

## РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭТАЛОННОГО СУЖИВАЮЩЕГОСЯ СОПЛА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ СТРУЙ

Диденко А.А., Болычев С.А., Евтушенко Д.Н.  
Самарский университет, г. Самара, fregat\_and@mail.ru

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

Объектом исследования являлась турбулентная струя воздуха при отсутствии и наличии в струе жидких или твёрдых 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  $\bar{p}_B = 2; 4,5; 6,5; 9\%$  (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 давлением  $p_1^*$  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 твёрдыми алюмосиликатными микросферами (ТЧ-8 с диаметром 3,5 мкм и ТЧ-3 – 60 мкм).

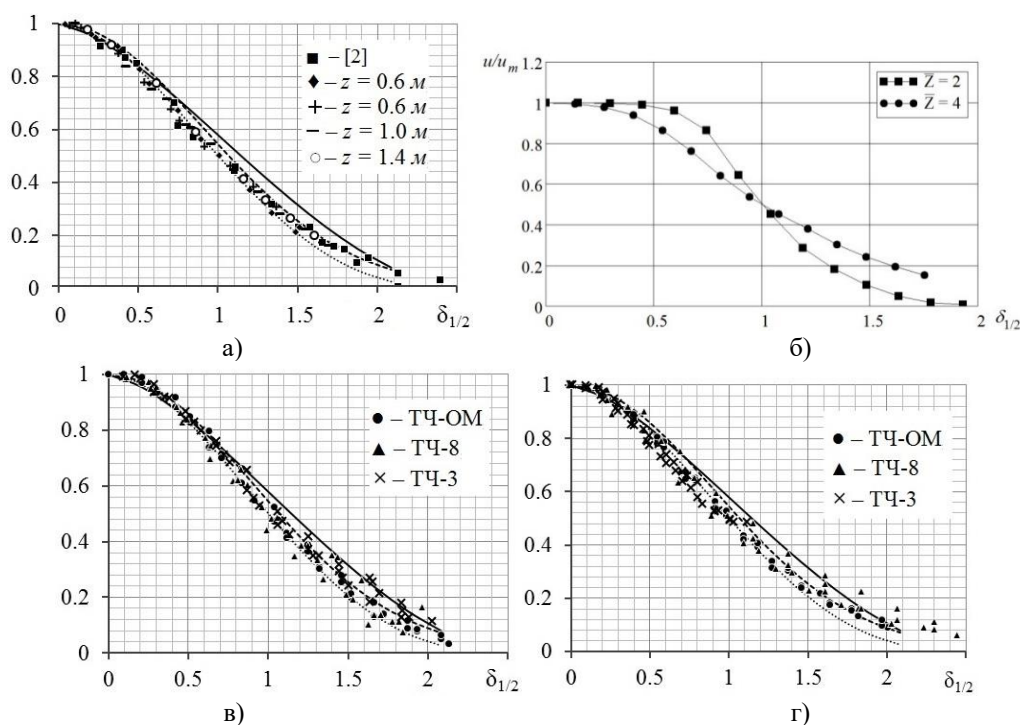


Рис. 1 – Безразмерные профили скорости: а) из литературных источников; б) 3D-LDA ЛАД-078С ( $\bar{p}_B = 1,75\%$ ); в) 3D-LDA-PDA Dantec ( $\bar{p}_B = 4,5\%$ ;  $\bar{Z} = 7$ ); г) 3D-LDA ЛАД-056С ( $\bar{p}_B = 4,5\%$ ;  $\bar{Z} = 7$ )

В статье 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. рис. 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].

### Список литературы

1 Абрамович, Г.Н. Теория турбулентных струй / 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. Каныгин, А. В. Соловьёва, О. В. Коломзаров, В. М. Анисимов, М. Ю. Анисимов, С. В. Лукачёв // 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, канд. техн. наук, доцент, Область научных интересов: рабочий процесс камер сгорания газотурбинных двигателей.

Большев Станислав Александрович, инженер. Область научных интересов: лазерно-оптические измерения высокотемпературных потоков и пламени.

Евтушенко Дмитрий Николаевич, инженер. Область научных интересов: экспериментальные исследования камер сгорания и форсуночных устройств.

## NUMERICAL AND EXPERIMENTAL DETERMINATION OF REFERENCE CONVERGING NOZZLE CHARACTERISTICS FOR VERIFICATION OF THERMAL AND LASER MEASUREMENTS OF AIR JET PARAMETERS

Didenko A.A., Bolychev S.A., Evtushenko D.N.  
Samara National Research University, Samara, Russia, fregat\_and@mail.ru

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