

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛЬСАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛОСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ НА ТВЕРДУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

В. Д. Пшеничный, Л. Р. Яблоник

(Ленинград)

Турбулентные процессы в струях, взаимодействующих с твердыми поверхностями, привлекают в настоящее время внимание многих исследователей [1—4]. При этом основные трудности как в расчетных, так и в экспериментальных исследованиях возникают при изучении турбулентности в наиболее важной области течения непосредственно у поверхности. Источником дополнительной информации о структуре турбулентности в этой области служат сведения о пульсациях давления на поверхности. Кроме того, данные о турбулентных пристенных давлениях имеют и непосредственное прикладное значение, связанное в основном с задачами расчета вибраций элементов конструкций [5].

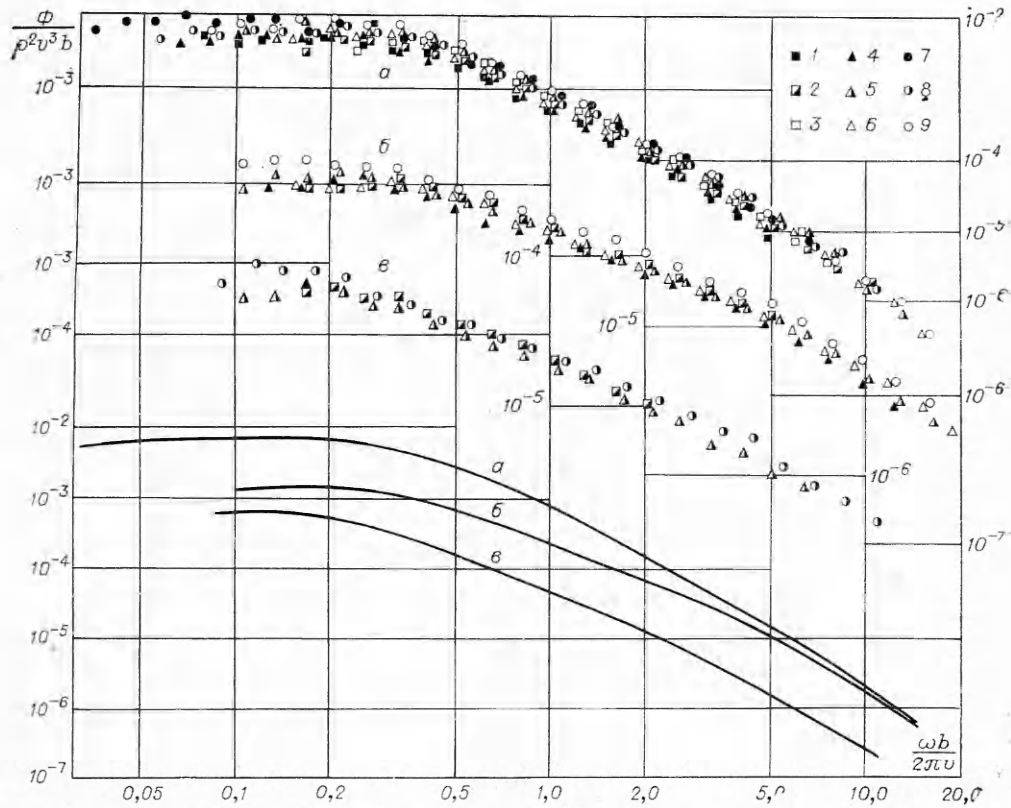
1. Настоящий эксперимент проводился с плоскими воздушными струями, истекающими из щелевого сопла шириной $d = 15$ мм (длина 350 мм) со скоростями от 75 до 220 м/с. При этом числа Рейнольдса менялись в диапазоне $0,7 \cdot 10^5 - 2,1 \cdot 10^5$, числа Маха — в диапазоне $0,2 - 0,64$. Струя натекала на плоскую поверхность массивной поворотной плиты, располагавшуюся на расстояниях 360—640 мм от среза сопла. Заподлицо с рабочей поверхностью плиты установлены блоки пьезоэлектрических преобразователей пульсационного давления, подобные описанным в [6]. Спектральный анализ сигналов с преобразователей осуществлялся спектрометром СИ-1 в третьоктавных полосах частот в диапазоне 50—10 000 Гц. Датчики с диаметром приемной поверхности 1,3 мм имели в этом диапазоне практически постоянную по частоте чувствительность около 4 мкВ/Па. С целью контроля вибропомех определена виброчувствительность датчиков и в процессе испытаний проводились измерения вибраций плиты.

2. При анализе результатов измерений выявлено, что определяющими параметрами пульсационного воздействия струи на поверхность, расположенную перпендикулярно струе на расстоянии x от среза сопла, являются средние характеристики (плотность ρ , осевая скорость v , ширина $2b$) эквивалентной свободной струи на расстоянии x . Это согласуется со сведениями, что в рассматриваемом случае зона взаимодействия распространяется по нормали к поверхности на расстояния порядка ширины сопла [7,8]. Следовательно, течение в данной области должно определяться характеристиками свободной струи на расстоянии порядка $x - d$ или при $x \gg d$ — на расстоянии x от среза сопла. Из фиг. 1 видно, что приведенные к безразмерному виду значения спектральной плотности пульсаций давления $\Phi/\rho^2 v^2 b$ являются функцией приведенной частоты $\omega b/v$ и относительного удаления от оси струи y/b во всем исследованном диапазоне скоростей и расстояний x . Здесь приведены три случая значений y/b : $a - 0$; $b - 0,73$; $c - 2,7$. Цифры соответствуют следующим значениям v , м/с, и x/d : $1 - 75; 24; 2 - 75; 33; 3 - 75; 43; 4 - 117; 24; 5 - 117, 33; 6 - 117; 43; 7 - 218; 24; 8 - 218; 33; 9 - 218; 43$.

При этом величины v и b определялись по обычным соотношениям [9]

$$v/v_0 = 2,7\sqrt{d/x}; \quad b = 0,22x,$$

где v_0 — скорость истечения из сопла.



Фиг. 1.

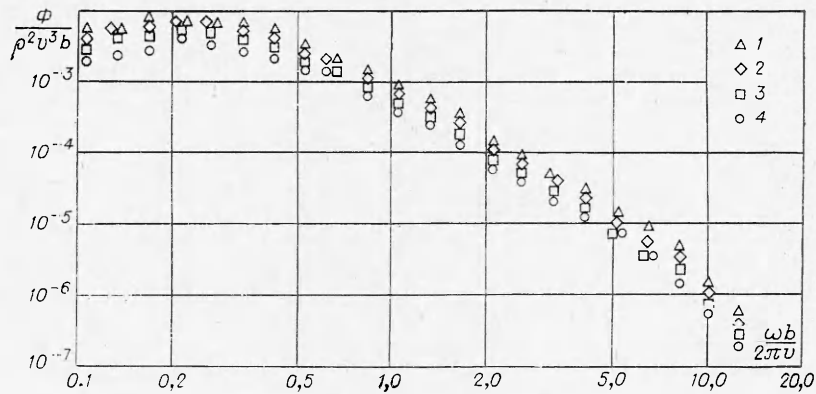
Наиболее интенсивные пульсации наблюдаются в точке торможения на оси струи, где их общий уровень

$$V\langle p^2 \rangle = \sqrt{\int \Phi d\omega}$$

составляет примерно $0,15\rho v^2/2$. В этом случае спектральная плотность в интервале частот $0,2 < \omega b/v < 2$ меняется мало, а затем убывает, причем закон убывания на значительном участке близок к степенному: $\Phi \sim \omega^{-2,5}$. По мере удаления от оси струи до расстояний $y \approx b$ изменение функции спектральной плотности характеризуется заметным уменьшением значений на низких частотах, а при дальнейшем увеличении y — убыванием в основном на высоких частотах с постепенным формированием автоматического спектра рассматриваемой ниже полуограниченной струи (см. фиг. 1, кривая *в*).

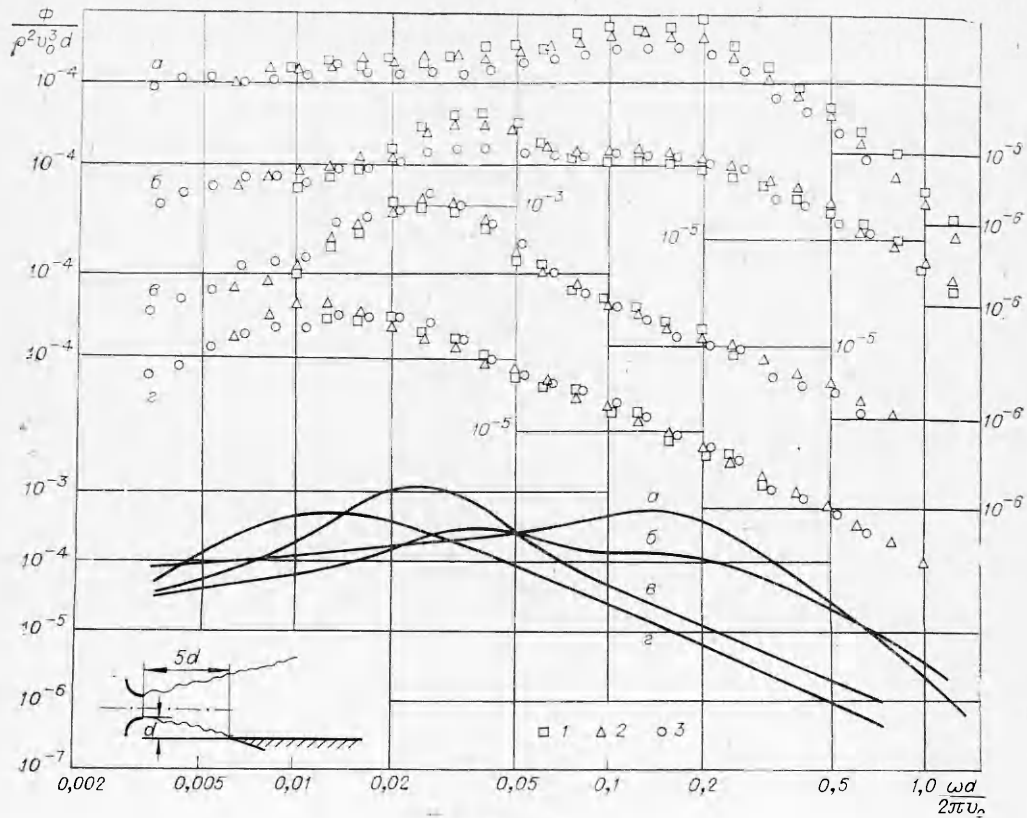
При изменении угла натекания струи максимум интенсивности пульсаций смещается вместе с точкой торможения. При этом форма спектра в точке торможения остается практически неизменной (фиг. 2, где приведены значения спектральной плотности в точке торможения для $v_0 = 117$ м/с, $x/d = 33$ при различных углах натекания: 1—90; 2—60; 3—45; 4—30°).

3. Экспериментальная установка использовалась также для исследования пристенных пульсаций давления в полуограниченных струях. Струя истекала параллельно рабочей поверхности, расположенной на расстоянии $1,5 d$ ниже осевой плоскости сопла, а передняя кромка по-



Фиг. 2

воротной плиты находилась на расстоянии $5d$ от среза сопла. Как показывает фиг. 3, в данном случае характер безразмерной функции спектральной плотности $\Phi/\rho^2 v_0^3 d$ от приведенной частоты $\omega d/v_0$ приблизительно определяется относительным расстоянием x/d от среза сопла, причем точность приближения повышается с увеличением x/d . Здесь приведены четыре случая значений x/d : $a - 8,4$; $b - 13$; $\varepsilon - 27$; $z - 42$; в каждом из которых было три значения скорости v_0 : $1 - 75$; $2 - 117$; $3 - 218$ м/с.



Фиг. 3

Кривые спектральной плотности в пристенной струе претерпевают значительные изменения по мере увеличения расстояния от сопла. При малых величинах $x/d \leq 10$ спектр характеризуется повышенными значениями на больших частотах, связанными, вероятно, с интенсивной свободной турбулентностью начального участка струи. Далее, уровень пульсаций в этом диапазоне частот уменьшается с одновременным формированием нового максимума, порождаемого непосредственно пристенной турбулентностью. Начиная со значений $x/d = 25-30$, изменение спектра носит уже автомоделный характер и обусловлено лишь уменьшением характерной скорости и интенсивности турбулентности потока. Здесь функции спектральной плотности в области убывания по частоте хорошо описываются степенной зависимостью $\Phi \sim \omega^{-2}$.

Поступила 22 VII 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Russel P. J., Hatton A. P. Turbulent flow characteristic of an impinging jet. — «Proc. Instn. Mech. Engrs», 1972, vol. 186.
2. Kacker S. C., Whitelaw J. H. Prediction of wall-jet and wall-wake flows. — «J. Mech. Engng Sci.», 1970, vol. 12, N 6.
3. Wolfstein M. Some solution of the plane turbulent impinging jet. — «Trans. of ASME». Ser. D, 1970, vol. 92, N 4. Рус. пер. Вольфштейн М. Некоторые решения задачи о плоской турбулентной струе, падающей на твердую поверхность. — «Труды Америк. об-ва инж.-мех.» Сер. Д, 1970, N 4.
4. C. du P. Donaldson, Snedeker R. S., Margolis D. P. A study of free jet impingement. Pt 2. Free jet turbulent structure and impingement heat transfer. — «J. Fluid Mech.», 1974, vol. 45, pt 3.
5. Random vibration. Massachusetts, 1963. Рус. пер. Случайные колебания. М., «Мир», 1967.
6. Кудашев Е. Б. Микроприемники пульсационного давления. — В кн.: Турбулентные течения. М., «Наука», 1970.
7. Heat and mass transfer in recirculating flows. L.— N. Y., Acad. Press, 1969, Рус. пер. Численные методы исследования течений вязкой жидкости. М., «Мир», 1972.
8. Белов И. А., Памани Б. И. Взаимодействие струи с плоской нормально расположенной преградой. — «Инж.-физ. журн.», 1972, т. XXII, № 1.
9. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М., Физматгиз, 1960.

УДК 532.51

АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ РЕШЕНИЯ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОБОБЩЕННЫХ УРАВНЕНИЙ ПРАНДТЛЯ

В. М. Солопенко

(Киев)

В настоящее время имеется целый ряд работ, где рассматриваются и численно решаются различные типы уравнения движения вязкой жидкости, которые в некотором смысле являются более простыми, чем уравнения Навье—Стокса (например, [1, 2]). Выбор членов, сохраняемых в различных модификациях, обычно обуславливают физическими свойствами конкретной задачи. Для обобщенных уравнений Прандтля в работе [3] исследовалась устойчивость решений в терминах ротора скорости.

Изучается двумерное установившееся течение вязкой жидкости, когда имеется выделенное основное направление течения вдоль твердых поверхностей. Примером является течение в каналах. Уравнения движе-