

Р и с. 4. Профили относительных тангенциальных скоростей \bar{v} при разных завихрителях, при $\bar{R}_v = 0,1875$ (цифры соответствуют номерам завихрителей в таблице):
 • - 1, x - 2, o - 3; Δ - 4,
 ▼ - 5, □ - 6

мере. - В сб.: Теплофизика и физическая гидродинамика. - Новосибирск: Ин-т теплофизики, 1978.

УДК 533.9.07:533.527

В.И.Багрянцев, Э.П.Волчков, В.И.Терехов,
 В.И.Титков

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ
 ЛАЗЕРНЫМ ДОППЛЕРОВСКИМ ИЗМЕРИТЕЛЕМ СКОРОСТИ

Зондовые методы диагностики в настоящее время являются наи- более распространенными при экспериментальном изучении гидроаэродинамики вихревых течений. Однако, как отмечают многие исследова-

Увеличение крутки приводит к снижению относительного разрежения P_0/P_k и увеличению радиуса \bar{R}_p зоны разрежения. Следует отметить, что при снижении максимума относительной тангенциальной скорости и относительного разрежения в центре с увеличением крутки абсолютные значения этих параметров при постоянном расходе возрастают.

Максимум левой скорости с увеличением крутки удаляется от оси при некотором снижении его величины. При этом увеличивается противоток атмосферного воздуха на оси камеры.

Л и т е р а т у р а

Г. С м у л ь с к и й И.И.
 Об особенностях измерения скорости и давления в вихревой камере

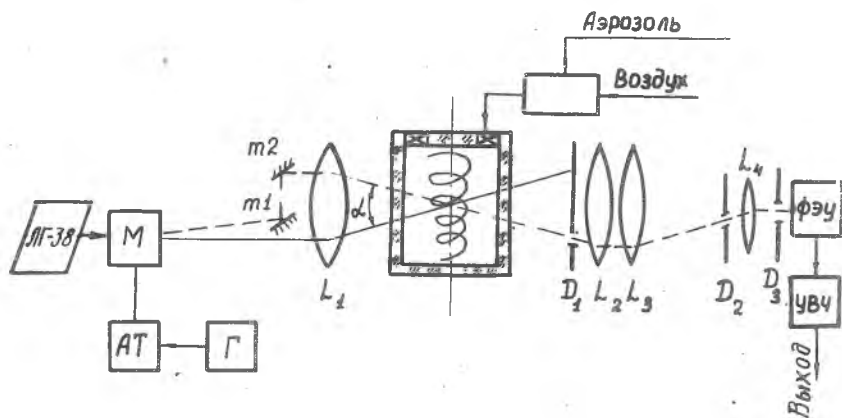
тели [1-3], присутствие даже самых миниатюрных датчиков существенно искажает течение в циклонно-вихревых камерах. Так, например, в [3] показано, что введение измерительного зонда $d = 1,25 \cdot 10^{-3}$ м может снизить окружную скорость в камере $D_k = 0,1$ м более чем на 50%. В связи с этим бесконтактные методы, в частности лазерные доплеровские измерители скорости (ЛДИС), наиболее корректны и приемлемы для изучения вихревых течений. В данной работе приводятся: описание экспериментального оборудования, методики измерения и некоторые опытные данные по профилям окружных и осевых скоростей в вихревой камере, полученные с помощью ЛДИС.

Опыты были проведены на плоской вихревой камере $D_k = 0,1$ м, высотой 0,07 м и диаметром выходного отверстия $d = 0,015$ м. Боковая поверхность и торцы камеры были выполнены из оптически прозрачного материала. Воздух в камеру поступал через кольцевой направляющий аппарат, расположенный на недифрагмированном торце. Завихритель имел ширину кольца $6 \cdot 10^{-3}$ м и 36 пазов шириной $2 \cdot 10^{-3}$ м, профрезерованных под углом 30° к плоскости торца.

Числа Рейнольдса, рассчитанные по циркуляции на входе в камеру и молекулярной вязкости, изменялись в опытах в зависимости от расхода в интервале $Re = 4 \cdot 10^2 - 7 \cdot 10^3$.

Вихревая камера закреплялась в координатном устройстве с ценой деления 1 мкм, перемещающемся в трех ортогональных направлениях. Это позволяло производить измерения трех составляющих скоростей в любом сечении рабочего объема камеры.

Измерение скорости ЛДИС основано на принципе доплеровского смещения частоты света, рассеянного от движущихся в исследуемом объеме частиц аэрозоля [4-5]. Оптическая схема ЛДИС была реализована по схеме с опорным пучком (рис. 1). Источником оптического излучения служил гелий-неоновый лазер ЛГ-38 с длиной волны $\lambda = 0,63$ мкм и мощностью ~ 50 мВт. Для расщепления лазерного луча использовался акусто-оптический модулятор М (ячейка Брэгга). Управляющий сигнал на модулятор поступал с генератора Г, работающего на частоте 19 МГц, через аттенюатор АТ, обеспечивавший плавную установку оптимальной интенсивности дифрагмированного опорного луча схемы. С помощью ячейки Брэгга в опытах удавалось определять и знак скорости частиц. После узла разведения (зеркала m_1 и m_2) оба луча линзой L_1 фокусировались в исследуемом объеме. Приемная часть оптической схемы содержит объективы L_2 ,



Р и с. 1. Схема лазерного доплеровского измерителя скорости

L_3 с диафрагмой \mathcal{D}_1 , микрообъектив L_4 с диафрагмой \mathcal{D}_2 и фотоэлектронный умножитель ФЭУ-55 с входной диафрагмой \mathcal{D}_3 . Некоторое усложнение оптической схемы, по сравнению с существующими [4-5], позволило снизить уровень фоновых помех и засветок при отражении лучей от стенок камеры, линз и т.п.

Выходной сигнал с ФЭУ поступал на УВЧ и далее подавался на электронную часть схемы обработки сигнала, представляющую собой сложное следящее устройство, которое определяло частоту доплеровского смещения f_g . Скорость частиц в опытах находилась из выражения

$$V = \lambda f_g / 2 \sin(\alpha/2), \quad (I)$$

где λ - длина волны излучения лазера, α - угол схождения лучей в измерительном объеме. Размер измерительного объема по проведенным оценкам не превышал 50×500 мкм.

Поток в вихревой камере из специального генератора задымлялся частицами сигаретного дыма. Измерения параметров дымовых частиц показали, что максимум их распределения приходится на $d < 0,2$ мкм, а концентрация частиц в вихревой камере составляет $\sim 10^9$ ед/л. Проведенные оценки свидетельствуют о том, что максимальный вклад в интенсивность рассеянного вперед света дают частицы с диаметром $d \approx 0,3$ мкм, поэтому анализ погрешностей, обусловленных неслеже-

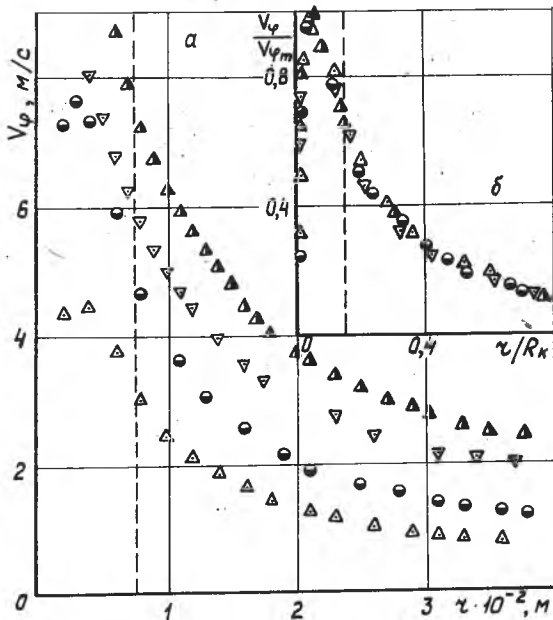
нием аэрозоля за потоком, был сделан для частиц этого размера. Анализ показал, что погрешность измерения окружной и осевой составляющих скорости не превышает 1%; измерение радиальной составляющей в основном потоке, вследствие ее малости и больших центробежных ускорений, затруднительно.

Тестовые испытания ЛДИС, проведенные на плоском канале с максимальной погрешностью 2%, совпали с измерениями трубкой Пито и интегральным значением расхода через канал.

На рис. 2,а представлено опытное распределение окружной скорости V_{φ} по радиусу вихревой камеры при различных значениях расхода G ; пунктирной линией на рис. 2 отмечена граница выходного отверстия. Видно, что с увеличением расхода через камеру существенно возрастают окружные скорости, однако характер профилей одинаков. Это наглядно продемонстрировано на рис. 2,б, где опытные данные отнесены к максимальному значению тангенциальной скорости при данном расходе. Результаты экспериментов хорошо обобщаются, что свидетельствует об автомодельности профиля скорости в диапазоне исследованных расходов. Радиус зоны максимальных скоростей также практически не зависит от расхода и ориентировочно равен половине радиуса выходного отверстия.

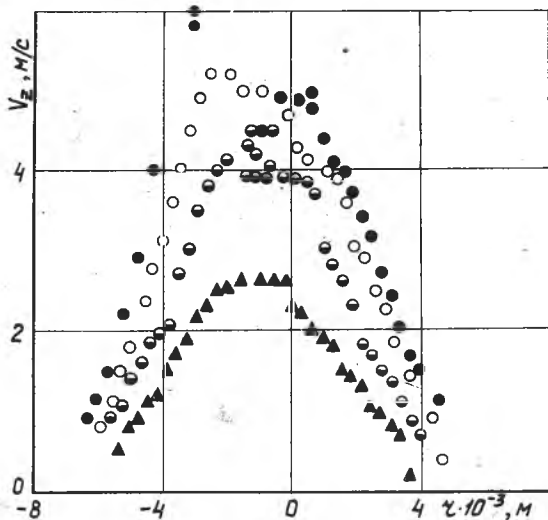
При измерении осевых скоростей продольная ось камеры располагалась параллельно плоскости оптических лучей. На рис. 3 нанесены профили осевых скоростей при различных расходах воздуха через камеру. Измерения производились в сечении $Z = 0,043$ м от диафрагмированного торца. При расходах, имевшихся в экспериментах, зоны обратных токов на оси камеры не возникало (рис. 3). Измерения показали также, что значительные осевые скорости имеют место в приосевой зоне вихревой камеры, в остальном же объеме они практически отсутствуют.

Таким образом, использование лазерной анемометрии позволяет корректно, с высокой точностью, оперативно, без внесения возмущений в исследуемый объем производить измерения гидродинамики сложных вихревых течений. Соответствующая математическая обработка доплеровского сигнала может дать необходимые сведения и о турбулентной структуре течения.



Р и с. 2. Влияние расхода через камеру на профили окружных скоростей: а - размерность по оси ординат V_{φ} , м/с; абсцисс r/R_{κ} , м; б - $V_{\varphi}/V_{\varphi m}$ и r/R_{κ} - безразмерные; Δ - \circ - ∇ - Δ - соответственно $G = 0,48$; $0,695$; $1,03$; $1,26$

Р и с. 3. Распределение осевых скоростей в вихревой камере: ось ординат - V_z , м/с; ось абсцисс - $r \cdot 10^{-3}$, м; Δ - \circ - \circ - \bullet соответственно $G = 0,37$; $0,59$; $0,8$; $1,03$



Л и т е р а т у р а

1. И в а н о в Ю.В., К а ц н е л ь с о н Б.Д., П а в - л о в В.А. Аэродинамика вихревой камеры. - В сб.: Воп- росы аэродинамики и теплопередачи в котельно-топочных процессах. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958.
2. Faler J.H., Zeligovich. *The Physics of Fluids*, v. 20, No 9, 1977.
3. С м у л ь с к и й И.И. Об особенностях измерения ско- рости и давления в вихревой камере. - В сб.: Теплофизика и физическая гидродинамика. - Новосибирск: ИТФ, 1978.
4. В а с и л е н к о Ю.Г. и др. Лазерные доплеровские измерители скорости. - Новосибирск: Наука, 1975.
5. Р и н к е в и ч у с Б.С. Лазерная анемометрия. - М.: Энергия, 1978.

УДК 533.9.07:533.527

И.И.Смульский

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ВЫХЛОПА НА АЭРОДИНАМИКУ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

U - тангенциальная составляющая скорость; p - статическое давление, избыточное над атмосферным; h - длина выхлопа; R_1, R_k - радиусы выхлопа и камеры; параметры с чертой - величины, отнесенные к радиусу камеры.

В ряде работ [1, 2] исследовано влияние радиуса выходного отверстия на аэродинамику вихревых камер. Однако влияние длины цилиндрической части выхлопа изучено недостаточно. Эти исследования необходимы для определения положения границы зоны разрежения и влияния длины выхлопа на гидравлическое сопротивление камеры.

Эксперименты проводились в вихревой камере радиусом $R_k = 80$ мм, длиной $L = 200$ мм и радиусом выходного отверстия $R_1 = 27,5$ мм. Вдув воздуха в камеру осуществлялся через 12 щелей, выполненных на цилиндрической стенке камеры на всю ее длину, угол накло-