

Т. А. Жакатаев

ЦИРКУЛЯЦИОННОЕ ТЕЧЕНИЕ В МЕЖСТРУЙНОЙ ЗОНЕ СИСТЕМЫ СВОБОДНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЙ

Системы струй широко применяются в технике (вентиляция, топочные процессы, термообработка различных поверхностей, сжигание газового топлива и т. д.). Поэтому исследование характера течения и закономерностей тепломассообмена в системах турбулентных струй полезно для практики. Зона основного (струйного) течения изучена достаточно хорошо (см., например, [1—4]). В высокотемпературных потоках вредную роль играют циркуляционные (возвратные) течения, которые возникают в межструйной зоне вблизи поверхности соплового блока. В результате происходят перегрев и прогорание поверхности соплового блока. В системах диффузионных факелов при наличии мощных циркуляционных течений отсутствует подсос воздуха (окислителя) извне в зону течения струй и ухудшается горение в центральной части системы. Циркуляционное течение изучено недостаточно, например, в [5, 6] только лишь указывается на наличие циркуляционных течений в системе плоских параллельных струй.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования распределений давления и температуры в циркуляционной зоне системы осесимметричных параллельных турбулентных воздушных струй. Экспериментальная установка и методика измерений описаны в [3, 4]. Для улучшения и стабилизации нагрева использовали промышленный электрокалорифер с центробежным вентилятором СФОЦ 40/0,5-Ц1. Центры струй располагались в вершинах квадратов, разрез представлен на рис. 1, где s — шаг расположения, м; $d_{0i} = d_0$ — начальные диаметры струй, м.

Получены две группы данных: 1) при постоянном количестве струй ($n = 4$) изменяли шаг расположения ($1,0 \leq s^0 = s/d_0 \leq 2,0$), рис. 2—4, 2) при фиксированном шаге ($s^0 = \text{const}$) изменялось число струй ($4 \leq n \leq 144$), рис. 5, 6.

На рис. 2 представлены данные по измерению среднестатистического давления в циркуляционной зоне системы четырех струй при различном шаге. Здесь p^0 — безразмерное давление, отнесенное к динамическому напору; ρ — плотность воздуха, кг/м³; u_0 — начальная скорость струи (при $x = 0$), м/с; R — расстояние от центра системы до центра струи ($R = \sqrt{0,5}s$), м; $r_0 = d_0/2$. Измерительный насадок для давления представляет собой тонкую трубку (иглу), торец которой запаян, с боковым отверстием для давления. В циркуляционной зоне наблюдается некоторое разрежение. С увеличением s^0 давление быстро выравнивается с атмосферным.

Следует отметить, что в различных точках пространства циркуляционной зоны средние значения давления и температуры почти одинаковы, поэтому представленные данные относятся к точке $x = 2 \div 4$ мм, $z - y = 0$ (рис. 1).

В пределах вентиляционного режима надежные результаты по скорости в циркуляционной зоне в силу сильной хаотичности получить не удалось. Поэтому, на наш взгляд, для практики надежным и доступным способом обнаружения циркуляционных течений является контроль температуры в межструйной зоне.

На рис. 3 показано изменение температуры в циркуляционной зоне в системе четырех струй при изменении относительного шага и начальных скорости u_0 и температуры t_0 , К (точки 1—3 отвечают $u_0 = 25,5; 22,1; 24,2$ м/с, $\Delta t_0 = 16,9; 10,4; 13,4$ К; $Re = 1,69 \cdot 10^4; 1,46 \cdot 10^4; 1,60 \cdot 10^4$).

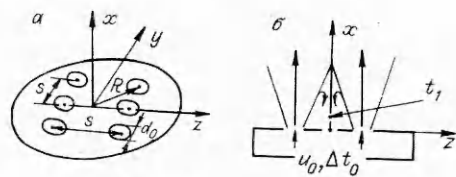


Рис. 1

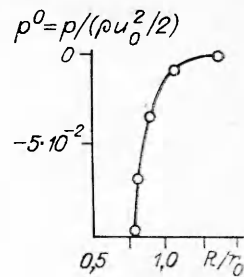


Рис. 2

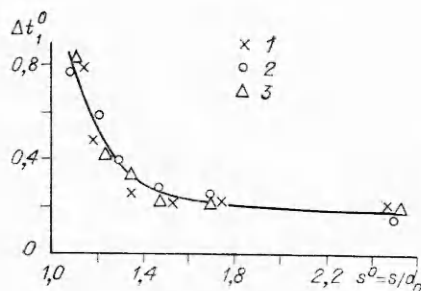


Рис. 3

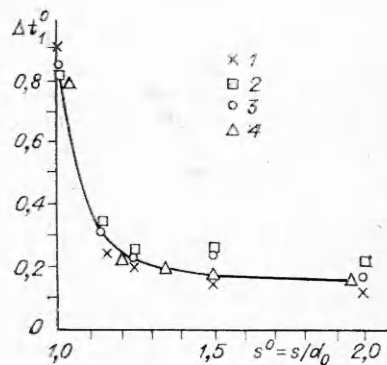


Рис. 4

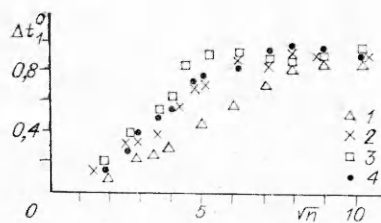


Рис. 5

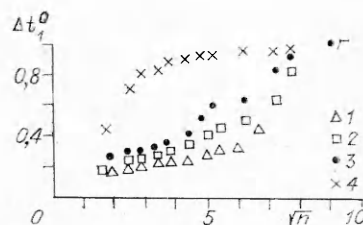


Рис. 6

Диаметр перфорации, т. е. начальный диаметр единичной струи, $a_0 = 10^{-2}$ м. На рис. 4 представлены данные для сопла с диаметром перфорации $d_0 = 2 \cdot 10^{-2}$ м (точки 1–4 соответствуют $u_0 = 21,0; 24,2; 22,5; 28,5$ м/с, $\Delta t_0 = 8,2; 12,0; 10,7; 20,0$ К, $Re = 2,69 \cdot 10^4; 3,21 \cdot 10^4; 2,98 \cdot 10^4; 3,78 \cdot 10^4$). Из этих рисунков видно, что при фиксированном n определяющим является относительный шаг s^0 . Значение Δt_1^0 существенно не изменяется в зависимости от начальных скорости и температуры струи, $\Delta t_1^0 = f(n, s^0)$. Здесь $\Delta t_1^0 = \Delta t_1 / \Delta t_0$, $\Delta t_0 = t_0 - t_2$, $\Delta t_1 = t_1 - t_2$, t_1 — температура в циркуляционной зоне, t_2 — температура окружающей среды.

Для системы четырех струй существует критическое значение безразмерного шага $s_*^0 \approx 1,4$. При $s^0 < s_*$ циркуляционное течение интенсивное, при $s^0 > s_*$ им можно пренебречь.

На рис. 5, 6 приведены значения безразмерного перепада температуры, когда $s^0 = \text{const}$, а изменялось количество струй (рис. 5: $28 \leq u_0 \leq 30$; $8,5 \leq \Delta t_0 \leq 11,2$; $10,46 \cdot 10^3 \leq Re \leq 11,95 \cdot 10^3$; точки 1–4 отвечают $s^0 = 2,0; 1,6; 1,3; 1,5$; рис. 6: $32,3 \leq u_0 \leq 33,4$; $Re \approx 13,14 \cdot 10^3$; $9,7 \leq \Delta t_0 \leq 11,3$; точки 1–4 соответствуют $s^0 = 2,5; 2,0; 1,7; 1,2$). Измеряли температуру в различных системах при фиксированных, но различных s^0 . Таким образом, при определении зависимости $\Delta t_1^0 = f(\sqrt{n}, s^0)$ s^0 играет роль параметра. Видно, что характер изменения $\Delta t_1^0 = f(\sqrt{n})$ зависит

от относительного шага. При $s^0 > s_*$ кривая $\Delta t_1^0 = f(\sqrt{n})$ имеет выпуклость, обращенную вниз, а при $s^0 < s_*$ — выпуклость, обращенную вверх. В системах струй, когда $s^0 \approx s_*$, между Δt_1^0 и $\sqrt{n}$ наблюдается линейная зависимость. Следовательно, значение безразмерного шага $s_* \approx 1,4$ и в этом случае играет особую роль, т. е. является критическим числом. Для систем струй, представленных на рис. 5, 6, $d_0 = 6 \cdot 10^{-3}$ м. Числа Рейнольдса рассчитывались по начальному диаметру единичных струй, т. е. по d_0 . Вязкость воздуха соответствовала своему значению при комнатной температуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дыбан Е. П., Мазур А. И. Метод расчета осевой скорости в системе осесимметричных струй, истекающих из перфорированной пластины // Теплофизика и тепло-техника: Респ. межвед. сб./АН УССР, Ин-т техн. теплофизики.— 1977.— Вып. 32.
2. Кузьмина Л. В., Гуськов А. С. Результаты исследования взаимодействия произвольно расположенных струй // Науч. работы ин-тов охраны труда ВЦСПС.— М., 1977.— Вып. 108.
3. Исатаев С. И., Жакатаев Т. А. Определение скорости при слиянии осесимметричных струй в начальном и переходном участках // Тепломассоперенос в жидкостях и газах: Сб. науч. тр. КазГУ.— Алма-Ата, 1982.
4. Исатаев С. И., Жакатаев Т. А. Тепловое взаимодействие осесимметричных струй в начальном, переходном и основном участках // Молекулярный массообмен и струйные течения: Сб. науч. тр. КазГУ.— Алма-Ата, 1984.
5. Макаров И. С., Худенко Б. Г. Система плоских турбулентных струй // ИФЖ.— 1965.— Т. 9, № 2.
6. Изюмов М. А., Хзмалян Д. М. Распределение скоростей и температур в системе плоских струй // Теория и практика сжигания газа: Сб. науч. тр.— Л.: Недра, 1968.

г. Караганда

Поступила 5/XII 1989 г.,
в окончательном варианте —
7/V 1992 г.

УДК 532.546

Е. А. Михайленко, С. П. Хурс

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Исследование сопротивления движению тел в псевдоожигенной среде представляет большой практический интерес. В [1—3] и ряде других работ достаточно подробно рассмотрены факторы, влияющие на характер движения макроскопических тел различной формы в псевдоожигенном газом сыпучих средах. Так, в [1] представлены методика и результаты экспериментального исследования свободного падения тел в псевдоожигенной среде. В [2] оценены силы, действующие на тело, погруженное в псевдоожигенный слой. Однако подавляющее большинство работ посвящено изучению свободного падения тел различной формы, что ввиду ограниченности плотности их материала не позволяло получать высокие относительные скорости движения. Кроме того, недостаточно широко представлены данные о сопротивлении движению твердых тел в стесненных условиях при поршневом режиме псевдоожигения сыпучей среды.

В данной работе приведены полученные экспериментально характеристики псевдоожигенного газом слоя песка средней крупности с отношением его высоты к диаметру, равным 4,5. Установлена зависимость сопротивления движению цилиндрического тела в псевдоожигенной сыпучей среде от режима псевдоожигения и условий обтекания при отношении диаметров тела и канала, равных 0,15; 0,225; 0,3.

Исследование проводилось на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1. Установка состоит из цилиндрического