

## СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЕТНОГО ВИНТА С ЧИСЛЕННЫМ РЕШЕНИЕМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДВУХ- И ЧЕТЫРЕХЛОПАСТНЫМ КОНФИГУРАЦИЯМ НА РЕЖИМЕ ВИСЕНИЯ

**В.И. Воронцов, М.Ю. Зайцев**

*Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского, Москва*

*E-mail: [Hdwrne@rambler.ru](mailto:Hdwrne@rambler.ru)*

В данной работе представлены результаты измерений аэродинамических и акустических характеристик вертолетного винта на открытом стенде. Измерения проводились для двух- и четырехлопастных конфигураций для трех различных углов установки и четырех скоростей вращения на режиме висения. Эксперимент сравнивается с численным решением уравнения Эйлера, для расчета которого используется гибридный метод моделирования шума. Отличительными особенностями используемого метода является разбиение области задачи на две подобласти: ближнюю и дальнюю. В ближней области проводится сквозной расчет уравнений Эйлера в неинерциальной системе координат, в дальней области применяется метод Фокса Вильямса-Хокинса.

Ключевые слова: акустика, шум вертолета, численное моделирование

В данной работе проводится валидация численного кода, моделирующего аэродинамические и акустические характеристики вертолетного винта.

Для сравнения с экспериментальными данными применяется программа, в основе которой используется гибридный метод моделирования шума вертолетной лопасти [1]. Использование решения нелинейных уравнений во всей области задачи не является необходимым для расчета акустических характеристик в дальнем поле, поскольку на больших расстояниях от винта перенос звука описывается линейным волновым уравнением. Таким образом, область задачи разбивается на две подобласти - ближнюю и дальнюю, разделяемые контрольной акустической поверхностью. В ближней области производится прямой расчет уравнений Эйлера. Для дальней же области используется интегральный метод Фокса Вильямса-Хокинса. Таким образом, задача о нахождении решения разбивается на два этапа — расчет акустического источника с помощью прямого решения полных определяющих уравнений в окрестности винта и расчет линейного звукопереноса.

Акустические измерения шума модельного винта вертолета (4-х и 2-х лопастного) проводились на открытом стенде с использованием специальной методики, позволяющей количественно учесть отраженный от поверхности земли сигнал, а пост-процессинг включал в себя использование усреднения как в частотной области, так и фазовое усреднение во временной области [2, 3]. Конструктивно, открытый стенд представляет собой круглую площадку с бетонным покрытием. В центре площадки располагается пирамидальная стойка, на которой установлены электродвигатели, приводящие во вращение втулку, в верхней части которой устанавливаются исследуемые модели несущего винта вертолёта. По периметру стенда установлены стальные коробчатые стойки, к которым с двух сторон прикреплена металлическая сетка, предотвращающая разлёт за пределы стенда лопастей в случае их разрушения при проведении испытаний. Для усиления конструкции стоек по всему периметру стенда установлены усиливающие элементы. Для акустических измерений на открытом стенде использовались 5 микрофонов.

Как показало сравнение тяговых и моментных характеристик 2-х лопастной конфигурации (Рис.1, Рис.2), численный расчет с высокой степенью точности совпадает с экспериментальными данными. Сравнение проводилось для 4-х чисел Маха (0.35, 0.45, 0.55, 0.65) и трех углов установки лопасти (4, 8, 12).

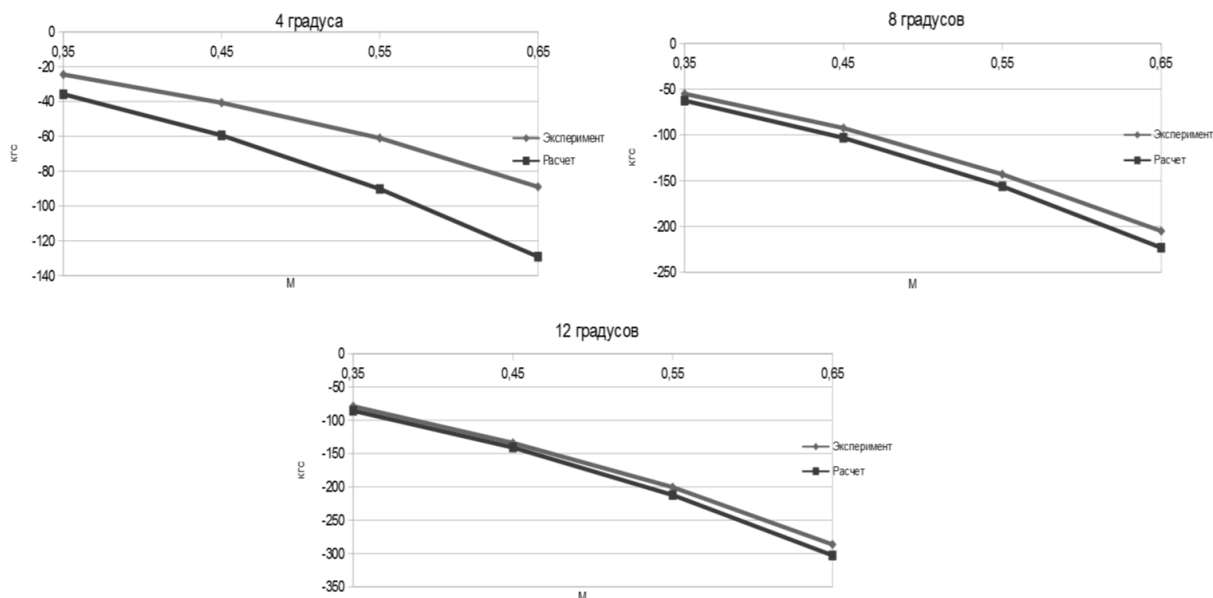


Рис.1. Зависимость тяги двухлопастного модельного винта от окружного числа Маха (параметр – угол установки лопасти).

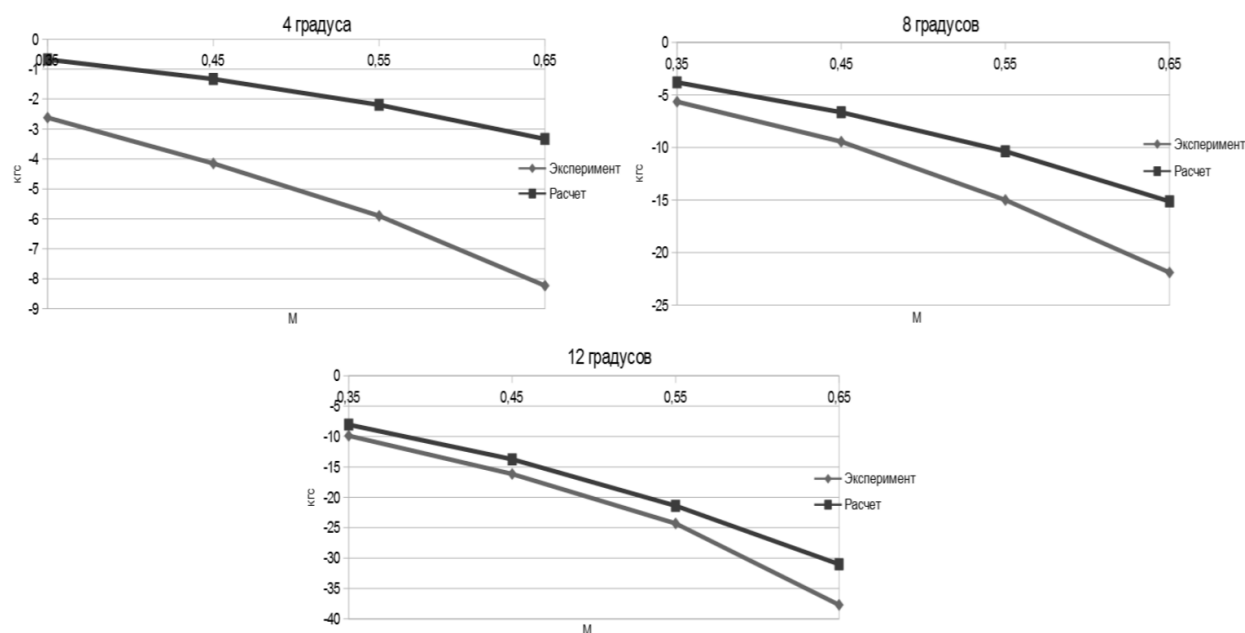


Рис.2. Зависимость крутящего момента двухлопастного модельного винта от окружного числа Маха (параметр – угол установки лопасти).

С ростом нагруженности винта и уменьшением скорости лопасти возрастает степень совпадения эксперимента и численного расчета. Это связано с тем, что используемая программа не учитывает эффект взаимодействия лопасти со следом от впереди идущей лопасти.

Так же было проведено сравнение акустических характеристик модельного винта для двух- и четырехлопастной конфигураций (Рис.3, Рис.4). Получено отличное соответствие численного расчета и эксперимента по первой гармонике, так же с хорошей точностью совпадает вторая гармоника.

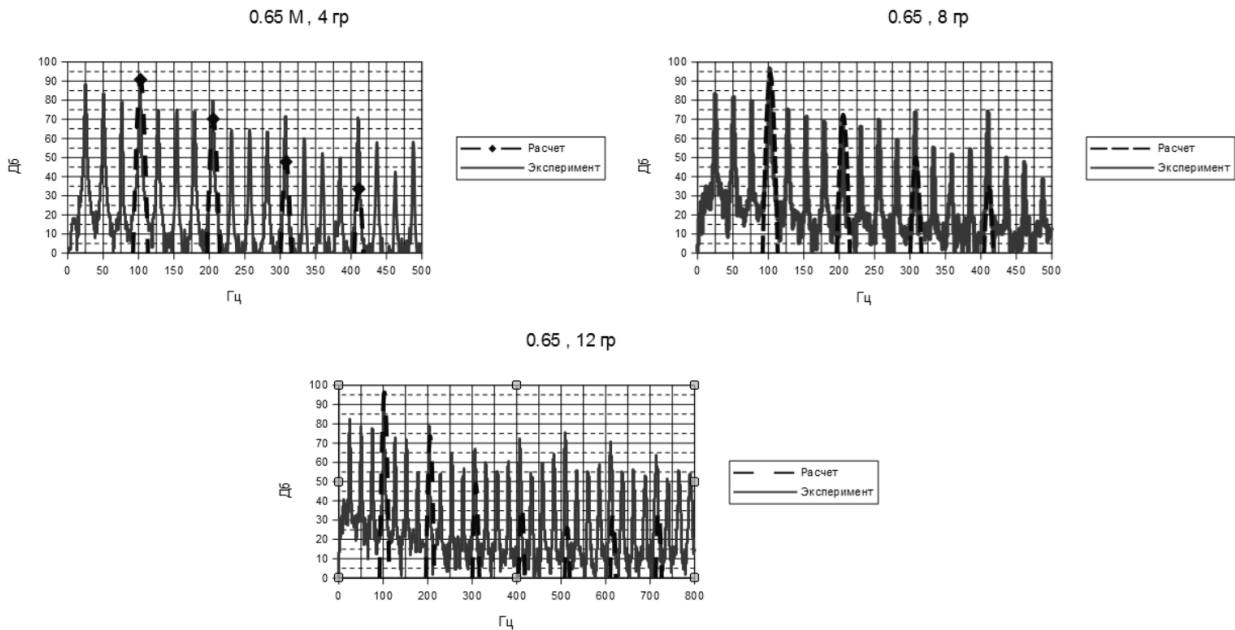


Рис.3. Сравнение экспериментальных и расчетных узкополосных спектров модельного четырехлопастного винта для различных режимов обтекания.

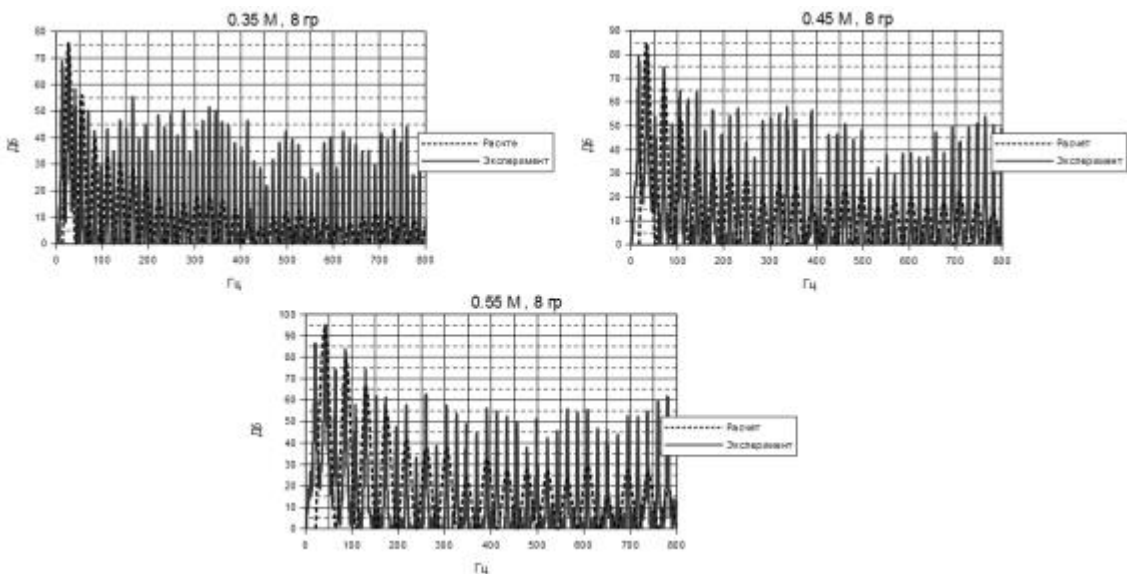


Рис.4. Сравнение экспериментальных и расчетных узкополосных спектров модельного двухлопастного винта для различных режимов обтекания.

В данной работе была проведена валидация численной программы моделирования аэродинамических и акустических характеристик вертолетного винта. Сравнение экспериментальных данных по тональному шуму винта на режиме висения с расчетом показывает хорошее соответствие по уровню гармоник на частоте следования лопастей. Таким образом, программа, разработанная для расчета импульсного шума винта на трансзвуковых режимах обтекания, дает хорошую инженерную оценку максимального уровня шума (уровень первой гармоники) даже на режиме висения, когда

основными являются шум нагрузки и шум вытеснения, а не квадрупольные источники, связанные со скачками на законцовке лопасти.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. S.A. Karabasov, A.P. Dowling, A.S. Morgans and T.P. Hynes «Transonic Helicopter Noise» AIAA JOURNAL Vol.43, No.7, July 2005.
2. В. Ф. Копьев, М. Ю. Зайцев, Н. Н. Остриков, С. Л. Денисов, С. Ю. Макашов, В. А. Аникин, В. В. Громов. «Об определении акустических характеристик моделей несущих вертолётных винтов на открытом стенде» Акустический журнал, 2016 (в печати).
3. V.F. Kopiev, M.Yu. Zaytsev, S.L. Denisov, V.I.A. Kopiev, N.N. Ostrikov and V.A. Anikin “Experimental techniques of broadband noise reduction by examples of helicopter main rotor noise and flap side edge noise” 19th CEAS-ASC & 5th X-Noise EV Workshop on "Broadband Noise of Rotors and Airframe", 23-24 September 2015, La Rochelle, France.