

Ю.Л.Файницкий

ТЕПЛОБМЕН ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ ЦИЛИНДРА,
СОВЕРШАЮЩЕГО ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Принятые обозначения:

- U — скорость набегающего потока;
 ν — кинематический коэффициент вязкости воздуха;
 λ — коэффициент теплопроводности воздуха;
 α — коэффициент теплоотдачи;
 d — диаметр цилиндра;
 $\omega = 2\pi f$ — амплитуда колебаний скорости поверхности;
 $Re = \frac{Ud}{\nu}$ — число Рейнольдса;
 $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$ — число Нуссельта;
 Nu_{cp} — среднее по времени число Нуссельта;
 $\tilde{N}u$ — амплитуда колебаний числа Нуссельта.

Теоретическое исследование поперечного обтекания цилиндра, совершающего вращательные колебания (рис. 1), было предпринято в работе [1]. В частности, в ней рассматривался тепловой пограничный слой на поверхности колеблющегося цилиндра. Целью настоящей работы является экспериментальное изучение локального теплообмена на этой поверхности.

Исследования проводились в аэродинамической трубе Т - I Куйбышевского авиационного института. Числа Рейнольдса варьировались в пределах 2560-6160. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Основным ее элементом является стальной цилиндр диаметром 100 мм, длиной 500 мм. Внутри цилиндра находится

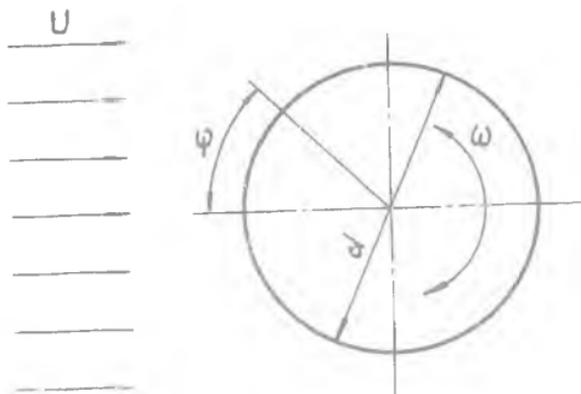


Рис. 1

ся нагреватель, состоящий из шести продольных элементов. За счет регулирования их тепловыделения обеспечивается постоянная по окружности температура поверхности.

Частота колебаний цилиндра изменялась от 0,2 до 101, гц. При низких частотах $f = 0,2 - 2,0$ гц цилиндр приводился во вращательно-колебательное движение с помощью кривошипно-шатунного механизма. При $f > 2$ гц использовалась механическая колебательная система, роль инерционного элемента которой играл цилиндр. Упругим элементом служила часть вала, хвостовик которого в этом случае жестко крепился в зажиме. Колебания системы возбуждались электромеханическим вибратором.

Для определения величины теплового потока был применен оптический метод измерения [2], [3]. Конический пучок световых лучей (Рис. 2) проходит сквозь малое ($d_0 = 0,5$ мм) отверстие диафрагмы, так что можно считать источник света точечным. Отверстие помещено в фокальной плоскости вогнутого зеркала, отражаясь от которого, лучи света становятся параллельными друг другу. Пройдя вдоль образующей цилиндра, они падают на другое вогнутое зеркало. Если температура цилиндра равна температуре окружающей среды, лучи, отражаясь от этого зеркала, пересекаются в некоторой точке его фокальной плоскости. Если же цилиндр нагрет, лучи проходят сквозь слой воздуха с отличным от нуля градиентом температуры, а значит и плотности среды.

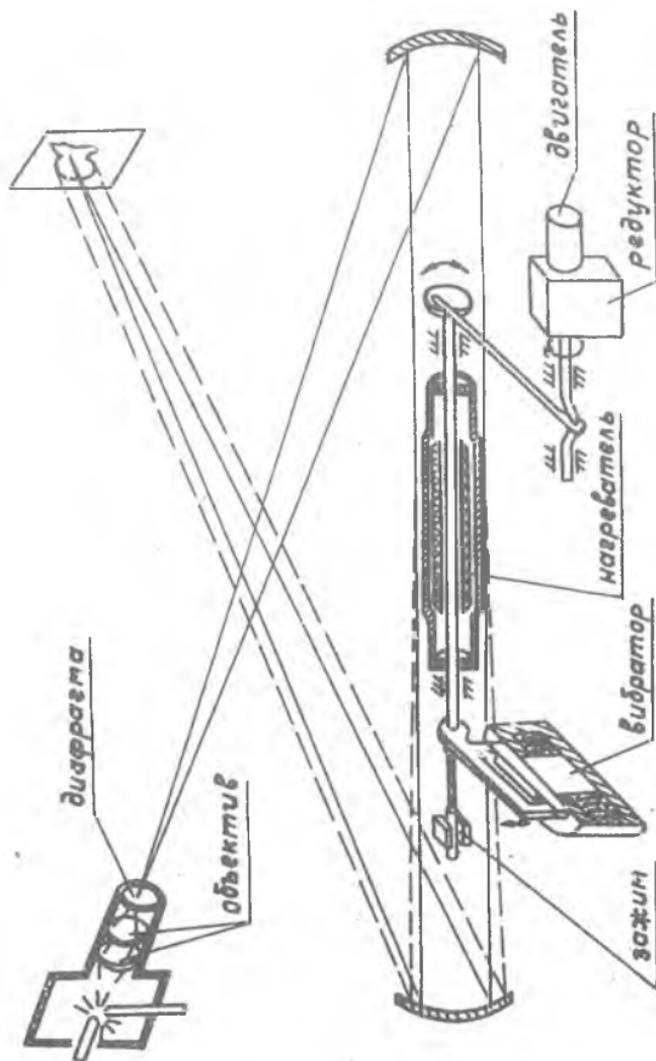


Рис. 2

Это приводит к искривлению траектории распространения световой волны и изменению угла падения луча на поверхность второго зеркала. На экране, помещенном в фокальной плоскости этого зеркала, возникает диаграмма углов отклонения лучей [3]. Поскольку эти углы практически пропорциональны локальным тепловым потокам, фиксируя диаграмму, получаем распределение потока по углу.

При малых частотах ($f \leq 2$ гц) фиксация диаграмм производилась с помощью фотокамеры, при больших – скоростной кинокамерой СКС-1. При съемке фотокамерой момент времени определялся по угловому положению тонких радиальных стержней, вращающихся синхронно с валом кривошипно-шатунного механизма и расположенных на пути световых лучей.

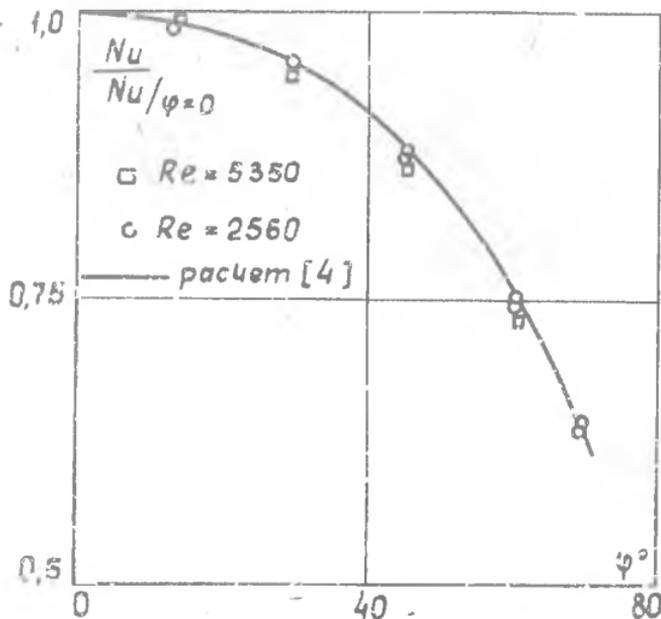


Рис. 3

Средние по времени значения теплового потока в функции от угла ψ приведены на рис. 3. Измеренные величины согласуются с расчетными данными для стационарного пограничного слоя, полученными Фресслингсом [4]. На рис. 4 представлен пример изменения теплового потока по времени. Как видно из графика, это измене-

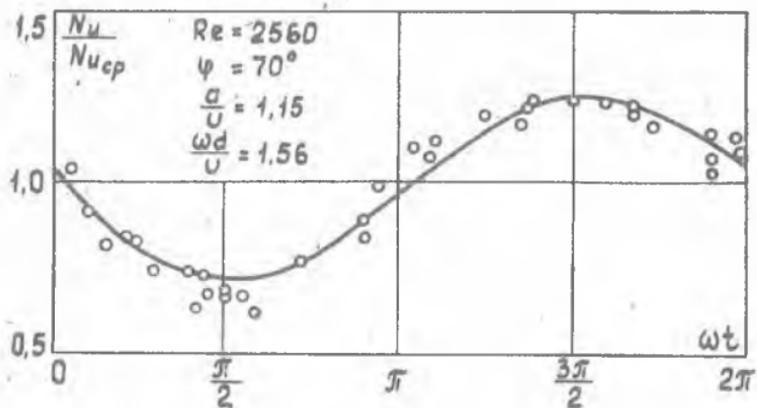


Рис. 4

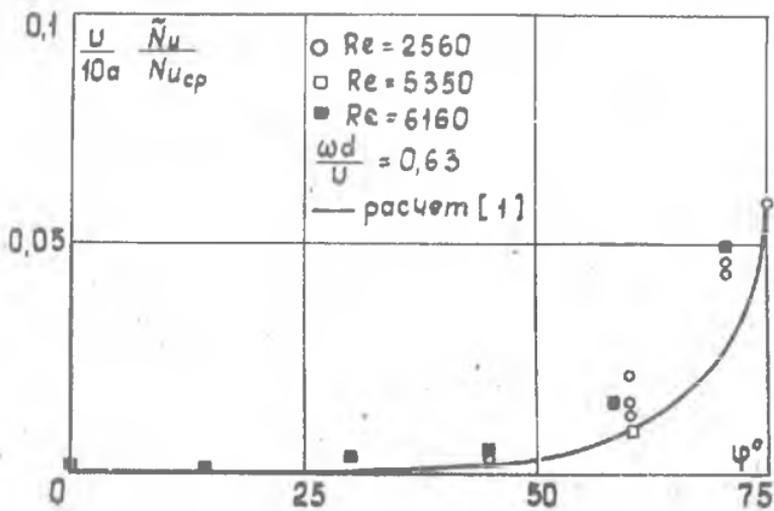


Рис. 5

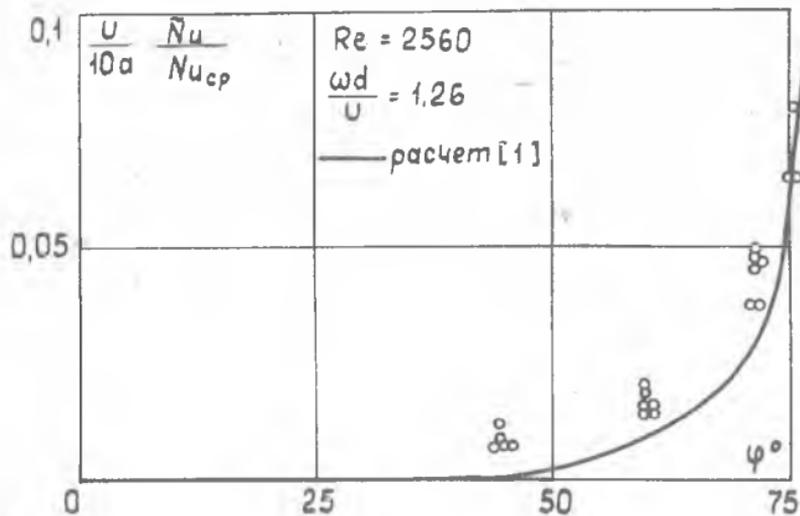


Рис. 6

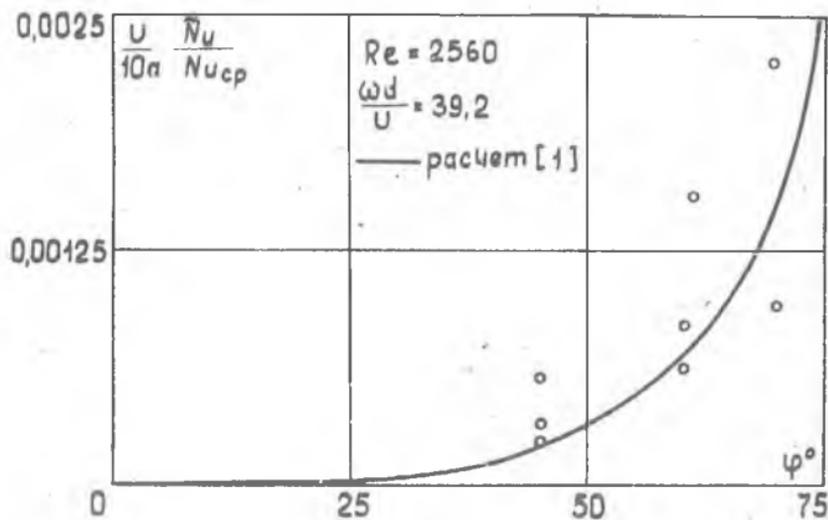


Рис. 7

ние хорошо описывается синусоидой. Распределение амплитуды теплового потока по углу φ для ряда значений частот изображено на рис. 5 - 7. Величины, полученные при различных числах Рейнольдса, ложатся на одну кривую. Характер зависимости амплитуды от угла вполне соответствует результатам теоретических исследований [I]. В окрестности критической линии амплитуда пренебрежимо мала. В области, где градиент давления отрицателен ($0 \leq \varphi \leq 70^\circ$), она медленно возрастает. Затем следует зона её резкого увеличения. Данная закономерность имеет место в широком диапазоне частот $0,6 \leq \frac{\omega d}{U} \leq 40$.

Л и т е р а т у р а

1. Головин В.М., Файницкий Ю.Л. Поперечное обтекание кругового цилиндра, совершающего вращательные колебания. Труды КуАИ, вып. 35, 1971.
2. E. Schmidt, K. Verner, *Forschung*, 12, 1941, 63.
3. Y. Mori, S. Tokuda. Proc. 3rd. Internat. Heat Transfer Conf. Chicago, 1966, Vol. 3.
4. N. Frössling. Lunds Univ. Arssk, NF Avd. 2, 36, 4, 1940.