

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ШУМА РАЗНЫМИ КОНФИГУРАЦИЯМИ ВИНТОВ МУЛЬТИКОПТЕРА

А.А. Аксенов¹, Д.В. Клименко², П.А. Мошков²,
С.Ф. Тимушев², С.Ю. Федосеев², А.А. Яковлев²

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

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

Небольшие мультикоптеры (дроны), становятся все более полезными для коммерческой и частной деятельности. Несмотря на свою полезность, беспилотники создают шум, который раздражает население [1–3]. Акустические характеристики становятся ключевым контрольным и конструктивным параметром [4], и вводят дополнительные ограничения на шумовое загрязнение, которое оказывает непосредственное влияние на здоровье людей [5].

В данной работе продолжена верификация метода декомпозиции псевдозвука (вихревой моды) и акустического поля [6], который реализован в однопроцессорной бета-версии [7] акустической модели пакета FlowVision 2.5.

Линеаризуя уравнения движения сплошной сжимаемой среды, можно получить неоднородное волновое уравнение относительно колебаний энтальпии потока (a – скорость звука в невозмущенной среде):

$$\frac{1}{a^2} \frac{d^2 h}{dt^2} - \Delta h = -\Delta H. \quad (1)$$

Возмущающую функцию в правой части уравнения (1) можно выразить через поле скоростей вихревой моды:

$$-\Delta H = \nabla \left(\frac{1}{2} \nabla U^2 - \mathbf{U} \times \nabla \times \mathbf{U} \right). \quad (2)$$

В акустико-вихревом методе источник шума может быть представлен как функция поля скорости вихревой моды. Такой подход в значительной степени избавляет от произвола и условностей аэроакустической аналогии, определяя источник, пульсации давления и распространение шума в ближнем поле, как прямой результат численного моделирования.

Расчетное исследование проведено для винта Parrot Mambo Drone (<http://www.thingiverse.com/thing:3315340>). Диаметр винта 70 мм, частота вращения 12000 об/мин. Рассматривается отдельный винт в режиме висения и ряд конфигураций с 4 и 6 винтами. Винты помещены в расчетную область в форме полусферы радиусом 5 м. Нижняя часть полусферы моделирует твердую абсолютно отражающую поверхность.

Расчеты проведены «методом подвижного тела» -- в процессе расчета винт поворачивается, моделируя реальное вращение. Ниже (рис. 1) приведено характерное распределение мгновенного поля давления и скорости в плоскости, прилегающей к плоскости вращения винта, для конфигурации Неха с шестью винтами.

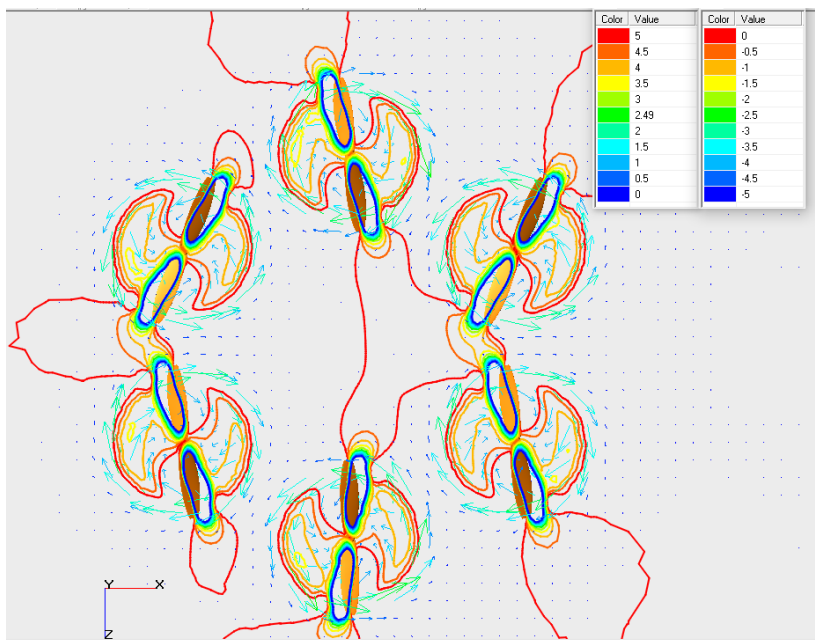


Рис. 1. Мгновенное поле давления и скорости над плоскостью вращения винтов для схемы Неха, м/с, Па

Мгновенное поле давления в меридиональной плоскости имеет неоднородность на два порядка ниже, чем в плоскости вращения винта, поэтому источник гармонических пульсаций

ЧСЛ определяется в основном распределением давления на лопастях винта.

Анализ нестационарных полей давления показывает, что генерация шума должна сильно зависеть от гидродинамического взаимодействия роторов, учитывая их взаимное положение [8]. Эти проблемы будут рассмотрены в следующем исследовании.

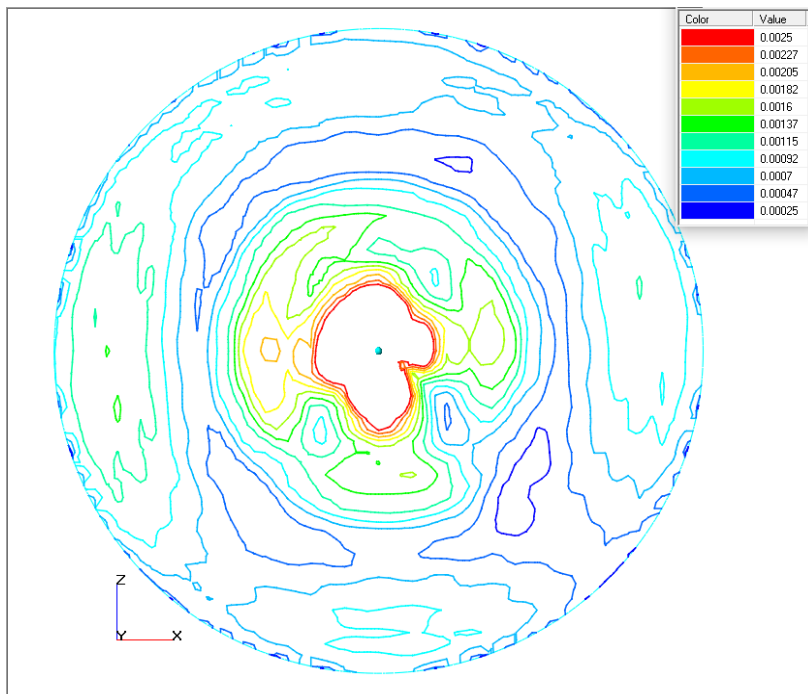


Рис. 2. Неха. Уровень амплитуды ЧСЛ на поверхности полусферы, Па

Закономерности изменения амплитуды вблизи винта и в ближнем поле, а также влияние конечно-разностной сетки рассмотрены в [9]. На рис. 2 показано распределение амплитуды ЧСЛ на поверхности полусферы для конфигурации Неха.

Результаты расчета звуковой мощности для исследованных конфигураций сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Звуковая мощность излучения ЧСЛ

Конфигурация	Звуковая мощность, Вт	Звуковая мощность, дБ
Single	2.533E-08	4.807E+01
Quadro	1.705E-07	6.464E+01
Hexa	1.090E-07	6.075E+01
Hexa2	1.323E-07	6.243E+01

Все мульти-роторные схемы дают повышение звуковой мощности первой гармоники ЧСЛ на 12-16 дБ. При этом схема Quadro имеет худший результат. Возможно, такой результат связан с тем, что в данном исследовании не рассматривалась оптимизация взаимного положения винтов.

Литература

1. “BBC News: “Why your pizza may never be delivered by drone.” <https://www.bbc.com/news/business-46483178>. Accessed: 11-03-2019.
2. P.A. Moshkov., V.F. Samokhin, A.A. Yakovlev. Selection of an audibility criterion for propeller driven unmanned aerial vehicle // Russian Aeronautics. 2018. Vol. 61. No. 2. pp. 149-155. DOI: 10.3103/S1068799818020010
3. P. Moshkov, N. Ostrikov, V. Samokhin, A. Valiev. Study of Ptero-G0 UAV Noise with Level Flight Conditions // 25th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. 2019. AIAA Paper No. 2019-2514. <https://doi.org/10.2514/6.2019-2514>
4. C. Holsclaw. Stage 5 Airplane Noise Standards, Federal Aviation Administration, Federal Register, Vol. 81, No. 1923, Washington, D.C., Jan. 2016.
5. H. Swift. A Review of the Literature Related to Potential Health Effects of Aircraft Noise // Partnership for Air Transportation Noise and Emissions Reduction, Massachusetts Inst. of Technology PARTNERCOE-2010-003, Cambridge, MA, July 2010.
6. S.C. Crow. Aerodynamic Sound Emission as a Singular Perturbation Problem.- Studies in Applied Mathematics, 1970, vol. XLIX, No.1.

7. Sergey Timushev, Alexey Yakovlev, Dmitry Klimenko, Andrey Aksenov, Vladimir Gavrilyuk, 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
8. Brendan Smith, Farhan Gandhi, Robert Niemiec. A Comparison of Multicopter Noise Characteristics with Increasing Number of Rotors // Presented at the Vertical Flight Society's 76th Annual Forum & Technology Display, Virginia Beach, Virginia, October 6-8, 2020.
9. А.А. Аксенов, С.Ф. Тимушев, Д.В.Клименко, С.Ф. Федосеев. Применение акустико-вихревого метода для моделирования шума пропеллера квадрокоптера // Математическое моделирование, 2022.