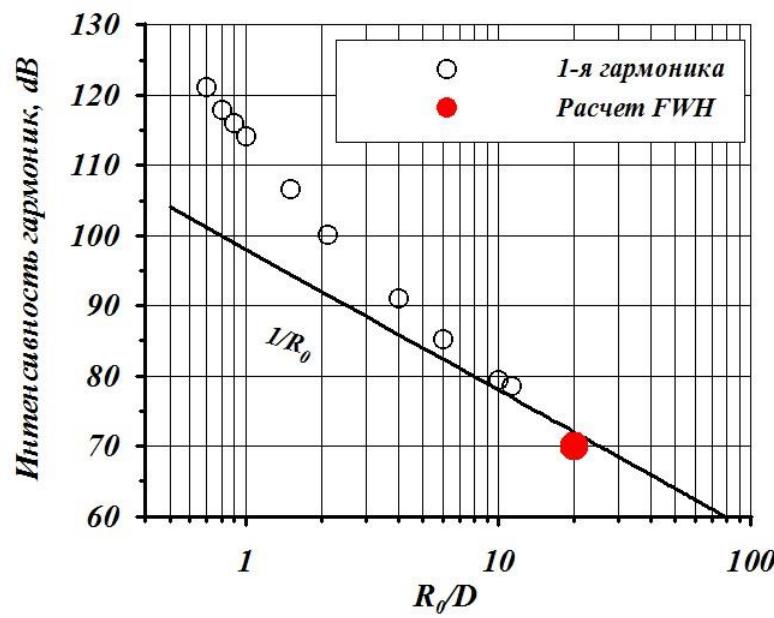


Схема области и контрольной поверхности слева верхний ряд, распределение уровней давления по углу на расстоянии $R=1$ м, справа верхний ряд



Типичное мгновенное поле давления в ближнем поле закрученной струи, параметр закрутки $S=1.48$, вырезка области $\sim 500 \times 500$ ячеек

Заключение

- В работе проведено расчетно-экспериментальное сравнение различных характеристик закрученных струй, образованных завихрителями, использующимися в камерах сгорания авиационных двигателях с целью выявления и диагностики различных режимов истечения,
- Сравнение средних полей с использованием диагностики PIV, СТА и микрофонных измерений с одной стороны и расчетов различными методами с другой стороны показало удовлетворительное согласование по профилям средних характеристик течения, таких как компоненты скорости и давление. Расчетным образом также удается получить выделенную частоту в спектрах пульсаций скорости и давления, соответствующую наблюданной в экспериментах. Сравнение уровней давления в дальнем поле с использованием FHW и микрофонных измерений показало, с рядом оговорок, удовлетворительное соответствие, что позволяет надеяться на возможность, в дальнейшем, диагностировать устойчивые и неустойчивые режимы в закрученной струе

Спасибо за внимание!