
ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ДОЗВУКОВОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ОБТЕКАНИИ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРОВ

Полевой О. Б. к.ф.-м.н.

Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, Украина

Введение. Вычислительная аэроакустика (CAA – Computational aeroacoustics) традиционно опирается на акустические аналогии Лайтхилла, Керла, Ффокса-Вильямса-Хокинса и др. Эти аналогии с одной стороны выводятся из уравнений Навье-Стокса сжимаемого газа. С другой стороны, они содержат ряд априорных предположений о распространении акустических полей.

Прямое вычисление акустических шумов (DNC – Direct Noise Computation) на основе численного решения нестационарных уравнений вязкого сжимаемого газа является естественным подходом к решению задач акустики.

Основной материал. Прямое численное моделирование акустических колебаний проводилось на основе нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (URANS) сжимаемого газа, записанные в произвольной системе координат. Система уравнений замыкается дифференциальной моделью Спаларта-Аллмараса. Неявный численный алгоритм построен на основе схемы Роу и имеет второй порядок точности по времени и пространству. Подробности построения численного алгоритма и его верификация при решении задач о дозвуковом и трансзвуком обтекании аэродинамических профилей, включая режим автоколебаний скачков уплотнений, приведены в работе [1].

Акустические данные были получены на основе требований международному стандарту ISO 3740:2000 [2], как при обработке данных физического эксперимента. После получения развитого нестационарного течения вычислялось поле осредненного стационарного давления \bar{p} на некотором интервале времени T , равном 20÷25 периодов колебаний. Затем определялось поле звукового давления p_{RMS} как среднеквадратичное значение мгновенного звукового давления $p_a = p - \bar{p}$ за интервал наблюдения T . Интенсивность акустических шумов рассчитывалась по логарифмической

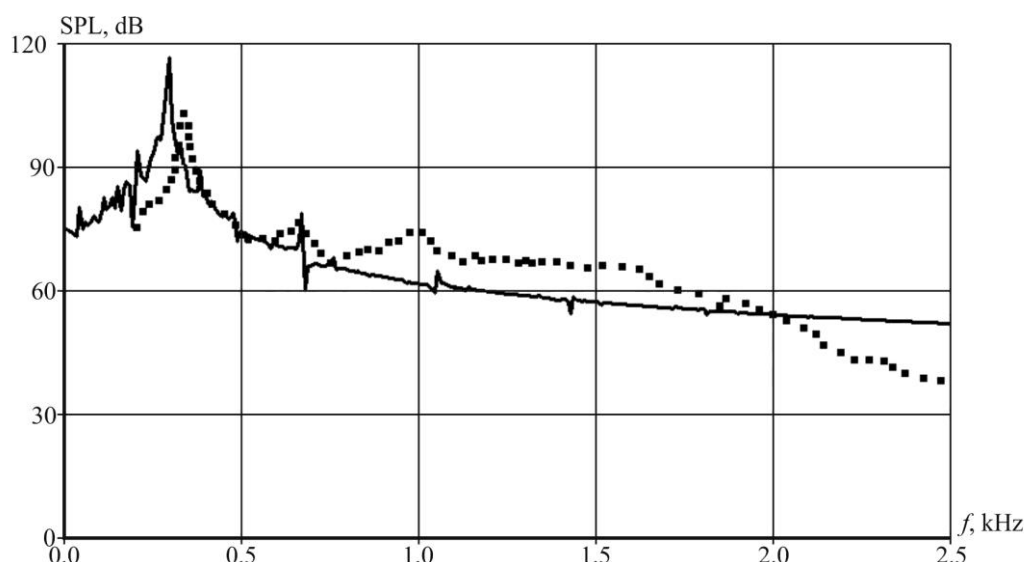
шкале звукового давления ($SPL - Sound Pressure Level$) в децибеллах

$L_{SPL} = 20 \cdot \lg(p_{RMS} / p_0)$, где $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – опорное звуковое давление.

Тестовый расчет генерации акустических колебаний был проведен для условий экспериментальной работы [3]. Скорость набегающего потока составляла 68 м/с, что соответствовало числу Маха невозмущенного потока $M_\infty = 0,2$. При диаметре обтекаемого цилиндра $D=38$ мм число Рейнольдса составляло $Re=1.8 \cdot 10^5$, т.е. обтекание проходило в докритическом режиме.

В следе за цилиндром образуется нестационарное квазипериодическое движение воздуха, хорошо известное как вихревая дорожка Кармана. Колебания отрывной зоны в донной части цилиндра являются генератором акустических нагрузок во всей области течения.

Спектральный анализ частотного распределения расчетной интенсивности акустических шумов проводился с использованием быстрого преобразования Фурье. Распределения акустических частот для контрольной точки, расположенной на расстоянии $L = 35D$ от центра цилиндра под углом 90° к набегающему потоку, приведен на рис.1 в сравнении с экспериментальными данными [3]. Суммарное значение SPL в данной точке составило 118,8 дБ, что хорошо согласуется с экспериментальным значением 117 дБ.



■ – эксперимент [3]; — – расчет настоящей работы

Рисунок 1 – Распределения интенсивности звукового давления SPL по частотам при обтекании единичного кругового цилиндра

Выводы. Для проведения численного моделирование генерации акустических колебаний разработан подход, основанный на решении уравнений Навье-Стокса для сжимаемых течений, замкнутых дифференциальными моделями турбулентной вязкости и дополненных методами прямой обработки акустических полей. Выполнены верификационные тесты в сравнении с экспериментальными данными других авторов.

References

1. Pylypenko A.O., Polevoy O.B., Prykhodko O.A. Numerical simulation of Mach number and angle of attack influence on regimes of transonic turbulent flows over airfoils. *TsAGI Science Journal*. 2012. Vol. 43, No 1. P. 1–36.
2. ISO 3740:2000-11 (E) Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Guidelines for the use basic standards. – 25 p.
3. Revell J.D., Prydz R.A., Hays A.P. Experimental study of aerodynamic noise vs drag relationships for circular cylinders / *AIAA Paper* 77–1292, 1977. – 12p.