

Зайцев О. Н., Аверкова О. А., Зайцева Е. О.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗАКРУЧЕННОЙ ПРИТОЧНОЙ СТРУИ
НА ВЫХОДЕ ИЗ КРУГЛОГО ПАТРУБКА**

Юго-Западный государственный университет. Зайцев О. Н. – д. т. н., профессор кафедры инфраструктурных энергетических систем.

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Аверкова О. А. – д.т.н., профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Зайцева Е. О. – магистр

Актуальность

Разработка новых энергосберегающих способов и конструктивных решений для снижения расходов топлива в децентрализованных системах теплоснабжения, локализации тепловых источников малой мощности и рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе наряду с теоретическими исследованиями требует получения экспериментальных данных по аэродинамике закрученных потоков, особенно на выходе из патрубка в открытое пространство. Выполнение таких исследований также вызвано тем, что теоретические модели требуют задания величин, измерение которых в производственных условиях затруднено (например, кинематическая вязкость среды, частоты колебаний вихревого ядра и других данных) [1–2], поэтому наличие экспериментальных исследований в соответствующем диапазоне позволит на основании известных методов теории планирования и обработки экспериментальных данных выявить места с наиболее значительными энергетическими потерями.

Цель и задачи исследования

Целью работы является мест с наиболее значимыми энергетическими потерями на выходе сильно закрученной струи из патрубка круглой формы.

Для достижения поставленной цели решалась задача по экспериментальному исследованию тангенциальной, радиальной и аксиальной составляющих скорости закрученной струи в подающем патрубке.

Результаты исследования

Анализ наиболее распространенных методов интенсификации процессов перемешивания показал, что закручивание основного потока [3–5] требует дополнительных энергетических затрат, хотя при этом достигается перемешивание не только за счет турбулизации пограничных слоев, но и за счет вовлечения окружающего воздуха в осевое возвратное течение, возникающее при сильной крутке. Для решения поставленной задачи на основании рекомендаций [5–6] был разработан и изготовлен экспериментальный стенд для аэродинамических исследований, в основу которого положены патрубки с тангенциальным подводом, регулирование степени крутки в создаваемых закрученных струях осуществлялось с помощью шиберов, соединенных гибкими воздуховодами с вентилятором.

Экспериментальная установка состоит из двух сопел диаметром 100 мм с тангенциальным подводом потока, гибких воздуховодов, вентилятора высокого давления, задвижек для регулирования расхода воздуха.

Для выполнения измерений скорости установка снабжена термоэлектроанемометром с возможностью определения направления скорости, с шаровым зондом и координатной сеткой для распределения точек замеров. Измерение расхода газа осуществлялось с помощью тарированной диафрагмы методом переменного перепада давления. Перед началом измерений производилось подключение термоэлектроанемометра к сети, проверка прибора и установка сопел для создания исследуемого вида взаимодействия закрученных потоков. Далее выполнялась установка координатной сетки по срезу сопла или в требуемом сечении, и определялось количество точек, подлежащих замеру. После включения вентилятора выполнялись замеры аксиальной, тангенциальной и радиальной скорости в данном сечении, далее координатная сетка переносилась на расстояние, соответствующее следующему сечению с последующими измерениями.

Распределения радиальной и тангенциальной составляющих скорости на срезе патрубка аналогично профилям для сильнозакрученных струй, приведенных в многочисленных работах [7–8], однако следует отметить, что распределение тангенциальной скорости, в отличие от более сглаженного профиля радиальной, имеет четко выраженный минимум, расположенный на границе обратных токов, что, вероятно, вызвано резким расширением струи при выходе из сопла и вовлечением окружающей массы воздуха в возвратное течение на оси струи. При этом разница в скорости между центральной осью и границей области обратных токов возникает вследствие инерционности массы окружающего воздуха и максимума тангенциальной скорости, приходящегося на периферийную область.

Эволюция распределения радиальной скорости при удалении от среза подающего патрубка показала, что максимум данной составляющей скорости зеркально меняет свое положение относительно центральной оси с шагом 0,1 м, а минимум (соответствуя области обратных токов) расширяется, уменьшаясь в абсолютном значении по мере увеличения расстояния от источника струи. Такое поведение скорости может объясняться односторонним тангенциальным подводом воздуха, что приводит к неравномерному распределению вращающейся массы вокруг

оси, однако такое возможно при замерах скорости с распределением по времени, равном угловой скорости вращения, а в данном случае замеры проводились в один промежуток времени. То есть наиболее вероятным является влияние вихревого ядра, винтовая траектория которого, очевидно, и имеет шаг, кратный диаметру патрубка.

Анализ аксиальной составляющей скорости, взятой на различном расстоянии от оси струи, показал наличие на начальном участке положительных и отрицательных скоростей, разделение которых соответствует внешней и внутренней части закрученной струи, при этом изменение скорости по длине струи имеет четыре четко выраженных участка. Так, периферийные слои струи на начальном участке имеют максимум, далее, вследствие расширения области обратных токов, происходит уменьшение и изменение направления движения, но на расстоянии 2-х калибров (на границе зоны обратных токов) аксиальная скорость вновь принимает положительные максимальные для данного сечения значения, на последнем участке происходит плавное уменьшение скорости, что соответствует затуханию струи на основном участке. В центральной области струи на начальном участке аксиальная скорость отрицательна (движение газового потока противоположно направлению оси), но имеет максимальное абсолютное значение. На расстоянии 1 калибра также наблюдается максимум скорости, но уже с противоположным знаком, по мере дальнейшего распространения струи происходят аналогичные колебания с изменением направления скорости через каждый калибр, при этом наблюдается уменьшение скорости по абсолютному значению. Такое поведение аксиальной составляющей скорости в центральной области объясняется наличием зоны обратных токов, а изменение скорости по оси струи свидетельствует о непрямолинейном изменении формы данной зоны (на начальном участке происходит ее сужение, затем, на основном — увеличение в поперечном размере и далее, ее «схлопывание»). При этом, необходимо отметить, что зона обратных токов простирается в сам приточный патрубок на величину 1–1,5 его диаметров, что, соответственно, приводит к скачку аксиальной скорости на этом участке и, как следствие, увеличению потерь давления, что позволяет выделить данный участок как наиболее энергозатратный. Для исключения данного негативного влияния возможно использование различных вставок или введение осевых прямоточных струй.

Выводы

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования сильно закрученной свободной изотермической струи с прецессирующим вихревым ядром показали, что распределение радиальной и тангенциальной составляющих скорости при удалении от среза подающего патрубка имеют максимум, зеркально меняющий свое положение относительно центральной оси с шагом, равным 1 калибру, вследствие влияния вихревого ядра на структуру потока. Аксиальная составляющая, взятая на различном расстоянии от оси струи, характеризуется наличием на начальном участке положительных и отрицательных скоростей, разделение которых соответствует внешней и внутренней части закрученной струи, при этом изменение скорости по длине струи имеет четыре четко выраженных участка, что обусловлено наличием зоны обратных токов, а изменение скорости по оси струи свидетельствует о нелинейном изменении формы данной зоны. Также выявлен наиболее энергозатратный участок — на расстоянии 1–1,5 диаметров патрубка от его среза, получаемый вследствие воздействия зоны обратных токов на профиль струи.

Список использованных источников

1. Logachev, I. N. Industrial Air Quality and Ventilation: Controlling Dust Emissions / I. N. Logachev, K.I. Logachev // CRC Press. – 2017. – 414 p.

2. Logachev, K. I. On the resistance of a round exhaust hood, shaped by outlines of the vortex zones occurring at its inlet / K. I. Logachev, A. M. Ziganshin, O. A. Averkova // Build. Environ. 151 (2019) S. 338–347. doi:10.1016/j.buildenv.2019.01.039.
3. Logachev, K.I. A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods, / K. I. Logachev [et al.] // Energy Build. 173 (2018) 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.036>.
4. Найденов, Г. Ф. Газогорелочные устройства с регулируемыми характеристиками факела / Г. Ф. Найденов. – К. : Техника, 1974. – 112 с.
5. Logachev, I. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions / I. Logachev, K. Konstantin, O. Averkov. – Boca Raton : CRC Press, 2015. – 540 p.
6. Организация и математическое планирование эксперимента : учебное пособие / Ю. В. Юдин, М. В. Майсурадзе, Ф. В. Водолазский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 124 с.
7. Закрученные потоки: Пер. с англ. / А. Гупта, Д. Лилли, Н. Сайред, – М. : Мир, 1987. – 588 с.
8. Штихлинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Штихлинг. – М. : Наука, 1974. – 711 с.