

05.07.05

**П.А. Мошков, А.А. Яковлев**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Москва, moshkov@mai.ru, tempero.m@gmail.ru

## **К ВОПРОСУ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШУМА ВОЗДУШНОГО ВИНТА**

*В статье рассмотрена проблема численного расчета шума воздушного винта, дан краткий обзор механизмов генерации шума воздушным винтом и существующих аналитических моделей численного расчета шума воздушного винта. Сформулированы основные направления дальнейших расчетных исследований, направленных на следующем этапе работ на тестирование возможности прогнозирования аэродинамических и акустических характеристик воздушных винтов в коммерческих программных комплексах (ANSYS, Numeca, FlowVision).*

Ключевые слова: *воздушный винт, шум воздушного винта, шум легких винтовых самолетов.*

### **Введение**

Проблема прогнозирования шума воздушных винтов перспективных самолетов и снижения шума уже эксплуатируемых воздушных винтов является весьма актуальной для легких винтовых самолетов общего назначения, поскольку действуют нормы ИКАО на предельно допустимые уровни шума таких самолетов на местности [1]. В то же время, решение этой задачи основано на оптимизации геометрических, аэродинамических и акустических характеристик воздушного винта. Интенсивность акустического излучения винта при условии сохранения неизменной тяги можно снизить за счет оптимизации соотношения между числом лопастей, диаметром винта и величиной окружной скорости по критерию минимальной мощности акустического излучения. Для решения подобного рода оптимизационных задач необходимо иметь возможность качественного численного прогнозирования аэродинамических и акустических характеристик воздушных винтов, поскольку подход к оптимизации геометрии лопастей воздушных винтов путем проведения многочисленных экспериментальных исследований требует огромных затрат.

### **Основные подходы к вопросу численного моделирования шума воздушного винта**

Акустическое излучение воздушного винта является сложным по своей структуре, а причины, вызывающие генерацию акустического излучения, весьма разнообразны. Шум воздушного винта образуется, в основном, в результате силового взаимодействия лопастей с окружающей средой в процессе создания тяги и при вытеснении воздуха из фиксированного объема среды лопастями. Генерация акустического излучения происходит также при аэродинамическом взаимодействии лопастей с турбулентными образованиями в набегающем потоке. При рассмотрении шум винта подразделяют на шум вращения и вихревой (широкополосный) шум. Обычно интенсивность вихревого шума на 15—20 дБ ниже уровня гармоник шума вращения, а максимум его спектра находится в области сравнительно высоких частот (рис. 1).



Рис. 1 - Типичный спектр шума воздушного винта

Тональный шум, генерируемый винтом, можно вычислить на основе решения уравнения Фокс-Вильямса-Хоукинса [2]. При этом компоненты гармонического шума это, так называемые, шум от вытеснения и шум от аэродинамической нагрузки рассчитываются через интегралы по поверхности лопасти [3]. Квадрупольным вкладом, соответствующим нелинейным членам, распределенным в возмущенной области вокруг лопасти, как правило, пренебрегают.

В то же время существует альтернативная акустическая модель для расчета тонального шума лопаточных машин, основанная на переходе от пульсаций давления по размаху лопасти к излучаемым акустическим модам [4,5].

В обоих представленных случаях подхода к акустическому расчету винта необходимо для начала выполнить численный расчет аэродинамических характеристик винта. Основным в данном случае методом является расчет аэродинамики винта в рамках трехмерных уравнений Рейнольдса [6]. Этот подход основан на нелинейном трехмерном расчете с учетом всех важных особенностей геометрии и течения. В рамках такого подхода можно рассчитывать аэродинамику винта практически на всех режимах и учитывать его интерференцию с другими частями самолета [7]. Но на современном уровне развития вычислительной техники использовать эти методы для оптимизации геометрии винта невозможно из-за длительности расчета. Для анализа данного подхода будем рассматривать варианты решения данной задачи в различных прикладных программных комплексах, таких как ANSYS, Numeca, FlowVision. В задаче аэродинамического расчета будет решена система уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Расчеты будут выполнены, используя классические модели турбулентности *SST* и  $k - \varepsilon$ .

В то же время перед использованием любого программного продукта необходимо разработать методологию его применения, определить точность получаемых результатов и область применения разработанной методологии. Методология включает в себя: математическую постановку задачи, решаемую систему уравнений, решатель (метод решения, схема и т.д.), тип расчетной сетки, рекомендации к типу и качеству расчетной сетки, граничные и начальные условия, обработку получаемых данных.

Для оценки точности выбранного инструмента создан тестовый случай на основе экспериментальных данных, полученных при акустических испытаниях натурального воздушного винта «АВ-2», входящего в состав силовой установки самолета «Ан-2». Экспериментальное исследование было выполнено на аэродроме Московского авиационного института. В ходе него были получены спектральные, интегральные, энергетические, а также характеристики направленности акустического поля силовой установки самолета, как в полетных, так и в статических условиях при различных режимах работы.

#### ***Постановка задачи аэроакустической оптимизации воздушного винта***

На данном этапе работы помимо экспериментального исследования акустических характеристик воздушного винта «АВ-2», была выполнена параметрическая 3D-модель лопасти воздушного винта «АВ-2» и в последующем 3D-модель воздушного винта (рис. 2). Моделирование выполнялось в системе автоматизированного проектирования NX.

Параметризация лопасти позволит в дальнейшем рассмотреть задачу аэроакустической оптимизации данного воздушного винта.

На втором этапе предстоит выполнить тестирование возможностей численных программных комплексов в рамках прогнозирования акустического поля воздушного винта.

На третьем этапе после верификации программных кодов будет рассмотрена задача аэроакустической оптимизации за счет изменения геометрии, числа лопастей, окружной скорости, шага и других основных параметров данного винта при условии сохранения неизменной тяги и КПД.

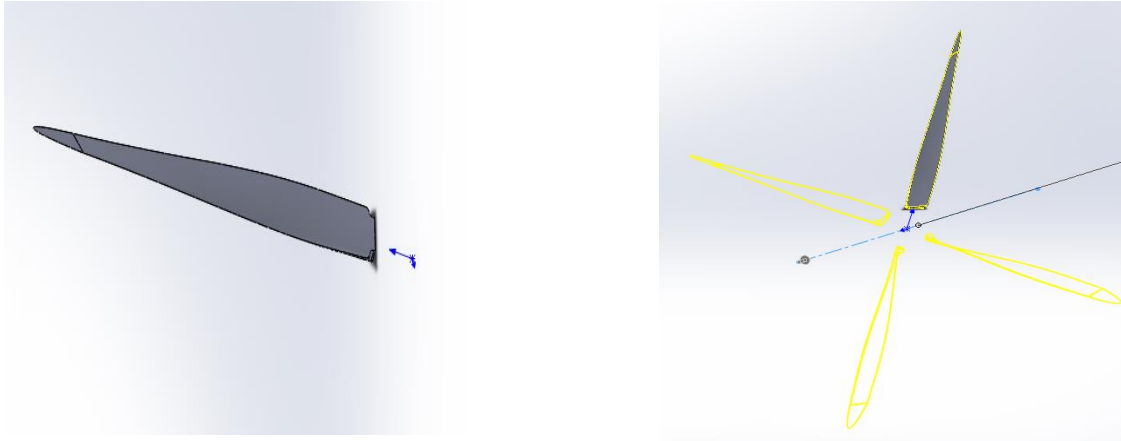


Рис. 2 – 3D-модель лопасти воздушного винта (слева) и 3D-модель винта «АВ-2» для расчета (справа)

### Заключение

Таким образом, на данном этапе работы были выполнены экспериментальные исследования акустических характеристик воздушного винта «АВ-2» в полетных и в статических условиях, а также выполнена параметрическая 3D-модель винта. На следующем этапе работы будет выполнено численное моделирование шума натурального винта «АВ-2» при различных режимах работы с целью тестирования возможностей коммерческих программных комплексов (ANSYS, Numeca, FlowVision) при решении задачи прогнозирования шума воздушных винтов.

### Список литературы

1. Охрана окружающей среды. Приложение 16 к конвенции о международной гражданской авиации. Том 1. Авиационный шум. Издание шестое, Июль 2011.
2. Ffowcs Williams, J.E. and Hawkins, D.L. Sound Generated by Turbulence and Surfaces in Arbitrary Motion.// *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, Vol. A264, No. 1151, 1969, pp. 321—342.
3. D.B. Hanson, D.J. Parzych. Theory for noise of propellers in angular inflow with parametric studies and experimental verification.// NASA Contractor Report 4499. 1993.
4. Timouchev S, Turret J. Prediction of BPF Pressure Pulsation Field In Centrifugal Pumps And Ventilators.// 4th European Conference on Turbomachinery. Florence, Italy 20-23 Mach, 2001.
5. Timouchev S., Turret J. Numerical Simulation of BPF Pressure Pulsation Field In Centrifugal Pumps.// 19th International Pump Users Symposium, February 2002, Houston, Texas.
6. Reynolds O. On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion.// *Phil. — Trans. Of the Roy. Soc*, 1895.
7. А.В. Лысенков, С.В. Павлик. Разработка методологии расчета аэродинамических характеристик воздушных винтов.//Труды МФТИ, 2013, Т.5, №3, С.174-186.