

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ДВИЖУЩЕГОСЯ СПУТНИКА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В РАЗРЕЖЕННОЙ АТМОСФЕРЕ

Б.О. Мухачев^{1,2}, С.С. Ткачев²

¹МФТИ (НИУ), г. Москва

²ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г.Москва

mikhachev.bo@phystech.edu, tkachev.ss@phystech.edu

Моделирование движения космического аппарата (КА) на низких околоземных орбитах требует расчета силы и момента, обусловленных взаимодействием поверхности спутника с набегающим потоком. Для аппаратов с небольшим баллистическим коэффициентом и простой формой для описания этих величин, как правило, оказывается достаточно относительно простой модели. В случае же, когда КА обладает большой парусностью и/или имеет сложную форму, возникает необходимость разрабатывать более сложную модель, которая учитывает и форму, и разный характер взаимодействия набегающего потока с поверхностью КА. Работа посвящена разработке и программной реализации такой модели. Полагается, что движение происходит на высотах от 200 км, поэтому течение полагается свободномолекулярным, а взаимодействие – диффузно-зеркальным [1].

Расчет силы и момента аэродинамического сопротивления сильно зависит от геометрии фигуры, поэтому для оптимального создания формы спутника в работе в дальнейшем будет рассматриваться метод затемнения [2].

Общий метод состоит из нескольких стадий и реализован в программной среде MATLAB. Первостепенно рассчитываются величины для аппроксимационных поверхностей и сравниваются с теоретическими значениями. Следующим шагом является организация структуры данных для оптимизации работы программы, он показан на рисунке ниже: создается специальный массив, который хранит данные всех соседей-треугольников, вершины которых являются вложенными множествами среди всех нами используемых сеток для триангуляции.

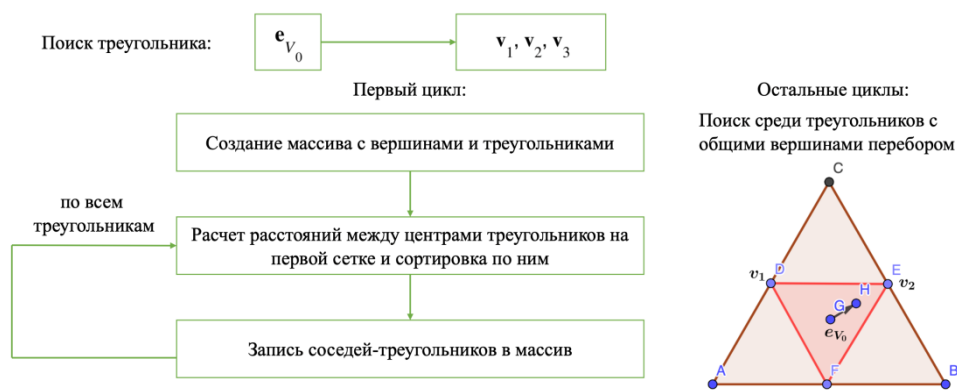


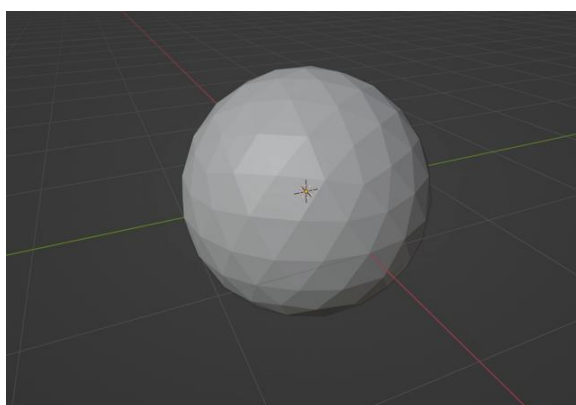
Рис. 1. Организация структуры данных.

Финальным шагом является линейная интерполяция на треугольной пластине значений силы и момента с произвольно заданным направлением вектора скорости потока, которая выглядит следующим образом:

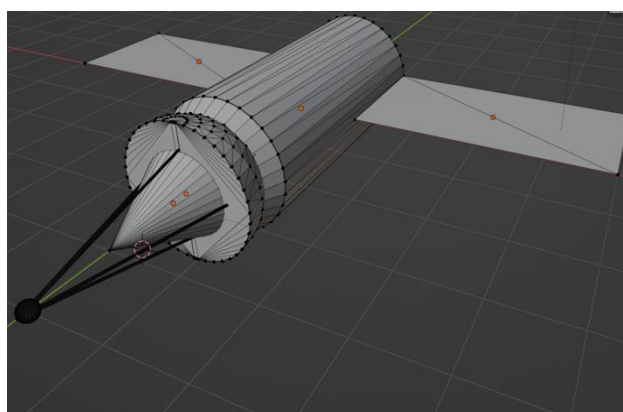
$$f(\mathbf{P}') = \sum_{i=1}^3 \frac{B_i}{B_1 + B_2 + B_3} f(\mathbf{P}_i)$$

где \mathbf{P}' — проекция произвольного заданного направления потока скорости на плоскость треугольника, \mathbf{P}_i — вершины треугольника, B_i — барицентрические координаты, $i = 1, 2, 3$ [3].

Данный метод был применен к единичной сфере, параллелепипеду и схеме спутника. Модели данных фигур и их триангуляция были получены в программе Blender.



а)



б)

Рис. 2. Модели сферы (а) и спутника (б) и их триангуляция.

В докладе изложен предложенный метод расчета аэродинамических силы и момента, действующих на спутник в разреженной атмосфере, на триангулированной сетке, предложена организация структуры массива, приведена верификация модели и сравнение равномерной и неравномерной сферических сеток, а также проверка интерполяционной модели на сфере и параллелепипеде.

Список литературы:

1. Белецкий В.В., Яншин А.М. Влияние аэродинамических сил на вращательное движение искусственных спутников // Наукова думка. 1984. 188 с.
2. Marianowski C., Traub C., Pfeiffer M., Beyer J., Fasoulas S. Satellite design optimization for differential lift and drag applications // DOI: 10.48550/2303.6612. 2023.
3. Renka Robert J. Interpolation of Data on the Surface of a Sphere // DOI: 10.1145/2701.2703. 1984.