

*Четырнадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 26 – 30 июня 2017 г.*

УДК 532.527 (2)

Е.С.Гешева, С.И. Шторк

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, anohina_liza@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТОВЫХ ВИХРЕЙ В
ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ**

АННОТАЦИЯ

Работа направлена на подробное изучение характеристик вихревого потока, образующегося в камере тангенциального типа. Измерены поля скорости и завихренности с помощью бесконтактного метода диагностики потока, а также проведена верификация расчетных данных, полученных с помощью CFD пакета Star CCM+ с использованием LES и DES методов моделирования турбулентных потоков. Расчетные профили скорости и частота прецессии вихря согласуются с экспериментальными данными, что говорит о корректности выбранного подхода моделирования турбулентного закрученного потока.

**ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ, ЗАКРУЧЕННЫЙ ПОТОК, КАМЕРА СГОРАНИЯ,
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ, СПИРАЛЬНЫЙ ВИХРЬ**

ГЕНЕРАЦИЯ ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА И ЭКСПЕРИМЕНТ

Особенностью закрученного течения в модели тангенциальной топки является формирование пространственно-сложных крупномасштабных вихрей, полностью определяющих глобальную структуру течения [1]. При постановке эксперимента был создан гидродинамический стенд, предназначенный для экспериментального исследования вихревых структур, образующихся в рабочей камере с тангенциальной закруткой потока.

Рабочий участок изготовлен из оргстекла и представляет собой камеру квадратного сечения с размерами $188 \times 188 \times 625$ мм³. Закрутка потока происходит с помощью 4 блоков сопел по 3 сопла в каждом, расположенных тангенциально. Геометрические условия в рабочем участке варьировались путем изменения угла поворота сопел и формы дна, диафрагмирования выхода и смещения выходного отверстия диафрагмы. Режимы течения характеризовались безразмерными параметрами, такими как число Рейнольдса Re и параметр крутки S [2]. Число Рейнольдса определялось по поперечному размеру b и среднерасходной скорости V_b вихревой камеры. В качестве рабочей жидкости использовалась дистиллированная вода.

Визуализация течения осуществлялась мелкими пузырьками воздуха, которые подавались в контур перед рабочим участком. Преимуществом использования воздушных пузырьков в качестве маркеров потока, кроме их хорошей отражательной способности, является также то, что они собираются вдоль оси вихря, образуя тонкую воздушную нить, и наглядно визуализируют, таким образом, вихревые структуры. Подсветка потока производилась с помощью лазерного ножа от 3 Вт непрерывного твердотельного лазера. Для регистрации кар-

тины течения использовался цифровой зеркальный фотоаппарат Canon 7d, обладающий рядом характеристик, свойственных профессиональным моделям.

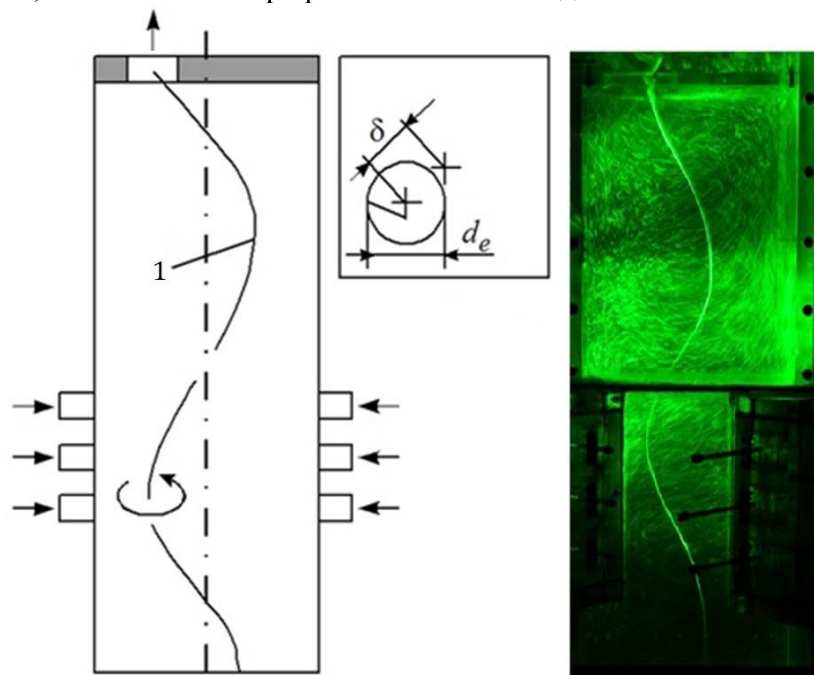


Рис.1. Схема камеры с закрученным потоком и визуализация односпирального вихря.

Эксперименты проводились с использованием PIV техники и высокочувствительного гидрофона. Также была проведена визуализация вихрей с помощью высокоскоростной камеры.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР

При экспериментальном моделировании вихревых структур в рабочей камере менялись геометрические условия, что приводило к образованию в камере различных вихревых структур. В камере с центральной диафрагмой и плоским дном, образуется устойчивый прямолинейный вихрь. При смещении выходного отверстия диафрагмы вихревая нить изгибается в спиралеобразный вихрь. Также была получена сложная двуспиральная вихревая структура в камере с двускатным дном и центрально расположенной диафрагмой (рис. 2).

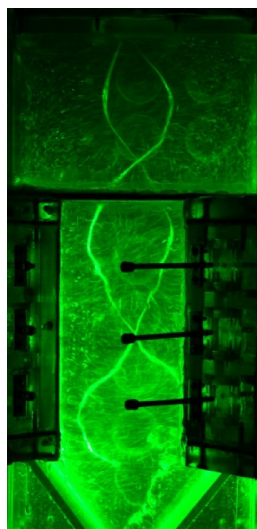


Рис.2. Визуализация двойной спирали.

При смещении выходного отверстия диафрагмы, вихревая нить принимает форму прецессирующей спирали. Таким образом, в камере создается поток с двойным спиральным движением. На рис.3 представлены профили тангенциальной скорости на полувысоте камеры. Хорошо видны экстремумы скорости, которые характеризуют размер вихря. По оси абсцисс можно вычислить радиус вихря, и в данном случае радиус составляет около 9 -11 мм, и не зависит от числа Рейнольдса.

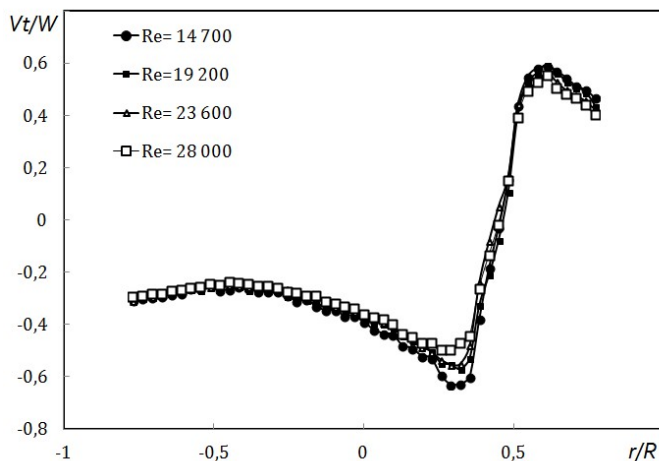


Рис. 3. Экспериментальные профили скорости на полувысоте камеры, полученные с помощью PIV техники.

При моделировании закрученного потока в камере со смещенной диафрагмой были опробованы различные подходы моделирования. RANS моделирование не позволяет обнаружить имеющиеся вихревые структуры, а в методе DES видны заниженные экстремумы скорости, что связано с осреднениями, допущенных в методе, о чем также свидетельствует повышенное значение тангенциальной скорости вне вихревой области.

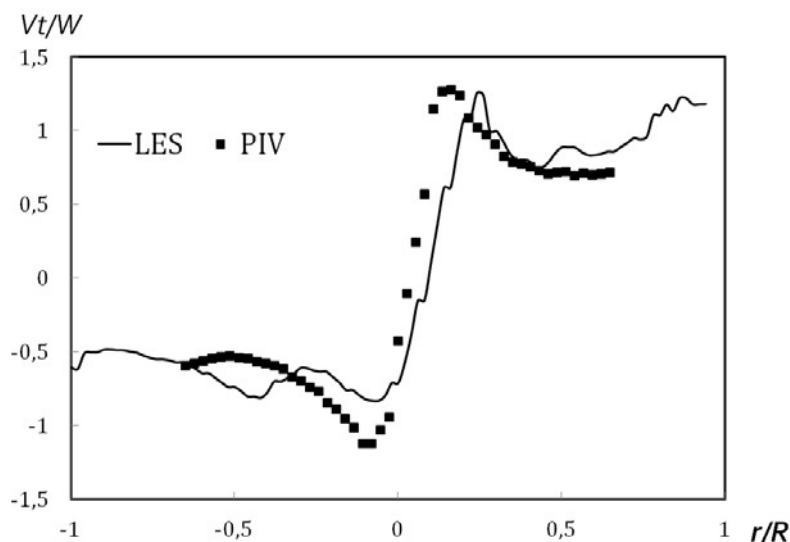


Рис. 4 Профили тангенциальной скорости для односпирального вихря, экспериментальные и расчетные данные. $h=135 \text{ mm}=1/4$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работ был получен большой набор экспериментальных данных по полям скорости и завихренности, а также исследованы частотные характеристики вихря.

Анализ аксиального профиля скорости показывает наличие зоны сильного осевого течения в области эффективного радиуса вихря. Частота прецессии вихря линейно зависит от расхода жидкости.

Наряду с этим было проведено моделирование закрученного потока в рабочей камере с помощью CFD пакета с использованием методов DES и LES моделирования турбулентных потоков. Как показало сравнение профилей тангенциальной скорости и завихренности метод LES лучше описывает вихревой закрученный поток, в то время как метод DES фиксирует заниженный максимум скорости вблизи дна камеры, хотя в остальном дает результаты схожие с LES моделированием. Частоты прецессии, полученные с помощью моделирования потока, согласуются с полученными экспериментальными точками.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-08-05220)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. **Гупта А., Лили Д., Сайред Н.** Закрученные потоки. М.: Мир, 1987. -590с.
2. **Алексеев С.В., Куйбин П.А, Окулов В.Л.** Введение в теорию концентрированных вихрей // Монография, 2003, - 503 с.
3. **Е.С. Анохина, Д.А. Дектерев, С.И. Шторк , С.В. Алексеев** Исследование стационарных вихревых структур в модельной камере сгорания // Вестник НГУ Серия Физика, 2012, №2, с. 56-65
4. **Gesheva E. S., Litvinov I. V., Shtork S. I., Alekseenko S. V.** Analyzing the Aerodynamic Structure of Swirl Flow in Vortex Burner Models // Thermal Engineering, 2014, Vol. 61, No. 9, pp. 649–657.

E.S. Gesheva, S.I. Shtork

*Institute of Thermophysics S.S. Kutateladze of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, anohina_liza@mail.ru*

INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF SPIRAL VORTEXES IN A SWIRL FLOW

ANNOTATION

The work is aimed at a detailed study of the characteristics of a vortex flow forming in a tangential-type chamber. The velocity and vorticity fields were measured using a contactless flow diagnostics method, and verification of the calculated data obtained with the CFC StarCM + package using LES and DES turbulent flow simulation methods was performed. The calculated velocity profiles and the frequency of the precession of the vortex agree with the experimental data, which indicates the correctness of the chosen approach for modeling a turbulent swirling flow.

VORTEX STRUCTURES, SWIRL FLOW, COMBUSTION CHAMBER, TURBULENCE SIMULATION, SPIRAL VORTEX