

VIII Российская конференция
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ
В АЭРОАКУСТИКЕ И АЭРОДИНАМИКЕ



20—25 сентября 2021 г., ГЕЛЕНДЖИК



Метод аэроакустического моделирования лопаточных машин с дозвуковым течением

Аксенов А.А., ООО «ТЕСИС»

Тимушев С. Ф. , МАИ (НИУ)

Основные уравнения

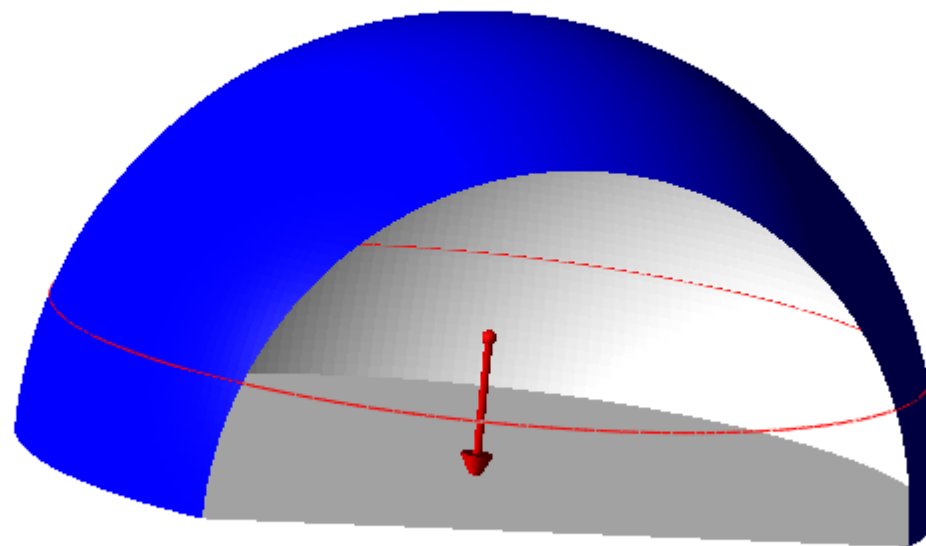
$$\mathbf{V} = \mathbf{U} + \nabla \varphi = \mathbf{U} + \mathbf{V}_a$$

$$\frac{1}{a^2} \frac{d^2 i}{d t^2} - \Delta i = S$$

$$S = \nabla(\nabla(\frac{1}{2}U^2)) - \mathbf{U} \times (\nabla \times \mathbf{U})$$



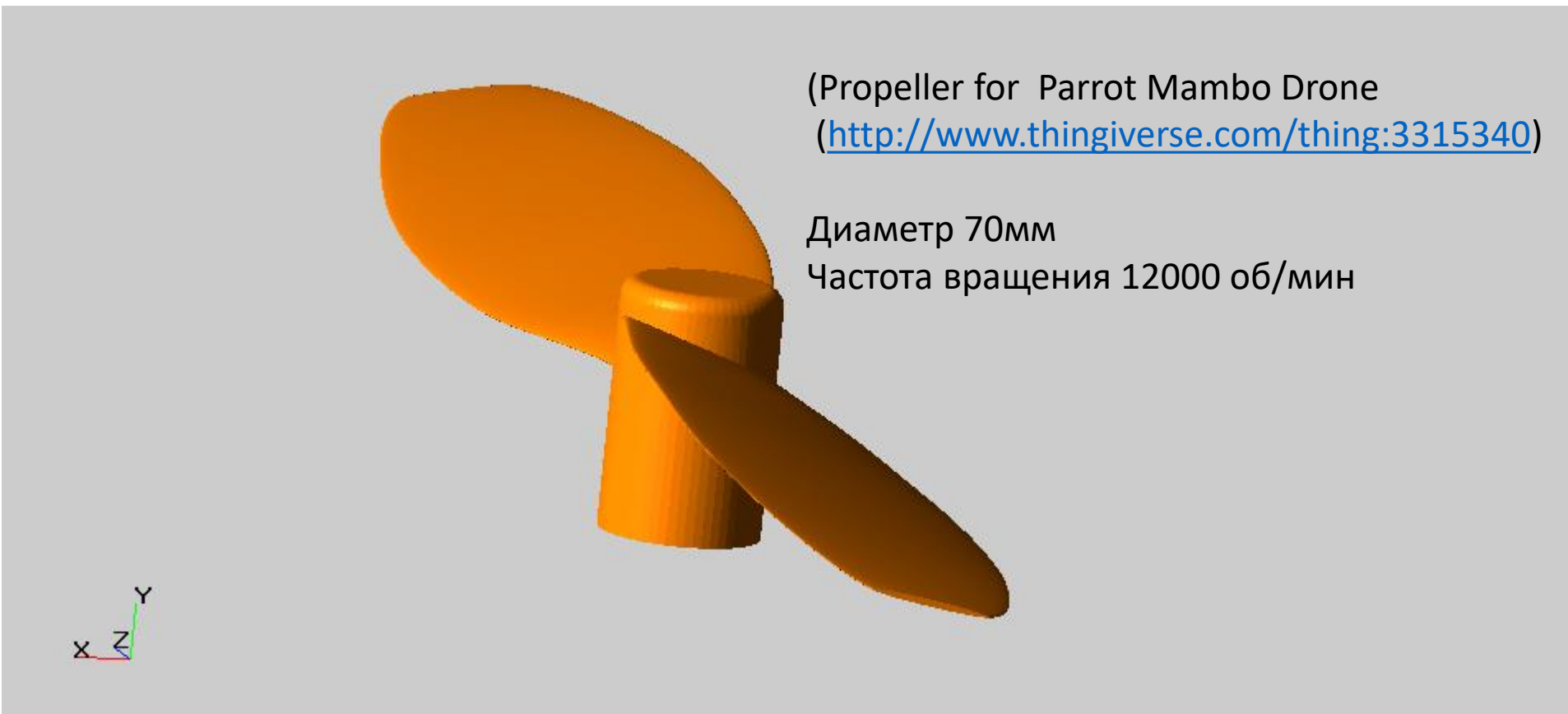
Геометрия – область расчета



Полусфера
радиусом 5м

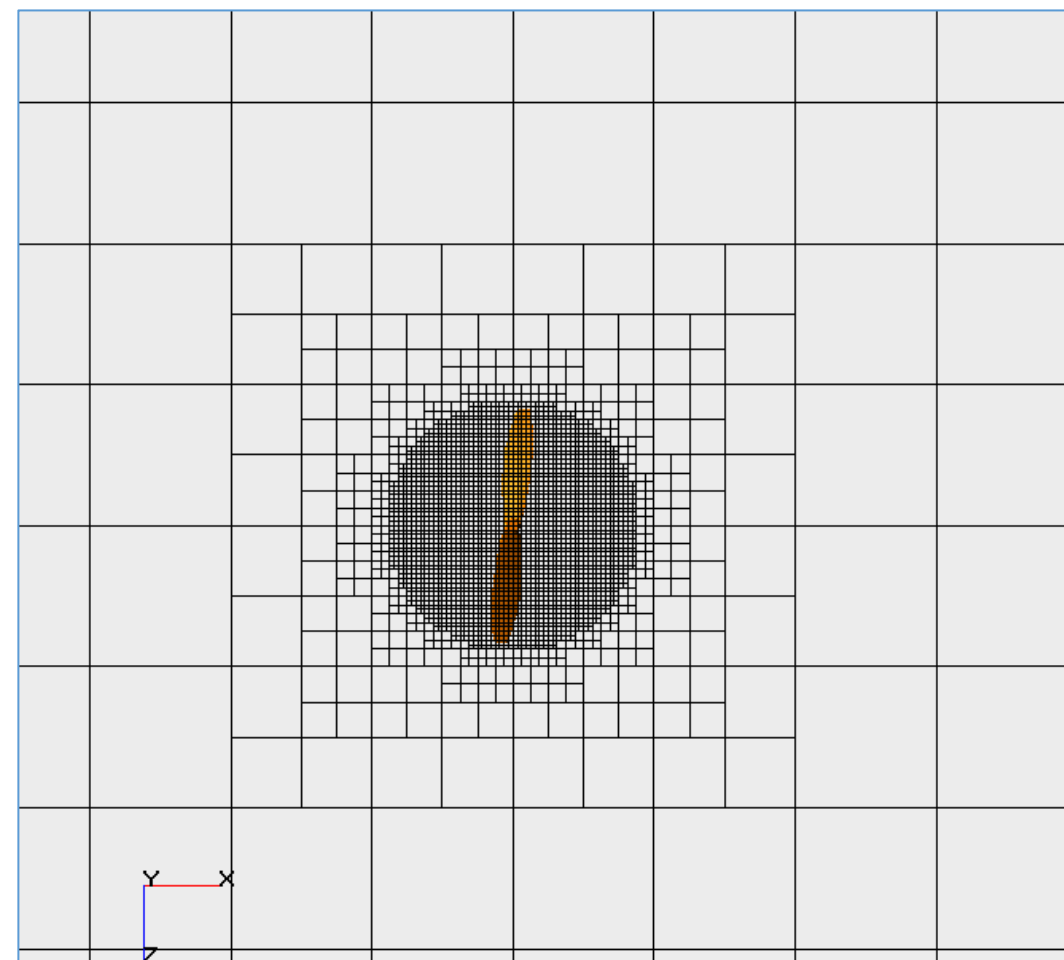
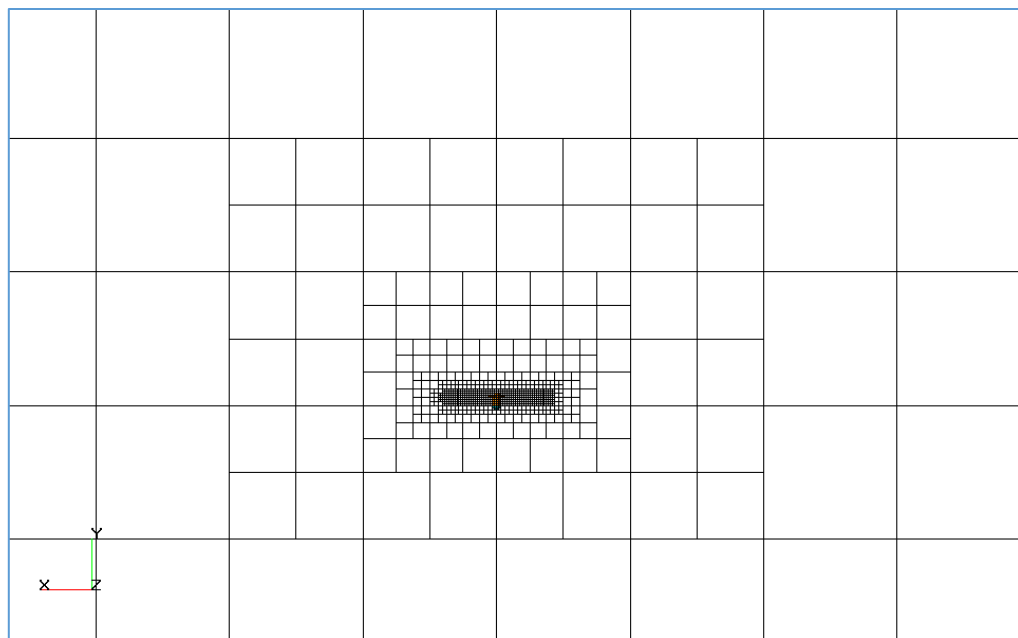


Геометрия - винт

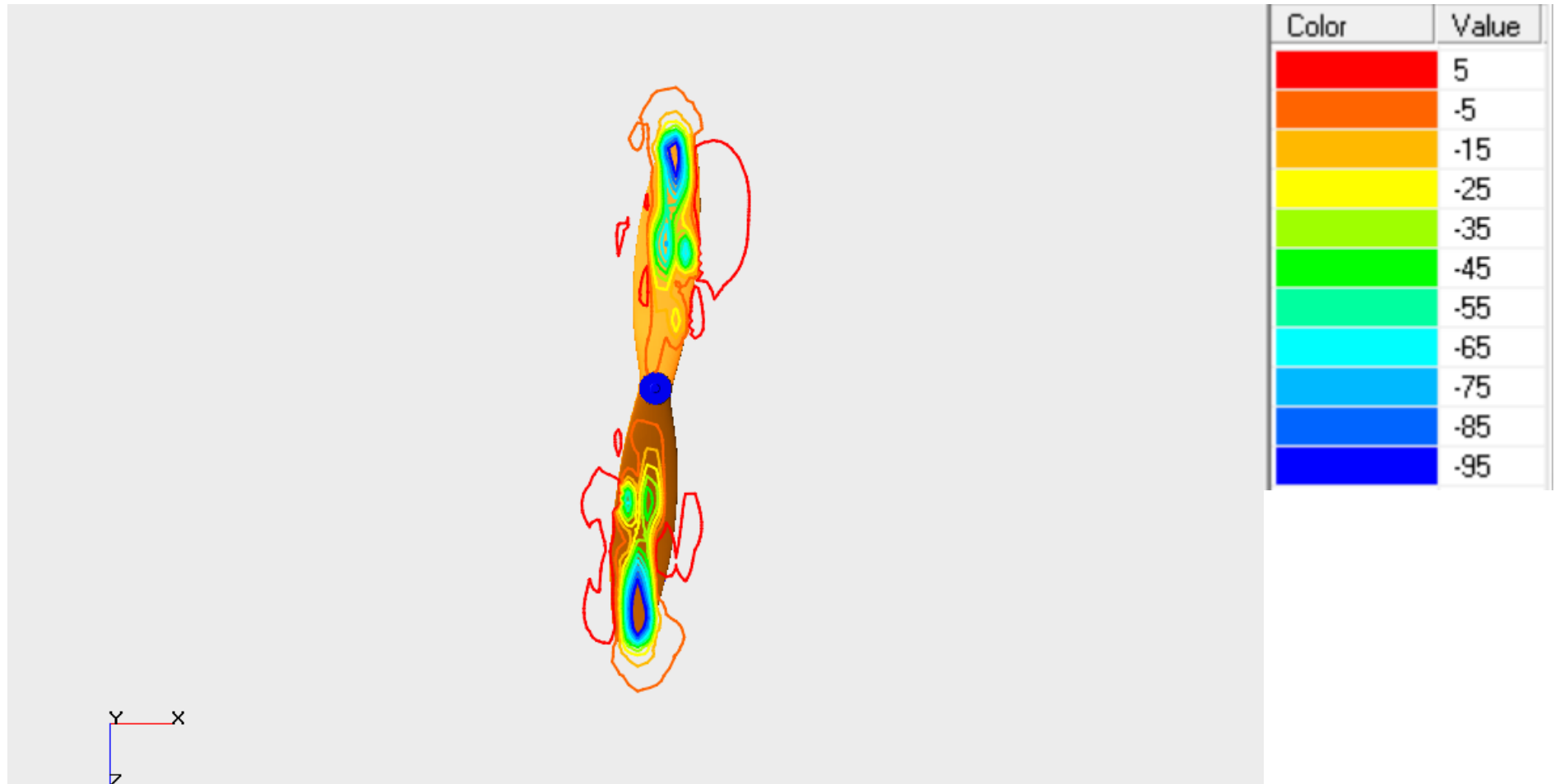




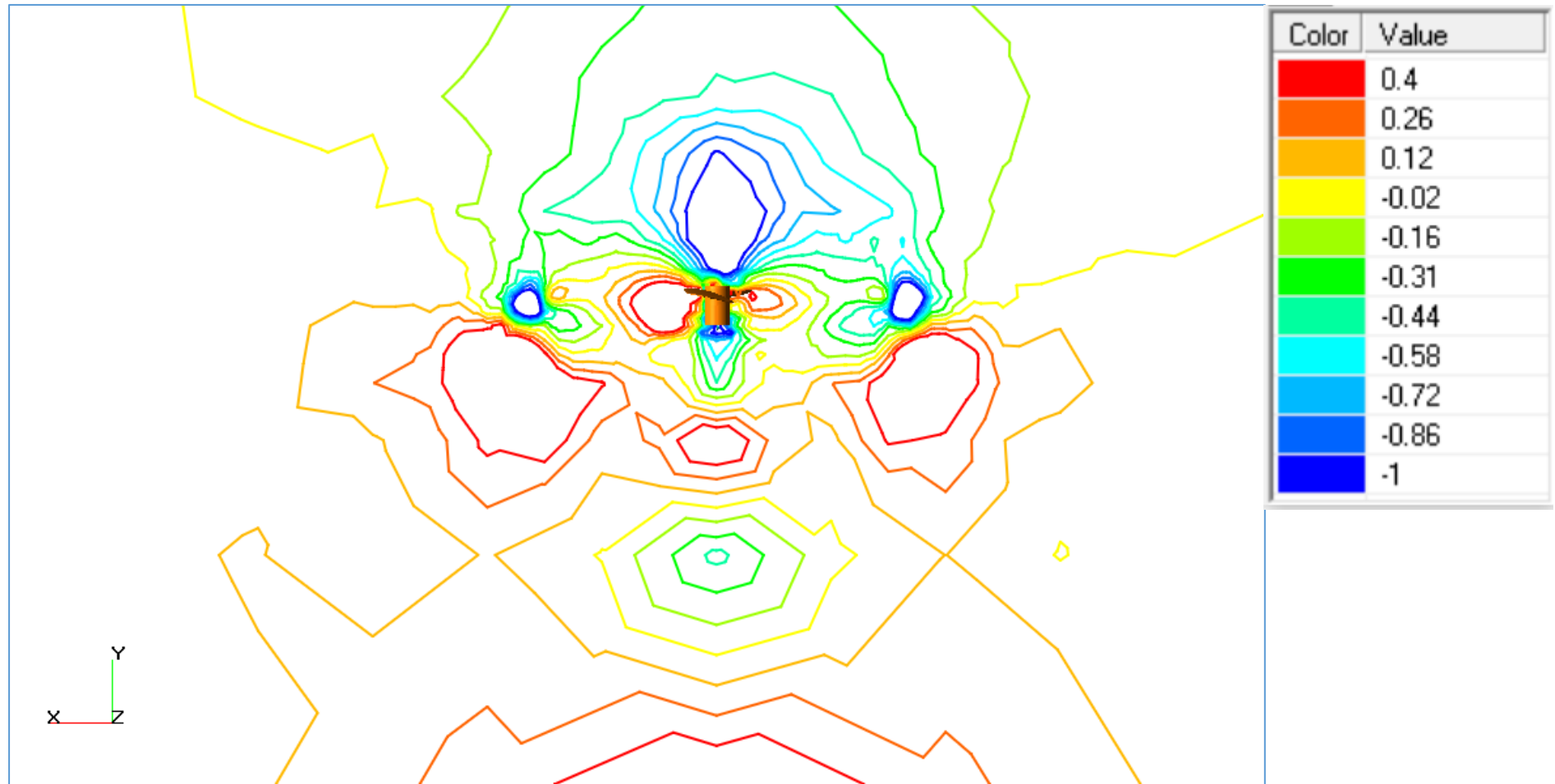
Сетка -7й уровень адаптации



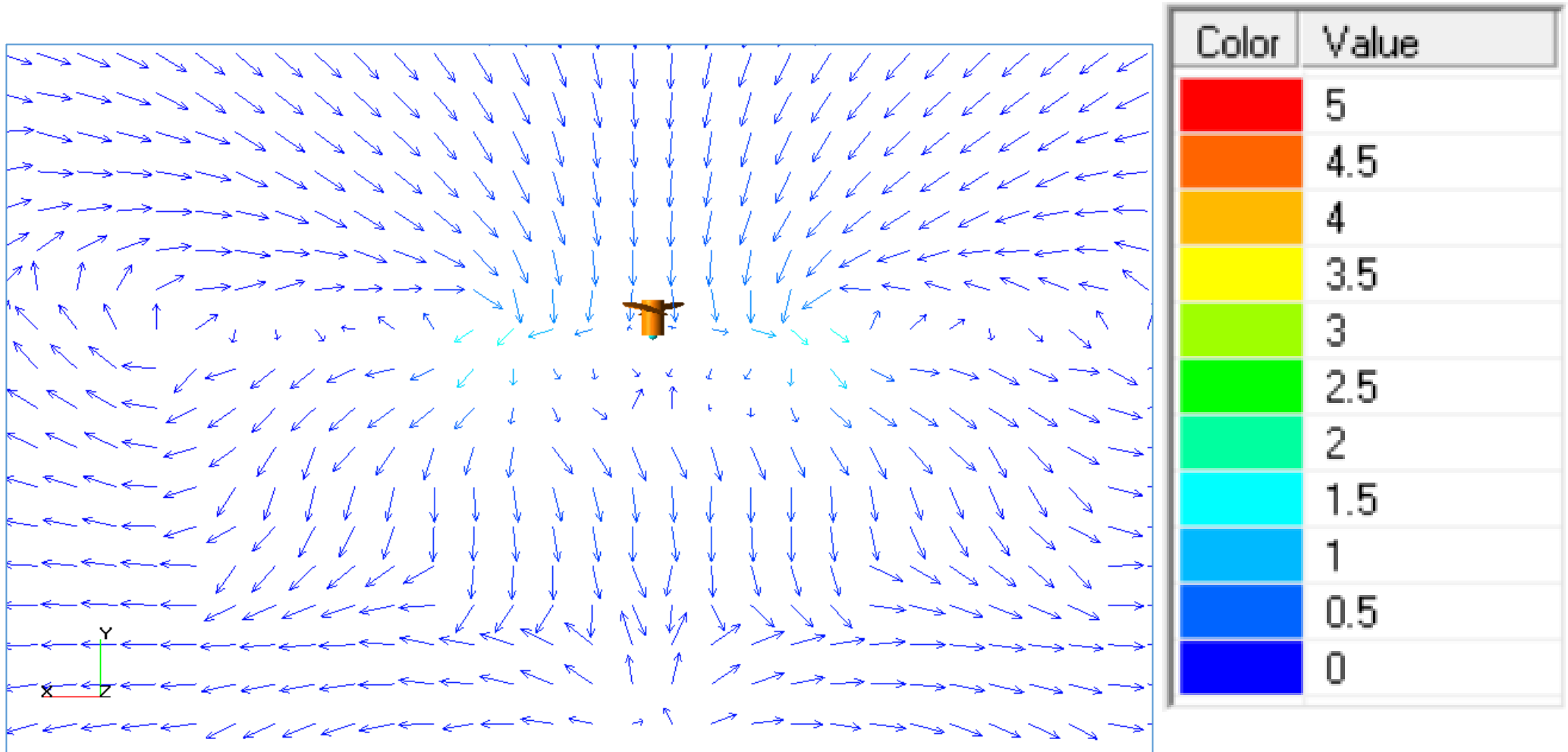
Первый шаг расчета- давление в плоскости вращения



Первый шаг расчета- давление в меридиональной плоскости

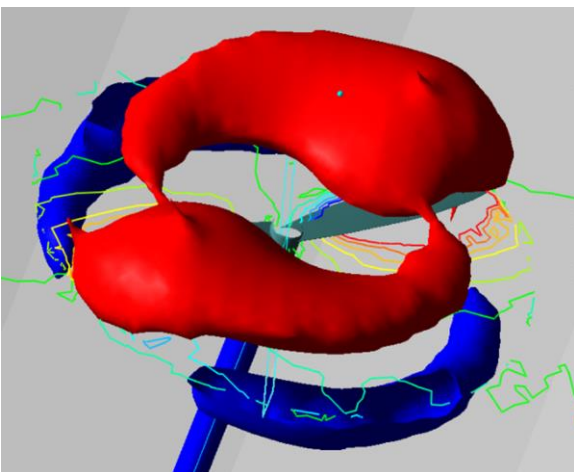
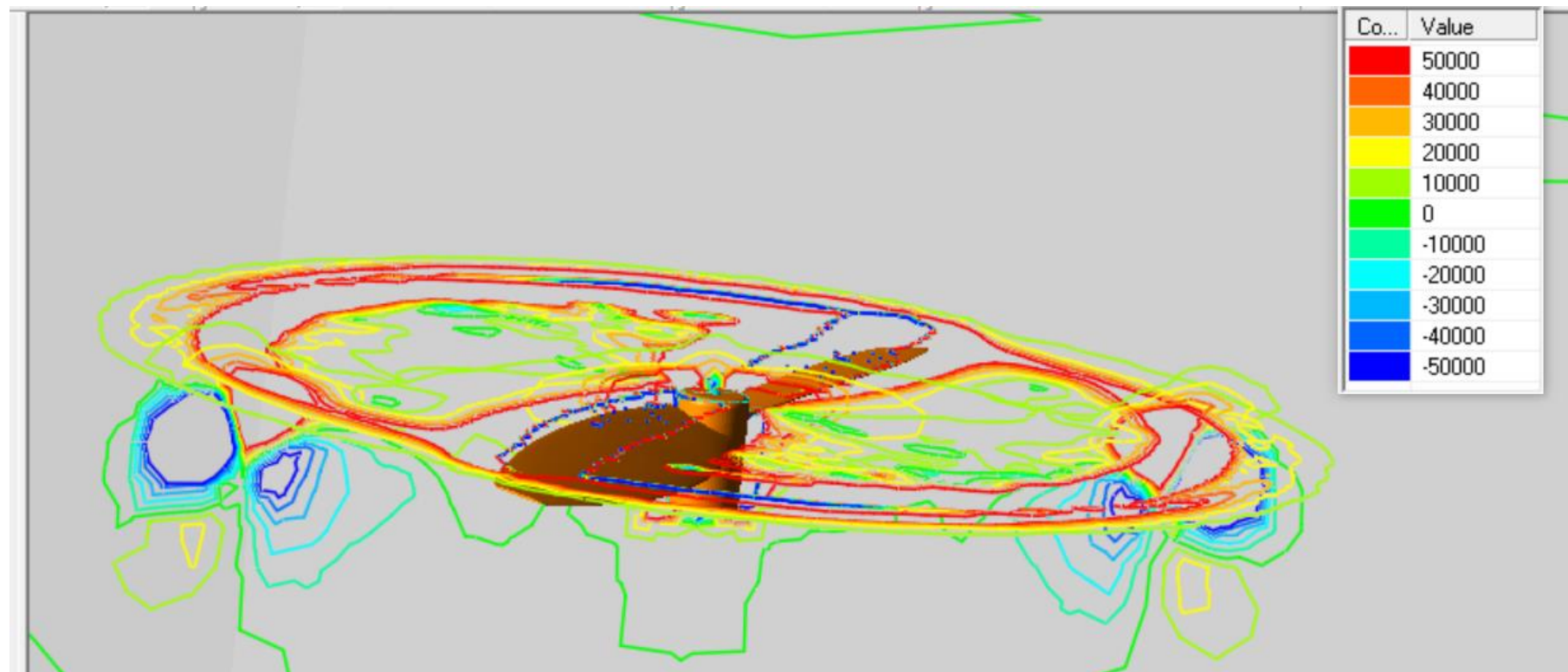


Поле скорости в меридиональной плоскости (векторы постоянной длины)



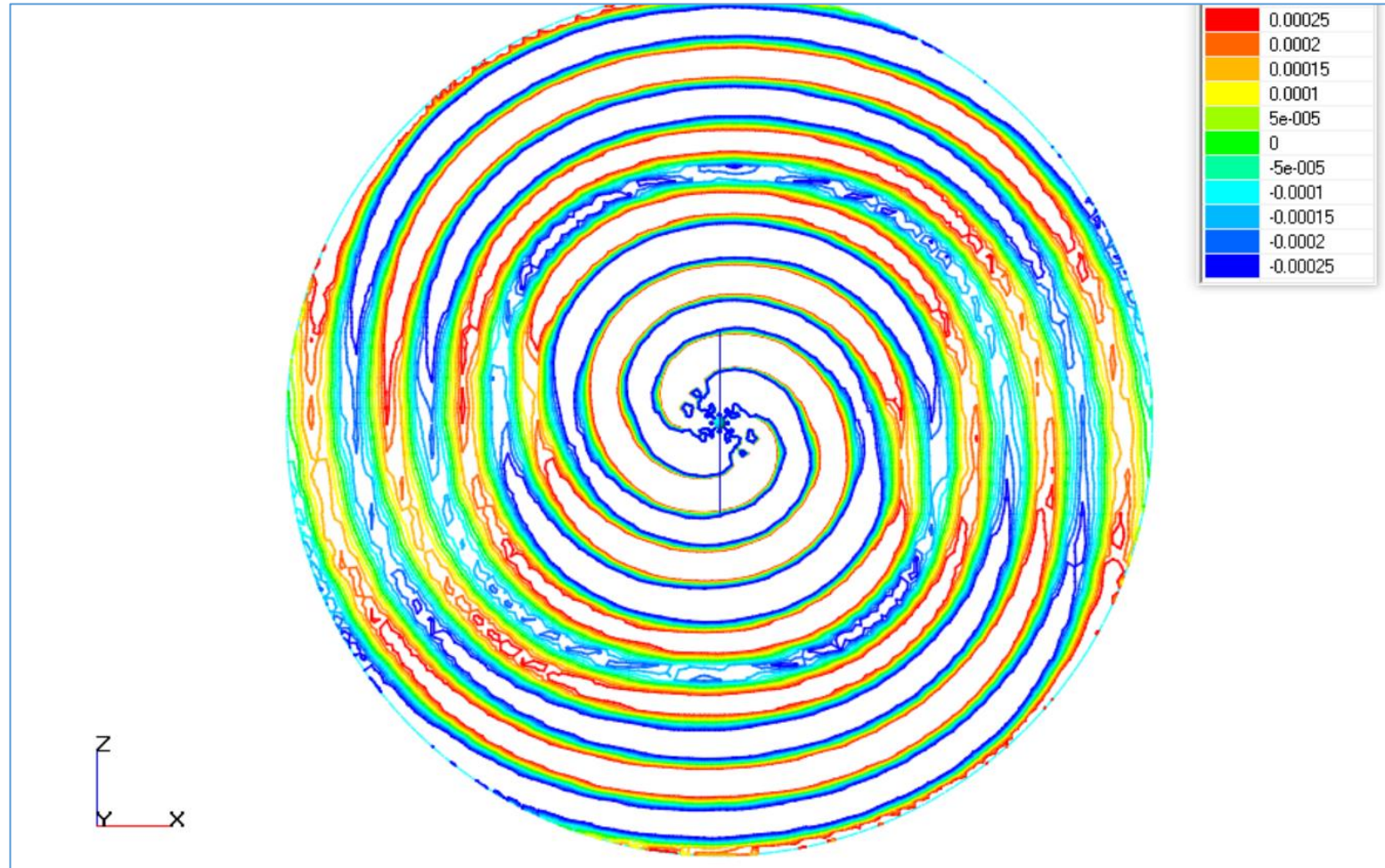


Структура источника ЧСЛ



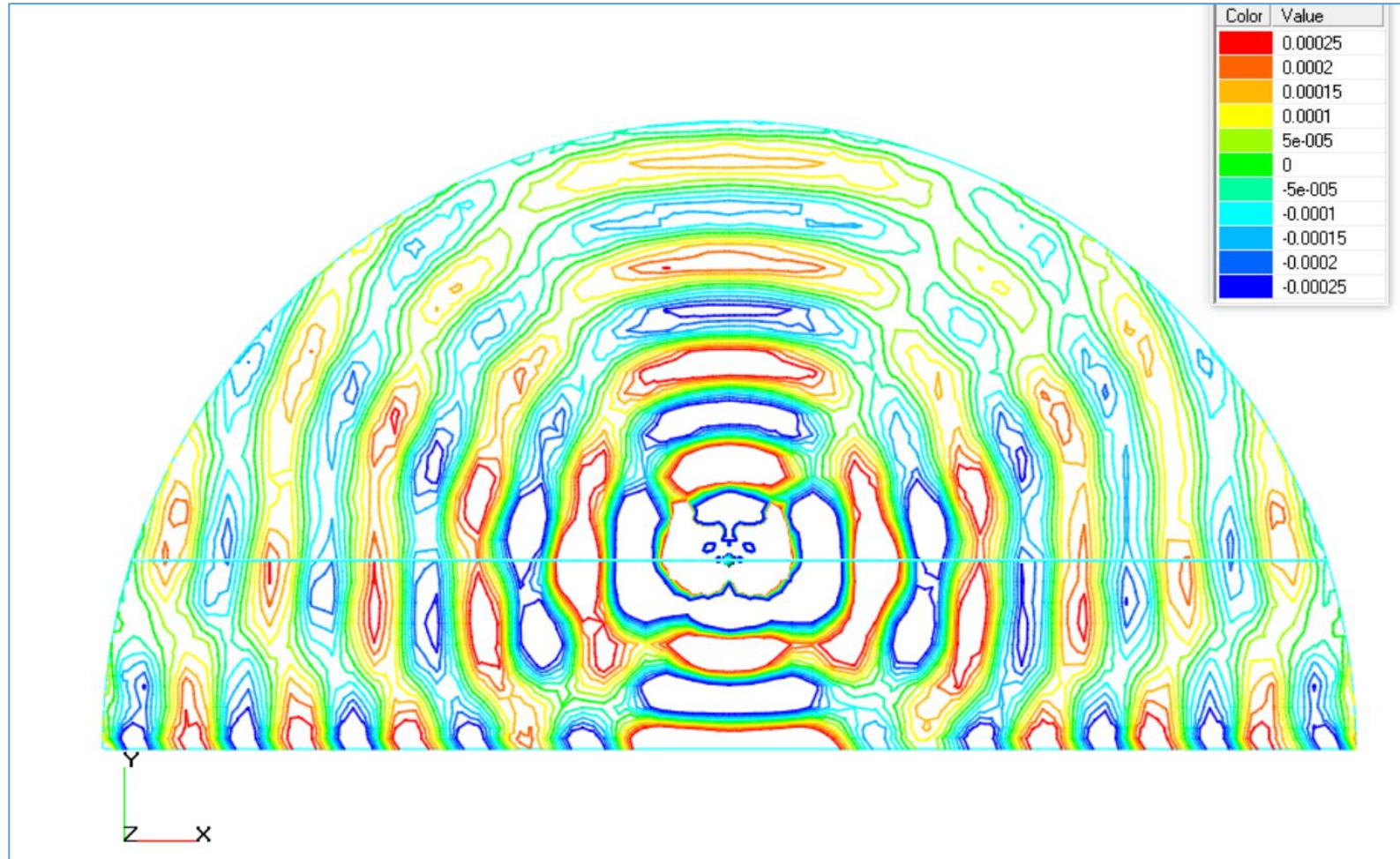


Второй шаг – акустическое давление в плоскости вращения винта (первая гармоника ЧСЛ)



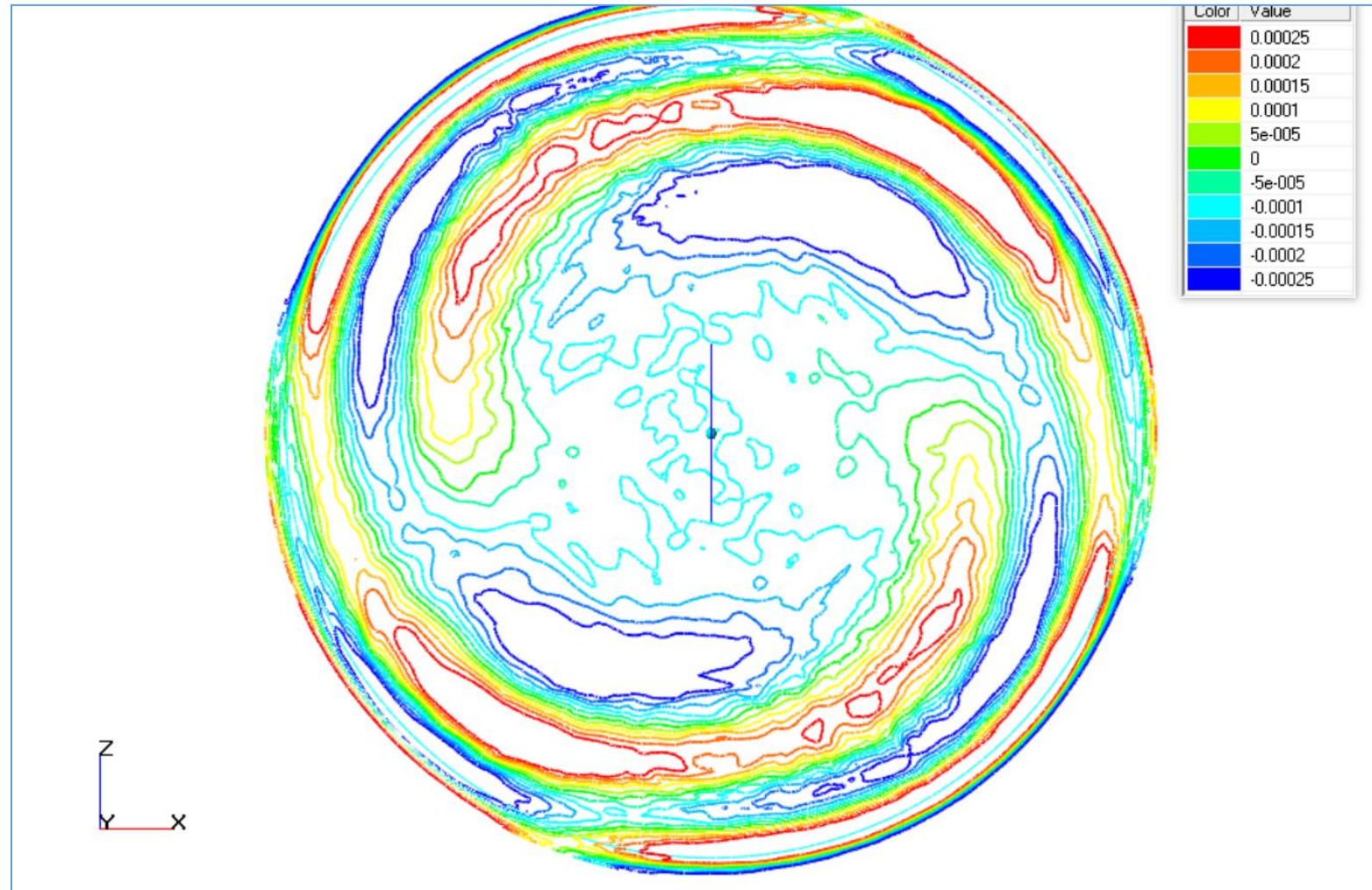


Второй шаг – акустическое давление в меридиональной плоскости винта (первая гармоника ЧСЛ)



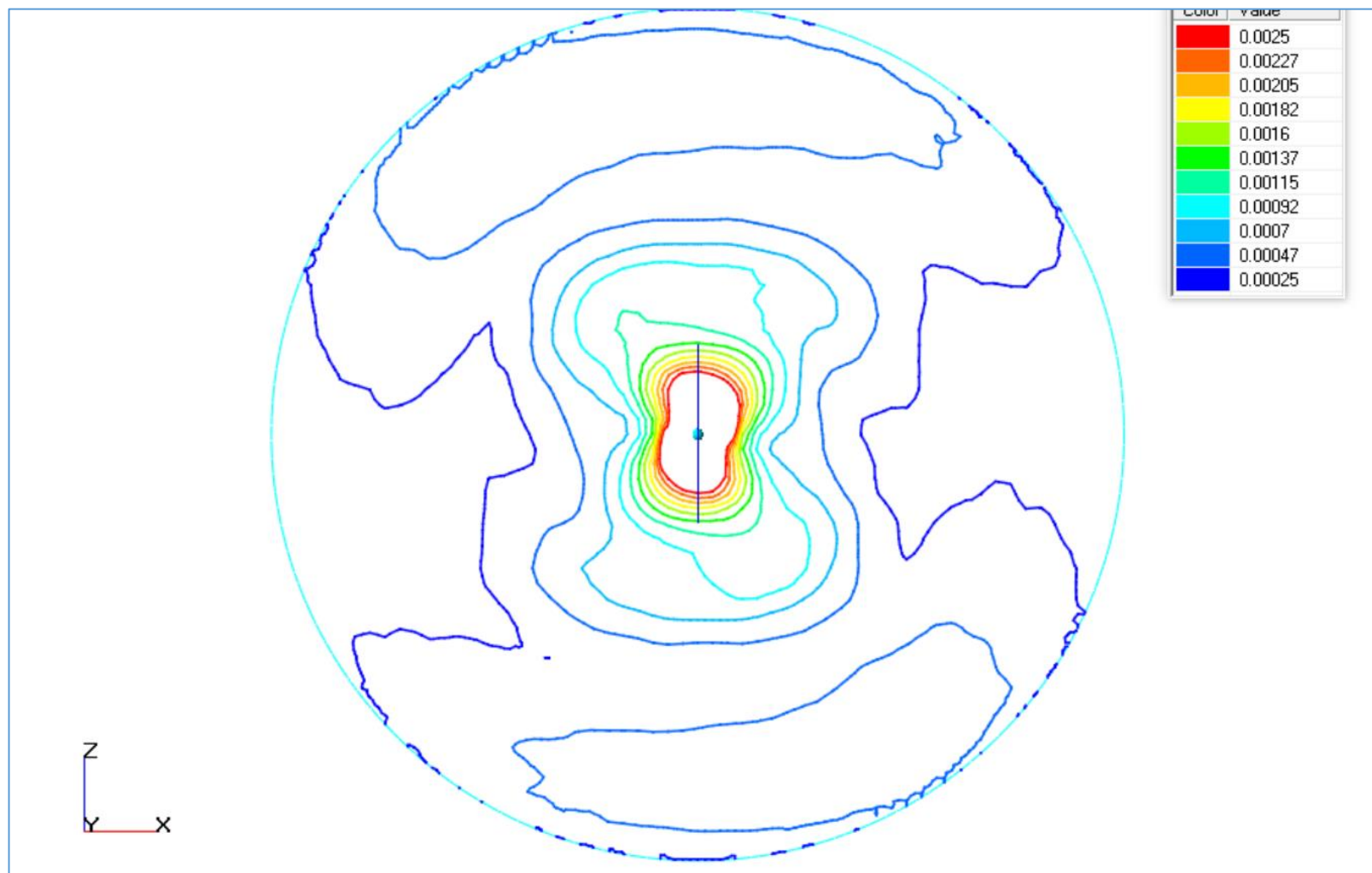


Второй шаг – акустическое давление на поверхности сферы радиусом 5 м (первая гармоника ЧСЛ)



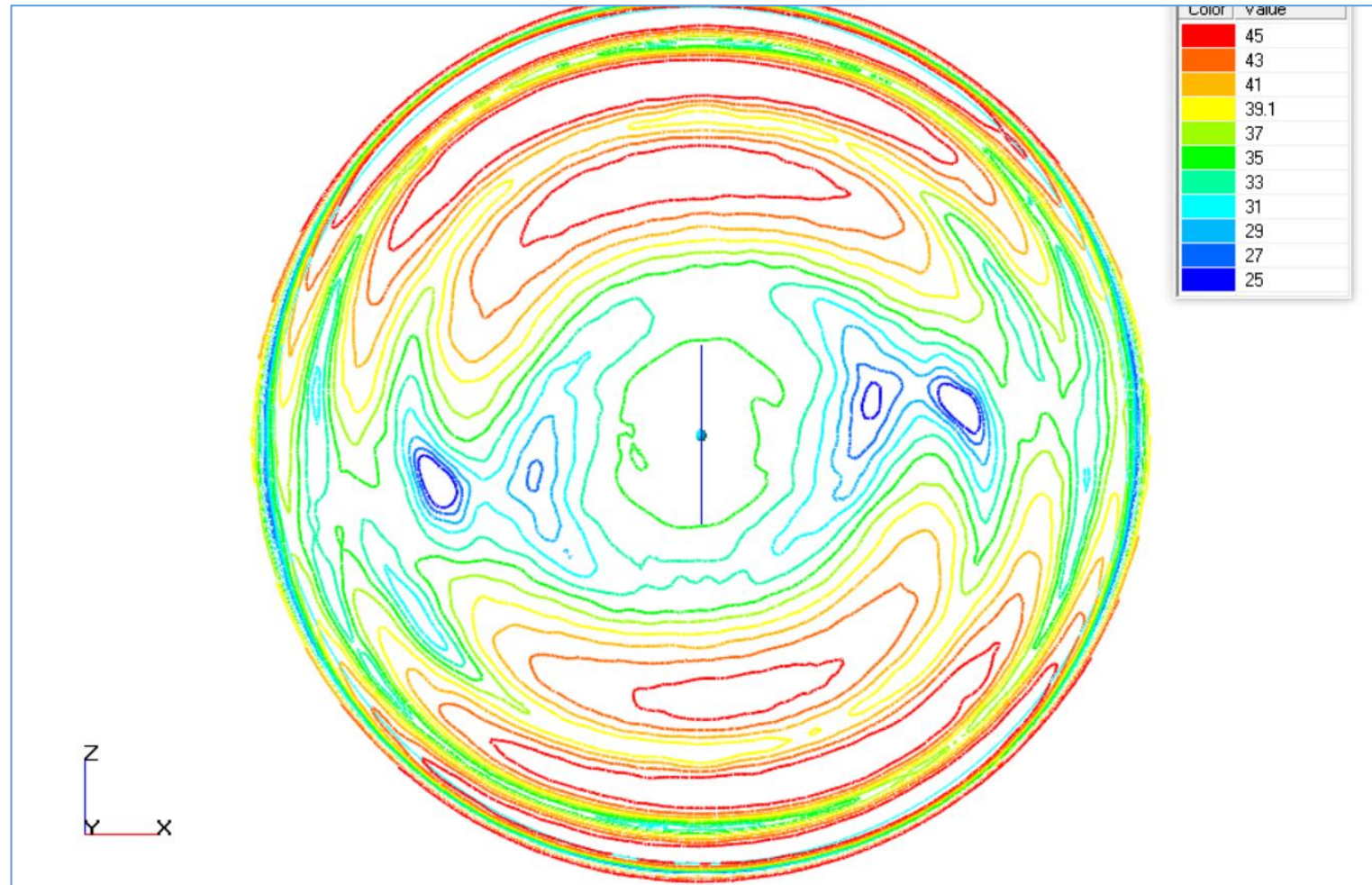


Второй шаг – амплитуда первой гармоники ЧСЛ в плоскости вращения винта





Второй шаг – уровень звука в дБ
на поверхности сферы радиусом 5 м (первая гармоника ЧСЛ)



Заключение

- Продемонстрировано использование акустико-вихревой декомпозиции с решением волнового уравнения прямым методом для моделирования шума винта квадрокоптера на режиме висения
- Структура источника звука ЧСЛ представляет собой две соосные вихревые зоны
- Поле акустического давления в плоскости вращения винта выявляет квази-спиралевидную структуру источника квадрупольного типа
- Амплитуда звука снижается примерно в 100 раз на расстоянии 10-20 диаметров винта, далее идет снижение в 10 раз при увеличении расстояния в 7 раз (до 5 м)
- Применение сетки с 6 ячейками на длину волны дает снижение звуковой мощности 1 гармоники ЧСЛ на 0.8 дБ по сравнению с сеткой 12 ячеек на длину волны
- Переход на сетку 7 уровня адаптации в зоне источника с 6 уровня адаптации дает увеличение звуковой мощности 1 гармоники ЧСЛ на 3 дБ

Ссылки

- Modeling the propeller and blade noise are mainly based on application of
 - [Gutin's method](#)
 - [Lighthill's equation](#)
 - FW-H equation
 - Kirchhoff's theorem
 - Lighthill's variation analogy
 - RANS+LEE+SNGR
 - DDES +Lighthill or Ribner equation
 - [A&V Modes decomposition \(\$M \ll 1\$ \)](#)
 - Gutin, L., "On the Sound Field of a Rotating Propeller," NACA TM-1195, Oct. 1948.
 - M.J. Lighthill 1952 Proceedings of the Royal Society, London A 211, 564-587. On sound generated aerodynamically. Part I. General Theory
 - J.E. Flowcs-Williams and D.L. Hawkings 1969 Philosophical Transactions of the Royal Society A264, 321-342. Sound generation by turbulence and surfaces in arbitrary motion
 - FlowNoise (ECIM Ltd) FanNoise (KAIST) /Duck Joo LEE et all, Fannoise2003
 - AcuSolve FEM CFD solver Actran/LA FEM acoustics propagation solver FluidConnection CAD integration and meshing softwar /Robert SANDBOGE at all, Fanoise2007
 - Zhu Y.J. at all. NCEJ 2008
 - De Reboul Silouane at all. InterNoise 2019
 - Crow, Artamonov, Howe and others
 - [Extended to \$M > 0.3\$ S.Timushev, V. Gavriiliuk, A. Aksenov, 2016-2020](#)

