

# **ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДА РАСЧЁТА ШУМА МОДЕЛЬНОГО НЕСУЩЕГО ВИНТА НА ОСНОВЕ ПРОВЕДЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ЗАГЛУШЕННОЙ КАМЕРЕ АК-2**

**М.Ю. Зайцев<sup>1</sup>, В.А. Копьев<sup>1</sup>, В.А. Титарев<sup>1,2</sup>, Г.А. Фараносов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФАУ «ЦАГИ», Москва, *mikhail.y.zaytsev@tsagi.ru*

<sup>2</sup>ФИЦ ИУ РАН, Москва

Настоящая работа представляет собой комплексное расчетно-экспериментальное исследование, направленное на создание научно-технического задела по определению аэроакустических характеристик винта винтокрылого летательного аппарата (ВКЛА).

Основной целью работы являлась валидация (т.е. установление степени соответствия экспериментальным данным) разработанных в ЦАГИ программ расчета аэроакустических характеристик винтов (самолетных и несущих винтов вертолета). Проблема создания высокоэффективных валидированных методов расчета шума несущего винта вертолета, ориентированных на оценку влияния различных конструктивных параметров, предсказания которых можно напрямую использовать в процессе конструирования малозумных эффективных лопастей, является исключительно актуальной.

Лидерами в создании и разработке методов суперкомпьютерного моделирования аэроакустики винтов и валидации полученных результатов в настоящее время являются исследовательские центры NASA (США), ONERA (Франция), DLR (Германия) и лаборатории в Глазго и Эдинбурге (Великобритания). Во всех перечисленных организациях также имеются развитые возможности по экспериментальному исследованию шума вертолета и сравнению результатов компьютерного и натурального экспериментов.

В России разработкой методов численного моделирования задач аэроакустики винтов занимаются коллективы ЦАГИ [1,2], СПбПУ Петра Великого [3] и ИПМ им. М.В. Келдыша [4]. Однако у российских коллективов отсутствует специальная крупномасштабная экспериментальная база по этому

направлению, что существенно затрудняет валидацию разрабатываемых методов, алгоритмов и программных комплексов.

Для расчета шума вертолетных винтов в акустическом отделении ЦАГИ разработаны различные программные комплексы для широкого спектра задач, начиная с режима висения и нулевого угла установки и заканчивая режимом скоростного полета с учетом угла тангажа, крена, а также с моделированием работы автомата перекоса. Эти комплексы направлены на расчет нестационарного поля вблизи лопасти/лопастей с последующим использованием программного модуля для оценки шума в дальнем поле по методу Фокса Вильямса-Хоукингса с конвективной функцией Грина, использующего полученные из нестационарного расчета данные на поверхности FWH. Полученные в настоящей работе экспериментальные данные будут способствовать валидации разработанных программных комплексов.

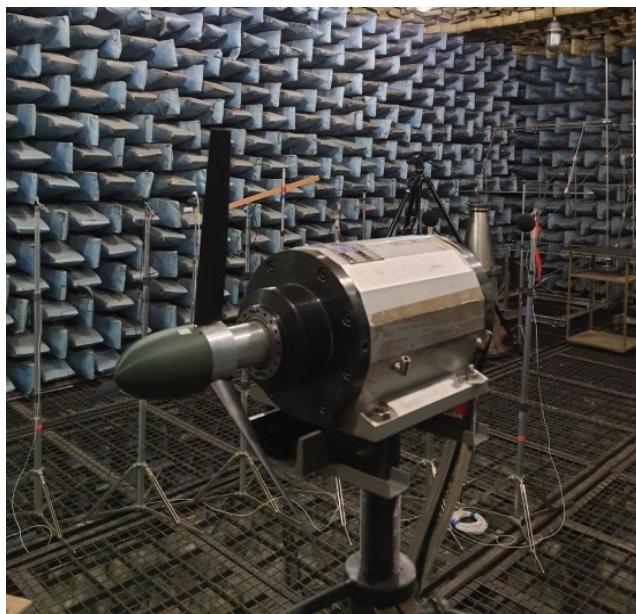


Рис. 1. Маломасштабная модель винта, установленная в заглушенной камере ЦАГИ

Экспериментальная валидационная база данных акустических характеристик винта была создана на основе измерений шума маломасштабной модели трехлопастного винта в акустической заглушенной камере с потоком АК-2 ЦАГИ (рис. 1). Следует также отметить, что, помимо акустических измерений, впервые в практике ЦАГИ для исследования вихревой системы модельного винта были измерены поля скорости с помощью двухкомпонентной (2C) скоростной системы PIV (Particle Image Velocimetry, рис. 2).

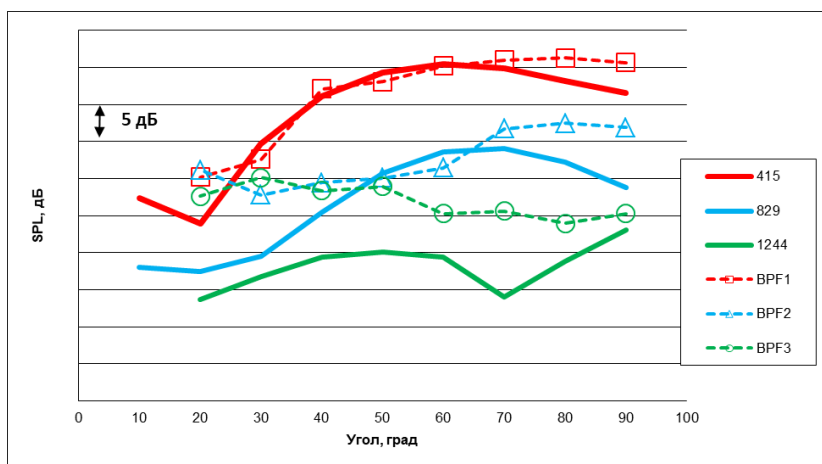


Рис. 2. Сравнение расчетной и экспериментальной направленностей первых трех гармоник частоты следования лопастей для режима висения

Для проведения численного исследования была создана трехмерная математическая модель винта, а на ее основе для целей эксперимента была изготовлена маломасштабная (1:21) модель трехлопастного винта. Суперкомпьютерные расчеты с использованием одного из собственных трехмерных аэродинамических решателей проводились для нескольких режимов работы модельного винта, соответствующих вертолетному (висение), переходному (косое обтекание) и самолетному (осевое обтекание) режимам.

В результате сравнительного анализа экспериментальных и расчетных данных удалось определить диапазоны рабочих параметров модельного винта, для которых имеется

удовлетворительное соответствие с данными расчетов для таких акустических характеристик, как акустические спектры (рис. 2), направленность тональных составляющих и т.д. Особое значение имеет полученное в эксперименте позиционирование и динамика вихревых структур, что является критически важным для валидации численных методов (рис. 3).

Кроме того, впервые проведенный в ЦАГИ визуализационный эксперимент с использованием высокоскоростной системы TR PIV, продемонстрировал большой потенциал для получения распределения давления вблизи несущей поверхности, в частности, вертолетной лопасти, неинвазивным методом, что может оказаться важным инструментом изучения трехмерного нестационарного течения около винта.

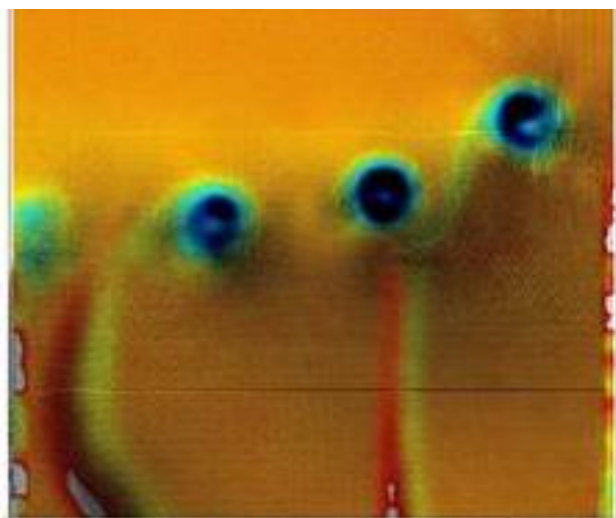


Рис. 3. Среднее поле завихренности в следе за винтом, полученное из PIV измерений

Работа частично выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект N.21-71-30016). Экспериментальная часть работы была выполнена на базе УНУ «Заглушенная камера с потоком АК-2», модернизируемой при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению N.075-11-2021-066.

## Литература

1. В.Ф. Кошьев, М.Ю. Зайцев, В.И. Воронцов, С.А. Карабасов, В.А. Аникин, Расчет шума несущего винта вертолета и его экспериментальная проверка на режиме висения. Акуст. журн., Т.63(6), 2017, с. 651–664.
2. В.А. Тигарев, Г.А. Фараносов, С.А. Чернышев, А.С. Батраков, Численное моделирование влияния взаимного расположения винта и пилона на шум турбовинтового самолета. Акуст. журн., Т.64(6), 2018, с. 737–751.
3. P.R. Spalart, A.K. Travin, M.L. Shur, M.Kh. Strelets. Initial Noise Predictions for Open Rotors Using First Principles // AIAA Paper AIAA-2010-3793, 2010.
4. В.О. Цветкова, И.В. Абалакин, В.Г. Бобков, Н.С. Жданова, Т.К. Козубская, Л.Н. Кудрявцева. Моделирование обтекания винта на адаптивной неструктурированной сетке с использованием метода погруженных границ. Матем. моделирование, 33:8 (2021), 59–82.