

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТИ ДОЗВУКОВОЙ ВОЗДУШНОЙ СТРУИ

Научный руководитель – Егоров Кирилл Сергеевич

Загайнов Иван Алексеевич

Студент (бакалавр)

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Энергомашиностроение, Москва, Россия

E-mail: iz1721@mail.ru

Экспериментальное исследование дозвуковых затопленных струй актуально ввиду широкого распространения турбулентных струй в технике и природных процессах. Их характеристики определяют эффективность систем вентиляции, охлаждения, энергетических и аэрокосмических установок. Актуальность работы связана с исследованием устройства энергоразделения Гартмана – Шпренгера. Экспериментальный стенд выполнен на базе малой аэродинамической установки с регулируемыми параметрами подачи газа. Для диагностики применялись ИК-термография (InfraTEC IR8800) и метод PIV с использованием Nd:YAG-лазера. Проведена серия экспериментов в дозвуковых струях, выполнен сравнительный анализ трассеров (TiO_2 и DEHS) для PIV-измерений.

Под термином «энергоразделение» или «безмашинное энергоразделение» понимается перераспределение полной энтальпии (температуры торможения) в потоке газа без совершения им внешней работы и теплообмена с окружающей средой [1-3]. Причины, вызывающие энергоразделение потока, могут быть различными. В некоторых случаях это вихревые течения, в других случаях это связано с пульсациями давления и возникновением ударных волн [4-6]. Они легли в основу устройств для энергоразделения потока. Наиболее распространенные среди них - вихревые трубы Ранка-Хилша (ТРХ) и резонансные трубы Гартмана-Шпренгера (ТГШ).

Принцип действия трубы Гартмана-Шпренгера основан на взаимодействии ударной волны с стенками резонатора, что приводит к формированию устойчивой высокоамплитудной волновой структуры и периодическим колебаниям давления [7]. Энергоразделение на основе эффекта Гартмана-Шпренгера реализуется за счёт неравномерного распределения энергии в потоке после резонатора, что позволяет выделить зоны с различными уровнями температуры и давления.

Для проведения исследования разработан экспериментальный стенд на базе малой аэродинамической установки непрерывного действия с регулируемыми геометрическими параметрами (диаметр резонатора, длина, форма сопла) и системой подачи газа с регулируемым давлением и скоростью потока (рис. 1) [8, 9]. Установка оснащена как прозрачными окнами из оргстекла, так и ИК-прозрачным иллюминатором из ZnSe, что позволяет измерять температуру модели с помощью ИК-камеры InfraTEC IR8800. Для экспериментального исследования поля скорости потока в дозвуковых и сверхзвуковых струях применяется система PIV на базе измерительного комплекса «Полис» [10].

Использование автоматических систем позиционирования измерительных зондов (температуры, давления), а также средств бесконтактной термометрии позволяют фиксировать с высокой точностью и хорошим пространственным разрешением параметры, характеризующие энергоразделение газового потока. При этом будет получена подробная информация по распределению статического и полного давления вдоль канала, о профилях

скорости на выходе из канала, о температурном поле при различных расходах рабочего тела. На основе полученных данных будут определены режимы, при которых энергоразделение имеет максимальное значение. Относительная простота рабочего участка и универсальная измерительная база дает возможность в кратчайшее время модернизировать стенд с целью более тщательного исследования фиксируемых эффектов. Для подсветки потока в системе PIV используется зеленый импульсный ND:YAG лазер Beamtch Vlite 200 с двумя рабочими элементами и одним общим оптическим выходом.

В рамках первой части работы проведена серия экспериментов по исследованию структуры течения в дозвуковой струе, а также сравнительный анализ применимости различных типов трассеров на базе оксида титана и маслокапельной жидкости DEHS. Получены векторы продольной составляющей скорости и поле скорости. Трассеры вводятся в поток перед соплом, давление воздуха от трассы высокого давления регулируется с помощью редуктора. Давление и температура торможения измеряются перед входом в сопло. Работа выполняется в рамках госбюджетной тематики МГУ имени М.В. Ломоносова (№АААА-А19-119012990115-5).

Источники и литература

- 1) Виноградов Ю.А., Попович С.С., Леонтьев А.И., Стронгин М.М. Влияние локального отрывного течения за преградой в сверхзвуковом потоке на эффективность устройства безмашинного энергоразделения // Будущее машиностроения России: Сборник докладов X Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием). М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ), 2017. С. 274–277.
- 2) Егоров К.С., Загайнов И.А., Попович С.С. Экспериментальная отработка панорамного метода исследования анемометрии по изображениям частиц на сверхзвуковой аэродинамической установке // Будущее машиностроения России. 2022: сб. докл. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. С. 12–16.
- 3) Егоров К.С., Загайнов И.А., Попович С.С. Сравнительное исследование применимости различных видов трассеров засева потока системы PIV при сверхзвуковых скоростях // Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках: Тезисы докладов XXIV школы семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева, Казань: АО Информационно-издательский центр, 2023. С. 406–407.
- 4) Загайнов И.А., Попович С.С., Егоров К.С. Экспериментальная отработка методов измерения поля скорости в потоке сжимаемого газа // Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентность: материалы XXV Международной конференции. М.: Издательство Московского университета, 2024. С. 92–93.
- 5) Загайнов И.А., Попович С.С., Егоров К.С. Отработка методики засева сверхзвукового потока различными типами трассеров PIV-системы // Фундаментальные и прикладные задачи механики: Материалы Международной научной конференции. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ), 2024. С. 255.
- 6) Загайнов И.А., Попович С.С., Киселев Н.А., Виноградов Ю.А. Практика применения различных типов трассеров для исследования газовых потоков методом анемометрии по изображениям частиц // Ломоносовские чтения – 2024: тезисы докладов. М.: Издательство Московского университета, 2024. С. 62.
- 7) Здитовец А.Г., Попович С.С., Киселёв Н.А., Виноградов Ю.А. Экспериментальное исследование способов безмашинного энергоразделения однофазного сжимаемого потока // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2024. Т. 25, № 6. С. 1–30.

- 8) Козлов П.В., Попович С.С., Здитовец А.Г., Загайнов И.А. Экспериментальное исследование тепловых потоков в газодинамических установках непрерывного и кратковременного действия // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2024. Т. 25, № 6. С. 239–251.
- 9) Леонтьев А.И., Лущик В.Г., Макарова М.С., Попович С.С. Коэффициент восстановления температуры в сжимаемом турбулентном пограничном слое // Теплофизика высоких температур. 2022. Т. 60, № 3. С. 455–480.
- 10) Попович С.С. Влияние ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения // Дисс. канд. техн. наук. М.: ОИВТ РАН, 2016. 172 с.

Иллюстрации

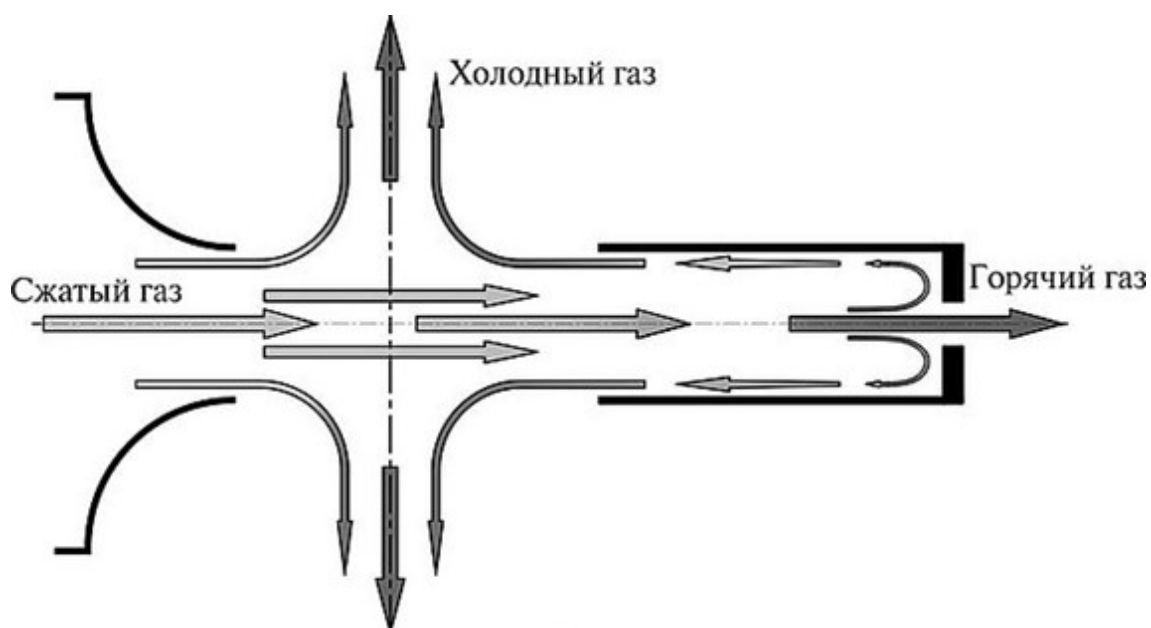


Рис. : Устройство для безмашинного энергоразделения на основе трубы Гартмана – Шпренгера

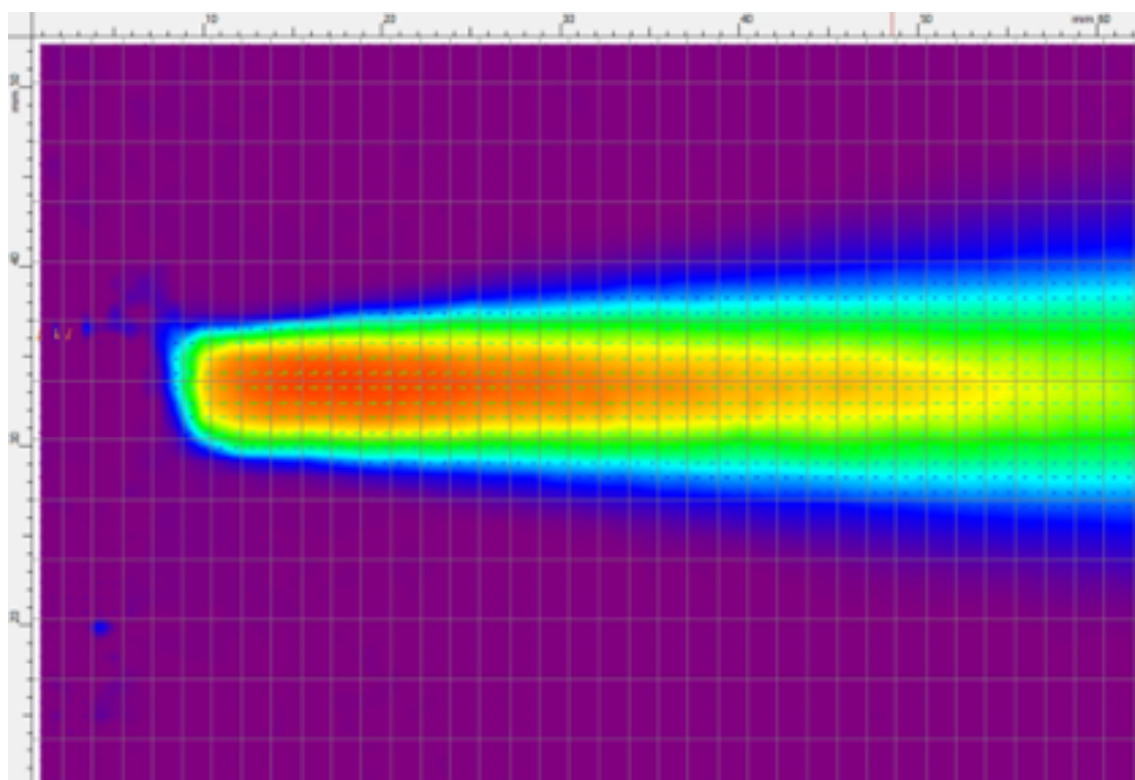


Рис. : Векторы продольной составляющей скорости