

4. Саттаров Р. М. Некоторые случаи неустановившегося движения вязкопластичных сред в бесконечно длинном вязкоупругом трубопроводе. — ПМТФ, 1977, № 3.
5. Саттаров Р. М., Бахтизин Р. Н. Распространение давления в вязкоупругих средах при их движении в трубах из упруговязкого материала. — ИФЖ, 1983, т. 44, № 3.
6. Захаров В. Е., Манаков С. В., Новиков С. П. и др. Теория солитонов. М.: Наука, 1980.
7. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.
8. Диденко В. С., Дегтярев В. Н. Исследование условия пуска нефтепровода с застывшей нефтью. — НХ, 1977, № 3.
9. Саттаров Р. М. Диагностирование реологических свойств вязкоупругопластичных сред при их движении в трубах. — ИФЖ, 1981, т. 41, № 6.

Поступила 1/II 1984 г.

УДК 532.526

ОТРЫВ ПОТОКА ОТ ПЕРЕДНЕЙ КРОМКИ ПРОФИЛЯ И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО АКУСТИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

В. В. Козлов
(Новосибирск)

Изучение явления отрыва потока давно привлекает исследователей, что связано с широким распространением отрывных течений и их большой ролью в формировании структуры потоков. Известно, что существует два различных режима течения после отрыва [1]. В некоторых случаях начальный пограничный слой проходит выше области рециркулирующей жидкости и затем снова присоединяется к телу в некоторой точке вниз по потоку, отделяя «пузырь» рециркуляционной жидкости. В других случаях жидкость из пограничного слоя не присоединяется к телу, а проходит вниз по потоку, смешиваясь с рециркуляционной жидкостью и образуя след. В этом случае для профиля, находящегося под большим углом атаки, отрыв охватывает всю верхнюю его поверхность.

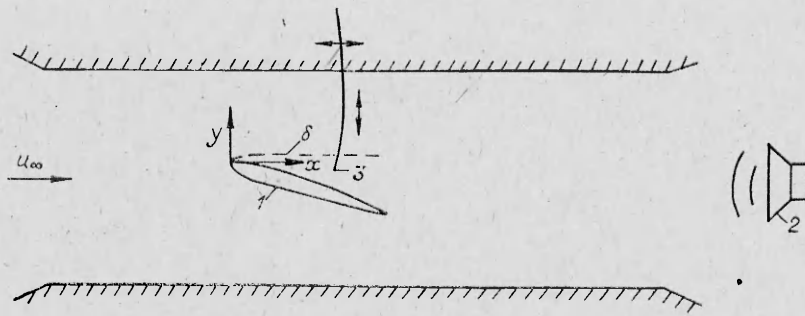
Вышеописанные режимы течения после отрыва определяют тип отрыва. Отрыв может быть «локализован», как это имеет место в первом случае, а может охватывать всю поверхность, как наблюдается во втором.

Первый тип отрыва был реализован и изучен в [2], [3]. В этом случае образовывался малый «локализованный» отрыв, возникающий на средней части крылового профиля. В [2] показано, что собственные возмущения, развивающиеся в области отрыва, могут приводить к существенной перестройке структуры течения в этой области. В [3] найдено, что в области неблагоприятного градиента давления происходит преобразование акустических возмущений в вихревые возмущения пограничного слоя (волны Толлмина — Шлихтинга), распространяющиеся вниз по потоку, которые также оказывают сильное влияние на структуру ламинарного течения в пограничном слое и могут приводить к устранению отрыва, как и в случае, когда возмущения вносятся в пограничный слой вибрирующей ленточкой.

Цель данной работы — получение отрыва, охватывающего всю верхнюю поверхность профиля, т. е. отрыва второго типа, изучение его структуры и влияния на него акустических возмущений.

Эксперимент выполнен в малотурбулентной аэродинамической трубе Т-324 ИТМ СО АН СССР [4] с размерами рабочей части 1×1 м² и длиной 4 м. Отрыв потока исследовался на симметричном профиле Жуковского l с хордой, равной 292 мм, и размахом 1 м, который располагался под углом атаки в 11° на расстоянии 1,0 м от начала рабочей части. Схема эксперимента приведена на фиг. 1. Для возбуждения акустических колебаний в исследуемой области течения в диффузоре трубы устанавливался динамик громкоговорителя 2. Сигнал на громкоговоритель подавался с выхода звукового генератора ГЗ-34. С помощью микрофона, расположенного в непосредственной близости от модели, и точного импульсного шумомера PSI-202 измерялась интегральная по спектру интенсивность звука, в настоящих экспериментах поддерживалась $A_{зв} = 90$ дБ (фоновая интенсивность звука 80 дБ).

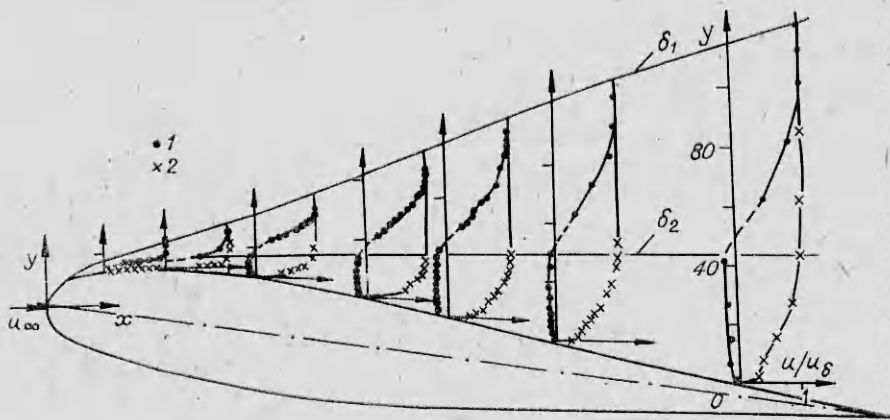
Измерение средних и пульсационных величин скорости потока осуществлялось с помощью термоанемометра 55D00 DISA с линеаризованной характеристикой. Датчик 3 вводился в поток через окно рабочей части. Чувствительный элемент датчика — нагретая нить диаметром 8 мкм была ориентирована в поперечном к потоку направлении. Средняя составляющая сигнала датчика, соответствующая некоторой комбинации ком-



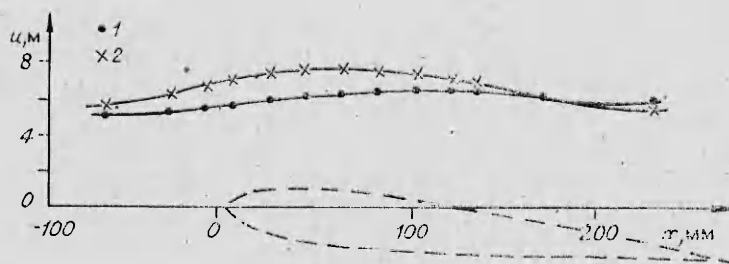
Ф и г. 1

понент вектора скорости, фиксировалась на цифровом вольтметре с временем усреднения 3 с. При исследовании интегральных по спектру характеристик возмущений пульсационная компонента регистрировалась на среднеквадратичном вольтметре и выводилась на двухлучевой осциллограф С1-18, что позволяло визуально наблюдать за возмущениями. Измерения проводились при скорости набегающего потока $u_\infty = 4,9$ м/с, измеряемой на входе в рабочую часть аэродинамической трубы. При построении профилей скорости принималось во внимание, что средняя скорость в отрывной области имеет отрицательное значение, это учитывалось при их построении, как и в [5].

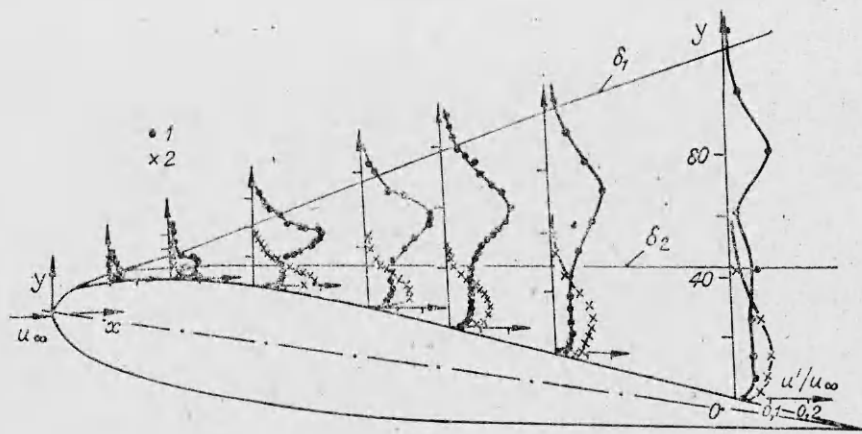
На фиг. 2 приведены профили средней скорости (сечение $x = 20; 40; 70; 107; 134; 170; 230$ мм), реализуемые в пограничном слое и в области отрыва без акустического воздействия (точки 1) и с ним (точки 2). При этом амплитуда звука с частотой $f = 230$ Гц поддерживалась равной 90 дБ. Профили изображены в лабораторной системе координат (см. фиг. 1), в которой поперечная координата $y = 0$ связана с поверхностью профиля, продольная координата отсчитывается от носика профиля, и в каждом сечении проведена их нормировка на максимальное значение. Характерное



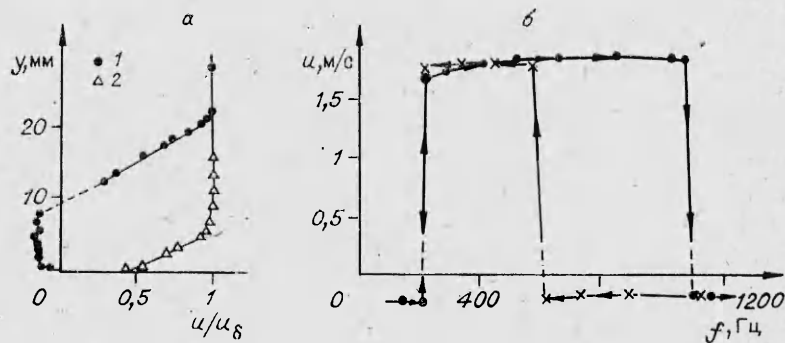
Ф и г. 2



Ф и г. 3



Ф и г. 4



Ф и г. 5

распределение средней скорости впереди модели и на границе пограничного слоя приведено на фиг. 3. Видно, что при наличии акустического воздействия 2 существенно меняется картина внешнего обтекания модели. Анализ результатов измерений профилей средней скорости показал, что без акустического воздействия (точки 1) уже на расстоянии $x = 5$ мм от передней кромки профиля возникает ламинарный отрыв потока и в этой области начинает нарастать пакет возмущений, приводящий при $x = 65$ мм к переходу к турбулентности, но при этом не происходит присоединения оторвавшегося течения к крыловому профилю, как это было в [2], а «жидкость» из пограничного слоя проходит вниз по потоку, смешиваясь с рециркуляционной жидкостью и образуя след. Отрыв охватывает всю верхнюю поверхность.

На фиг. 4 показаны профили пульсационной составляющей скорости для этого случая (точки 1). Можно отметить, что максимум пульсаций скорости в случае ламинарного и турбулентного течения находится далеко от стенки и его местоположение совпадает с точкой перегиба в профилях средней скорости (см. фиг. 2). При включении акустического поля (точки 2) в определенном диапазоне частот наблюдается появление в области ламинарного отрыва при $x > 10$ мм волны Толлмина — Шлихтинга большой амплитуды (см. фиг. 4, сечение $x = 20$ и 40 мм), что подтверждается также фазовыми измерениями, т. е. в этой области происходит преобразование акустических возмущений в вихревые, как это уже отмечалось в [3]. Так же как и в вышеназванных работах, это приводит к изменению структуры области ламинарного отрыва в данном случае и его устранению в этой области и ниже по течению на всей верхней поверхности (см. фиг. 2). При этом максимум продольной пульсации скорости приближается к поверхности и профили пульсаций имеют вид, типичный для безотрывного турбулентного пограничного слоя, вплоть до последних сечений, где, по-видимому, начинает формироваться турбулентный отрыв.

На фиг. 5 показаны реализации различных состояний пограничного слоя в зависимости от частоты акустического поля при постоянной амплитуде звука, равной 90 дБ: *a* — профили средней скорости при влиянии акустического поля (точки 2, т. е. когда происходит устранение отрыва, и точки 1 — нет никакого влияния); *b* — точки, характеризующие это влияние при прохождении частотного диапазона снизу вверх и обратно (измерения проводились при $x = 70$ мм, $y = 0,5$ мм). Видно, что при непрерывном движении от нижних частот при постоянном значении акустического поля к верхним такое влияние (устранение отрыва) начинается с частоты 200 Гц и заканчивается на частоте 1125 Гц, при движении в обратном порядке частотный диапазон значительно сужается, влияние начинается на частоте 600 Гц и заканчивается на частоте 200 Гц, т. е. существует гистерезис этого явления (оно существенно зависит от предыстории).

Таким образом, в работе получены характеристики глобального отрыва, когда он образуется на передней кромке профиля и занимает практически всю верхнюю поверхность профиля. Найдено, что при наличии акустического поля на определенных частотах в области передней кромки в начале отрыва возникает волна Толлмина — Шлихтинга той же частоты, приводящая к значительному изменению структуры среднего течения, т. е. присоединению пограничного слоя и устранению глобального отрыва. Показано, что существует гистерезис этого явления в зависимости от направления движения по частотам снизу вверх или обратно.

Автор выражает благодарность З. А. Корчагиной за помощь при обработке результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уильямс Дж. Вихревые движения жидкости. — Сб. пер. Механика, № 21, 1979.
2. Довгаль А. В., Козлов В. В. и др. Влияние возмущений на структуру течения в области отрыва. — ДАН СССР, 1981, т. 258, № 1.
3. Довгаль А. В., Козлов В. В. Влияние акустических возмущений на структуру течения в пограничном слое с неблагоприятным градиентом давления. — Изв. АН СССР. МЖГ, 1983, № 2.
4. Багаев Г. И., Голов В. К., Медведев Г. В., Поляков Н. Ф. Аэродинамическая труба малых скоростей Т-324 с пониженной степенью турбулентности. — В кн.: Аэрофизические исследования. Новосибирск, 1982.
5. Гупта А. К., Синха С. Н., Оберай М. М. Ламинарное отрывное обтекание уступов и каверн. Ч. 1. Течение за уступом. — РТК, 1981, т. 19, № 12.

Поступила 2/1 1984 г.

УДК 533.6.011.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕДОРАСШИРЕННОЙ РАЗРЕЖЕННОЙ СТРУИ С ПЛОСКОЙ ПРЕГРАДОЙ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ ЕЕ ОСИ

И. В. Шаталов

(Ленинград)

Изучение влияния разреженности на сверхзвуковые струйные течения базируется главным образом на результатах измерения плотности методом электронно-лучевой диагностики. Этот метод обеспечивает хорошую локальность измерения при достаточно высокой точности и практически не возмущает газовый поток. С его помощью было проведено широкое экспериментальное исследование недорасширенных струй, истекающих в разреженное пространство [1], на основании которого установлены параметры подобия изучаемых течений. В [2] по данным измерений плотности изучено влияние разреженности на толщину диска Маха в свободных недорасширенных струях.

Ниже приведены результаты исследования распределения плотности в ударном слое недорасширенной разреженной струи, натекающей на перпендикулярную плоскую преграду, проведенного методом электронно-лучевой диагностики в рентгеновском диапазоне. На основании экспериментальных данных сделаны оценки толщины центрального скачка и проведена классификация режимов течения в ударном слое по степени разреженности.