

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОНАЛЬНОГО ШУМА ВЕНТИЛЯТОРОВ И КОМПРЕССОРОВ

В.И. Милешин, А.А. Россихин

ФАУ ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва, aarossikhin@ciam.ru

При разработке авиационных двигателей для гражданской авиации существенной проблемой является обеспечение низких уровней шума на местности и в салоне самолета. Наиболее значительной компонентой шума является тональный шум вентилятора. На некоторых режимах работы двигателя существенный вклад в шум может вносить также взаимодействие между венцами в подпорных ступенях вентилятора и в турбине низкого давления. Поэтому при проектировании перспективных авиационных двигателей важно иметь эффективные и достаточно точные методы оценки шума лопаточных машин.

В ЦИАМ разработан и реализован численный метод 3D расчета тонального шума лопаточных машин в ближнем и дальнем поле [1]. Метод основан на разложении нестационарного трёхмерного вязкого потока в системе отсчета лопаточного венца на две части: на стационарный неоднородный трёхмерный вязкий поток и нестационарные трёхмерные возмущения. Невязкие уравнения для возмущений решаются с использованием численных схем высокого порядка, хорошо зарекомендовавших себя при проведении исследований в области вычислительной акустики.

В рамках численного метода дискретизация по пространству построена на основе метода конечных объемов, с использованием обобщенной на метод конечных объемов DRP схемы (Dispersion Relation Preserving Scheme) [2]. При проведении расчета можно выбирать порядок схемы. Для дискретизации уравнений по времени используется шестишаговая схема Рунге-Кутты типа HALE-RK (High-Accuracy Large-step Explicit Runge-Kutta) четвертого порядка [3]. Для расчета акустических характеристик в дальнем поле используется метод, основанный на уравнении Фокс Вильямса – Хоукинга.

С использованием численного метода можно проводить как расчет генерации шума, при взаимодействии венцов, так и расчет распространения излучения по каналам лопаточной машины. В обоих случаях возможно использование как линейных, так и нелинейных уравнений для возмущений.

Проведение нестационарного расчета допускается как во временной, так и в частотной области. В первом случае производится непосредственное решение дискретизированных уравнений в течение заданного числа шагов по времени. Во втором случае решение ищется в виде конечного набора полей гармоник некоторой базовой частоты, достаточного для описания эволюции течения во времени. При этом нестационарная задача сводится к стационарной задаче для набора коэффициентов Фурье. Для целого ряда задач, метод расчета в частотной области обеспечивает более быструю сходимость решения. Для расчета нестационарного взаимодействия между венцами многоступенчатой турбомшины используется подход, основанный на представлении поля течения в виде комбинации гармонических фрагментов – совокупностей компонентов поля течения с одинаковой частотой и фазовым сдвигом между границами межлопаточного канала [4].

В рамках гармонических методов есть два различных подхода к построению интерфейсов между блоками, связанными с различными венцами. Один подход подразумевает разложение решений с обеих сторон интерфейса по азимутальным модам. Для заданного набора азимутальных мод параметры, характеризующие эти моды, передаются между венцами. Второй подход состоит в реконструкции временной зависимости поля течения с одной стороны от интерфейса, а затем разложения полученного решения в ряд Фурье по времени с другой стороны от интерфейса. Хотя этот подход более ресурсоёмок, он является более универсальным. При использовании численного метода, описываемого в работе, второй подход к построению интерфейсов мог использоваться ранее только для одноступенчатых турбомашин. В данной работе представлена отгалкивающаяся от формализма гармонических фрагментов реализация интерфейсов второго типа, предназначенная для использования при расчётах многоступенчатых турбомашин. Работоспособность этой методики продемонстрирована на различных тестовых примерах.

Литература

1. Nyukhtikov M.A., Rossikhin A.A., Sgadlev V.V., Brailko I.A., “Numerical method for turbo-machinery tonal noise generation and radiation simulation using CAA approach”, Proceedings of ASME Turbo Expo 2008: Power for Land, Sea and Air, GT2008, June 9-13, 2008, Berlin, Germany.
2. C.K.W. Tam, J.C. Webb. Dispersion-relation-preserving finite difference schemes for computational acoustics. *J. Comput. Phys.*, v.107, 1993, pp.262–281.
3. Allampalli V., Hixon R., Nallasamy M., Sawyer S.D. High-accuracy large-step explicit Runge–Kutta (HALE-RK) schemes for computational aeroacoustics, *Journal of Computational Physics*, vol. 228, pp. 3837–3850, 2009.
4. Rossikhin A.A., Pankov S.V., Mileschin V.I. Numerical investigation of the first booster stage tone noise of a high bypass ratio turbofan, GT2016-57352, ASME Turbo Expo 2016, Seoul, South Korea, June 13-17, 2016.