

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ВИНТА КВАДРОКОПТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПОГРУЖЕННЫХ ГРАНИЦ И ДИНАМИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ СЕТКИ

В.Г. Бобков<sup>1</sup>, Н.С. Жданова<sup>1</sup>, Т.К. Козубская<sup>1</sup>,  
Л.Н. Кудрявцева<sup>1,2</sup>, **В.О. Цветкова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН,  
Москва, lera.tsvetkova@gmail.com*

<sup>2</sup>*ВЦ им. А.А. Дородницына, ФИЦ «Информатика и управление» РАН,  
Москва*

Моделирование задач нестационарной газодинамики с движущимися или деформируемыми телами представляет все возрастающий интерес для современной науки. Решение таких задачи требует специальных методов и вычислительных технологий. Например, для решения практических задач с присутствием движущегося тела можно использовать сетки типа «Химера» или строить деформацию расчетной сетки. В данной работе используется метод погруженных границ [1] для описания подвижных тел в односвязной расчетной области. Положение обтекаемого тела моделируется источниковыми членами в системе определяющих газодинамических уравнений. Для разрешения границы тела и повышения точности моделирования используется метод сеточной адаптации, основанный на динамическом перераспределении сеточных узлов. Деформированная сетка находится путем минимизации упругого квазиизометрического функционала [2].

В качестве главного геометрического параметра процедура адаптации на вход принимает интерполяционное восьмидеверо, вершины которого являются носителями функции расстояния и ее градиентов, а также дополнительных характеристик, описывающих особенности геометрии. Используя эти данные, управляющая метрика адаптации строится таким образом, чтобы анизотропия сеточных ячеек учитывала участки высокой кривизны и эффективно приближала границу обтекаемого объекта сложной формы (рис. 1). В работе приводятся особенности построения адаптации к форме винта квадрокоптера.

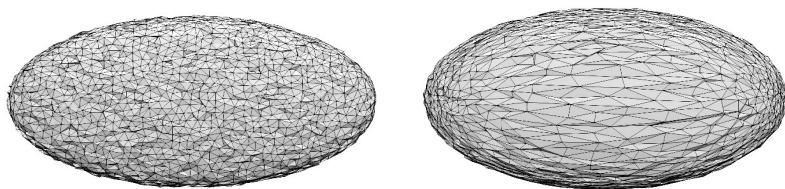


Рис. 1. Иллюстрация перераспределения сеточных узлов с учетом формы тела на примере эллипсоида

В докладе обсуждаются результаты расчета задачи обтекания вращающегося винта [3], а также ряда вспомогательных задач, рассмотренных в целях верификации разработанной методики и исследования влияния различных факторов. Моделирование проводится на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса для вязкого сжимаемого газа. В качестве замыкания этой системы используется модель турбулентности Спаларта-Аллмараса.

Вычисления выполняются с помощью гибридного суперкомпьютера К60, установленного в Центре коллективного пользования ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Исследование проводится при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-41-09018.

## Литература

1. I. Abalakin, T. Kozubskaya, N. Zhdanova. Immersed boundary penalty method for compressible flows over moving obstacles. In: R. Owen, R. de Borst, J. Reese, C. Pearce (eds), Proceedings of ECCM 6/ECFD 7. Barcelona: CIMNE, 2018, p.3449-3458.
2. Garanzha V.A., Kudryavtseva L. Moving Deforming Mesh Generation Based on the Quasi-Isometric Functional, In: Garanzha V.A., Kamenski L., Si H. (eds) Numerical Geometry, Grid Generation and Scientific Computing. Lecture Notes in Computational Science and Engineering, Vol. 143. Springer, Cham
3. Brandt J.B., Small-scale propeller performance at low speeds: дис. – University of Illinois at Urbana-Champaign, 2005.