

ПРОБЛЕМЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШУМА ВИНТОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ АКУСТИКО- ВИХРЕВЫМ МЕТОДОМ

С.Ф. Тимушев, Е.Ю. Торопылина, П.А. Мошков,

А.А. Яковлев

Московский авиационный институт (национальный

исследовательский университет), Москва, irico.harmony@gmail.com

В настоящее время актуальной является задача разработки эффективных численных методов расчета аэроакустических характеристик различных типов винтовых движителей с целью обеспечения концепции акустического проектирования винтовых летательных аппаратов, т.е. по заданным акустическим параметрам. При этом возможности коммерческого программного обеспечения при решении данной задачи существенным образом ограничены.

В работе [1] представлено сравнение уровней звукового давления первой гармоники шума вращения для различных воздушных винтов в различных условиях эксперимента с расчетами по известным ранним теориям шума винта (Гутин Л.Я., Барри и Маглиоцци, Хансон) и численными расчетами на базе интегрального метода Фокса Вильямса–Хоукинга (FW-H), реализованными в пакетах коммерческих программ SmartRotor и STAR-CCM+. На рис. 1 представлена матрица тестовых конфигураций, рассмотренная для валидации расчетных моделей, а на рис. 2 представлено сравнение характеристик направленности первой гармоники шума винта для тестового случая N. 1, полученных на базе расчетных моделей и в эксперименте.

Было получено, что наилучшие результаты расчета со средней погрешность 7,2 дБ относительно экспериментальных данных обеспечивает модель Хансона. При этом модель Гутина показывает хорошее согласование с экспериментом при числах Маха набегающего потока менее 0,3, а модель Барри и Маглиоцци при числах Маха менее 0,6. А результаты расчета тонального шума воздушного винта в коммерческих продуктах (SmartRotor, STAR-CCM+) не могут быть использованы при

сопровождении проектирования винтовых ЛА ввиду высокой погрешности результатов расчета. Поэтому заинтересованные организации разрабатывают собственное программное обеспечение для моделирования шума воздушного винта [2–4].

Test Case	Author	Year	Propeller	No. of Blades	Diameter (m)	Free Stream Mach No.	Helical Tip Mach No.
1	Soderman and Horne ²²	1990	SR-2	4	0.591	0.2	0.77
2	Dittmar ⁴⁰	1989	SR-2	8	0.622	0.6	0.86
3	Dittmar ⁴⁰	1989	SR-2	8	0.622	0.8	1.15
4	Dittmar and Jeracki ⁷	1981	SR-3	8	0.622	0.5	0.72
5	Dittmar and Jeracki ⁷	1981	SR-3	8	0.622	0.8	1.14
6	Dittmar and Stang ⁴¹	1988	SR-7 ⁴²	8	0.622	0.6	0.86
7	Dittmar and Stang ⁴¹	1988	SR-7 ⁴²	8	0.622	0.8	1.15
8	Brooks and Metzger ⁴³	1980	SR-3	2	0.648	0.2	0.78
9	Brooks and Metzger ⁴³	1980	SR-3	4	0.648	0.32	0.91
10 [†]	Woodward ⁶	1987	SR-7 ⁴⁴	8	0.622	0.2	0.74
11	Hubbard ⁴⁵	1950	*	2	1.219	0.0	0.62
12	Brown and Ollerhead ⁴⁶	1971	Sensenich W60LK18	2	1.219	0.0	0.40
13	Brown and Ollerhead ⁴⁶	1971	W6 STD 8°	6	1.219	0.0	0.40
14	Dobrzynski et al. ⁴⁷	1986	F8475D-4	2	2.030	0.2	0.86

Рис. 1. Тестовые конфигурации для валидации расчетных моделей [1]

Главным плюсом численных методов при правильно поставленной задаче и граничных условиях является возможность учета всех параметров и факторов, влияющих на шумность винтового движителя. Недостаток большинства численных методов, приводящий к значительной погрешности моделирования до 10 дБ и более, связан с ошибкой решения задачи декомпозиции – разделения акустической и вихревой (псевдозвуковой) мод в области источника колебаний.

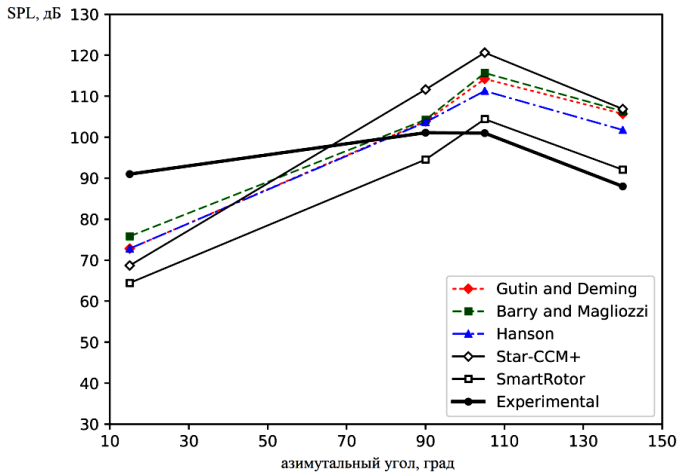
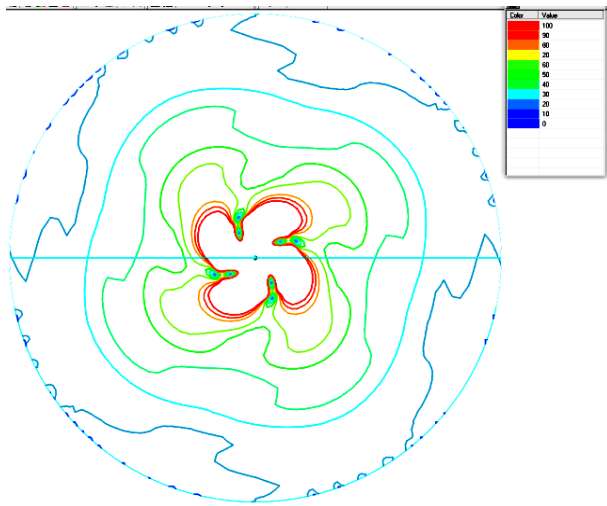


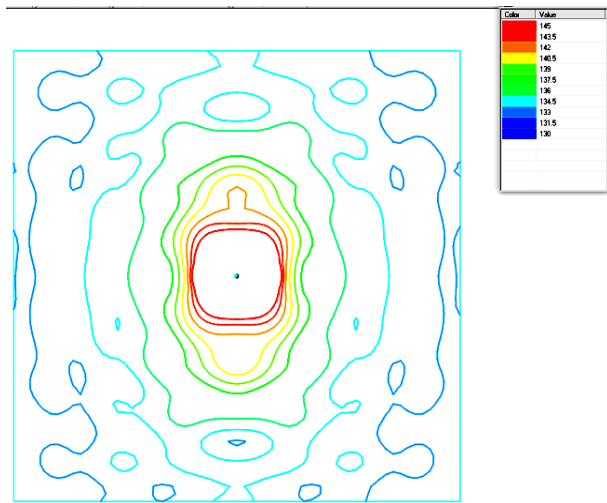
Рис. 2. Сравнение характеристик направленности первой гармоники шума винта для тестового случая N. 1, полученных на базе расчетных моделей и в эксперименте (рис. 1) [1]

В работе рассмотрен акустико-вихревой метод расчета шума тональных составляющих шума винтовых движителей [4]. Описаны проблемы, возникающие при моделировании звукового поля. Представлены примеры расчета винтовых движителей – воздушного винта самолета АН-2 и малоразмерного воздушного винта квадрокоптера.

В качестве примера на рис. 3 представлено распределение амплитуды первой гармоники шума винта самолета АН-2 в плоскости винта (а) и в меридиональной плоскости (б): режим работы винта – частота вращения винта 1238 об/мин, скорость набегающего потока 50 м/с. На рис. 4 выполнено сравнение уровней звуковой мощности первых трех гармоник шума винта, полученных при численном моделировании, с экспериментальными данными и расчетом по полуэмпирической модели [5, 6].



a)



б)

Рис. 3. Амплитуда (Па) первой гармоники шума винта самолета АН-2 (направление полета вдоль оси y)

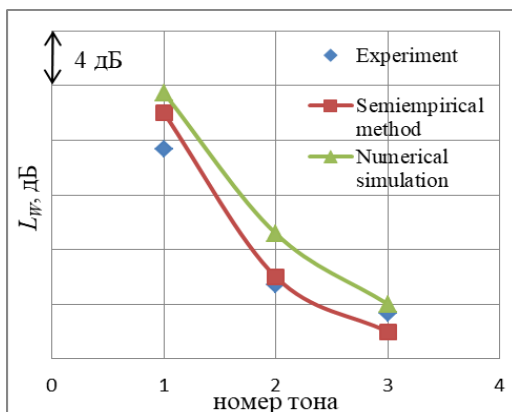


Рис. 4. Сравнение уровней звуковой мощности первых трех гармоник шума винта

Литература

1. Herniczek M.T.K., Feszty D., Meslioui S., Park J. Applicability of Early Acoustic Theory for Modern Propeller Design // 23rd AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. No. AIAA 2017-3865. 2017.
2. Кошьев В.Ф., Титарев В.А., Беляев И.В. Разработка методологии расчета шума винтов с использованием суперкомпьютеров // Ученые записки ЦАГИ. 2014. Т. XLV. N.2. С. 78–106.
3. Абалакин И.В., Аникин В.А., Бахвалов П.А., Бобков В.Г., Козубская Т.К. Численное исследование аэродинамических и акустических свойств винта в кольце // Известия РАН. МЖГ. 2016. N.3. С. 130–145.
4. Timushev S., Yakovlev A., Moshkov P. Numerical simulation of the light aircraft propeller noise under static condition // Akustika. 2021. Vol. 41. pp. 100–106.
5. Самохин В.Ф. Полуэмпирический метод прогноза шума воздушного винта // Инженерно-физический журнал. 2012. Т. 85. N.5. С. 1064–1072.
6. Мошков П.А., Самохин В.Ф. Интегральная модель шума винтомоторной силовой установки // Инженерно-физический журнал. 2018. Т. 91. N.2. С. 353–360.