

## РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ В ЭТАЛОННЫХ СОПЛАХ И ФОРСУНОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ

Диденко А.А., Болычев С.А.

Самарский университет, г. Самара, [bolichev.sa@ssau.ru](mailto:bolichev.sa@ssau.ru)

*Ключевые слова:* поле скорости, эталонное сопло, форсуночное устройство, коэффициент расхода, лазерно-оптические измерения.

В работе проведены расчетно-экспериментальные исследования двухфазных потоков в эталонном сопле Витошинского и в форсуночном устройстве МЭКС.

Одним из объектов исследования являлась турбулентная струя воздуха при отсутствии и наличии в струе жидких или твердых частиц (капель, микросфер), образующаяся при истечении из суживающегося профилированного сопла – сопла Витошинского. Диаметр сопла на выходе  $d_c = 14$  мм, истечение происходит в спутный низкоскоростной поток воздуха при давлении среды, близком к  $p_2 = p_h \approx 101,3$  кПа. Давление перед соплом  $p_1^*$  отличалось от давления  $p_h$  на величину  $\overline{p_b} = 2; 4,5; 6,5; 9\%$  (что соответствовало скорости истечения  $C_2 \approx 60; 87; 106; 123$  м/с). Средняя скорость на срезе сопла  $C_2$  (скорость истечения) рассчитывалась по инженерной методике адиабатного течения реального газа с использованием измеренных перед соплом давления  $p_1^*$  и температуры  $T_1^*$  воздуха и расхода воздуха  $G_b$  через сопло.

Детальная структура струи, эпюры скорости и интенсивность турбулентности определялись методом численного 3D моделирования в программной среде ANSYS Fluent. В том числе определялась средняя скорость  $C_{2R}$  на срезе сопла.

Скорость в различных сечениях и в характерных точках струи, в том числе в сечении вблизи сопла  $C_{2L}$  измерялись с помощью трёх вариантов лазерных доплеровских анемометров (LDA) и одного термоанемометра (СТА). При выполнении LDA-измерений исследуемая струя воздуха засеивалась трассерными частицами – микрокаплями оливкового масла (ТЧ-ОМ) и твердыми алюмосиликатными микросферами (ТЧ-8 с диаметром 3,5 мкм и ТЧ-3 – 60 мкм).

В работе приводятся результаты по значениям средней скорости  $C_2$ ,  $C_{2R}$  и  $C_{2L}$ ; эпюрам скорости в двух поперечных сечениях, вдоль оси струи и 4-х контрольных точках – 2 точки – на оси струи и 2 точки – на оси пограничного слоя за кромкой сопла.

В этих же точках рассчитывался спектр турбулентности из результатов измерений и 3D-моделирования.

Полученные эпюры скорости приведены к безразмерному виду и сравниваются с известными данными и обобщениями других исследователей [1, 2]. Отмечается удовлетворительное взаимное согласие всех полученных результатов (см. рисунок 1).

В отличие от первой версии методики расчета [3] в данном ее варианте коэффициент расхода сопла  $\mu_c$  подсчитывался через толщину пограничного слоя  $\delta^*$ , которая определялась по числу Рейнольдса по полуэмпирической формуле для пограничного слоя на плоской пластине [1, 2].

Также проведены экспериментальные исследования двухфазного потока (воздух – капли керосина) на выходе из форсуночного устройства МЭКС. С помощью лазерных доплеровских анемометров (LDA) проведено измерение скорости двухфазного потока. С помощью 35-канального сборника жидкого топлива проведено исследование распределения жидкого топлива в поперечном сечении топливно-воздушного факела. Также определена окружная неравномерность распределения жидкого топлива по соплам.

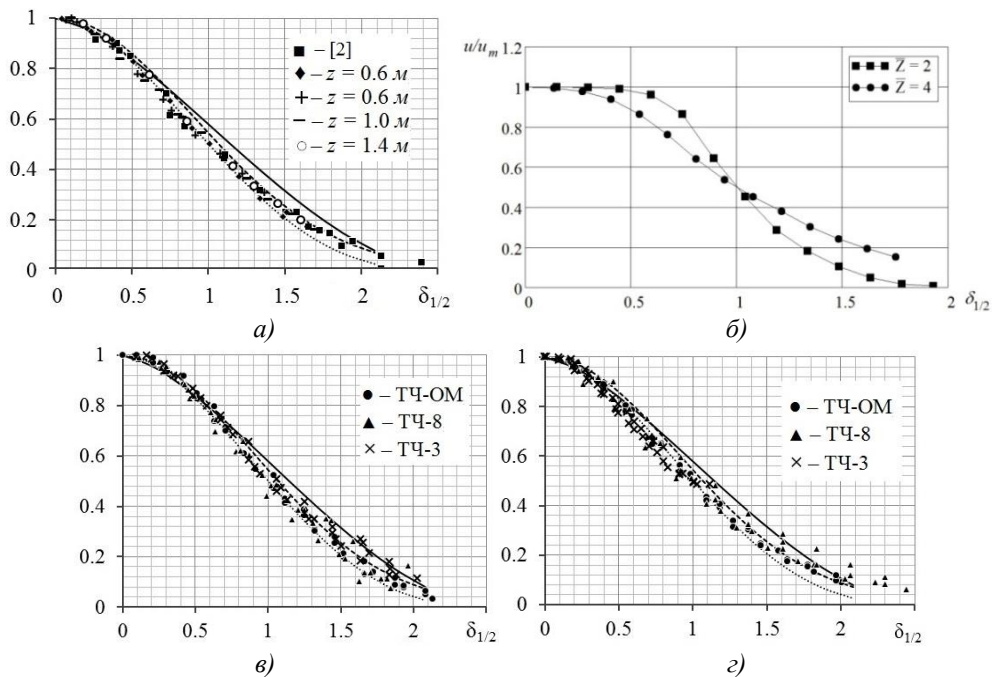


Рисунок 1 – Безразмерные профили скорости: а) из литературных источников; б) 3D-LDA ЛАД-078С ( $\bar{p}_b = 1,75\%$ ); в) 3D-LDA-PDA Dantec ( $\bar{p}_b = 4,5\%$ ;  $\bar{Z} = 7$ ); г) 3D-LDA ЛАД-056С ( $\bar{p}_b = 4,5\%$ ;  $\bar{Z} = 7$ )

### Список литературы

1. Абрамович, Г.Н. Теория турбулентных струй [Текст] / Г.Н. Абрамович. – М.: Физматгиз, 1960. – 715 с.
2. Гиневский, А.С. Теория турбулентных струй и следов [Текст] / А.С. Гиневский. – М.: Машиностроение, 1969. – 202 с.
3. Диденко А.А. Сравнительные исследования полей скорости в двухфазной струе воздуха из эталонного сопла с использованием лазерных доплеровских измерителей и термоанемометра / А.А. Диденко, А.В. Ахтерьяков, А.Б. Соколов, А.А. Каньгин, А.В. Соловьёва, О.В. Коломзаров, В.М. Анисимов, М.Ю. Анисимов, С.В. Лукачѳв // X Международная научно-техническая конференция «Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей»: сб. трудов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т). – Самара: Изд-во Самарский университет, 2017. – С. 34-36.

### Сведения об авторах

Диденко Алексей Александрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей. Область научных интересов: рабочий процесс камер сгорания газотурбинных двигателей.

Болычев Станислав Александрович, заведующий лабораторией лазерной диагностики структуры потока. Область научных интересов: лазерно-оптические измерения высокотемпературных потоков и пламени.

## NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TWO-PHASE FLOWS IN REFERENCE NOZZLES AND FUEL NOZZLE OF LOW EMISSION COMBUSTION CHAMBERS

Didenko A.A., Bolychev S.A.

Samara National Research University, Samara, Russia, [bolichev.sa@ssau.ru](mailto:bolichev.sa@ssau.ru)

*Keywords: velocity field, reference nozzle, fuel nozzle, flow coefficient, laser-optic measurement.*

Computational and experimental studies of two-phase flows in the reference Vitoshinsky nozzle and in the fuel nozzle of low emission combustion chamber were carried out.