

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТРАЖЕННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТУРБУЛЕНТНОГО СЛЕДА С ВЫПУКЛЫМ ПРОФИЛЕМ

А.В. Александров¹, Л.В. Дородницын²

¹ИИМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, dorodn@cs.msu.ru

В работе представлена и исследована методика моделирования акустических волн, возникающих в результате рассеяния турбулентного следа на выпуклом криволинейном препятствии. Методика основана на генерации искусственного турбулентного поля с заданными характеристиками на основе оригинального метода тензорной фильтрации белого шума [1]. В целом данный метод является обобщением предложенных в работах [2, 3] методов фильтрации, в соответствии с которыми поле скорости строится как ротор функции тока, определяемой сверткой ядра пространственного фильтра с членом белого шума. Полученное поле является бездивергентным и корректно воспроизводит одно- и двухточечные моменты первого и второго порядка, а также масштабы турбулентности.

Эволюция сгенерированного начального поля и его последующее взаимодействие с препятствием описывается с помощью численного решения линеаризованных уравнений Эйлера на неоднородном фоне. Это позволяет значительно сократить вычислительную стоимость эксперимента в сравнении с подходами на основе нелинейных уравнений.

Моделирование осуществляется посредством схем, сохраняющих дисперсионные соотношения (DRP), обладающих четвертым порядком аппроксимации и с большой точностью разрешающих структуры течения заданного масштаба [4]. Разработана методика, позволяющая использовать данные схемы вблизи криволинейной твердой границы – в случае как линейных, так и нелинейных уравнений Эйлера. (Последние применяются в данной работе при вычислении среднего поля.) Авторы развили подход, использующий технологию фиктивных узлов в DRP схемах для прямолинейных

границ [5], а затем адаптированный для случая криволинейных твердых стенок [6].

Литература

1. Александров А.В., Дородницын Л.В. Прямой тензорный метод фильтрации для генерации синтетических турбулентных полей скорости // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2021, №95, М., 15 с.
2. Gea-Aguilera F., Gill J., Zhang X. Synthetic turbulence methods for computational aeroacoustic simulations of leading edge noise // Computers and Fluids, 2017, v.157, p.240–252. doi:10.1016/j.compfluid.2017.08.039
3. Shen Z., Zhang X. Direct anisotropic filter method of generating synthetic turbulence applied to turbulence-airfoil interaction noise prediction // J. of Sound and Vibration, 2019, v.458, p.544–564.
4. Александров А.В., Дородницын Л.В. Использование аэроакустических схем высокой точности на регулярных сетках для моделирования вязких течений // Матем. моделирование, **29**:1 (2017), 63–83; Math. Models Comput. Simul., **9**:4 (2017), 457–473.
5. Tam C.K.W., Dong Z. Wall Boundary Conditions for High-Order Finite-Difference Schemes in Computational Aeroacoustics. Theoret. Comput. Fluid Dynamics (1994) 6:303-322.
6. Tam C.K.W. Computational aeroacoustics: a wave number approach. Cambridge aerospace series. 2012. ISBN 978-0-521-80678-7