

При фильтрации из среды 6 в среду 5 размер зоны смеси на выходе равен

$$l_{\Sigma 6-5} = A_5 \sqrt{L_5 + L_6} + (A_6 - A_5) \sqrt{L_6}$$

при обратном направлении фильтрации

$$l_{\Sigma 5-6} = A_6 \sqrt{L_5 + L_6} - (A_6 - A_5) \sqrt{L_5}$$

Разница в длинах зон

$$\Delta l = l_{\Sigma 6-5} - l_{\Sigma 5-6} = (A_6 - A_5) (\sqrt{L_6} + \sqrt{L_5} - \sqrt{L_6 + L_5})$$

при

$$L_5 = L_6, \quad \Delta l = (A_6 - A_5) (2\sqrt{L} - \sqrt{2L})$$

Так как $A_6 > A_5$, то $\Delta l > 0$, т. е. длина зоны смеси при течении сначала через мало проницаемую среду, а затем через хорошо проницаемую при равных длинах пути больше, чем при обратном направлении течения.

4. Вторая модель представляла собой две соосные трубы: внутренняя труба $\varnothing 26$ мм была набита корундовым порошком 6, а кольцевое пространство между внутренней и наружной трубой было набито корундовым порошком 5. Входное и выходное сечения являются общими для обоих потоков и общая проницаемость такой модели $k = 0.84$ г. Величина произведения проницаемости на площадь поперечного сечения фильтрационного потока у наружной кольцевой части модели примерно в 40 раз больше, чем у внутренней. Вследствие этого влияние замедленных процессов перемешивания во внутренней мало проницаемой пористой среде на общую характеристику зависимости зоны от скорости фильтрации, как это следует из фиг. 2, начинает сказываться все сильнее с уменьшением скорости (кривая 3). Как показывают кривые, концентрация вытесняющего углекислого газа — относительный объем прошедшего газа, мало проницаемая внутренняя среда не сказывается на начале зоны смеси и существенно меняет ее «хвост», причем тем сильнее, чем меньше общая скорость фильтрации. Опыт на моделях с неоднородной пористой средой иллюстрирует влияние различной интенсивности процессов перемешивания в отдельных зонах пласта на величину общей зоны смеси. Авторы благодарны В. Н. Николаевскому за обсуждение результатов работы.

Поступила 26 II 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаевский В. Н. Конвективная диффузия в пористых средах. ПММ, 1959, т. 23, вып. 6.
2. Бузинов С. Н., Пешкин М. А. Некоторые экспериментальные данные о вытеснении газа газом из пористой среды. Изв. АН СССР, МЖГ, 1974, № 4.
3. Harleman D. R. F., Mehlhorn P. F., Rumer R. R. Jr. Dispersion-permeability correlation in porous media. J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civie Engrs, 1963, vol. 89, No. 2, pt 1.
4. Edwards M. F., Richardson J. F. Gas dispersion in packed beds. Chem. Engng Sci., 1968, vol. 23, No. 2.
5. Greenkorn R. A., Kessler D. P. Dispersion in heterogeneous nonuniform anisotropic porous media. Ind. and Engng Chem., 1969, vol. 61, No. 9.
6. Бузинов С. Н., Пешкин М. А. О коэффициенте дисперсии при вытеснении из пористой среды газа газом. ПМТФ, 1975, № 4.

УДК 533.6.011.35

ПУЛЬСАЦИИ ДОННОГО ДАВЛЕНИЯ ЗА ЦИЛИНДРОМ И ДИСКОМ ПРИ ОБТЕКАНИИ ДОЗВУКОВЫМ ПОТОКОМ

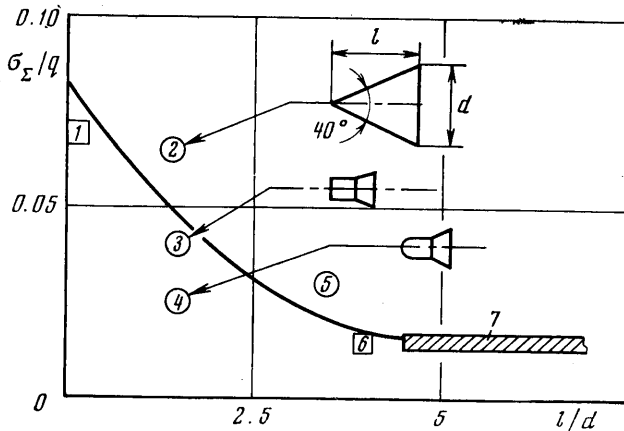
В. М. КУПЦОВ, С. И. ОСТРОУХОВА

(Москва)

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование пульсаций донного давления за длинным цилиндром ($l/d \approx 5 \div 10$) и тонким диском ($l/d \approx 0.0$). На основании полученных данных и результатов работ других авторов обобщены спектральные и корреляционные характеристики пульсаций донного давления за осесимметричными телами при числе Маха $M \leq 1.0$.

Эксперименты были проведены в трансзвуковой акустически заглушенной аэродинамической трубе эжекторного типа. Воздух поступал в рабочую часть цилиндрической формы из атмосферы через входной коллектор с плавным контуром. Стенки рабочей части имели перфорированные участки. Были испытаны два цилиндра с диаметрами $d=460$ и 160 мм. Оба цилиндра закреплялись на державке, установленной вне трубы перед входным коллектором. Дно каждого цилиндра располагалось на расстоянии $l_1 \approx 1.5 \div 2.0$ м от начального сечения рабочей части. Диаметры рабочих частей, в которых были испытаны цилиндры с $d=460$ и 160 мм, соответственно равнялись 1000 и 600 мм. В рабочей части с меньшим диаметром был также испытан тонкий круглый диск с $d=160$ мм. Этот диск устанавливался внутри рабочей части перпендикулярно потоку с помощью трех тонких расчалок. Все испытания были проведены при больших числах Рейнольдса, соответствующих турбулентному режиму течения.

Для измерения и анализа пульсационных характеристик использовались те же аппаратура и методика, что и в [1]. Датчики были установлены на дне цилиндров с $d=160$ и 460 мм соответственно в трех и шести точках, а на дне диска — в двух точ-



Фиг. 1

ках. На боковой поверхности цилиндров были размещены два датчика для измерения пульсаций давления в набегающем потоке.

Анализ измерений пульсаций давления показал, что на боковой поверхности цилиндра спектры ровные, аналогичные по своей форме спектрам пульсаций для турбулентного пограничного слоя. Однако уровни этих пульсаций из-за наличия дополнительного шума в аэродинамической трубе на $3 \div 6$ дБ выше, чем на стенке с турбулентным пограничным слоем в безграничном потоке. Из сравнения спектров пульсаций донного давления и давления на боковой поверхности цилиндра было найдено, что уровни пульсаций донного давления в области низких частот $f < 1500$ гц существенно выше (на $5 \div 12$ дБ), чем уровни пульсаций давления в набегающем потоке.

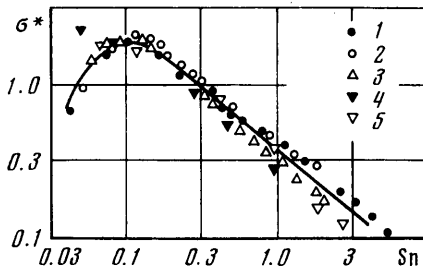
Измерения показали, что уровни пульсаций донного давления вдоль поверхности дна изменяются относительно слабо. Однако ближе к периферии наблюдается некоторое снижение интенсивности пульсаций. Так, в точке, удаленной от центра на расстоянии $2r/d=0.80$, уровень пульсаций ниже, чем в точке $r=0$, на $3 \div 4$ дБ.

Число Маха набегающего потока M существенно влияет на суммарные уровни пульсаций донного давления σ_z . Однако отношение σ_z/q , где q — скоростной напор в набегающем потоке, при увеличении M до 0.9 практически не изменяется. Для обоих испытанных цилиндров $\sigma_z/q \approx 0.013 \div 0.015$, а для диска $\sigma_z/q \approx 0.06 \div 0.07$. При увеличении M при $M > 0.9$ происходит уменьшение относительных уровней. Так, при $M=1.0$ отношение σ_z/q снижается по сравнению с величиной σ_z/q при $M < 0.9$ в 1.4 раза. Величина суммарного уровня пульсаций донного давления σ_z существенно зависит от формы тела. Для конусов отношение σ_z/q зависит от относительной длины конуса l/d . На фиг. 1 приведены данные по σ_z/q для конусов в зависимости от l/d . Здесь 1 — диск ($\beta=90^\circ$), 2 — конус с полууглом при вершине $\beta=20^\circ$ [1], 5 — конус с $\beta=8^\circ$ [3], 7 — цилиндр ($\beta=0$), 3, 4 — из работы [4], 6 — из работы [5]. Для цилиндра l — длина участка, омываемого потоком. Из фиг. 1 видно, что при укорочении конуса интенсивность пульсаций донного давления монотонно увеличивается. Физически этот рост объясняется тем, что при уменьшении l/d увеличивается разность между давлением в набегающем потоке P_H и донным давлением P_g , а следовательно, и ско-

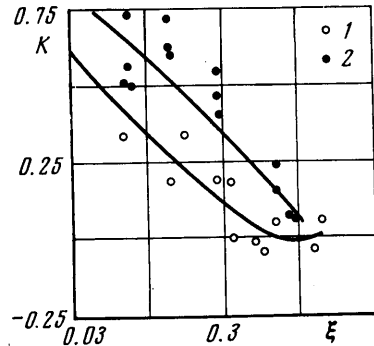
рости течения в ближнем следе. В первом приближении, как видно из фиг. 1, полученной зависимостью σ_x/q от l/d для конусов можно пользоваться и для тел других форм.

Анализ спектральных уровней показал, что в координатах $\sigma^* = (\sigma_1/\sigma_x) \sqrt{V/d}$ и $Sh = fd/V$, где V — скорость в набегающем потоке, σ_1 — спектральный уровень в полосе 1 гу, ни число M , ни положение измеряемой точки на днище не влияют на спектры. На фиг. 2 представлены результаты спектрального анализа для различных тел. Здесь 1 — цилиндр $d=460$ мм, 2 — цилиндр $d=160$ мм, 3 — диск, 4 — конус [3], 5 — короткое тело [4]. Из фиг. 2 видно, что все спектры в координатах σ^* и Sh образуют единый обобщенный график. Максимум пульсаций реализуется при $Sh \approx 0.1 \div 0.3$. Эти значения числа Струхала согласуются с результатами измерения характерной частоты колебания в следе (см., например, [5]).

В литературе отсутствуют сведения о корреляции пульсаций донного давления. Однако такие сведения необходимы для определения пульсационных нагрузок на



Фиг. 2



Фиг. 3

донную поверхность. В данной работе впервые были измерены коэффициенты корреляции донного давления. Корреляция была выполнена на корреляторе фирмы «Disa» и корреляторе CA-200 фирмы «ONO Sokki» в $1/3$ октавных фильтрах. Анализ результатов измерения корреляции показал, что коэффициент корреляции K является функцией частоты f и взаимного расстояния между рассматриваемыми точками Δx . При увеличении f и Δx коэффициент K в общем случае уменьшается. Было найдено, что в первом приближении функция $K=K(\Delta x, f)$ от двух переменных Δx и f может быть приведена к функции от одной переменной $\Delta x f$. На фиг. 3 построена зависимость K от $\xi = 4\Delta x/\lambda$, где $\lambda = a/f$, a — скорость звука в донной области. Здесь 1 — данные для цилиндра, 2 — данные для диска. Из фиг. 3 видно, что коэффициент корреляции для диска больше, чем для цилиндра. Для обоих тел пульсации давления становятся не коррелированными при расстояниях между точками $\Delta x \approx \lambda/4$.

Поступила 28 I 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. Франкфурт М. О. Исследование средних и пульсационных давлений на донном срезе конусов в потоке несжимаемой жидкости. В сб.: «Промышленная аэродинамика», вып. 30. М., «Машиностроение», 1975.
2. Ануфриев В. М., Комаров В. В., Купцов В. М., Мельников Д. А., Сергиенко А. А. Дискретная составляющая в спектре шума сверхзвуковых струй. Изв. АН СССР, МЖГ, 1969, № 5.
3. Heller H. H., Clemente A. R. Unsteady aerodynamic Loads on slender cones at free-stream Mach numbers from 0 to 22. AIAA paper, 1973, No. 998.
4. Mabey D. G. Some measurements of base pressure fluctuations of subsonic and supersonic speeds aeronaut. Res. Couna Curr. Pap., 1971, No. 1204.
5. Eldred K. M. Base pressure fluctuations. J. Acoust. Soc. America, 1961, vol. 33, No. 1.
6. Кашко А. В. Колебания потока в следах за дисками и шаром. Изв. АН СССР, МЖГ, 1970, № 3.