

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИТОРЦЕВОГО ТОКА В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ

Горелов Г.И., Ленивкин В.В.

Самарский государственный университет,
Самарский государственный технический университет, г. Самара

Интенсификация процессов тепломассообмена в различных теплоэнергетических устройствах возможна за счёт использования в качестве несущей среды вихревого стока [1, 2].

Для ограниченного вихревого стока характерны соотношения :

$$V_{\varphi} = \Gamma / r ; \quad V_r = - Q / (2 \pi r \cdot h), \quad (1)$$

где Q [$\text{м}^3/\text{с}$] – объёмный расход жидкости или газа, h [м] – высота камеры, V_{φ} , V_r [$\text{м}/\text{с}$] – тангенциальная и радиальная составляющие полного вектора скорости. В вихревой камере с плоскими торцевыми стенками обе компоненты скорости V_{φ} и V_r возрастают к центру камеры по гиперболическому закону [3].

Однако, вблизи торцевых стенок из-за влияния вязкости имеет место сильное возрастание радиальной скорости по сравнению с величиной, определяемой соотношением (1). Это явление, называемое торцевым эффектом, оказывает влияние на аэродинамические характеристики ограниченного вихревого стока и динамику движения частиц в вихревой камере. Эксперименты показывают, что торцевые эффекты являются основной причиной выноса мелких частиц из вихревой камеры. Особенно значительна роль приторцевых эффектов в коротких («низких») вихревых камерах.

Существующие методы расчёта торцевых пограничных слоёв ещё недостаточно обоснованы и разработаны. Поэтому экспериментальные исследования приторцевых зон в ограниченном вихревом стоке в вихревых устройствах с различной геометрией проточной части являются актуальными.

В работе экспериментально исследуются характеристики приторцевого тока в вихревых камерах с плоскими торцевыми и профилированными по гиперболическому закону стенками. Показано влияние геометрических характеристик проточной части вихревой камеры на аэродинамические характеристики приторцевого тока.

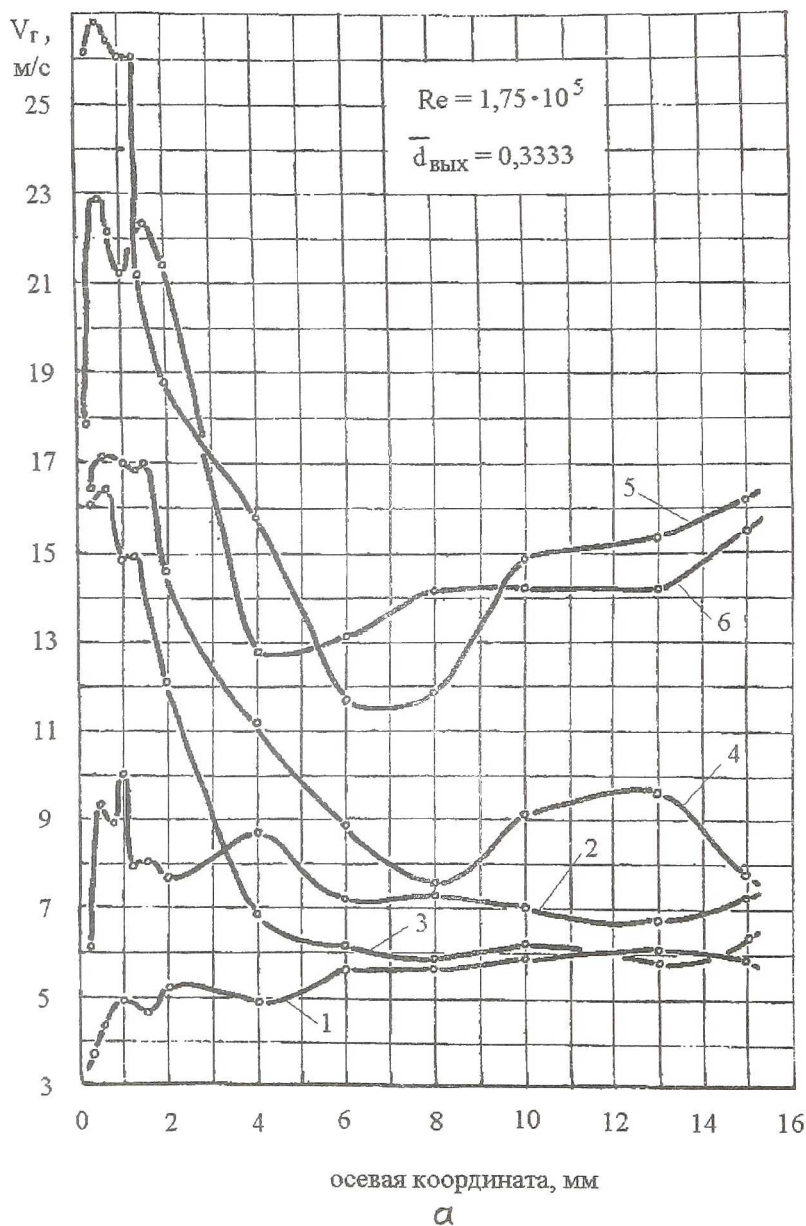
Особенности течения ограниченного вихревого стока в приторцевых зонах вихревых устройств связаны с подтормаживающим действием торцевых стенок. Вблизи торцевых стенок тангенциальные составляющие скорости уменьшаются, что ведёт к нарушению динамического

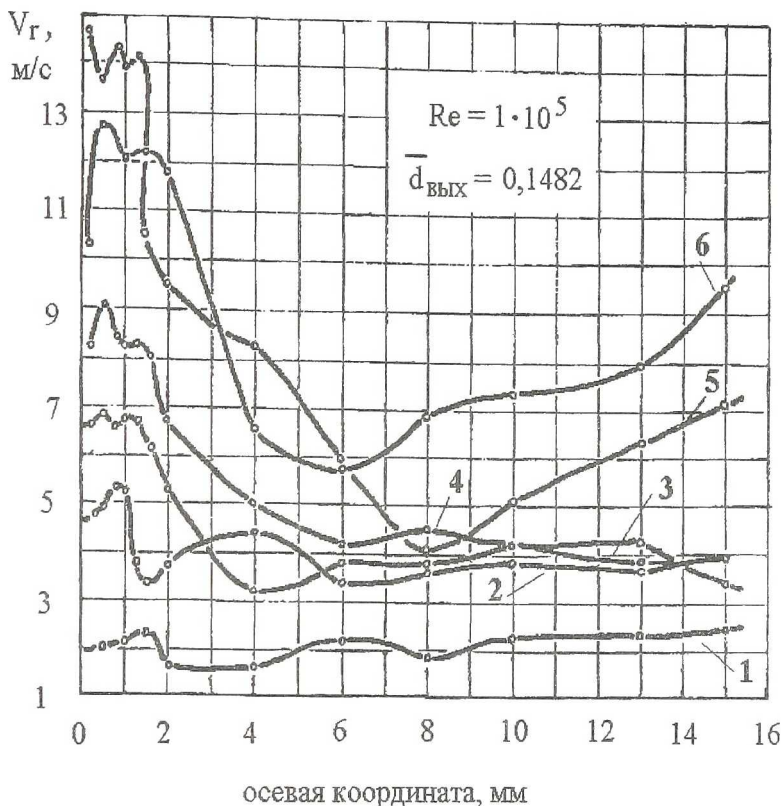
равновесия в приторцевой зоне и неуравновешенный градиент давления вызывает интенсивное радиальное течение, направленное к центру вихревой камеры со скоростью, которая определяет появление сил трения, способных компенсировать возникшее нарушение равновесия [4].

Экспериментальное изучение торцевого тока выполнено на прозрачной модели вихревой камеры с начальным диаметром 270 мм и высотой 30 мм и с диаметрами осевого выходного отверстия 40 и 90 мм со сменными торцевыми стенками – плоскими и выполненными по гиперболическому закону. Воздух на входе в вихревую камеру закручивался 64 шлицами в сопловом направляющем аппарате, имеющими возможность изменять ширину щелей от 0 до 10 мм. Экспериментальные данные для вихревых камер с плоскими и гиперболическими стенками показали, что при прочих равных параметрах в вихревых камерах с гиперболическими торцевыми стенками циркуляция практически сохраняется до радиуса выходного отверстия, тогда как в вихревых камерах с плоскими торцевыми стенками циркуляция интенсивно снижается к центру камеры [4]. В обеих вихревых камерах развиваются идентичные пограничные слои, однако, исходя из характера распределения циркуляции, можно предположить, что в гиперболической камере происходит отрыв пограничного слоя. Кроме того, в вихревой камере с гиперболическими торцевыми стенками минимальны гидравлические потери, так как расходная компонента скорости по радиусу вихревой камеры не изменяется. Замер радиальной скорости производился трубкой Пито – Прандтля.

На рис. 1а – 1б и рис. 2а – 2б приведены профили радиальной скорости в вихревых камерах с плоскими и гиперболическими стенками с относительными диаметрами выходных отверстий $d_{\text{вых}} = 0,3333$ и $0,1482$. Из сравнения результатов замера радиальной скорости в вихревой камере с плоскими и гиперболическими стенками видно, что уровень радиальной скорости в приторцевой зоне в обеих камерах значительно выше, чем радиальная скорость, рассчитанная по выражению (1), но интенсивность роста радиальной скорости в приторцевой зоне в вихревой камере с профилированными по гиперболе торцевыми стенками значительно ниже. Радиальная компонента скорости в зоне приторцевого тока достигает своего максимального значения, как и тангенциальная составляющая в ядре потока, вблизи радиуса осевого выходного отверстия. В зоне квазипотенциального течения приторцевой ток направлен к приосевой зоне вихревой камеры и с уменьшением радиуса его мощность растет. Однако в вихревой камере с профилированными по гиперболическому закону торцевыми стенками интенсивность торцевого тока значительно ниже. По мере роста интенсивности торцевого тока с уменьшением радиуса вихревой камеры растет интенсивность тока в этой зоне, направленного к пе-

риферии камеры и образующего тороидальный вихрь, который оказывает стабилизирующее воздействие на аэродинамические характеристики вихревого потока и процессы тепломассообмена [5].





6

Рисунок 1- Распределение радиальной скорости в вихревой камере с плоскими торцевыми стенками.

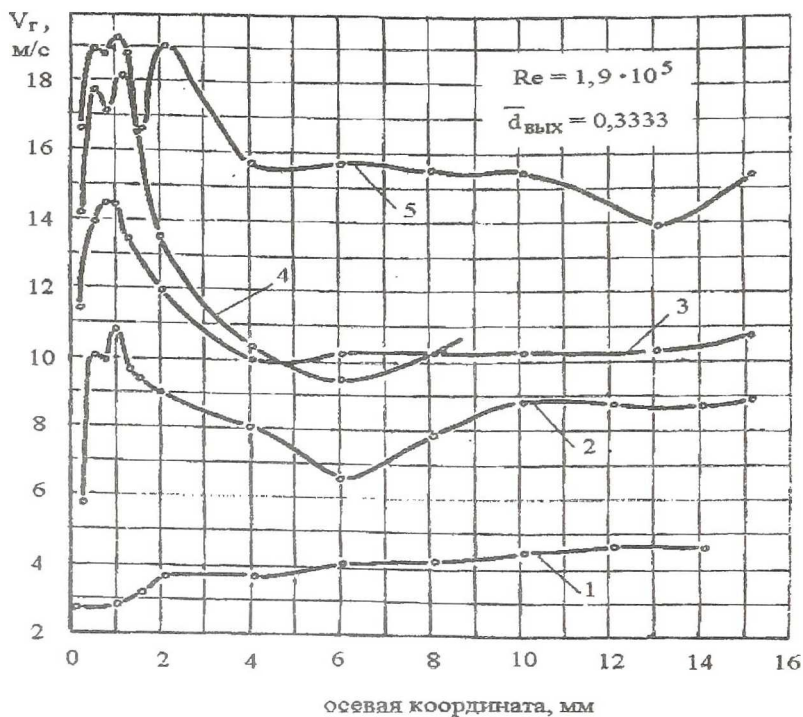
1 - $\bar{r} = 0,867$; 2 - $\bar{r} = 0,704$; 3 - $\bar{r} = 0,548$;

4 - $\bar{r} = 0,474$; 5 - $\bar{r} = 0,396$; 6 - $\bar{r} = 0,319$

Увеличение диаметра выходного сопла вихревой камеры ведёт к росту интенсивности приторцевого тока в вихревых камерах как с плоскими, так и с гиперболическими стенками. Толщина торцевого тока в обоих случаях остаётся примерно одинаковой.

Согласно зависимости из [6]

$$\delta = 0,512 \frac{(1-\bar{r})^{0,3}}{(1+\bar{r})^{0,5}} Re^{-0,2} \cdot R_k \quad (2)$$



а



б

Рисунок 2- Распределение радиальной скорости в вихревой камере с гиперболическими торцевыми стенками. 1 - $r = 0,867$; 2 - $r = 0,704$; 3 - $r = 0,556$; 4 - $r = 0,482$; 5 - $r = 0,407$

толщина торцевого пограничного слоя слабо зависит от числа Рейнольдса камеры и возрастает линейно с увеличением радиуса вихревой камеры. Профиль торцевой стенки в оценке толщины пограничного слоя в этой зависимости влияния не оказывает. Оценка толщины торцевого пограничного слоя по (2) для вихревой камеры с пережимом $\bar{d}_{\text{вых}} = 0,1482$ и $0,3333$ составила $6,15$ мм и $4,66$ мм соответственно.

Распределения радиальной скорости в вихревых камерах обоих типов получены при давлении воздуха в них близком к атмосферному и поэтому имел место подсос воздуха из окружающей среды внутрь камеры. Чтобы исключить влияние окружающей среды на аэродинамические характеристики ограниченного вихревого стока подняли давление в камере до $0,6$ МПа и сняли распределение радиальной компоненты скорости по радиусу и оси вихревой камеры, которое приведено на рис.3. Анализ распределения радиальной скорости по радиусу вихревой камеры показал, что и в зажатой вихревой камере с уменьшением радиуса растет мощность приторцевого тока, однако профиль скорости более спокойный и не наблюдается течения, направленного к периферии вихревой камеры. Оценка толщины торцевого пограничного слоя в соответствии с зависимостью (2) составила $1,8$ мм при начальном диаметре камеры равным 120 мм.

Распределение радиальной скорости в приторцевом пограничном слое исследовалось на задней торцевой стенке вихревой камеры. Приторцевой ток, образующийся на задней торцевой стенке вихревой камеры в итоге попадает в приосевую зону теплообменного устройства, а такой же радиальный ток, образующийся на передней стенке, покидает вихревую камеру беспрепятственно, и тем самым оказывает существенное влияние на аэродинамические и теплофизические характеристики устройства. С целью снижения этого влияния на рабочие характеристики вихревой камеры на передней торцевой стенке, вокруг выходного сопла установлен кольцевой желоб, соединенный каналами рециркуляции с приосевой зоной вихревого устройства со стороны задней торцевой стенки [7]. Проходное сечение кольцевого жёлоба подбирается таким, чтобы весь приторцевой ток с передней торцевой стенки попадал в него.

Экспериментально исследовано влияние длины выступающей части кольцевого жёлоба на гидравлические потери в вихревой камере. Установлено, что при относительной длине выступающей части жёлоба равной единице, $\bar{l} = l_{\text{ж}} / d_{\text{ж}}$, потери полного давления не превышают $2 - 3\%$, что соответствует уровню гидравлических потерь в вихревой камере без кольцевого жёлоба.

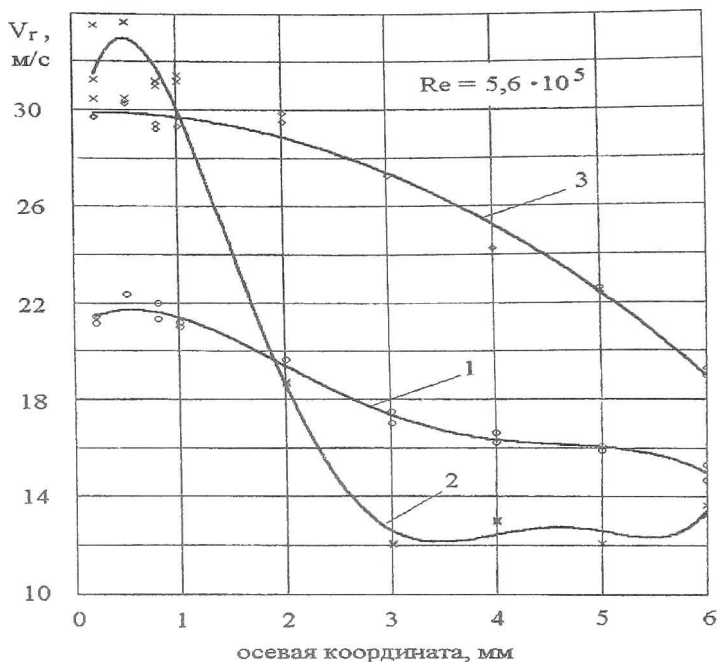


Рисунок 3- Распределение радиальной скорости в вихревой камере с профилированными торцевыми стенками.

1 - $\bar{\Gamma} = 0,95$; 2 - $\bar{\Gamma} = 0,833$; 3 - $\bar{\Gamma} = 0,65$

Список литературы

1. Штым А.Н. Аэродинамика циклонно - вихревых камер.-Владивосток: Изд. Дальневосточного университета, 1984.-200 с.
2. Сабуров Э.Н., Карпов С.В., Осташев С.И. Теплообмен и аэродинамика закрученного потока в циклонных устройствах / Под ред. Э.Н. Сабурова.-Л.: Изд. Ленинградского университета, 1989.-276 с.
3. Гольдштик М.А. Вихревые потоки. - Новосибирск: Наука, 1981,-336 с.
4. Волчков Э.П. Структура течения в вихревых камерах // Изв. СО АН СССР.- Сер. техн.наук. - 1987.-Вып.3. - 13. - С. 14-24.
5. Деветерикова М.И., Михайлов П.М. К вопросу о влиянии торцевых перегородок на аэродинамику вихревой камеры //Тр. ЛПИ.-Л.: 1968.-Вып. 297.-С. 52-55.
6. Волчков Э.П., Семёнов С.В., Терехов В.И. Аэродинамика торцевого пограничного слоя в вихревой камере//ПМТФ.-1986.- 5.-С. 117-126.
7. А.с. 589452, СССР, МКИ² Г 02 С 7/22, Г 23 С 3/00. Вихревая камера сгорания / А.А. Жирнов, Г.И. Горелов (СССР). - 2367474 / 25 - 06: Заяв. 3.06.76: Оpubл. 25.01.78, Бюл. 3.-2 с.: ил.