

ЧИСЛЕННЫЙ БИМФОРМИНГ И МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦИИ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ МОДАМ ДЛЯ АНАЛИЗА АКУСТИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

А. Е. Каракулев^{1,2}, Т. К. Козубская¹, Г. М. Плаксин¹,
И. Л. Софронов²

¹ИИМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, Россия

²Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия

Анализ внешних акустических полей на основе данных газодинамических расчетов самолета и/или элементов его конструкции является важной составляющей процесса проектирования будущих изделий. В докладе рассматривается подход совместного применения методов численного бимформинга [1] и метода разложения на динамические моды (DMD) [2] для выявления пространственных и частотных характеристик источников звука, генерируемого газодинамическим течением в некоторой области интереса.

Численный бимформинг [1] решает задачу восстановления непрерывной функции акустического источника на основе данных, получаемых при численном моделировании задач обтекания. Было показано, что при соблюдении определенных ограничений на шаг сетки источника и сетки микрофонов построенная матрица оператора бимформинга обладает хорошей обусловленностью, а решение тестовых задач производится с высокой точностью. Разработанный метод был применен для обработки данных, полученных в ходе вычислительного эксперимента по турбулентному обтеканию профиля крыла 30P30N с выпущенной механизацией [3], конфигурации, хорошо исследованной как численно, так и экспериментально [4]. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) найденной функции источника оказалась в хорошем соответствии с результатами анализа поля давления газодинамического расчета, показывающего наличие превалирующего источника звука вблизи зазора между предкрылком и крылом с теми же частотами.

Для уточнения характеристик акустического поля и извлечения дополнительной информации из газодинамических расчетов в недавней работе [5] предложена концепция применения численного бимформинга и метода DMD для анализа данных вычислительного эксперимента, накапливаемых на поверхности FWH. В применении к расчетам [3] было показано, что полученная бимформингом АЧХ источника с подъемами вблизи частот $Sh=11, 15.5, 21.5, 27$ хорошо согласуется с основными слабозатухающими модами, предоставляемыми анализом DMD, как по частотам, так и по локализации ис-

точника между предкрылком и крылом.

В докладе представлены результаты по продолжению исследований акустического поля, создаваемого турбулентным обтеканием профиля 30P30N. В частности, установлено, что монопольное излучение источника, расположенного вблизи зазора между предкрылком и крылом, является основным. При этом выявлена слабозатухающая DMD мода с частотой $Sh=17.4$; соответствующее распределение акустического поля в прямоугольной области под крылом представлено на рис. 1. С помощью бимформинга получено распределение функции источника для той же частоты на линии источника $x_1 \in [0, 0.7], x_2 = -0.1$. Результат расчета излучения от этой функции источника в той же прямоугольной области приведен на рис. 2. Сравнивая обе карты, можно выявить схожесть структур полей. Выделяются «лепестки», распространяющиеся от крыла, а также максимумы, расположенные вблизи зазора между крылом и предкрылком.

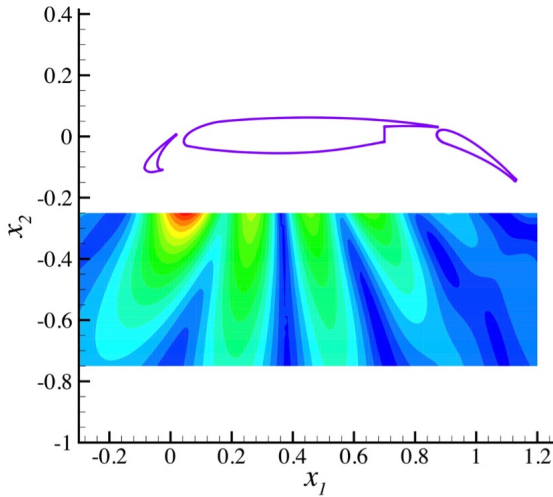


Рис. 1: Распределение акустического поля, полученное при помощи DMD.

Публикация подготовлена в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение от 25.04.2022 № 075-15-2022-330). В рамках этой программы поддержана работа первых трех авторов.

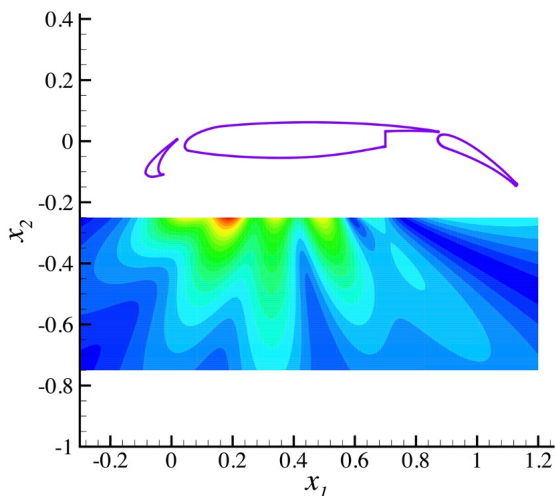


Рис. 2: Распределение акустического поля, соответствующее акустическому источнику, полученному при помощи бимформинга.

Литература

1. Козубская Т.К., Плаксин Г.М., Софронов И.Л. Постановка и метод решения задачи бимформинга для локализации акустического источника на основе данных вычислительного эксперимента. ЖВМиМФ, Т. 61, № 11, 2021, стр. 1904–1926
2. K. Taira, S. Brunton, S. Dawson, et al. Modal Analysis of Fluid Flows: An Overview. AIAA Journal, v.55(12), 2017; pp.4013-4041.
3. V. Bobkov, et al. Towards affordable CAA simulations of airliner's wings with deployed high-lift devices. In Book of Abstracts of the 5-th International Workshop "Computational Experiment in AeroAcoustics", September 19-22, 2018, Svetlogorsk, Kaliningrad region, Russia, 2018, pp. 36-37.
4. K. Pascioni, L.N. Cattafesta, M.M. Choudhari. An Experimental Investigation of the 30P30N Multi-Element High-Lift Airfoil. AIAA paper 2014-3062
5. A. Karakulev, T. Kozubskaya, G. Plaksin, I. Sofronov. Ffowcs Williams – Hawkins analogy for near-field acoustic sources analysis. International Journal of Aeroacoustics, June 2022.