

На фиг. 2 приведены радиальные температурные профили при различных частотах поля и значениях ампер-витков. Характерно, что даже при резко отличных частотах профиль температуры определяется практически независимо от частоты значением максимальной температуры в радиальном распределении. Отметим, что температуры, соответствующие $(Iw)_{\min}$, весьма слабо зависят от частоты.

Как следует из фиг. 3, *a* максимальная температура независимо от частоты поля практически полностью определяется мощностью, вкладываемой в единицу длины разряда, т. е. величиной

$$W = \frac{R}{w^2} (Iw)^2$$

(R — удельное активное сопротивление разряда, w — число витков на единицу длины индуктора), а не просто квадратом числа ампер-витков, как это следует из соотношения (1).

На фиг. 3, *b* приведены зависимости активного сопротивления единицы разряда, отнесенного к квадрату числа витков индуктора на 1 см длины w^2 , от ампер-витков Iw при разных частотах. Проходя при некотором значении Iw через максимум, активное сопротивление падает с ростом ампер-витков тем быстрее, чем больше частота поля. Абсолютные значения активного сопротивления падают с уменьшением частоты поля.

Приведенные зависимости могут оказаться полезными для различного рода оценок и при практическом выборе того или иного рабочего режима индукционного плазмотрона.

Поступила 2 IV 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. Ровинский Р. Е., Соболев А. П. Оптимальный частотный диапазон стационарного индуцированного разряда. Теплофизика высоких температур, 1968, т. 6, стр. 219.
2. Сошников В. Н., Трехов Е. С. К теории высокочастотного вихревого разряда высокого давления. I — III. Теплофизика высоких температур, 1966, т. 4, стр. 166; 1966, т. 4, стр. 324; 1967, т. 5, стр. 522.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО КВАНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА

И. В. Лебедев, Б. С. Ринкевичюс, Е. В. Ястребова

(Москва)

Рассматриваются особенности измерения скорости в пограничных слоях с помощью оптического доплеровского измерителя скорости.

Приводятся результаты для пограничных областей потоков, вращающихся в плоских вихревых камерах.

Измерения скоростей в пограничных слоях выполняются, как правило, со значительными погрешностями. Это обусловлено тем, что размеры вводимых в исследуемый пограничный слой датчиков скорости часто соизмеримы с поперечными размерами слоя. Так, согласно [1] погрешность измерений осредненных скоростей в области вязкого подслоя, выполненных термоанемометром с диаметром нити 4 мк, достигает 30%.

Значительно более перспективным для этих целей является применение оптического доплеровского измерителя скорости, использующего в качестве источника излучения оптический квантовый генератор, с помощью которого ранее изучалось распределение осредненных скоростей [2, 3]. Такой измеритель не вносит искажений в исследуемый поток и не нуждается в тарировке.

Применение оптического доплеровского измерителя скорости для исследования тонких пограничных слоев требует дальнейшего повышения пространственной разрешающей способности и точного определения координат точки измерения.

Минимальный линейный размер a в направлении измеренной скорости исследуемой области, из которой может быть получена достоверная информация, должен удов-

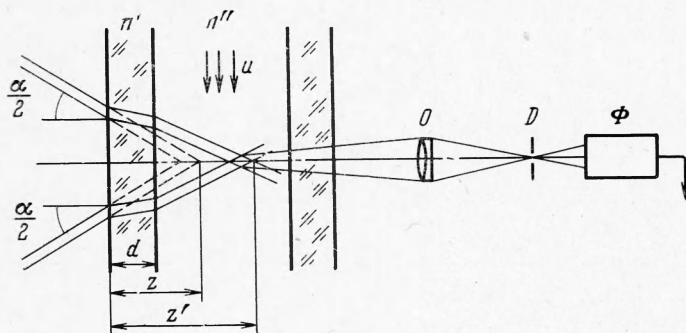
летворять следующему условию:

$$a > \frac{\lambda}{2 \sin^{1/2} \alpha}$$

где λ — длина волны излучения ОКГ, α — угол между падающими пучками света. Так, например, для обычного значения $\lambda = 0.63 \text{ мк}$ и $\alpha = 30^\circ$ значение a составляет 10 мк .

Размеры области измерений в других направлениях ограничиваются качеством и глубиной резкости собирающего объектива и могут быть порядка 1 мк .

При определении места, в котором производится измерение локальной скорости, необходимо учитывать расфокусировку лучей при переходе в среду с другим показателем преломления. В случае потока, ограниченного двумя прозрачными стенками с показателем преломления n' (фиг. 1), соотношение между истинным положением пе-



Фиг. 1

ресечения пучков z' и положением пучков z в воздухе имеет вид: $z' = Az + Bd$, где A и B — константы, зависящие от показателей преломления и угла между двумя падающими пучками, d — толщина стенки.

Если передвинуть исследуемую область потока на расстояние Δz навстречу лучам, то точка пересечения лучей передвинется на расстояние $\Delta z'$, причем

$$\Delta z' = A \Delta z \quad (1)$$

Если биссектриса угла α перпендикулярна поверхности, то коэффициент A , как можно легко показать на основе геометрической оптики, имеет вид

$$A = n'' \left(1 - \frac{1}{n''^2} \sin^2 \frac{1}{2} \alpha \right)^{1/2} \left(1 - \sin^2 \frac{1}{2} \alpha \right)^{-1/2}$$

Коэффициент A легко определить также опытным путем по соотношению (1).

В данной работе оптический доплеровский измеритель, схема которого приведена в [3], был применен для исследования распределения скоростей в пограничных слоях, возникающих на стенках плоских вихревых камер. Для получения необходимого в данных опытах пространственного разрешения угол между падающими пучками был выбран 60° и применялись короткофокусные линзы. Рассеянный свет собирался качественным объективом O и направлялся на фотоприемник Φ , перед которым была поставлена диафрагма D . Сигнал с фотоприемника поступал на анализатор спектра.

Разработка методов аэродинамического расчета таких камер требует изучения распределения осредненных скоростей для оценки касательных напряжений, действующих со стороны стенок на вращающийся в камере поток.

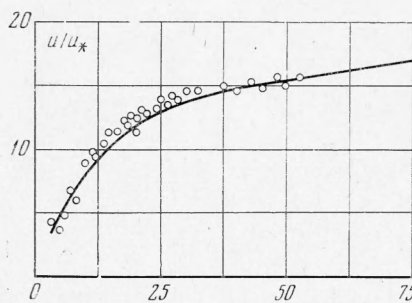
Опыты выполнялись с плоской вихревой камерой диаметром $D = 6.0 \text{ см}$, высотой $H = 1.0 \text{ см}$, имевшей тангенциальный ввод потока через прямоугольный канал шириной $b = 0.8 \text{ см}$ и высотой H . Выходное отверстие диаметром $d_b = 0.8 \text{ см}$ было выполнено в центре камеры на одной из ее торцовых стенок. В качестве рабочей среды использовалась водопроводная вода. В опытах изменялась величина расхода таким образом, что число Рейнольдса, составленное по гидравлическому диаметру тангенциального канала находилось в пределах $3000 < R_b < 11\,000$, поэтому поток, подаваемый в камеру, был турбулентным. При исследовании пограничного слоя на цилиндрической поверхности камеры измерения выполнялись в плоскости симметрии камеры. Результаты измерений представлены на графике фиг. 2 в безразмерных координатах

$$\frac{u_\varphi}{u_*} = f \left(\frac{u_* y}{\nu} \right)$$

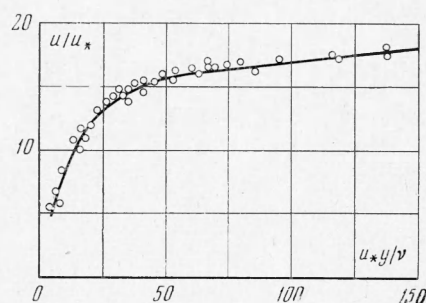
где u_ψ — окружная скорость на расстоянии y от стенки, u_* — динамическая скорость, ν — кинематический коэффициент вязкости.

Динамическая скорость $u_* = (\tau_{ст}/\rho)^{1/2}$ определялась по теоретической формуле для напряжения трения $\tau_{ст}$ на стенке и плотности жидкости ρ [5] (формула 21.5), в которую подставлялись измеренные в опытах значения толщины слоя и скорости на его границе.

При исследовании пограничных слоев, возникающих на торцовых стенках камеры, измерения производились в каждом случае в трех точках, расположенных на различных расстояниях от оси камеры. Измерялись окружные скорости u_ψ , величины которых почти совпадают с модулями абсолютных скоростей. Опытные данные представлены на фиг. 3.



Фиг. 2



Фиг. 3

На фиг. 2 и фиг. 3 сплошными линиями нанесены кривые, отвечающие опытным данным, полученным для пристенной области турбулентного потока в гладких круглых трубах и гладких двухмерных каналах [1, 4]. Как видно, эти кривые хорошо согласуются с экспериментальными данными по распределению скоростей как у цилиндрической (фиг. 2), так и у торцовых (фиг. 3) стенок вихревой камеры.

Таким образом, можно утверждать, что при рассмотрении закрученного в вихревой камере турбулентного потока распределение осредненных скоростей в пограничных слоях допустимо принимать таким же, как и в равномерном турбулентном потоке вблизи гладкой поверхности.

Отметим, что наряду с измерением осредненных скоростей оптический доплеровский измеритель скорости позволяет измерять скорости в нестационарных потоках, и в частности турбулентные пульсации скорости [5].

Поступила 16 VII 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. Конт-Белло Ж. Турбулентное течение в канале с параллельными стенками. М., «Мир», 1968.
2. Ринкевичюс Б. С. Применение ОКГ для определения скорости частиц в двухфазной струе методом гетеродинамирования. Радиотехника и электроника, 1969, т. 14, вып. 10.
3. Лебедев И. В., Ринкевичюс Б. С., Ястребова Е. В. Измерение локальных скоростей мелкомасштабных истоков с помощью ОКГ. ПМТФ, 1969, № 5, стр. 125.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М., «Наука», 1969.
5. Goldstein R. I., Hagen W. F. Turbulent flow measurements utilizing the Doppler shift of scattered laser radiation. Phys. Fluids, 1967, vol. 10, No. 6.