

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ВИНТОМ КВАДРОКОПТЕРА В РАМКАХ МОДЕЛИ АКУСТИКО-ВИХРЕВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

А.А. Аксенов¹, Д.В. Клименко² С.Ф. Тимушев²,
Е.В. Шапоренко³

¹*ОИВТ РАН, Москва, andrey@tesis.com.ru*

²*МАИ, Москва, irico.harmony@gmail.com*

³*ВИП, Нижний Новгород, elena.shaporenko@flowvision.ru*

Акустическое воздействие малых летающих аппаратов на окружающую среду вызывает ухудшение экологической обстановки. Поэтому проектирование аппаратов, имеющих малый шум, является актуальной проблемой. Современное проектирование предполагает использование численного моделирования как способа автоматизации инженерных расчетов функционирования создаваемых объектов до их реального воплощения «в металле». Это подход проявляется и при моделировании шума от создаваемого объекта.

В настоящее время начинает широко использоваться подход к моделированию генерации и распространения акустических волн через декомпозицию нестационарного давления на гидродинамические пульсации (псевдозвук) и акустическое поле [1]. Одна из реализаций этого подхода достигается путем определения пульсаций поля на воображаемой поверхности, удаленной от источника акустического поля, где практически нет пульсаций гидродинамического поля (поверхность Кирхгофа) [2]. За пределами этой поверхности решается волновое уравнение переноса акустических волн различными методами. Главный недостаток этого метода – неопределенность в расстоянии, на котором необходимо провести поверхность Кирхгофа. Дело в том, что при расчете методами CFD акустическая составляющая давления достаточно быстро затухает из-за схемной вязкости численного метода. Для преодоления схемной вязкости приходится дробить расчетную сетку, что приводит к большому потреблению вычислительных ресурсов. Поэтому приближение поверхности Кирхгофа к источнику шума уменьшает требуемые

ресурсы компьютера, но вызывает искажения акустического поля за счет того, что на этой поверхности учитываются не только акустические, но и вихревые колебания давления (псевдозвук). Удаление поверхности Кирхгофа от источника приводит к искажению не только амплитуд акустической волны, но и ее спектральных характеристик, так как схемные эффекты CFD-метода влияют по-разному на разные частоты.

В настоящей работе используется подход акустико-вихревой декомпозиции [3]. В нем источник шума определяется непосредственно в объеме поля течения, являющегося генератором шума. Расчет акустических волн проводится во всей области расчета, включая источник шума. Данный подход реализован в программном комплексе FlowVision и является усовершенствованной мультипроцессорной моделью ранней однопроцессорной бета-версии [4]. Процесс расчета выглядит следующим образом. Сначала на достаточно подробной сетке в интересующей области проводится расчет движения газа или жидкости с учетом сжимаемости среды. При этом используются LES/iLES подходы расчета турбулентного течения. Объемный акустический источник рассчитывается на заданном количестве шагов по времени. Акустический источник представляет собой облако точек внутри заданного объема. В каждой точке акустический источник хранится в виде спектра по частотам (разложен в ряд Фурье). Расчет акустики может осуществляться либо одновременно и на той же сетке, что и CFD расчет, либо с использованием рассчитанного источника на другой расчетной сетке и в другой области расчета. Например, если в расчете необходимо определить дальнейшее акустическое поле, то CFD расчет проводится в меньшей области расчета, где и рассчитывается источник. Далее в увеличенной области расчета решаются уравнения акустики с рассчитанным источником и соответствующими граничными условиями. Волновое уравнение рассчитывается для переноса пульсация давления явным методом.

В работе показаны результаты расчета аэродинамических характеристик винта квадрокоптера в режиме висения, которые сравниваются с экспериментальными данными [5]. Также приводится расчет акустики дальнего поля шума винта.

Литература

1. К.И. Артамонов. Термогидро-акустическая устойчивость. М.: Машиностроение, 1982. – 261 с,
2. F. Farassat and M.K. Myers. Extension of Kirchhoff's formula to radiation from moving surfaces. *Journal of Sound and Vibration* 123, 451–461, 1988.
3. S.C. Crow. Aerodynamic Sound Emission as a Singular Perturbation Problem. -*Studies in Applied Mathematics*, 1970, vol. XLIX, No.1.
4. Sergey Timushev, Alexey Yakovlev, Dmitry Klimenko, Andrey Aksenov, Vladimir Gavriluk, Pyotr Moshkov, CFD-CAA approach for sound generation and propagation in the UAV propeller with subsonic flow. Quiet Drones. International e-Symposium on UAV/UAS Noise Remote from Paris – 19th to 21st October 2020.
5. J.B. Brandt. Small-scale propeller performance at low speed. Master thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2005.