

Использование многоуровневых декартовых сеток для задач аэроакустики

**Ю.П. Федорченко
В.А. Шорстов
В.Е. Макаров**

**Центральный институт авиационного
моторостроения, Москва, y_fedor@ciam.ru**

Создание программного комплекса нового поколения для аэродинамических и аэроакустических расчетов, обеспечивающего:

- Использование высококачественных (ортогональных, слабоменяющихся по размеру) сверхмощных гибридных расчетных сеток с числом ячеек $10^9 - 10^{10}$
- Высокий порядок аппроксимации по пространству (не менее 5-го) и по времени (не менее 4-го)
- Использование современных вихреразрешающих методов моделирования турбулентности
- Обеспечение высоких эксплуатационных характеристик за счет массивов (10³-10⁴ ядер) распараллеливания, экономного вычислительного алгоритма и эффективного использования памяти

Цели данной работы:

- Создание модуля генерации вложенных декартовых сеток
 - Проведение тестовых расчетов
-

Сторонние сетки:

- избыточные объёмы информации для хранения
- ячейки, далёкие по форме от идеальных

Равномерные декартовы сетки:

- достаточный для разрешения акустических волн размер ячейки оказывается неприемлем для разрешения геометрических особенностей исследуемого объекта
- Построение достаточно мелкой декартовой сетки для сложных объектов сильно увеличивает потребность в вычислительных ресурсах, как в процессе построения, так и необходимых для собственно процесса моделирования

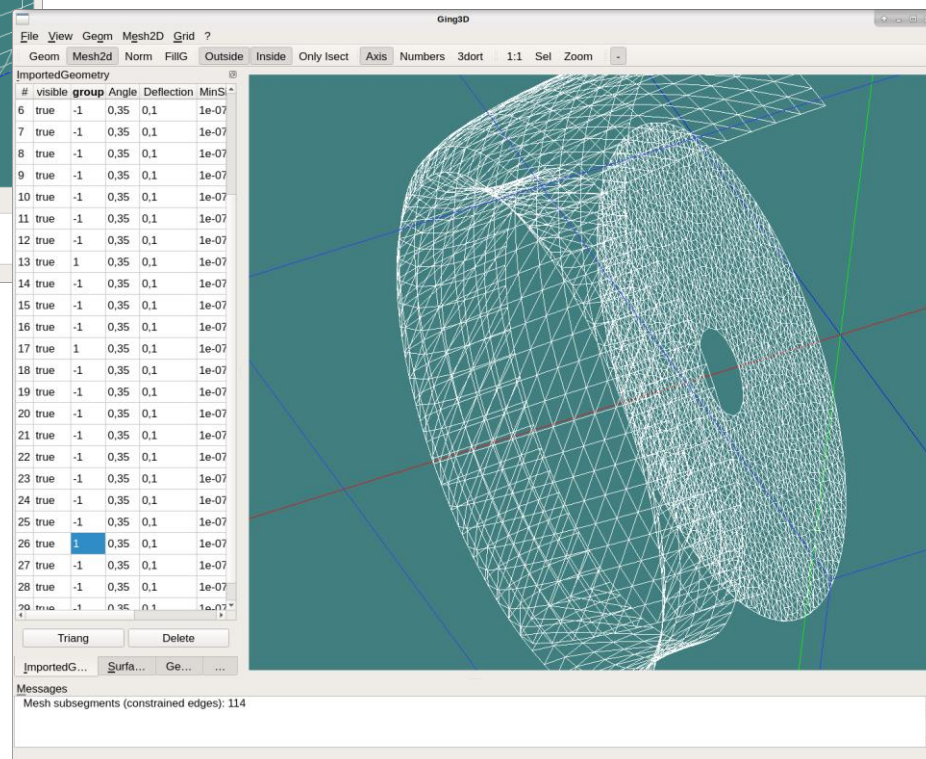
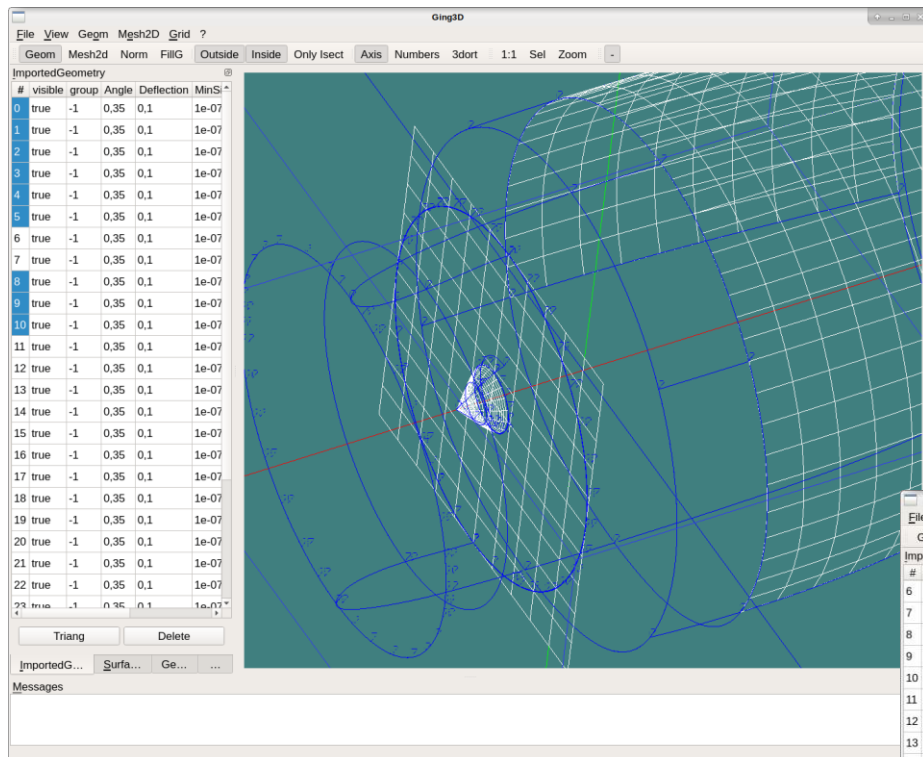
Многоуровневые декартовы сетки:

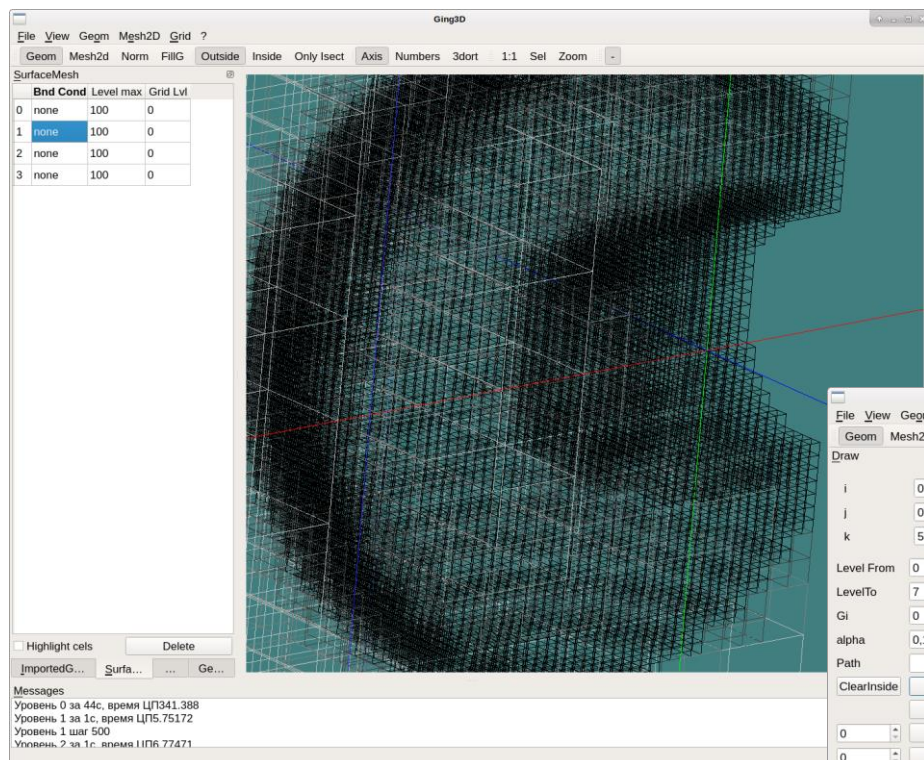
- использование достаточного для задач аэроакустики шага в большей части расчётной области
 - измельчение шага сетки возле объекта
 - Уменьшение потребления памяти за счёт хранения параметров в разреженных массивах
 - ...
-

2. Триангуляция поверхностей

1. Импорт геометрии (iges, stl)

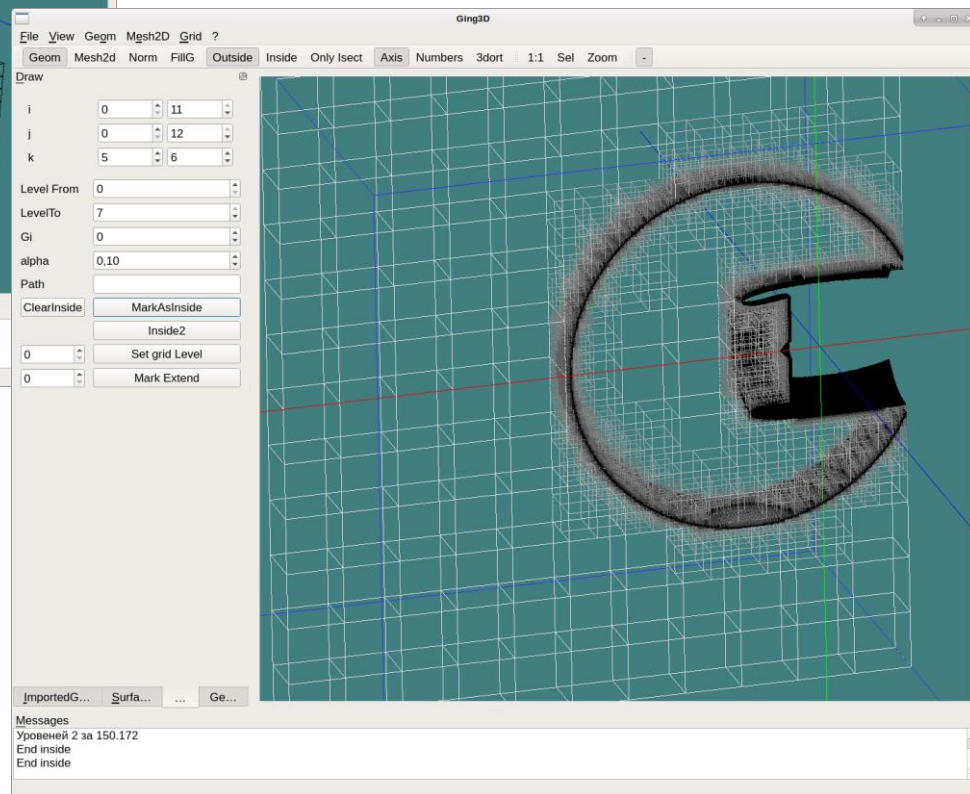
- Используется набор библиотек OpenCASCADE



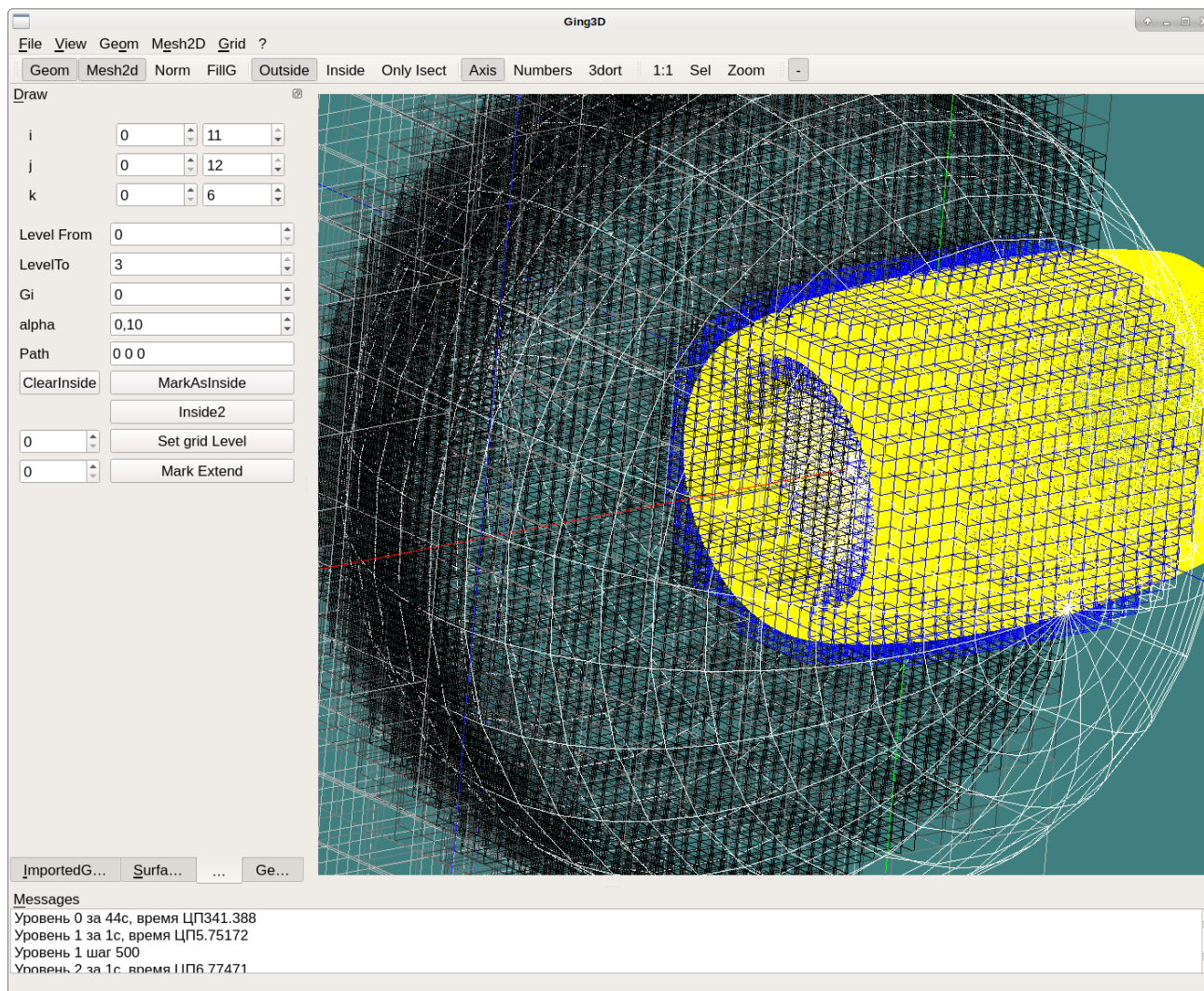


Построение octa-grid

- Измельчение сетки с поиском пересечений
- многопоточность
- Избыточность уровней сетки для увеличения скорости

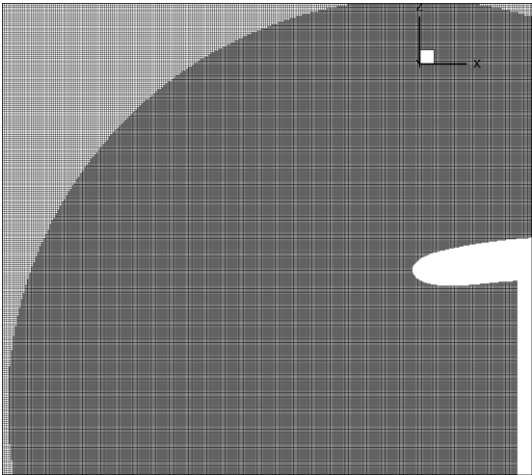
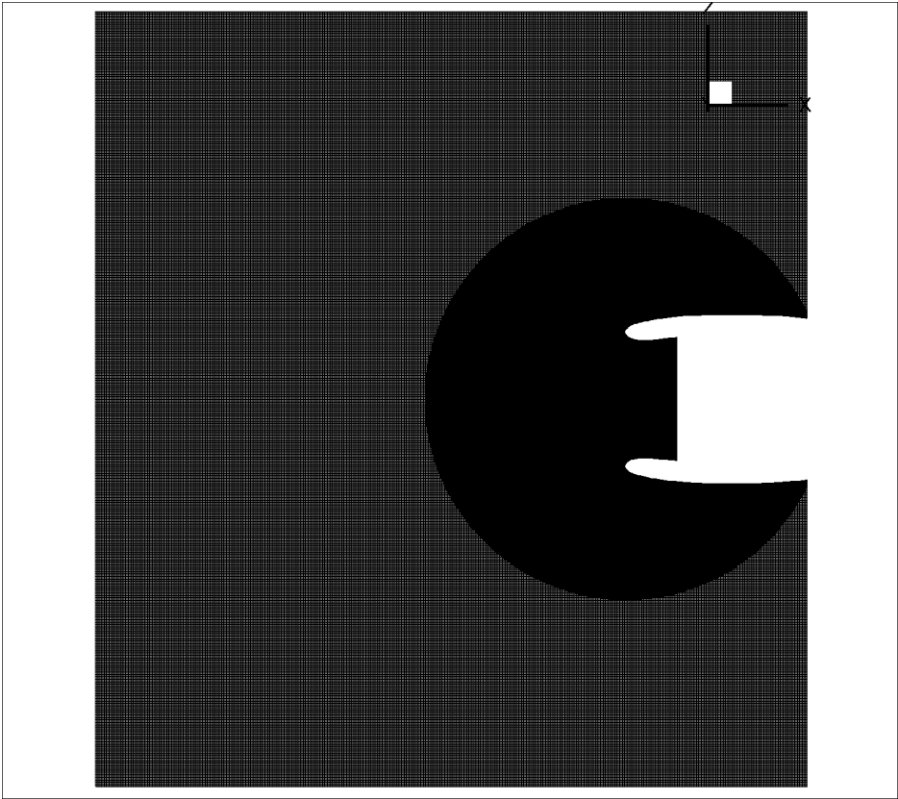


Сечение octa-grid

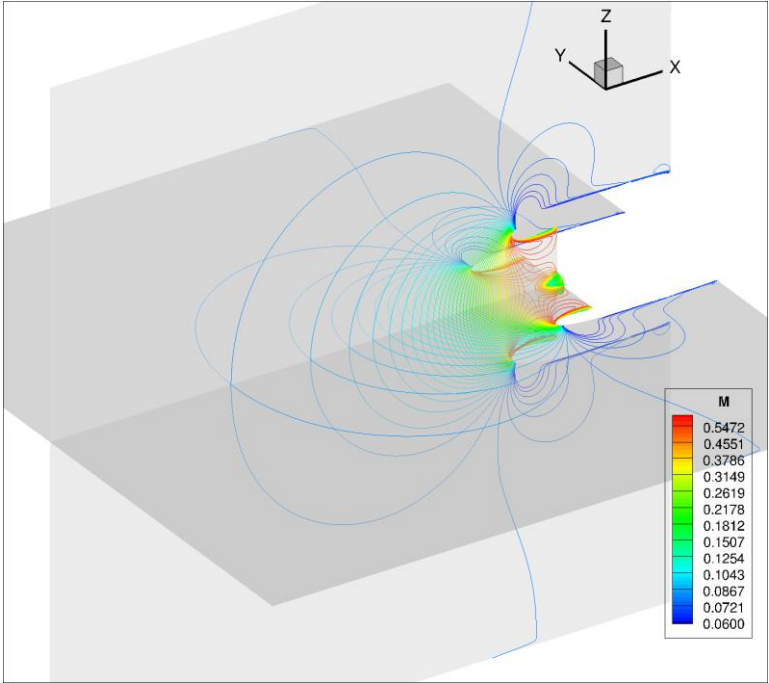


**Задание граничных условий и формирование зон
многоуровневой декартовой сетки**

Экспорт сетки в расчётный модуль



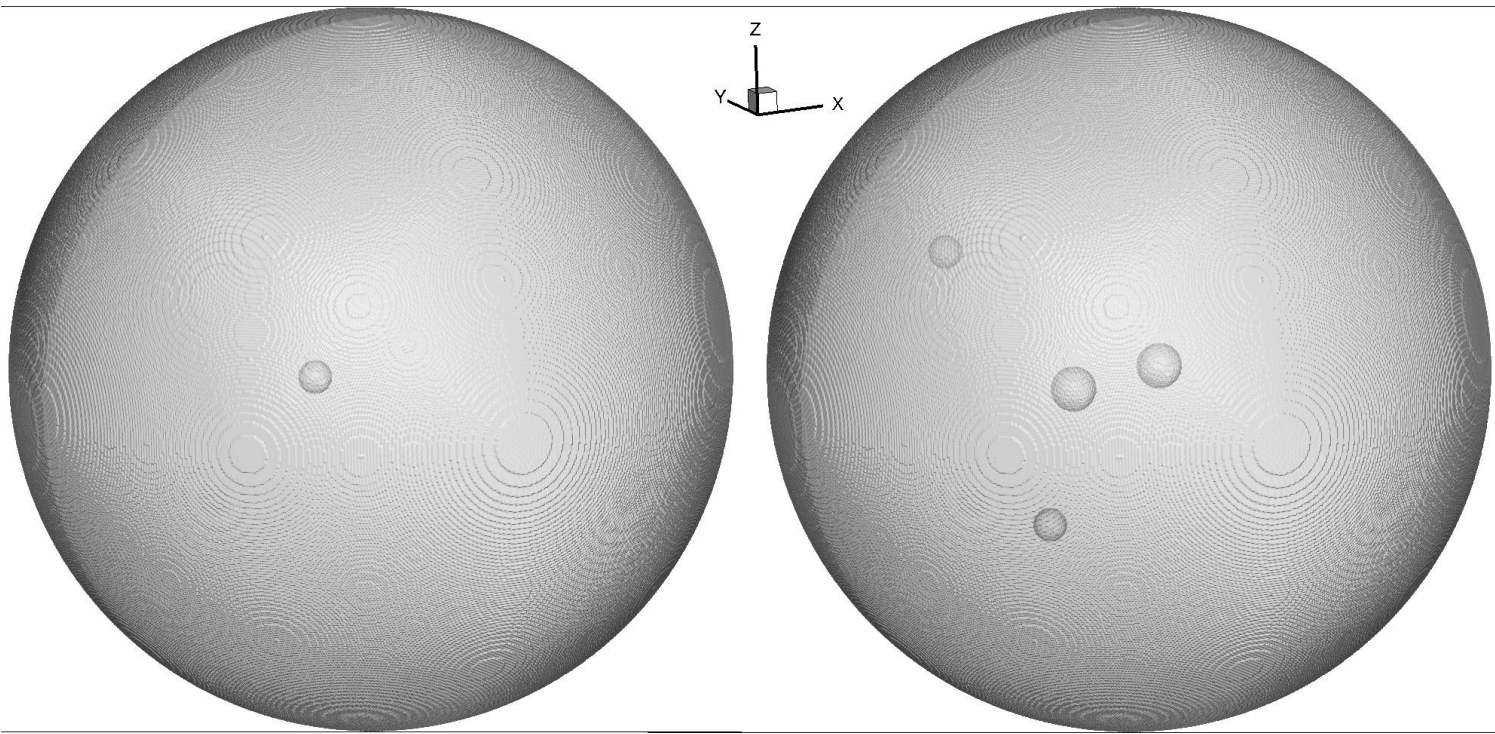
Сечение многоуровневой сетки

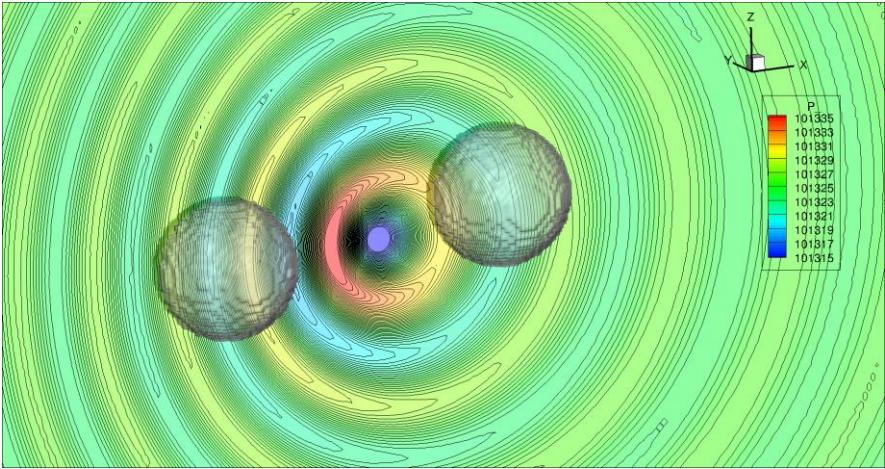
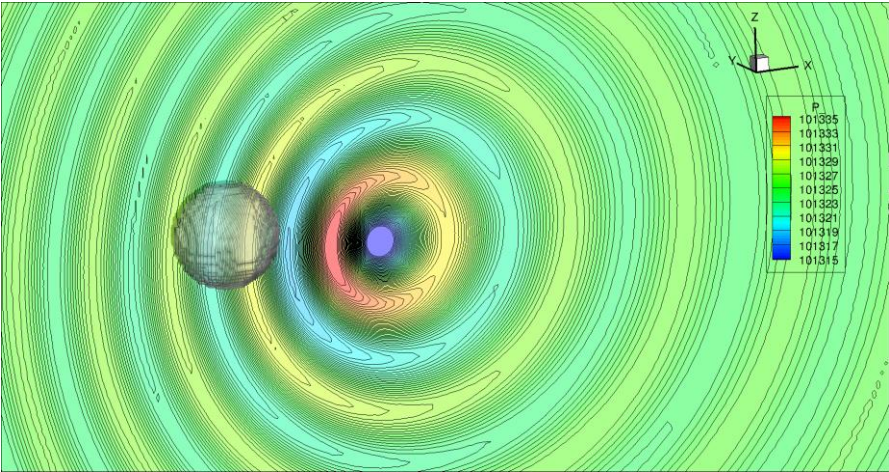
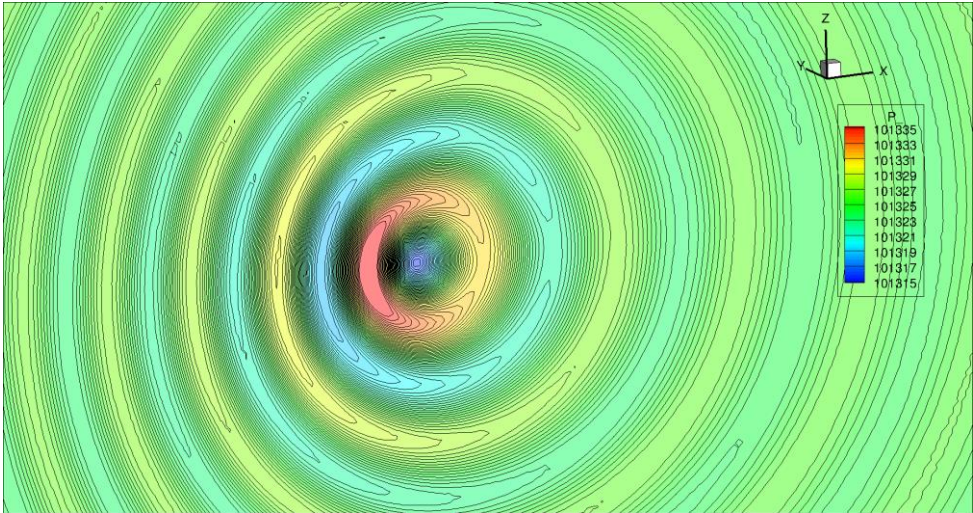


Изолинии чисел Маха

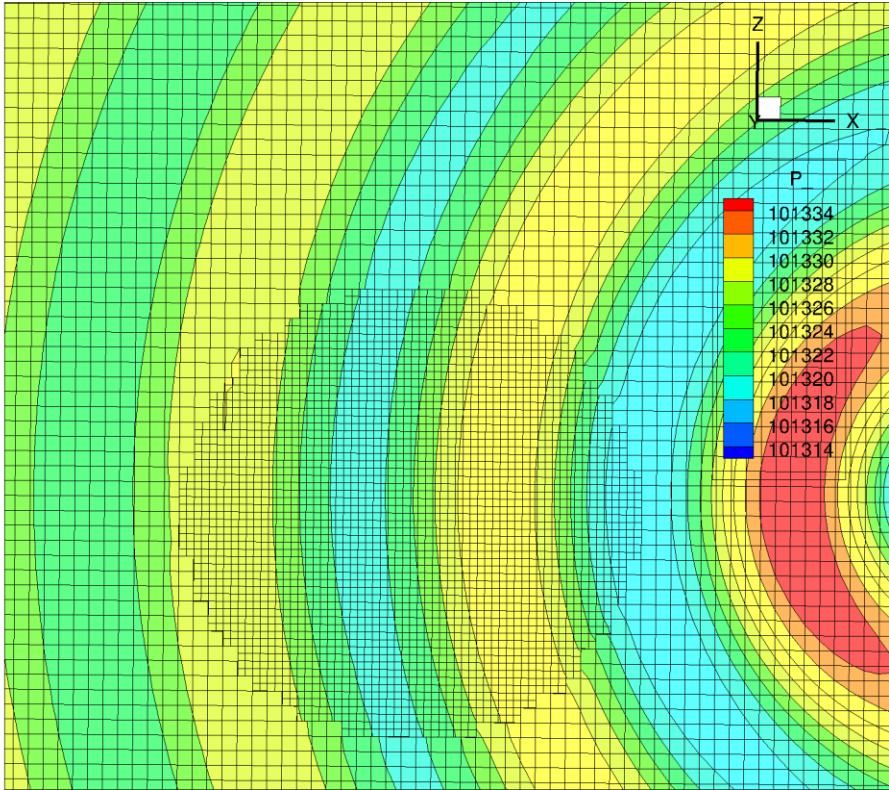
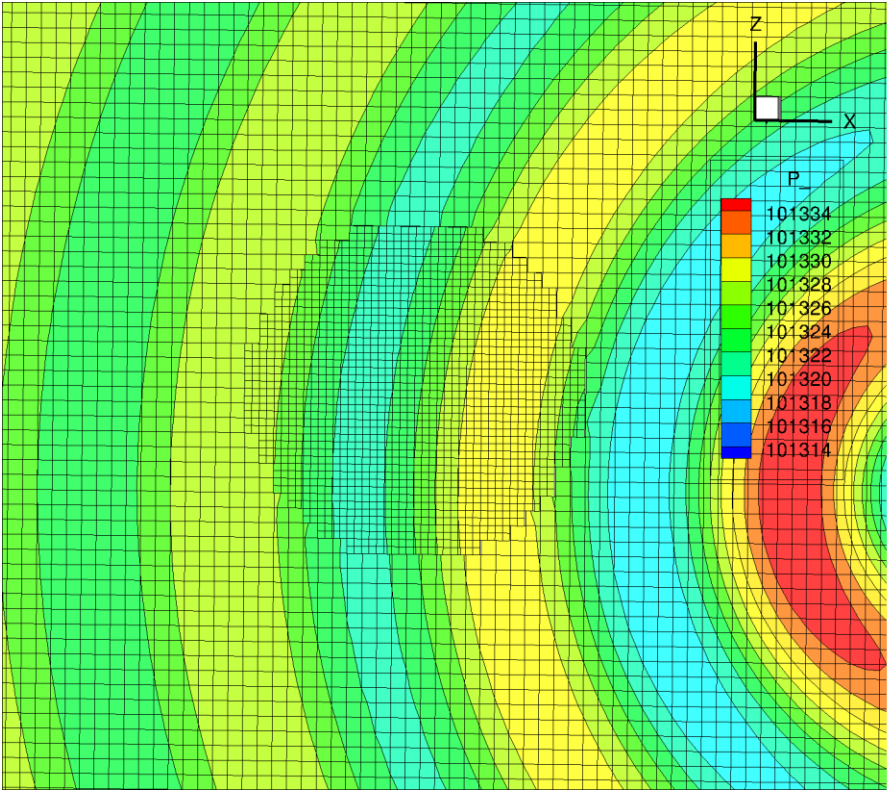
- Ориентация на высококачественные (ортогональные, слабоменяющиеся по размеру), гибридные (сочетающие вычисляемые и хранимые), сверхмощные сетки $10^9 - 10^{10}$
 - Повышенная разрешающая способность (схема на основе одномерной MP5 имеющей 5й порядок по пространству и третий по времени)
 - Локальное (в основном в RANS части пограничного слоя) использование неявности, по одному или двум направлениям
 - Использование современных вихреразрешающих методов моделирования турбулентности
 - Использование автоматизированной гибридности схемы на основе сочетания центральноразностной и противопоточной схем
 - Обеспечение высоких эксплуатационных характеристик за счет массивованного (10^3 - 10^4 ядер) распараллеливания, экономного вычислительного алгоритма, использующего свойства сетки и ограниченной неявности, маскирования обменов за расчет
 - Глубокая интеграция подготовки данных и сбора результатов расчета с расчетным ядром на замену пре-постпроцессингу
 - Динамический мониторинг состояния задачи, в том числе и на удаленных ресурсах)
-

Источник (монополь) 3000 Гц в центре сферы
шаг основной сетки 0.005 м
 $\sim 71 \cdot 10^6$ ячеек
 $M=0.2$





«мгновенные» изобары



«мгновенные» изобары вблизи сгущения сетки

Коэффициенты разложения Фурье

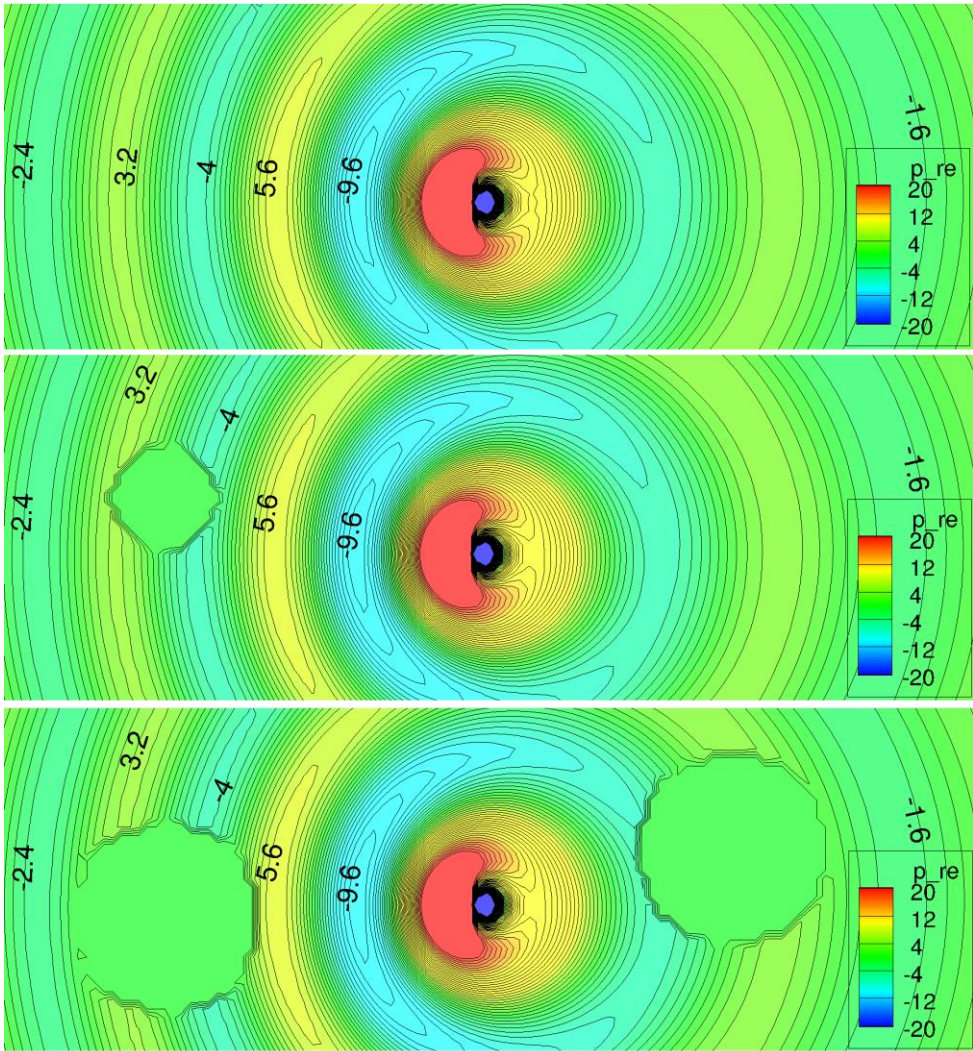
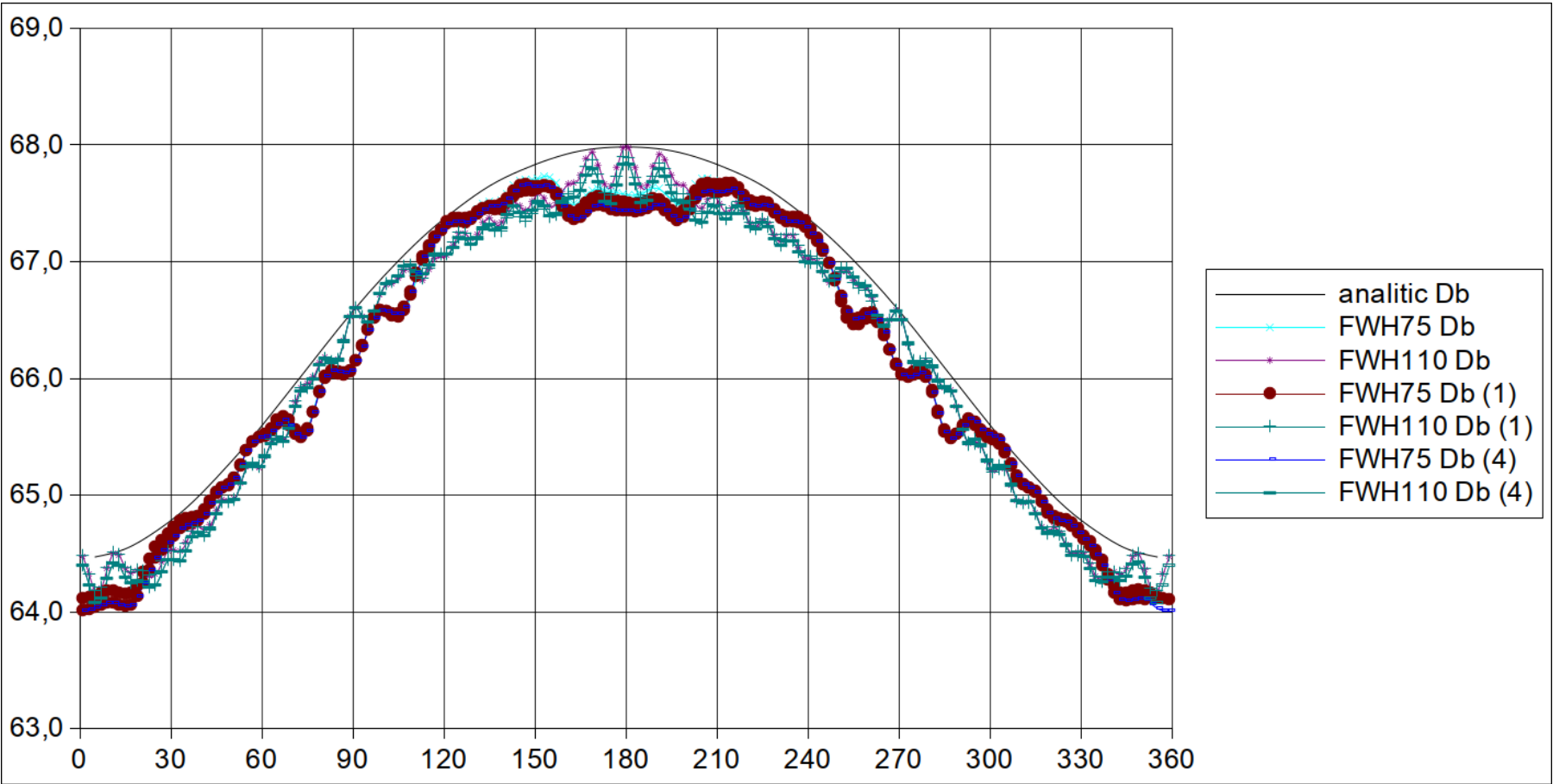
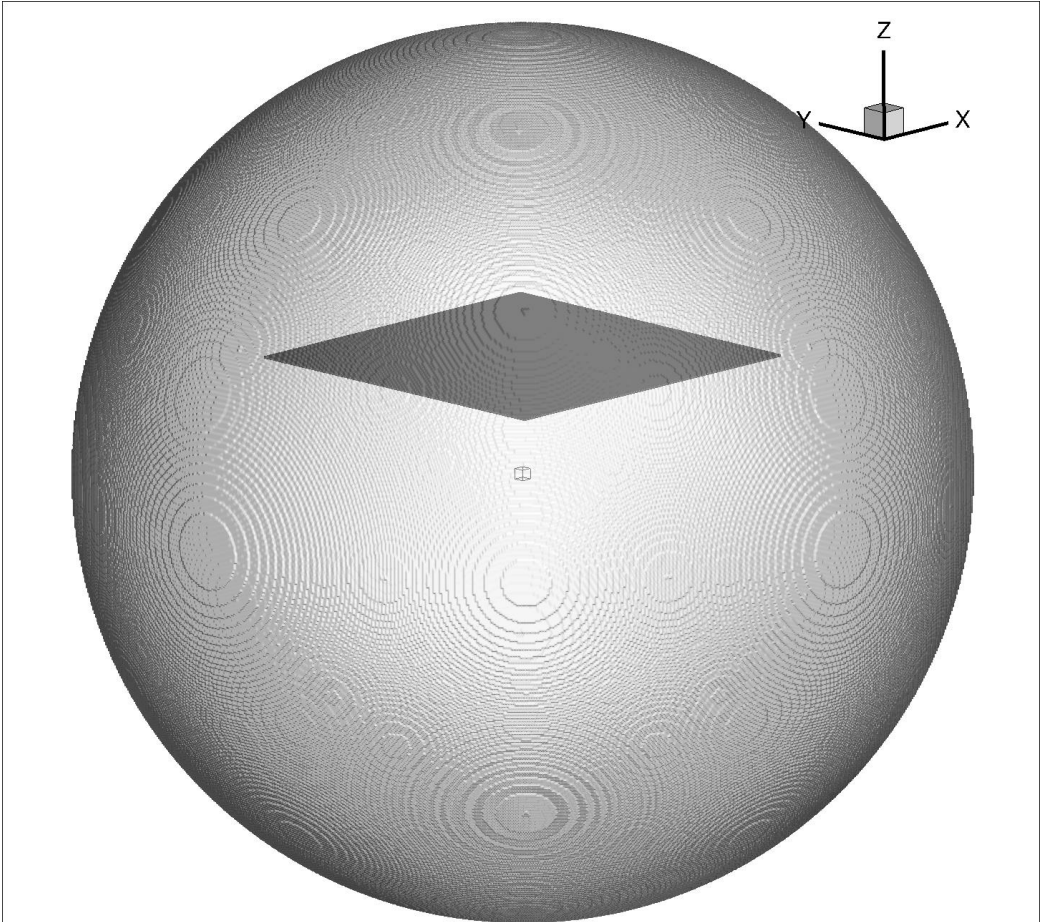
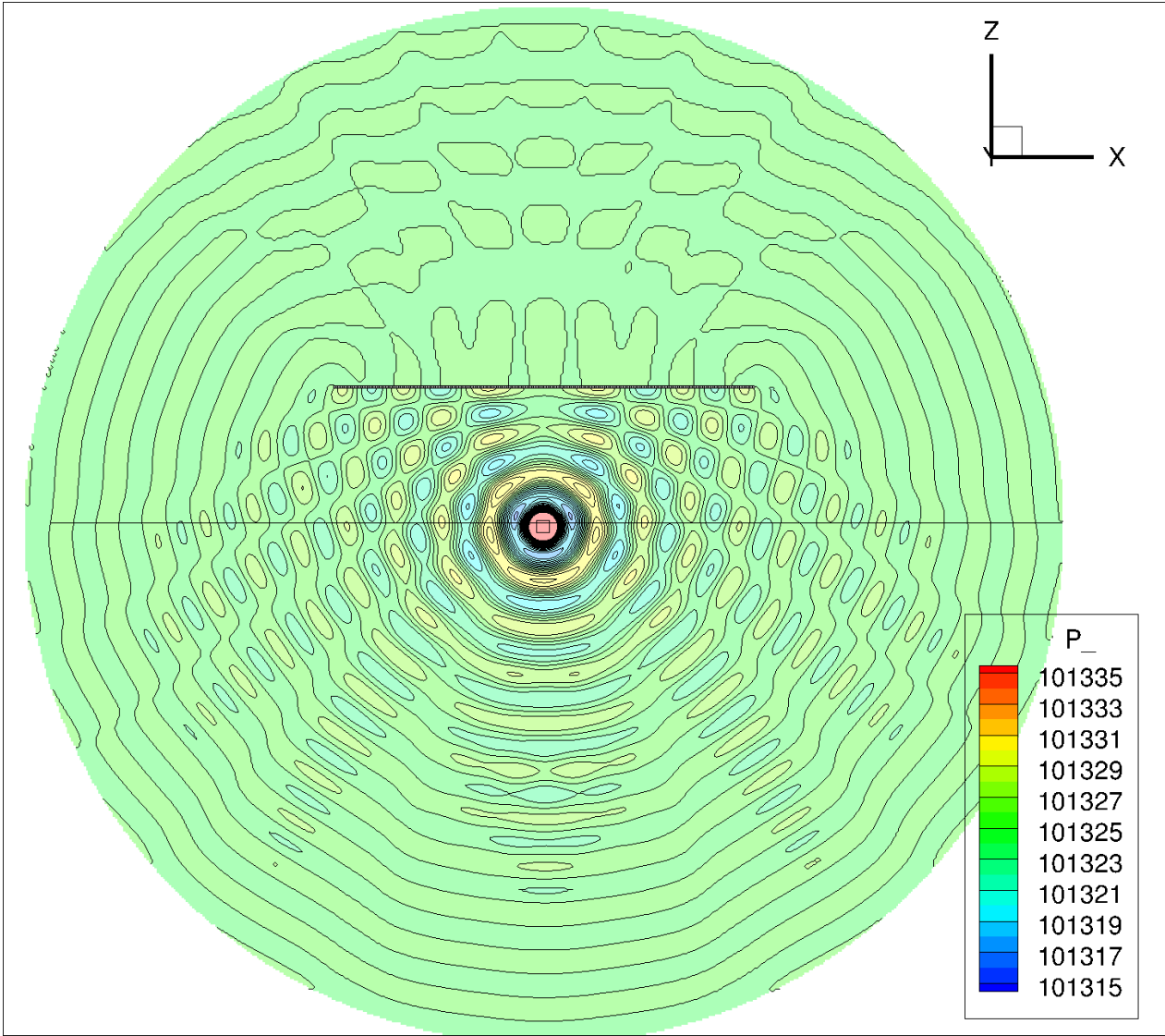


Диаграмма направленности



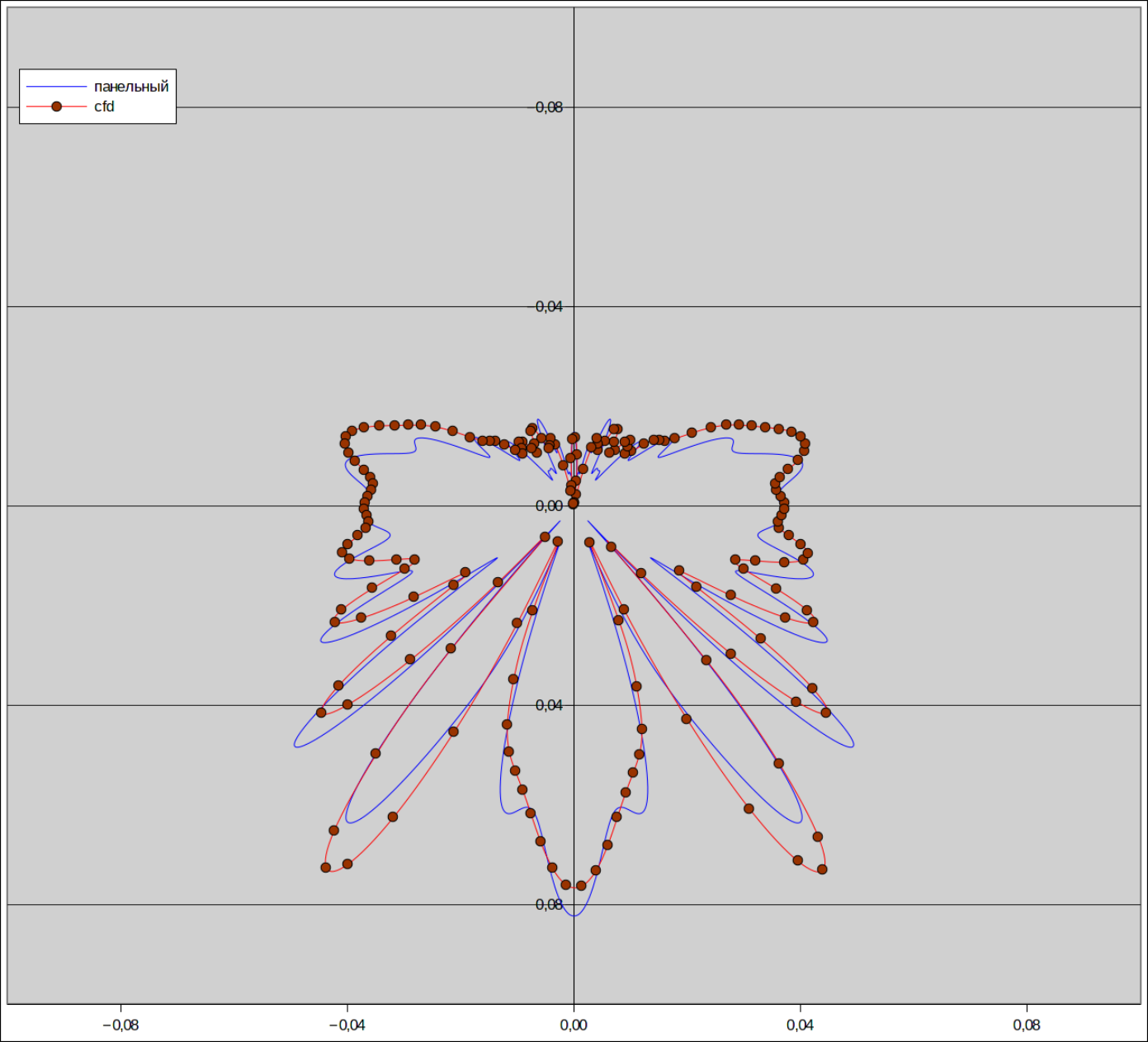
Источник (монополь) 3000 Гц в центре
сферы шаг основной сетки 0.005 м
~71*10⁶ ячеек
Экран 1х1 м.
На расстоянии 0.33 м





Сравнение диаграмм направленности

CFD и панельный метод (Грачёва А.В. и Реент К.С.)



- Произведена доработка расчётной программы для работы с многоуровневыми декартовыми сетками
- Создан эффективный модуль для построения многоуровневых декартовых сеток
- Проведены ряд тестов
- Результаты расчётов показали отсутствие влияния сгущений на акустические характеристики течений

Спасибо за внимание