

ЛИТЕРАТУРА

1. Ольшанский В. Ю., Орел А. А., Фалькович С. В. О силах, действующих на колеблющийся профиль в трансзвуковом потоке. Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. мат., мех., астр., 1976, № 19, вып. 4.
2. Stahara S. S., Spreiter J. R. Unsteady local linearization solution for pulsating bodies at $M_\infty=1$. AIAA Journal, 1976, 14, No. 7.
3. Сега Г. Ортогональные многочлены. М., Физматгиз, 1962.

УДК 533.6.011.35

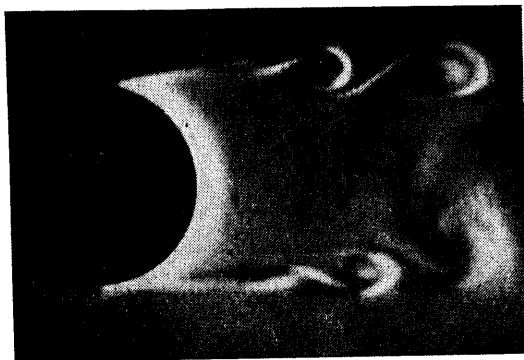
ОСОБЕННОСТИ ПОПЕРЕЧНОГО ДОЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ КРУГОВОГО ЦИЛИНДРА

В. М. БОЖКОВ, Л. Е. ВАСИЛЬЕВ, С. В. ЖИГУЛЕВ

(Москва)

В диапазоне околоскритических чисел Рейнольдса $Re=(1.5-4.0) \cdot 10^5$ качественная картина поперечного дозвукового обтекания кругового цилиндра скачкообразно изменяется, при этом наблюдается резкое уменьшение коэффициента сопротивления C_x [1].

В настоящее время накоплен большой объем экспериментальных и расчетных исследований об особенностях дозвукового обтекания цилиндра [1-4]. Значительный вклад в углубленное понимание вопроса представляет работа [4], в которой дана физическая интерпретация ряда теоретических и экспериментальных результатов,

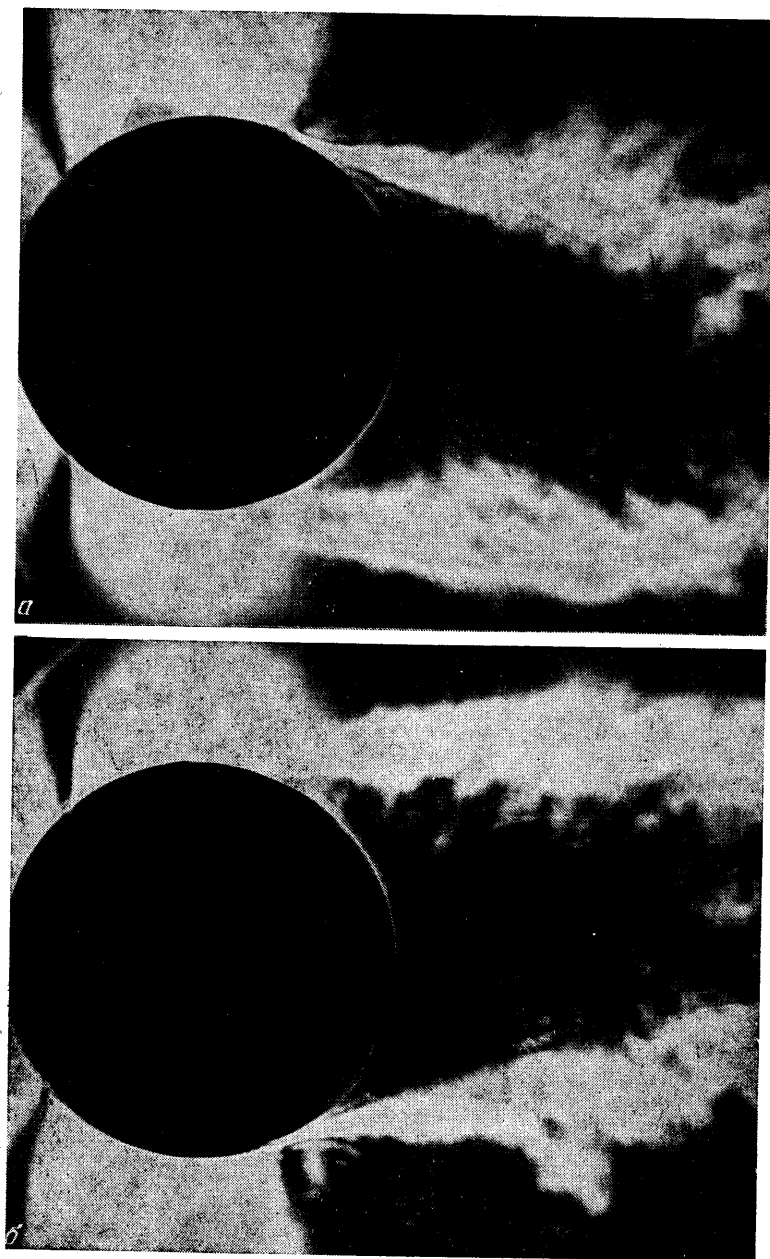


Фиг. 1

полученных в широком диапазоне чисел Re . Тем не менее сложный нестационарный характер отрывного обтекания цилиндра и возникающие при моделировании плоского обтекания в аэродинамических установках трехмерные течения не позволяют считать проблему полностью изученной.

Цель данной работы — проведение дополнительных экспериментальных исследований особенностей дозвукового поперечного обтекания цилиндра и, в частности, изучение возможных несимметричных устойчивых режимов обтекания в околоскритическом диапазоне чисел Рейнольдса.

Экспериментальные исследования были проведены в малотурбулентной дозвуковой аэродинамической трубе ЦАГИ с размером рабочей части $1 \text{ м} \times 1 \text{ м}$ в диапазоне скоростей потока $V=1-105 \text{ м/сек}$. Модели круговых цилиндров различных диаметров d крепились точно по центру рабочей части между оптическими стеклами. Картина поперечного обтекания визуализировалась с помощью прибора Теплера по методу локального подогрева [5], а для получения поверхностных линий потока использовалось масляно-сажевое покрытие. Измерения коэффициента подъемной силы в сечении $C_{y_s}=Y_s/qd$ были выполнены по методу импульса по распределению статического давления вдоль оси x на верхней и нижней стенках в осевом сечении рабочей части аэродинамической трубы [6]. Кроме того, были выпол-



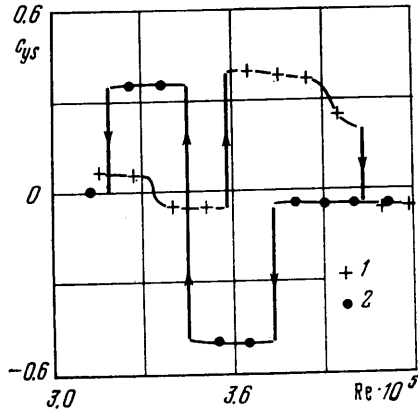
Фиг. 2

нены измерения суммарных величин сопротивления и подъемной силы цилиндров с помощью встроенных в модель тензочувствительных датчиков. Изменение чисел $Re = Vd/\nu$ в процессе испытаний осуществлялось путем увеличения или уменьшения скорости набегающего потока V .

При малых числах Рейнольдса $Re \sim 5 \cdot 10^3$ картина обтекания цилиндров носила симметричный характер. Сходящая с верхней или нижней поверхности цилиндра вихревая пелена сворачивалась в вихревые сгустки и уносилась потоком. Образование укрупненных вихрей верхней пелены происходило в фазе со сворачиванием нижней вихревой пелены (фиг. 1) (скорость набегающего потока 2 м/сек). Картина течения похожа на полученную Прандтлем для случая обтекания цилиндра водой с той разницей, что в воде укрупненные вихри образуются в непосредственной бли-

зости от цилиндра, а в воздухе они формируются на расстоянии порядка калибра вниз по течению.

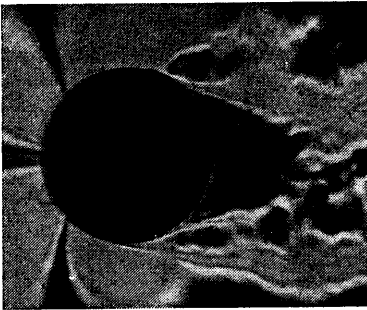
При увеличении чисел $Re > 5 \cdot 10^3$ возникает известное периодическое асимметричное обтекание с образованием вихревых дорожек Кармана. Вихревые сгустки, образуемые сворачиванием верхней и нижней пелены, возникают неодновременно и периодически сменяют друг друга в пространстве за цилиндром. По мере удаления от цилиндра вниз по потоку наблюдалась цепочка последовательно разрастающихся вихрей. Один из них, обычно третий или четвертый, начинал двигаться внутрь зоны отрыва и разрастался в размерах, увлекая за собой и скручивая в спи-



Фиг. 3

раль всю вихревую пелену с одной стороны цилиндра. Процесс образования укрупненных вихрей являлся следствием схода мелких вихрей с цилиндра, а частота вихреобразования в следе была в несколько раз меньше частоты схода мелких вихрей со стороны цилиндра. Достигнув размеров, соизмеримых с диаметром, укрупненный вихрь уносился потоком. Затем на противоположной стороне описанный процесс повторялся. Такое чередование дает вихревой след с шахматным расположением зон завихренности переменного знака, известный как дорожка Кармана. Периодическое сворачивание вихревой пелены в спираль в следе за цилиндром

приводило к колебаниям точки отрыва потока и всей пелены относительно среднего положения с амплитудой порядка 3° . Числа Струхала в таком режиме течения были практически постоянными и равнялись 0,2. Данные получены обработкой материалов скоростной киносъемки.



Фиг. 4

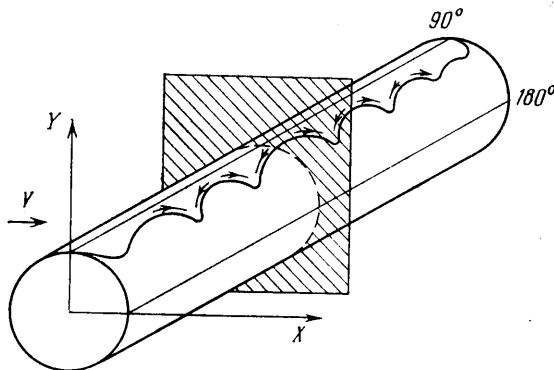
приводило к колебаниям точки отрыва потока и всей пелены относительно среднего положения с амплитудой порядка 3° . Числа Струхала в таком режиме течения были практически постоянными и равнялись 0,2. Данные получены обработкой материалов скоростной киносъемки.

При околокритических числах Рейнольдса в диапазоне $Re = (3-5) \cdot 10^5$ периодичность вихреобразования нарушалась и картина обтекания качественно изменялась. В условиях проводимого эксперимента обнаружена некоторая промежуточная несимметричная устойчивая форма обтекания, когда положение точки отрыва на одной стороне цилиндра соответствует докритическому обтеканию, а на другой — закризисному (фиг. 2, а, б). Это приводит к существенному скосу следа, составляющему с направлением набегающего потока угол $\sim 15^\circ$, и возникновению значительной подъемной силы (фиг. 3). Точки 1 на фиг. 3 получены при увеличении скорости потока, 2 — при уменьшении.

Указанный несимметричный режим обтекания является достаточно устойчивым и сохраняется при фиксировании скорости потока после образования этого режима сколь угодно долго. При этом в следе за цилиндром не наблюдаются четко выраженные вихревые структуры и течение носит аperiodический характер. Направление скоса в обнаруженном несимметричном режиме могло произвольно скачкообразно изменяться на противоположное в условиях одного опыта при изменении скорости набегающего потока, вследствие чего изменялся и знак подъемной силы, как показано на фиг. 3. Видно, что при уменьшении скорости набегающего

щего потока направление скоса следа изменилось на противоположное. Из приведенной на фиг. 3 зависимости $C_{y\delta} = f(Re)$, полученной по методу импульса, следует, что реализуемые при несимметричном аperiodическом обтекании значения коэффициента подъемной силы достигают значительных величин $C_{y\delta} \sim 0.5$. Указанные значения были подтверждены также по результатам весовых измерений суммарной подъемной силы цилиндра с помощью тензовесов.

Наблюдение картины обтекания в приборе Тепла при скоростях набегающего потока, превышающих 50 м/сек, осложняется тем, что вследствие роста градиентов плотности с увеличением скорости V на экране регистрируется уже вся интеграль-



Фиг. 5

ная картина течения вдоль цилиндра, а эта картина становится все более неоднородной вдоль образующей (фиг. 4). Подтверждение неоднородного характера обтекания в различных сечениях вдоль образующей цилиндра дают качественные картины растекания масляно-сажевого покрытия с летучим компонентом по поверхности модели. Так, из схемы, приведенной на фиг. 5, и соответствующей скорости потока $V = 104$ м/сек следует, что граница турбулентного отрыва потока (жирная линия) представляет собой волнообразную линию вдоль размаха с азимутальным смещением отрывных зон относительно одна другой. Стрелками показаны линии тока по поверхности, плоскость измерения $C_{y\delta}$ заштрихована.

При числах $Re > 4.5 \cdot 10^5$ обтекание цилиндров стабилизируется и соответствует известному закритическому обтеканию.

ЛИТЕРАТУРА

Поступила 4 XII 1978.

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М., Изд-во иностр. лит., 1956.
2. Чжен П. К. Отрывные течения. М., «Мир», 1972.
3. Ильичев К. П., Постоловский С. Н. Расчет нестационарного отрывного обтекания тел плоским потоком вязкой жидкости. Изв. АН СССР, МЖГ, 1972, № 2.
4. Morkovin M. V. Flow around circular cylinder a kaleidoscope of challenging fluid phenomena. Symp. on Fully separated flows, Philadelphia, Pa., 1964. N. Y., ASME, 1964.
5. Божков В. М., Захарченко В. М., Мозольков А. С., Хонькин А. Д. Метод визуализации дозвуковых течений и его применение к исследованию обтекания профилей. Уч. зап. ЦАГИ, 1972, т. 3, № 5.
6. Гаврицев В. С., Гадецкий В. М., Мозольков А. С. Определение подъемной силы профиля по измерению давления на стенках рабочей части дозвуковой аэродинамической трубы. Уч. зап. ЦАГИ, 1976, т. 7, № 6.

УДК 533.6.011.5

ГЕОМЕТРИЯ ЖИДКОГО КРЫЛА В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ

В. Ф. ЗАХАРЧЕНКО, Ю. Х. КАРДАНОВ

(Москва)

В результате анализа взаимодействия плоской боковой струи газа — жидкого крыла — со сверхзвуковым потоком выведена система безразмерных определяющих параметров. Проведено экспериментальное исследование влияния этих параметров на глубину проникновения струи в рассматриваемом случае вдува через продол-