

**Институт математического моделирования
Российской академии наук**

**Визуализация в
распределенных системах**

М.В.Якобовский

mail: lira@imamod.ru

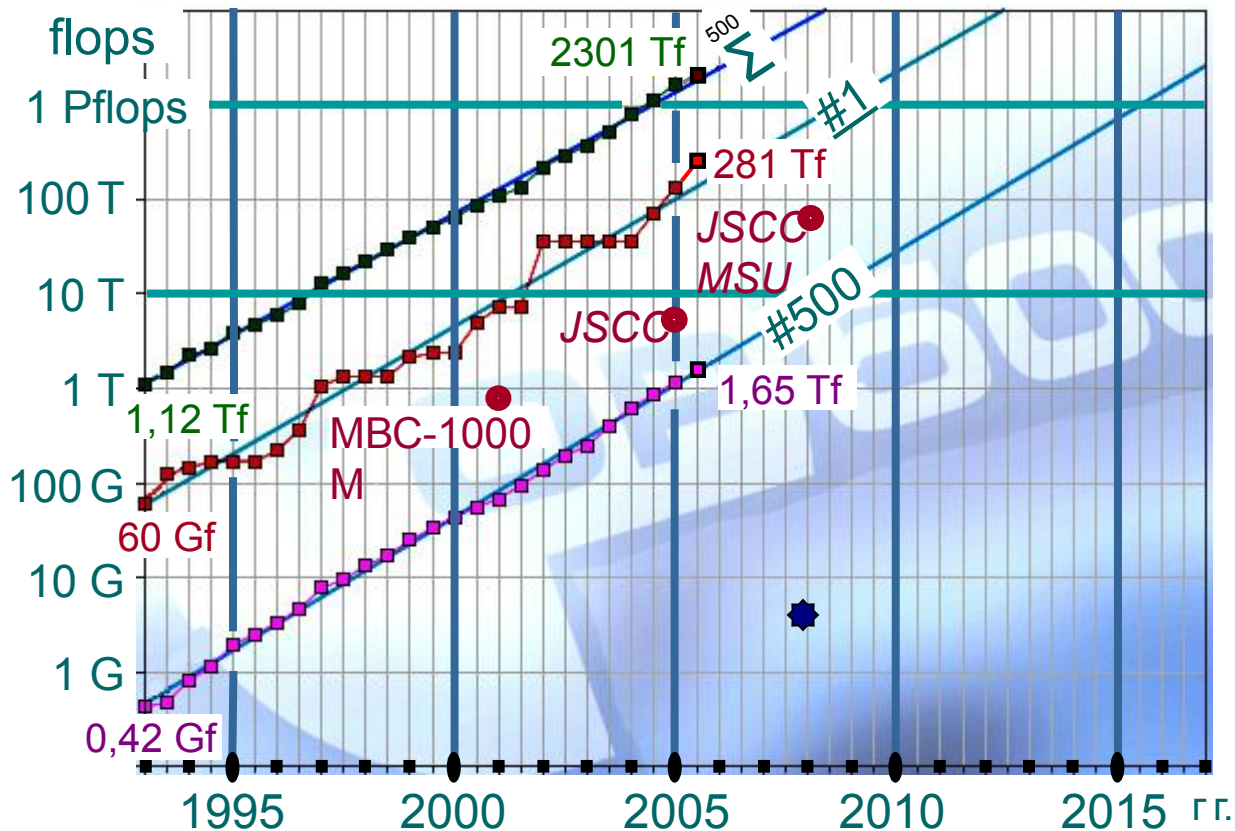
web: <http://lira.imamod.ru>

Нижний Новгород

2009

Особенности момента

- Потребность в суперкомпьютерах высока
- Эффективность использования суперкомпьютеров низка:
 - Использование каждого ядра последовательной программой составляет проценты и доли процентов
 - Обмены, синхронизация и другие дополнительные операции ещё снижают эффективность параллельной программы
- Есть **минимальный** объем вычислений на процессорное ядро, определяющий **максимальное число используемых ядер**
- За счет **многопроцессорности** проблематично **сокращать время** моделирования физического процесса, но можно повышать **сложность решаемой задачи**, например за счет увеличения размеров и детальности представления изучаемых объектов

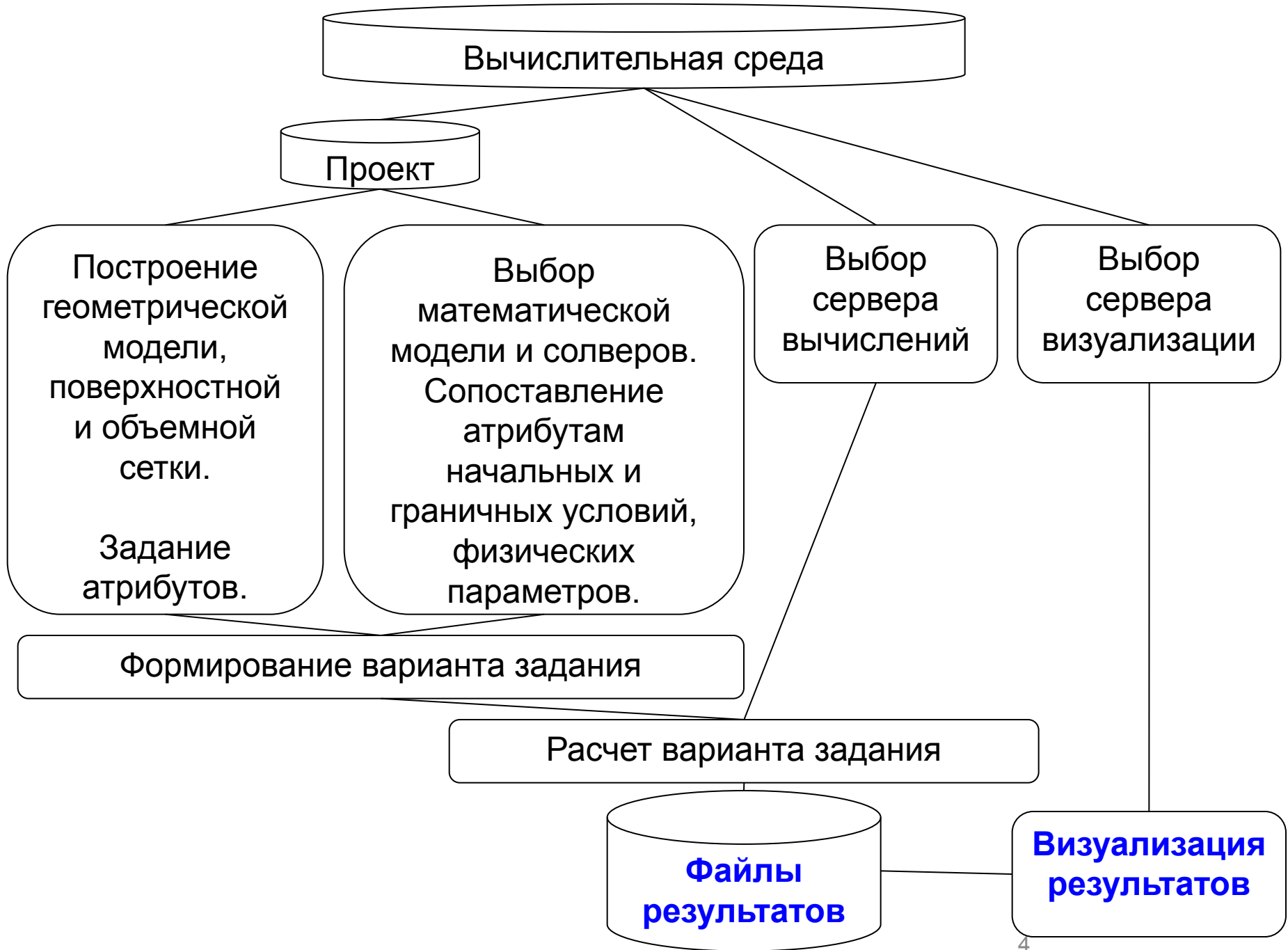


- Оперативная память
- Кеш
- Операционные устройства
- Множественный доступ
- Бета-тестер

Workstation: 1/100 000

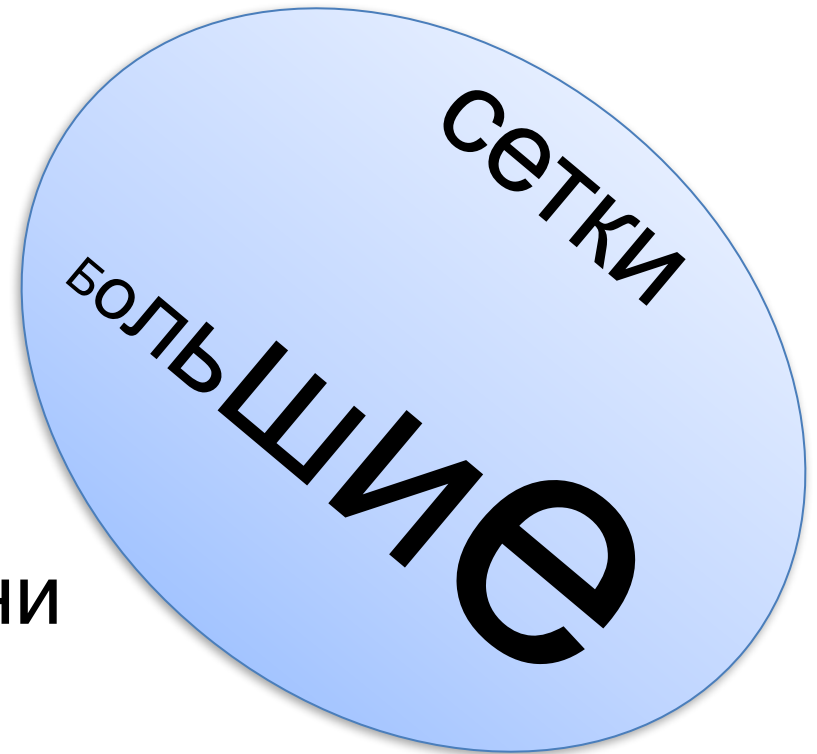
TOP 500





Визуализация

- Скалярные
- Векторные
- Стационарные
- Зависящие от времени
- Решетки
- Треугольные и тетраэдральные сетки



Этапы визуализации

Запись

Сетка

Сеточная функция

Чтение

Формирование объектов виртуальной
сцены

Отображение

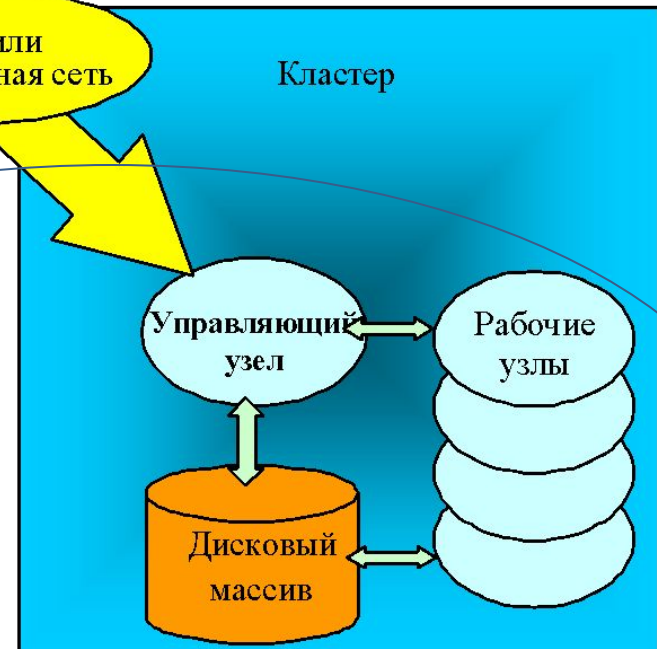
Аппроксимация и потоковая обработка

- Отображение



- Копирование всех данных
- Чтение
- Формирование сцены

- Расчет
- Запись результатов



- Чтение
- Формирование сцены

Клиент-серверная технология

TecPlot
Origin

VISIT ParaView
EnSight OpenDX

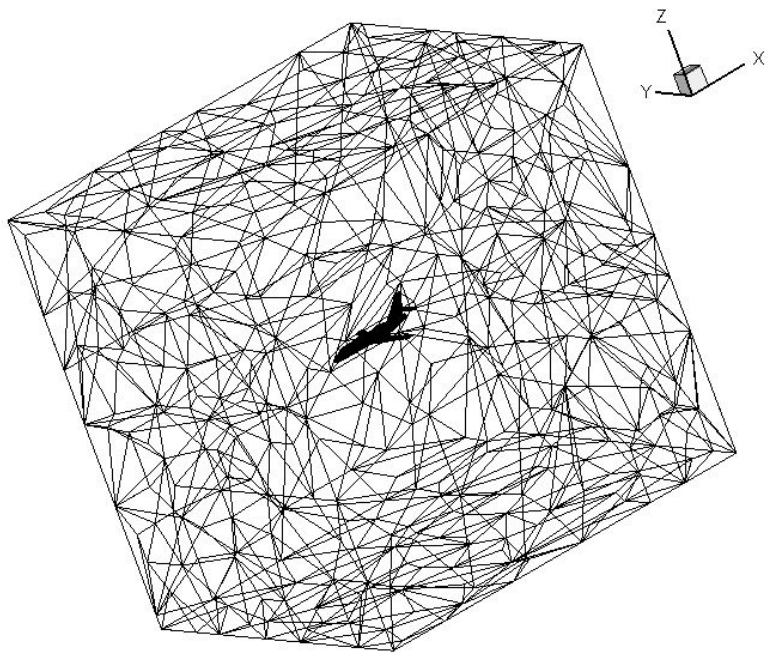
Методы

- Распределенное иерархическое хранение
- Декомпозиция
- Огрубление с контролируемой точностью
- Клиент-серверная технология

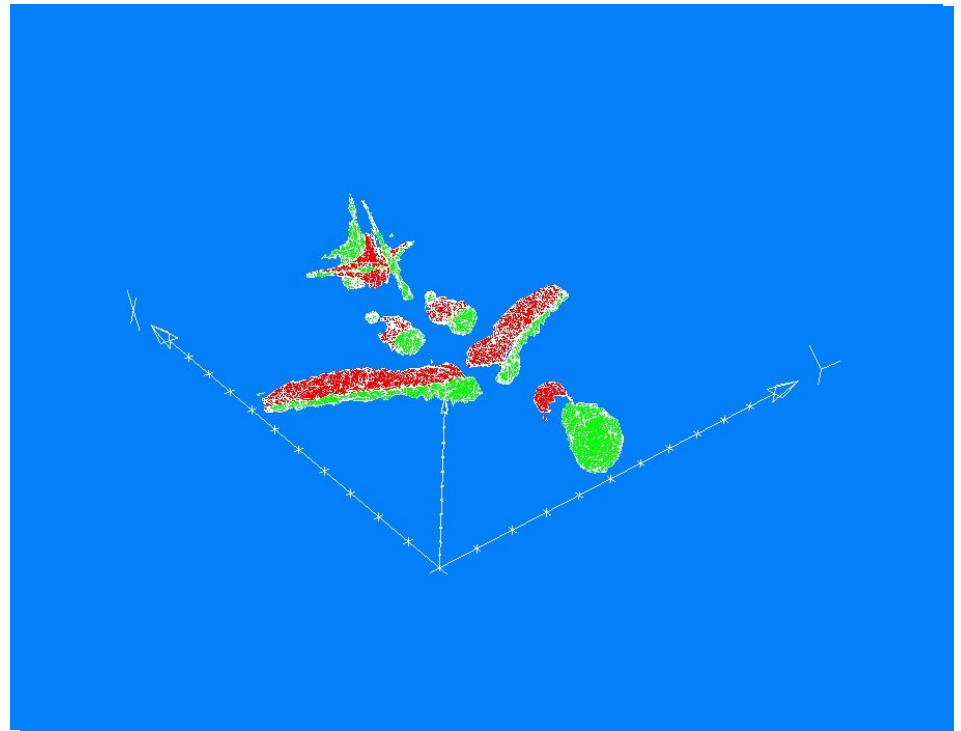
- Поточковая обработка
- Хранение образов

Обтекание самолета

Сетка

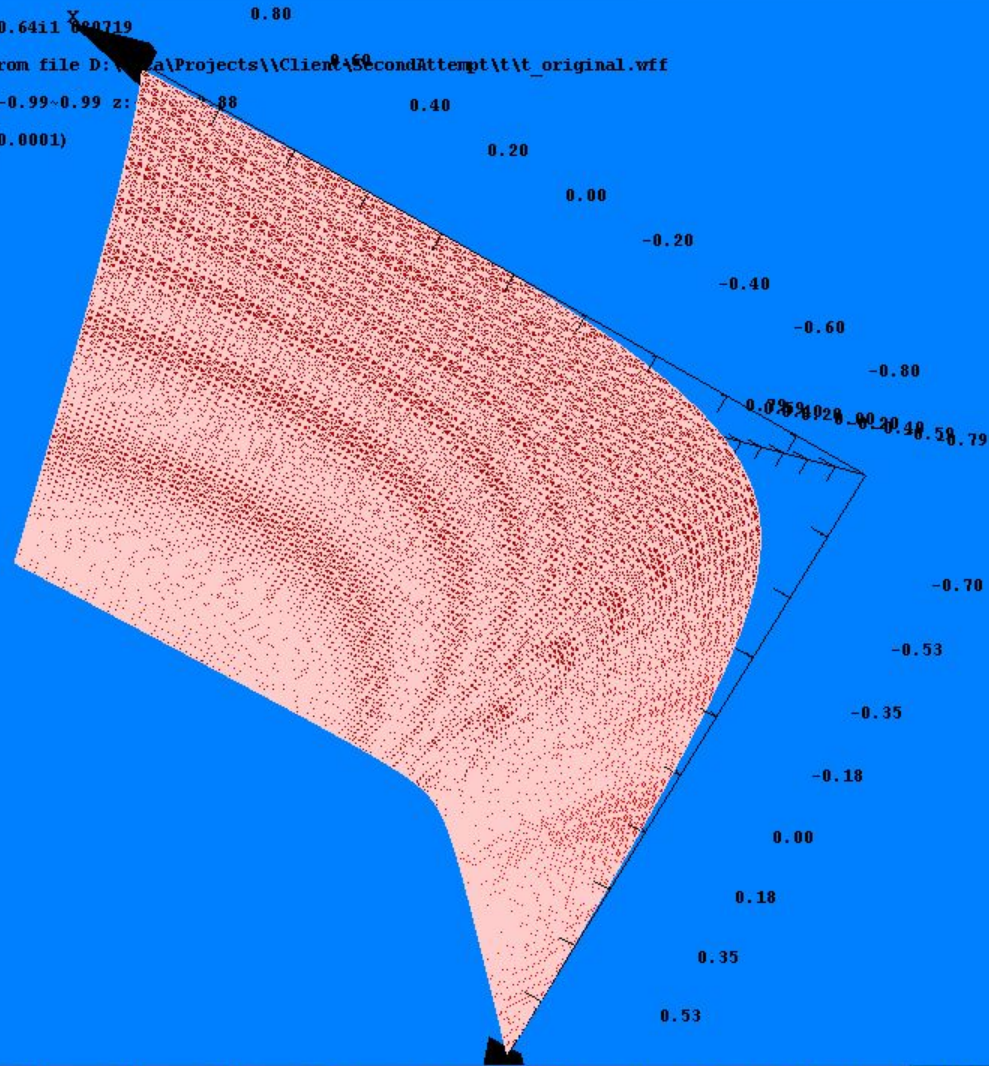


Изоповерхности



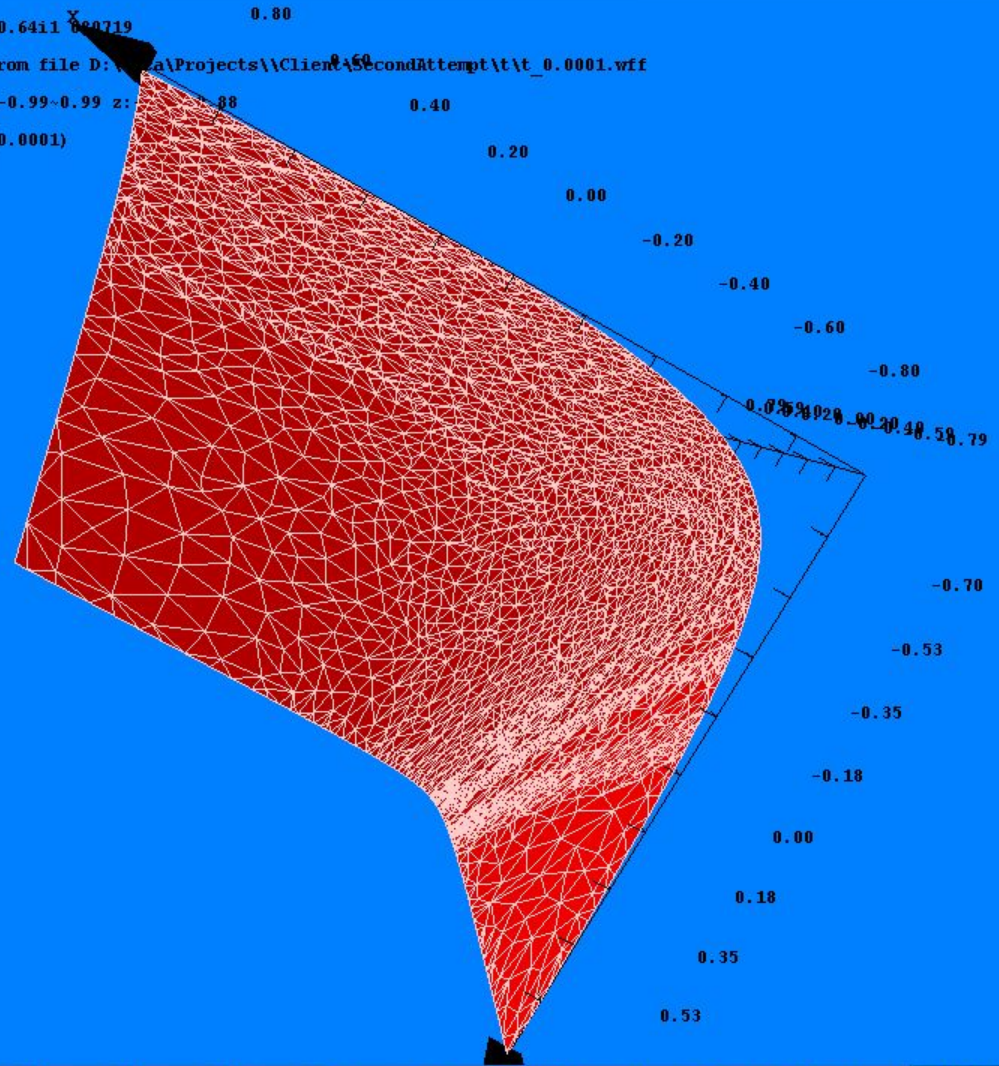


OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\5\secondAttempt\t\t_original.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



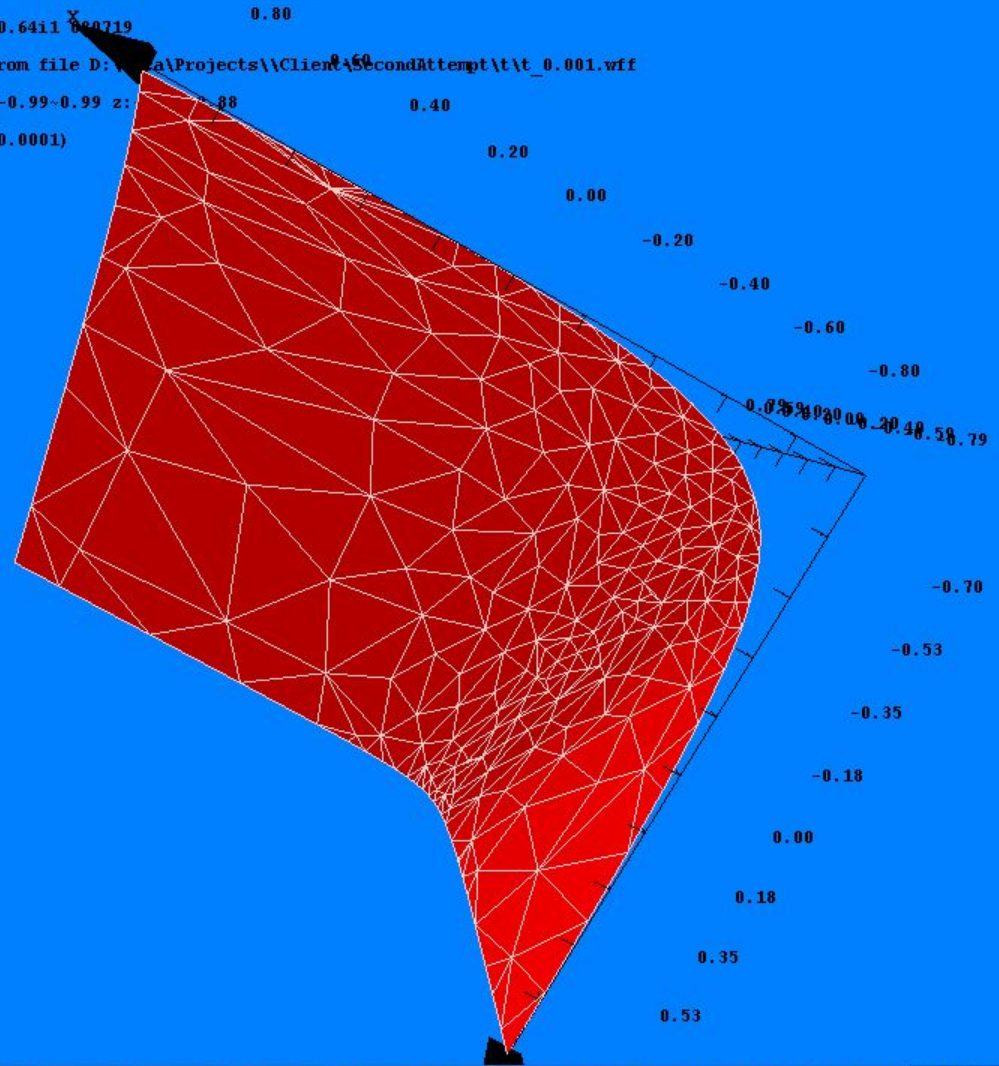


OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.0001.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



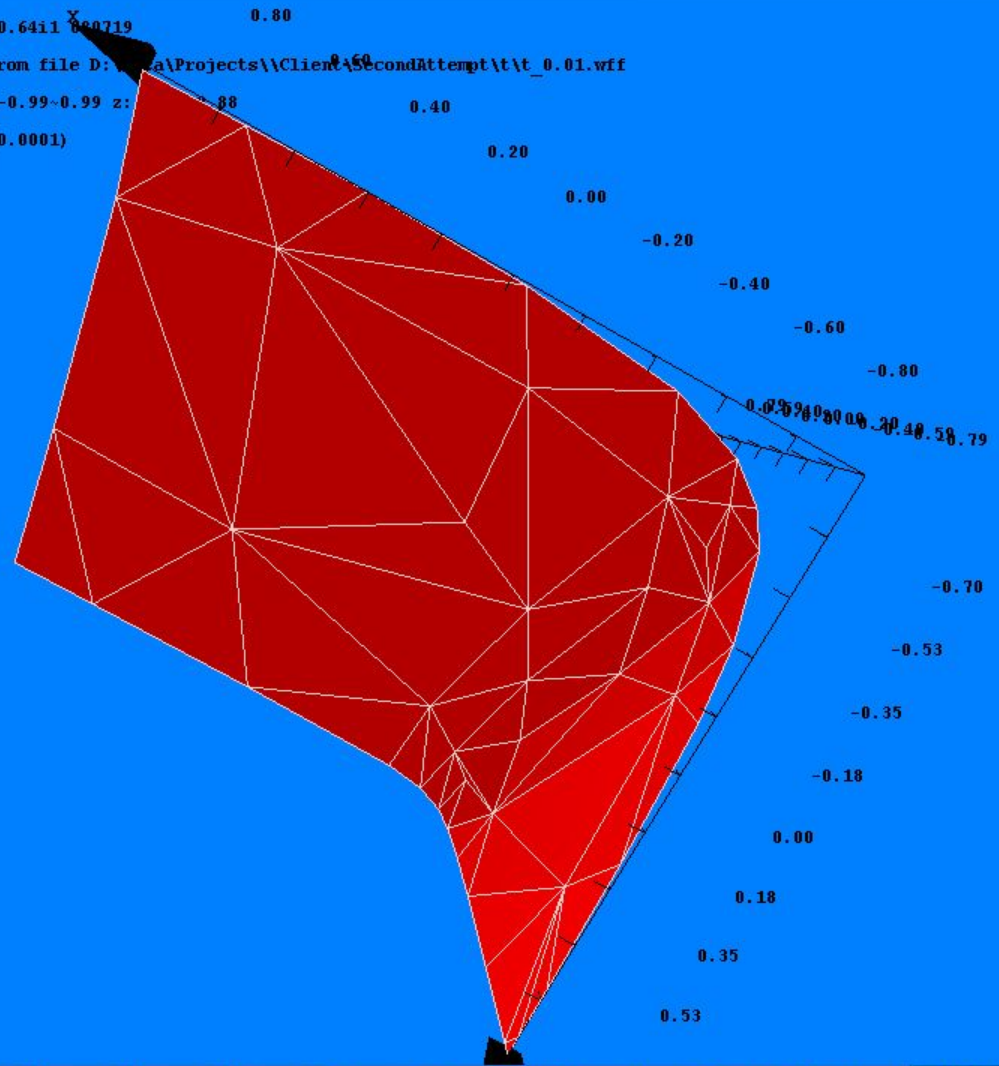


OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.001.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



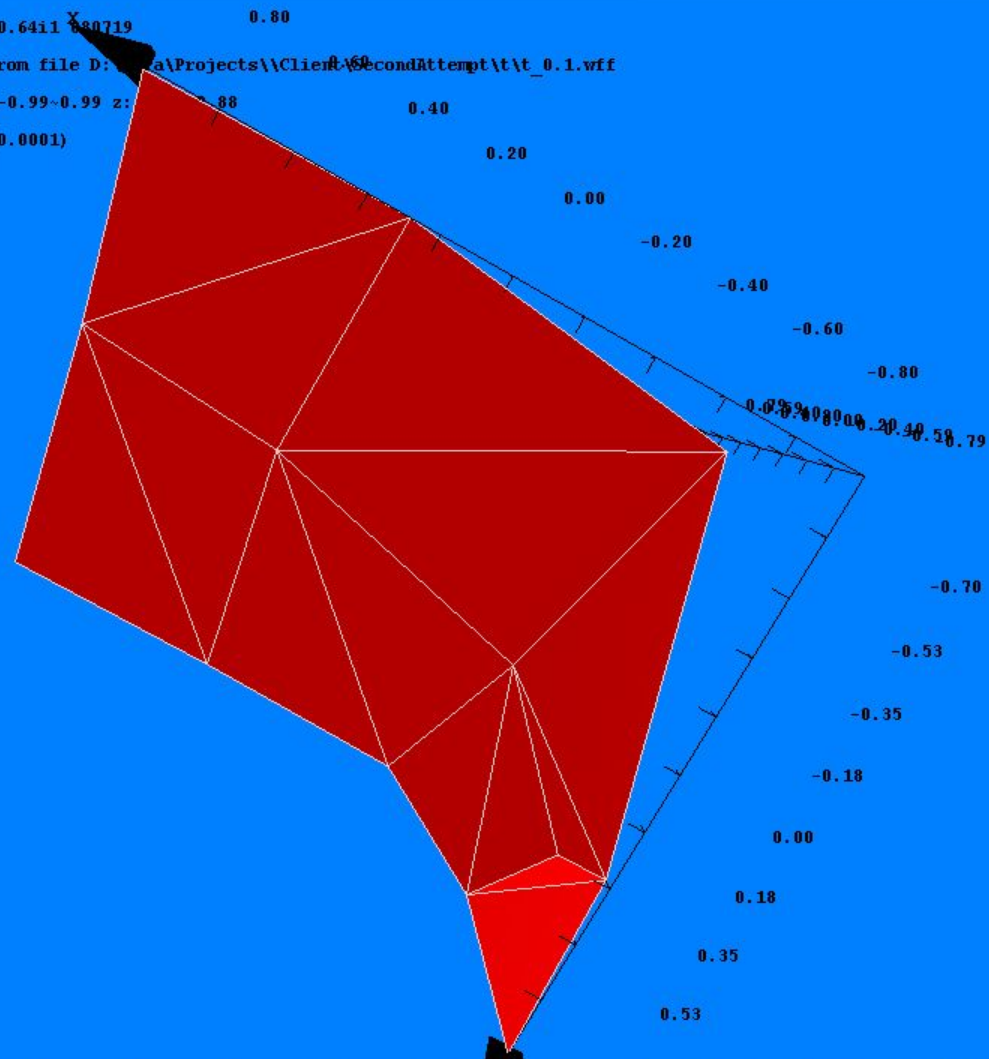


OpenGL Engine v0.6411 0.80719 0.80
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.01.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



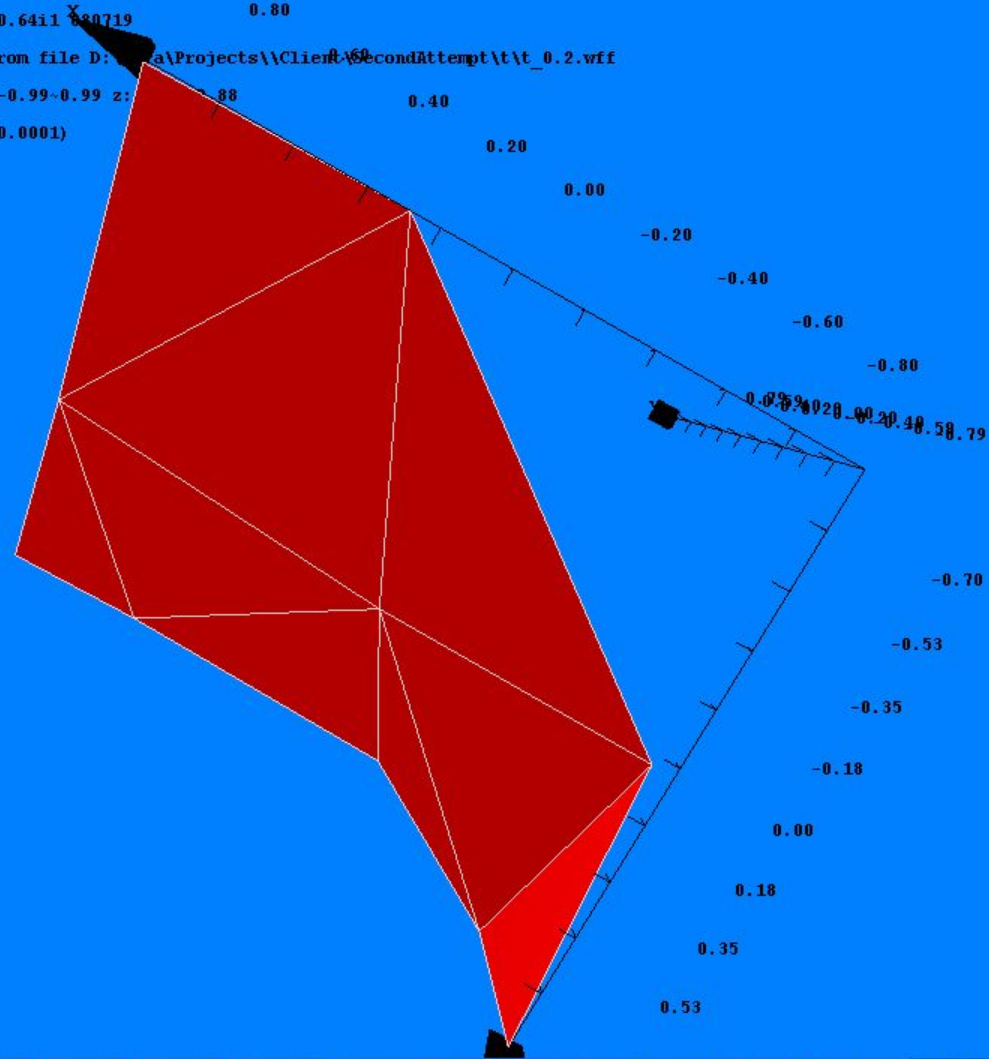


OpenGL Engine v0.6411 380719 0.80
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.1.vff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



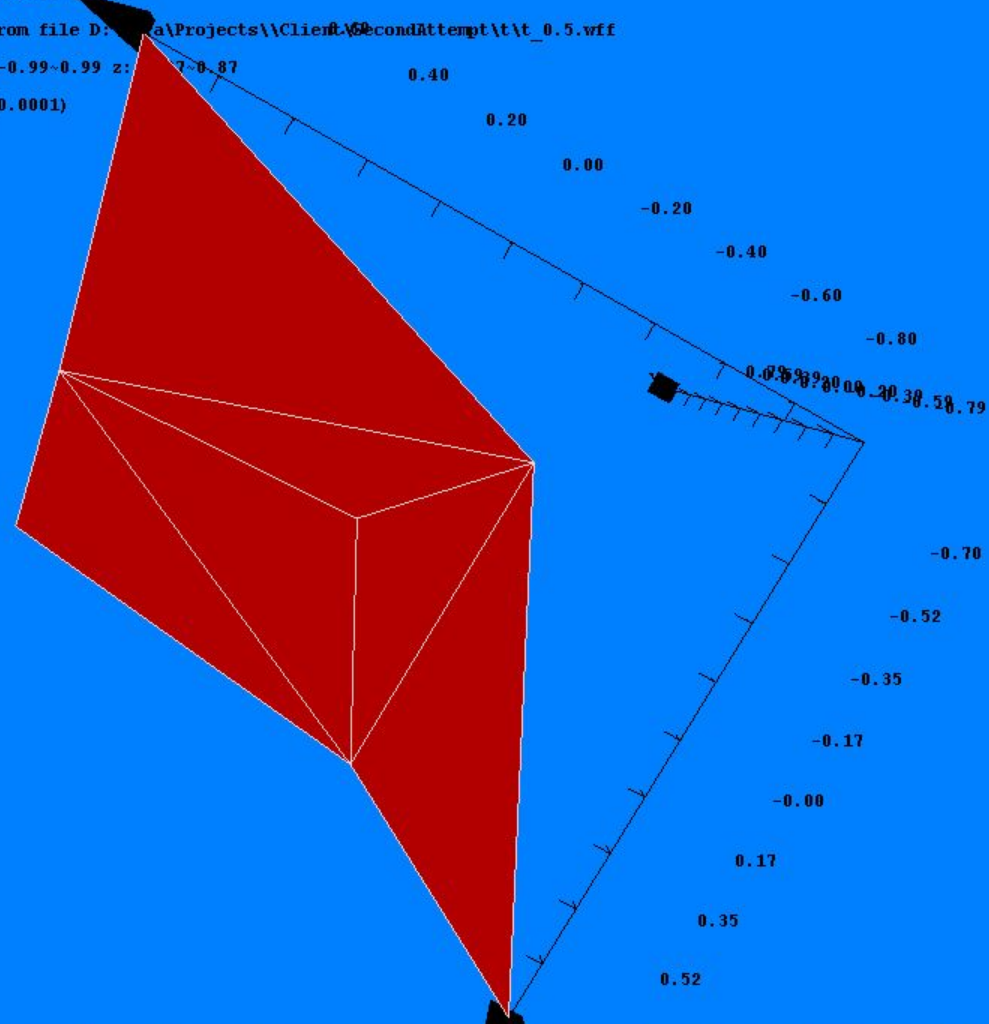


OpenGL Engine v0.6411 380719 0.80
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.2.vff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



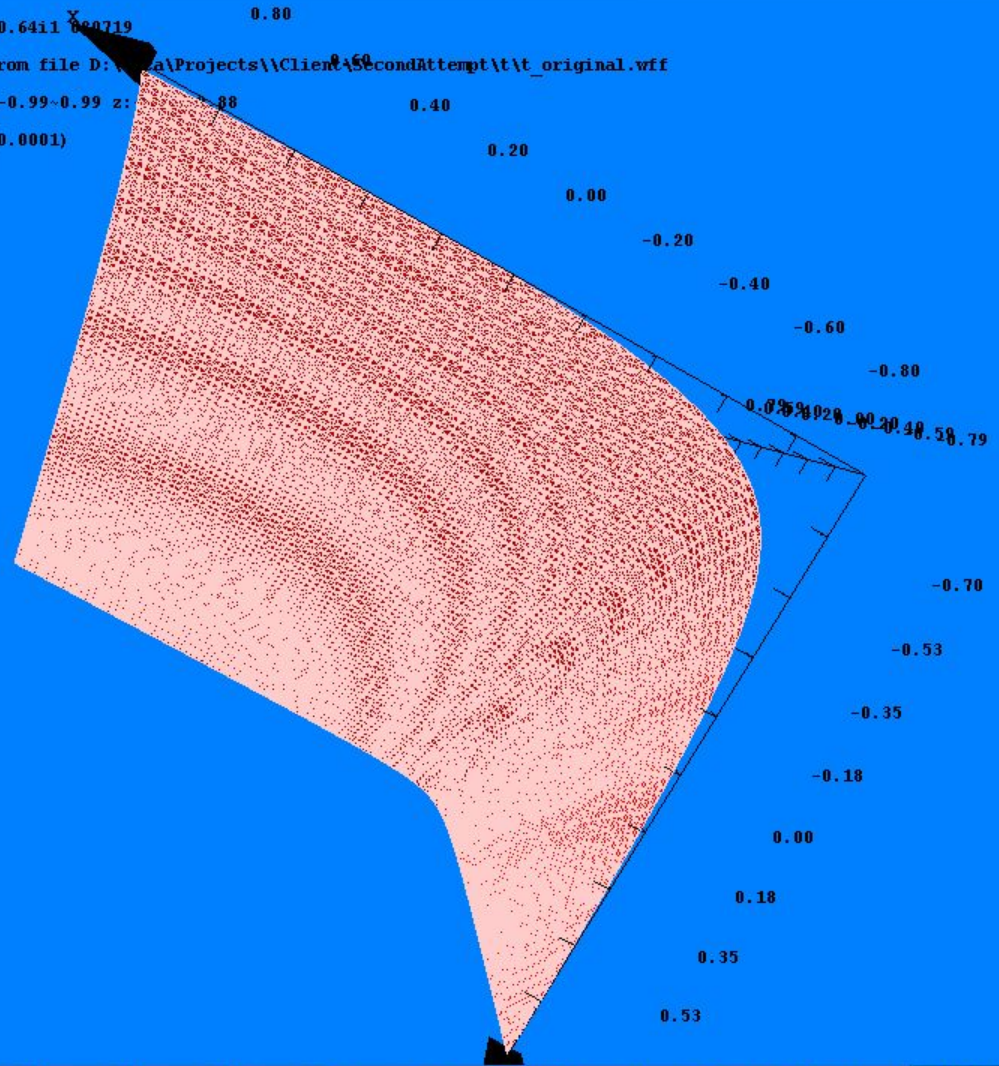


OpenGL Engine v0.6411 X:80719 0.80
Data loaded from file D:\a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.5.vff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 7.0.87 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)





OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\5\secondAttempt\t\t_original.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)

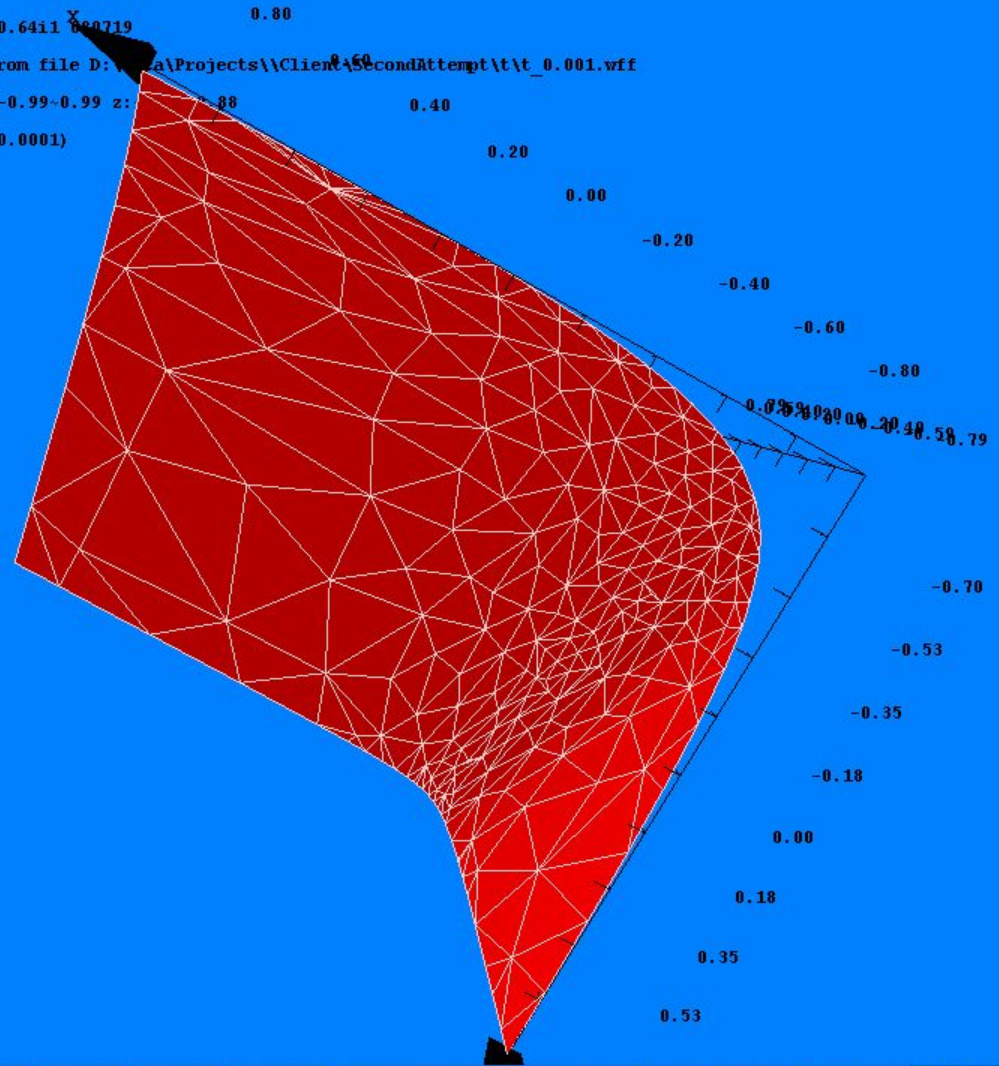




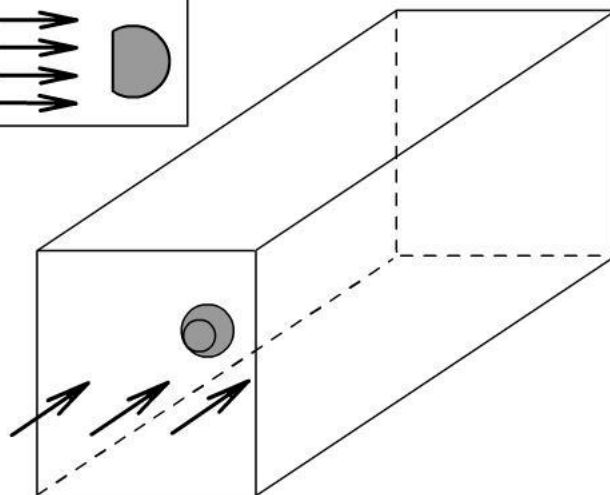
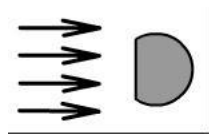
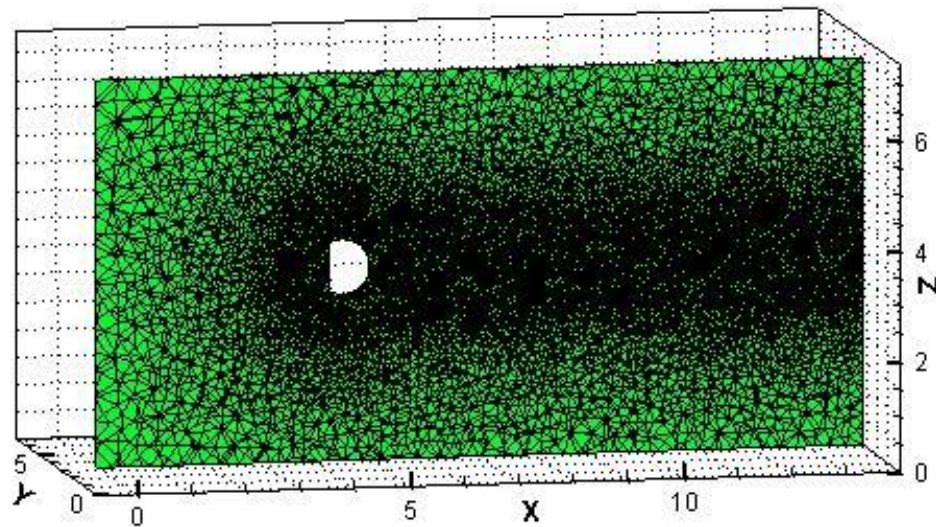
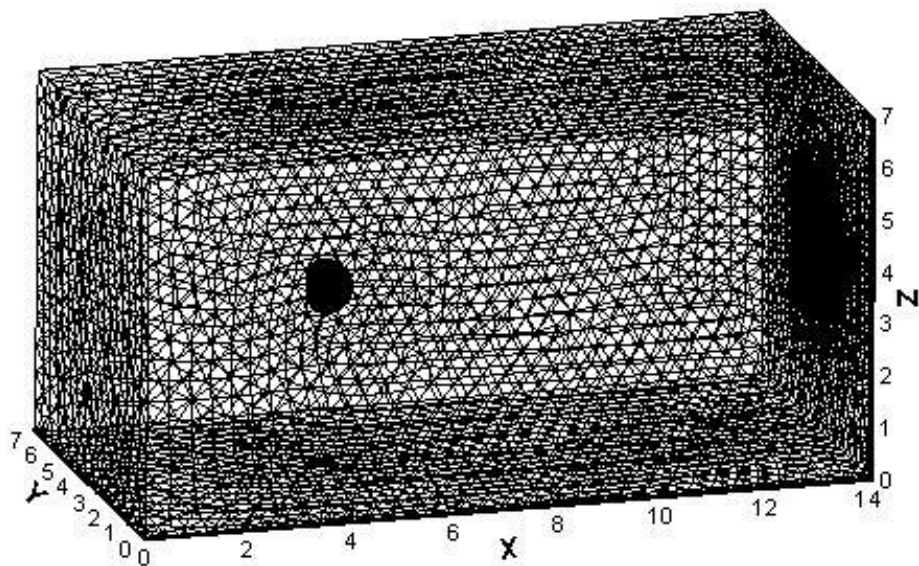
```

OpenGL Engine v0.6411 0.80719
# Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.001.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z:
f0=-0.3 Coarse(0.0001)

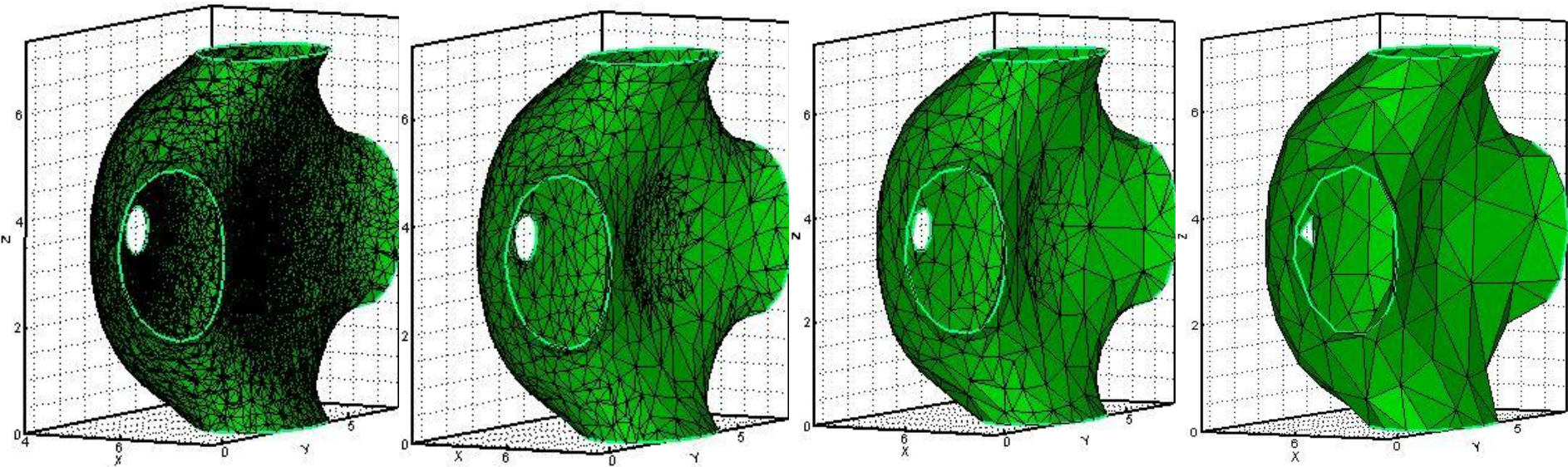
```



Расчетная сетка

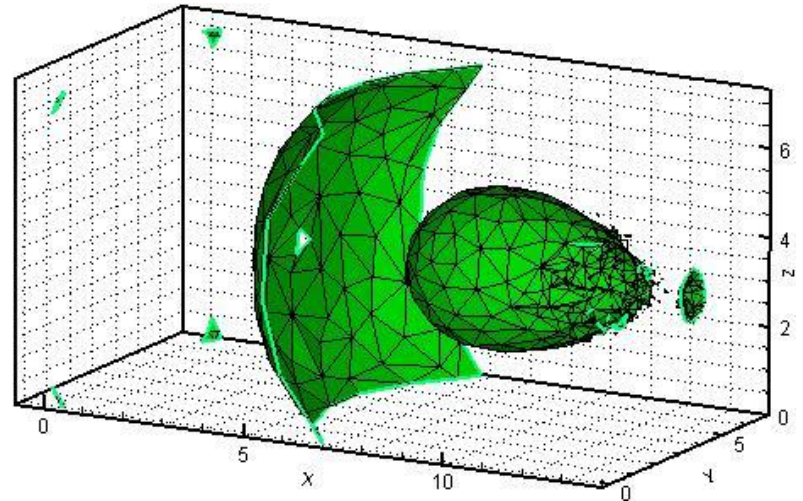
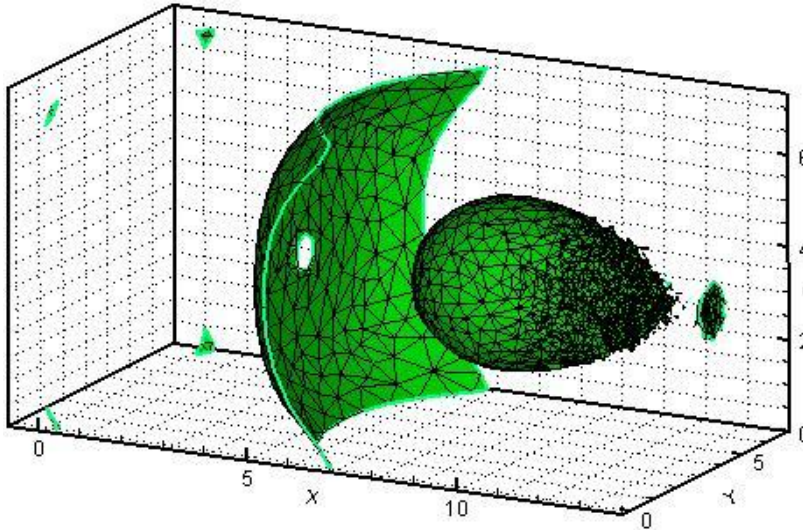
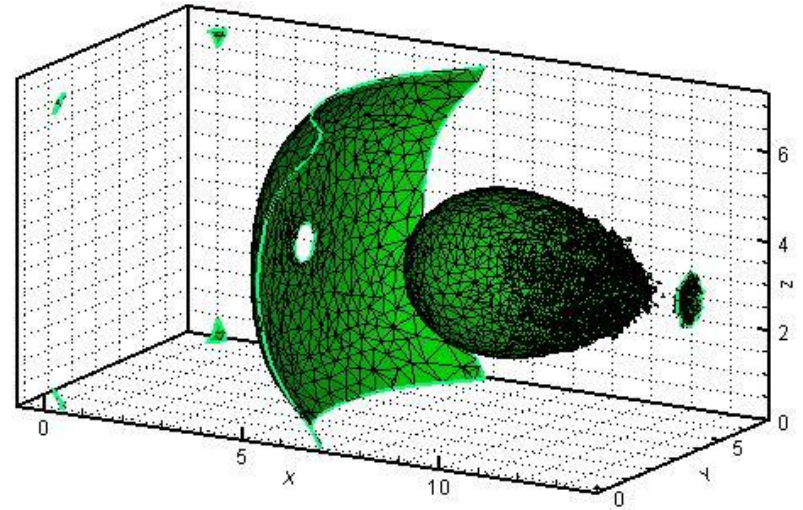
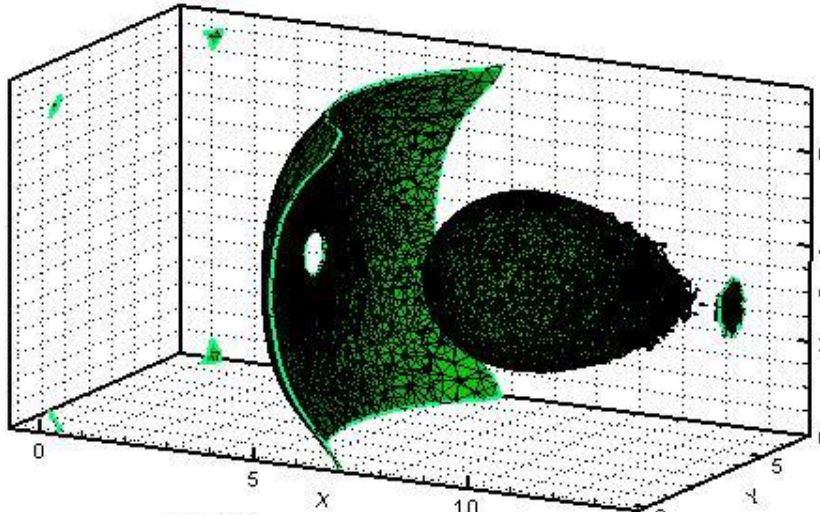


Огрубление поверхностей

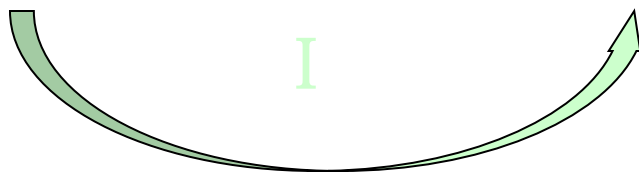
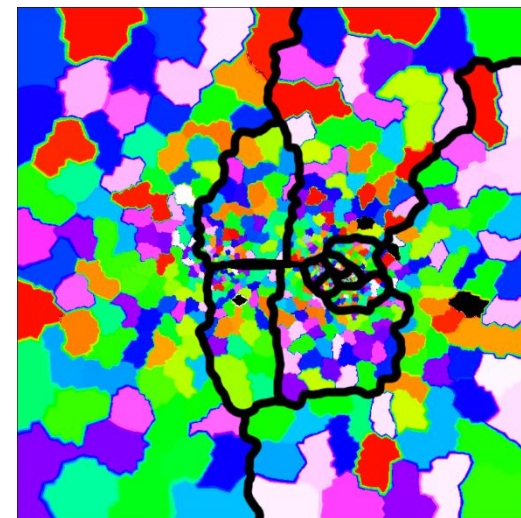
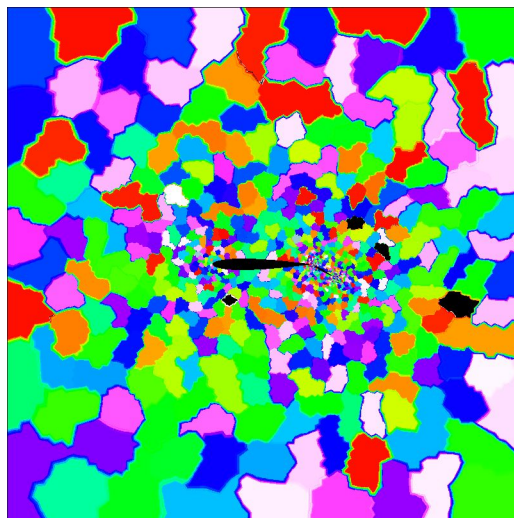
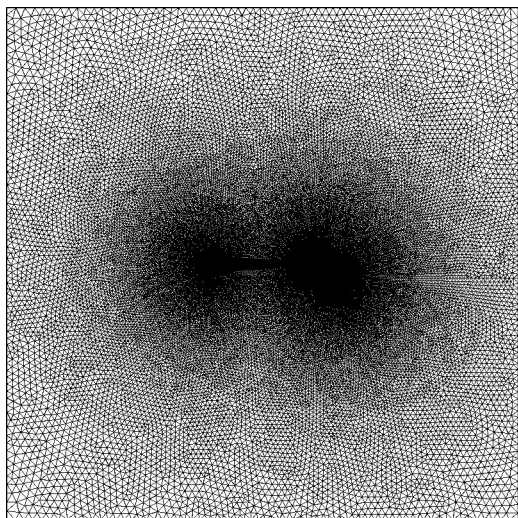


| Ошибка | Количество точек | Количество треугольников | Коэффициент сжатия |
|--------|------------------|--------------------------|--------------------|
| 0% | 13800 | 27357 | - |
| 0,1% | 1120 | 2117 | 12,9 |
| 0,2% | 447 | 808 | 33,9 |
| 0,5% | 175 | 304 | 90,0 |

Огрубление поверхностей



Двухуровневое разбиение



Сетка предварительно
разбивается на большое число
микродоменов,
образующих *макрограф*

Вершины макрографа
распределяются по
процессорам

Потоковая обработка

40 процессоров, полное чтение файла

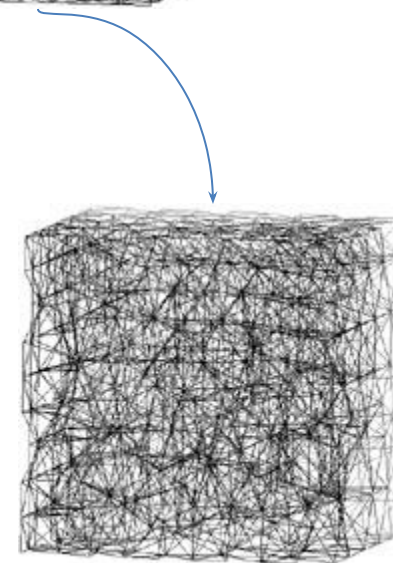
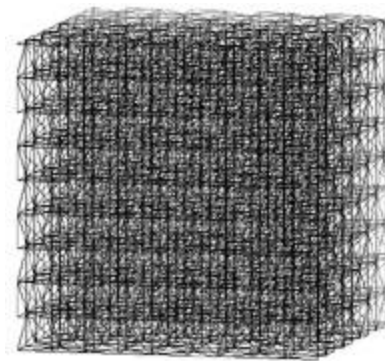
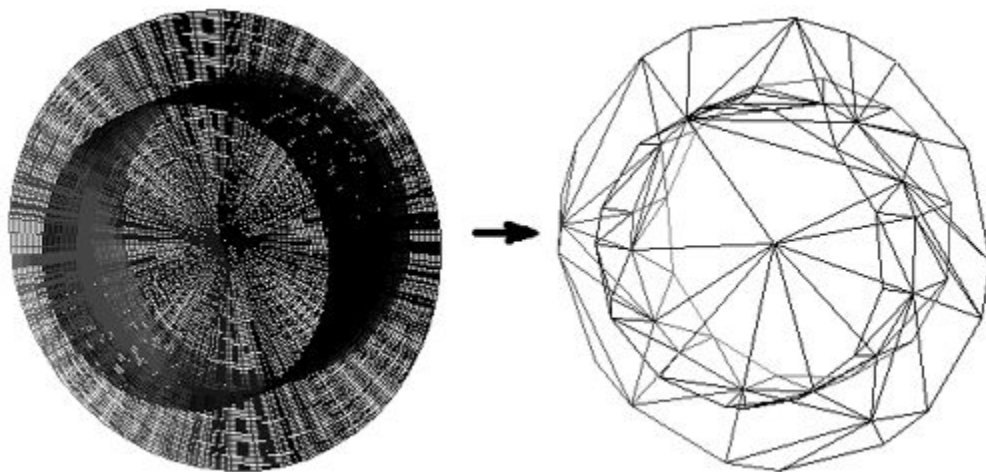
| Кол-во исходных точек | Время чтения файлов данных, мин:сек | Общее время работы, мин:сек | Кол-во полученных точек |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 100 млн. | 0:08 | 0:13 | 1 681 |
| 252 млн. | 4:38 | 36:51 | 3 010 |
| 512 млн. | 32:07 | Не хватило памяти | - |
| 1000 млн. | 56:54 | Не хватило памяти | - |

40 процессоров, чтение фрагментов файла

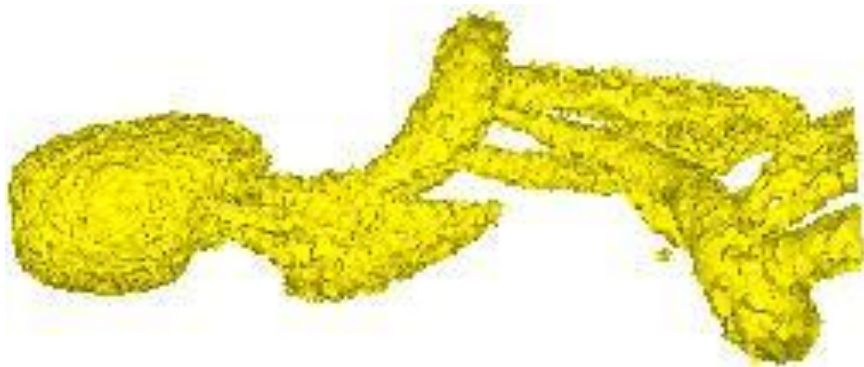
| Кол-во исходных точек регулярной сетки | Число фрагментов, на которые разбивался каждый файл | Общее время работы, мин:сек | Кол-во полученных точек изоповерхности |
|--|---|-----------------------------|--|
| 252 млн. | 1 | 24:51 | 2 997 |
| 252 млн. | 8 | 4:20 | 5 891 |
| 252 млн. | 64 | 0:14 | 11 198 |
| 512 млн. | 8 | 41:40 | 7 996 |
| 512 млн. | 27 | 0:25 | 10 997 |
| 512 млн. | 64 | 0:26 | 14 026 |
| 1000 млн. | 64 - 56:54 | 83:25 | 19 534 |
| 1000 млн. | 27 | 0:45 | 16 171 |
| 1000 млн. | 8 | 2:34 | 13 218 |

Изоповерхности

Ошибка аппроксимации 5%



Огрубление 3D-данных



| Точность | Кол-во точек | Кол-во тетр-в | Коэфф. сжатия | Время сжатия, с |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| 0% | 117 075 | 690 176 | - | - |
| 0,1% | 71 056 | 438 025 | 1,58 | 122 |
| 0,2% | 49 129 | 308 657 | 2,24 | 135 |
| 0,5% | 26 562 | 168 293 | 4,10 | 158 |
| 1% | 17 329 | 108 958 | 6,33 | 164 |
| 2% | 12 237 | 76 104 | 9,07 | 170 |

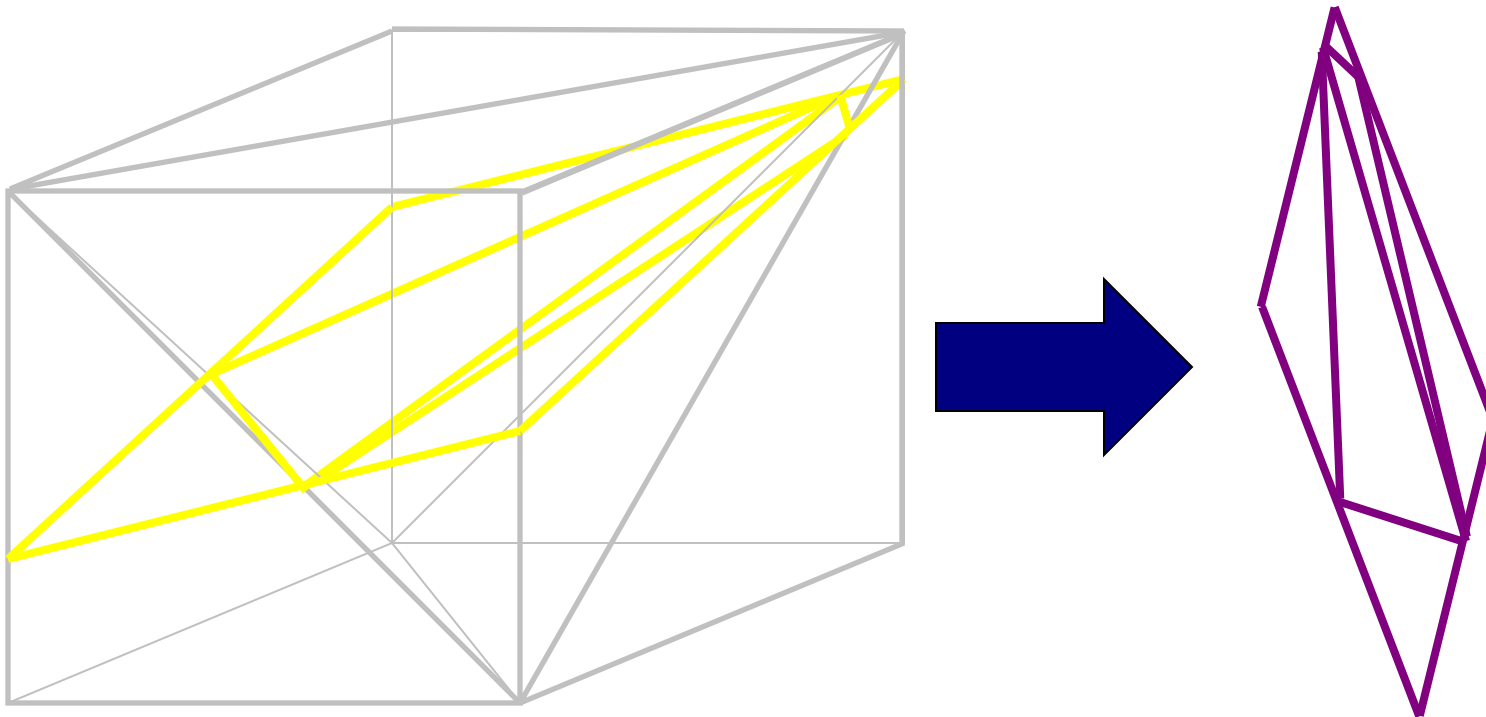
Огрубление 3D-данных



| Точность | Кол-во точек | Кол-во тетр-в | Коэфф. сжатия | Время сжатия, с |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| 0% | 7 397 060 | 44 171 264 | - | - |
| 0.1% | 997 156 | 6 585 761 | 6,71 | 290 |
| 0.2% | 625 410 | 4 132 691 | 10,7 | 242 |
| 0.5% | 453 981 | 2 988 355 | 14,8 | 235 |
| 1% | 418 145 | 2 751 040 | 16,1 | 223 |

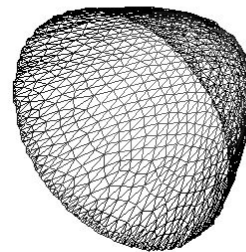
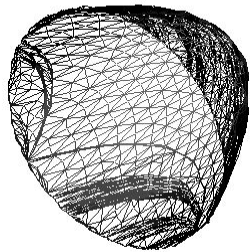
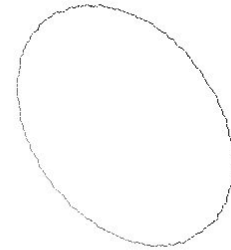
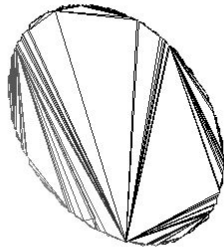
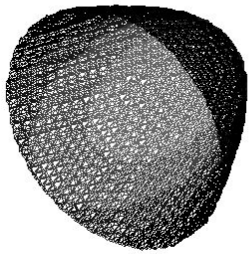
Сечение регулярной 3D сетки плоскостью

- В результате сечения регулярной кубической решетки получается фрагмент неструктурированной сетки



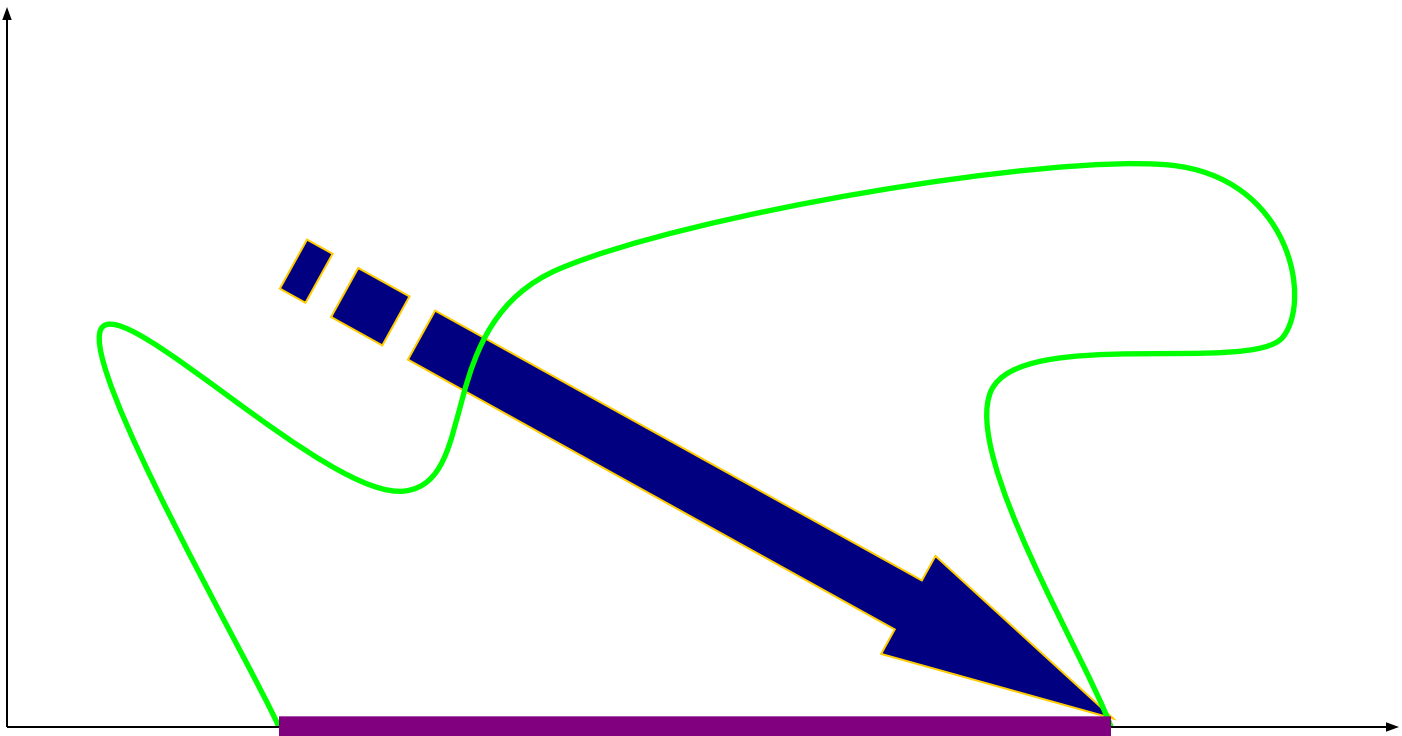
Аппроксимация триангулированных поверхностей

- Алгоритмы синтеза

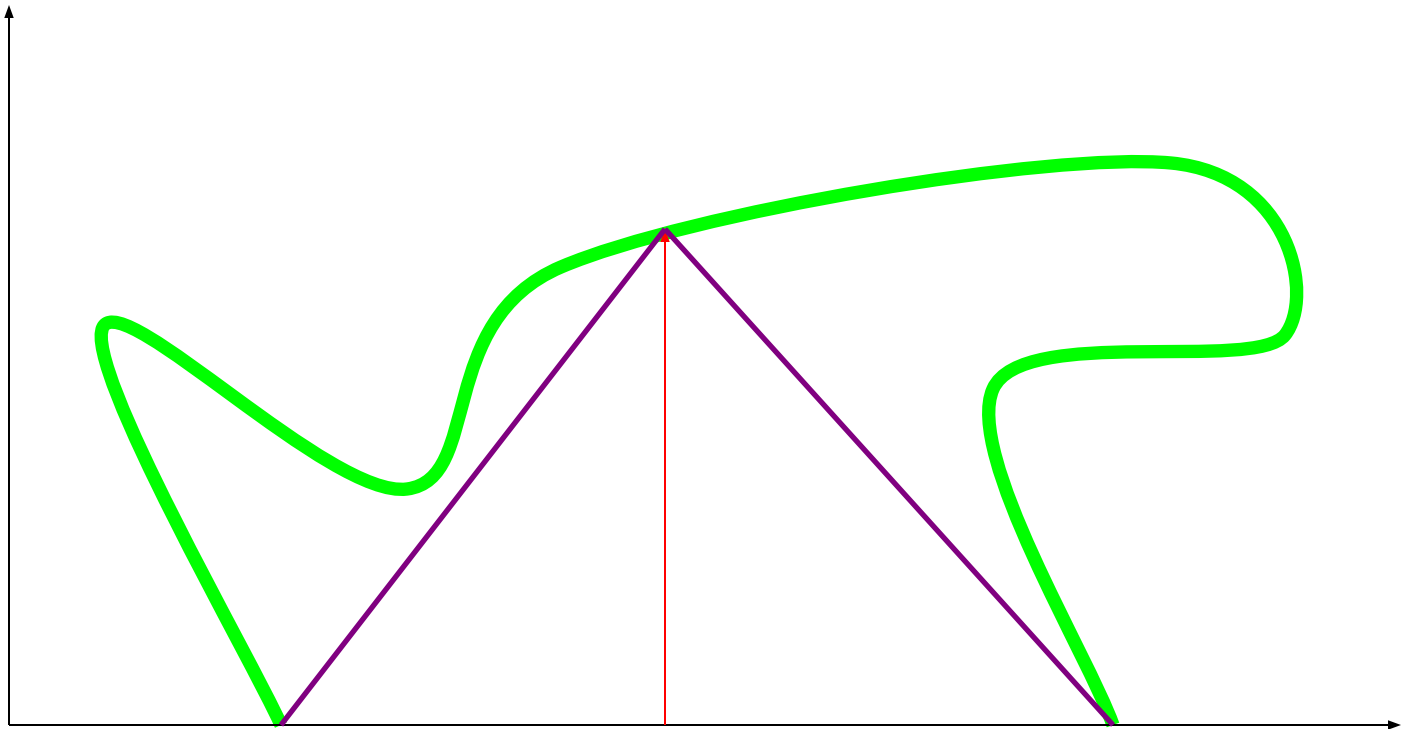


- Алгоритмы редуцирования

Начальная аппроксимация кривой

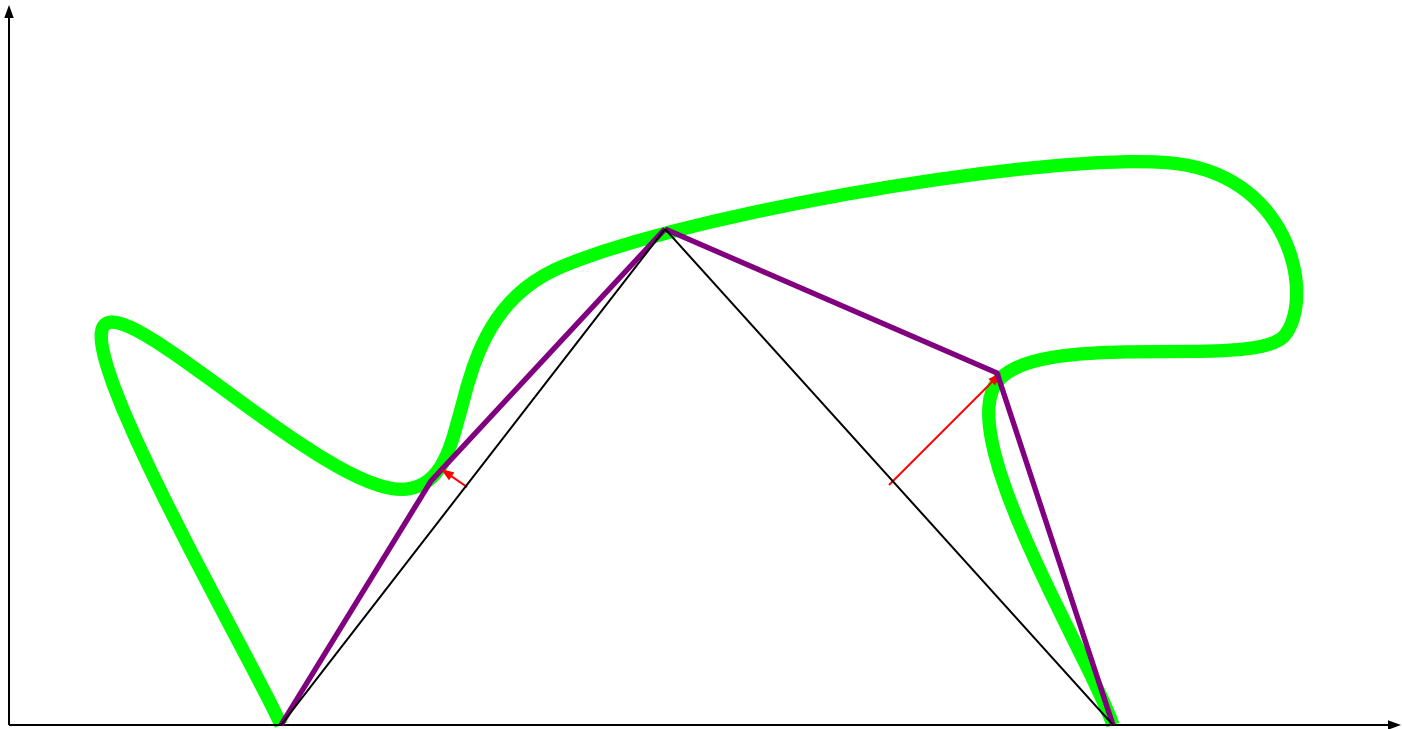


Аппроксимация кривой этап 2



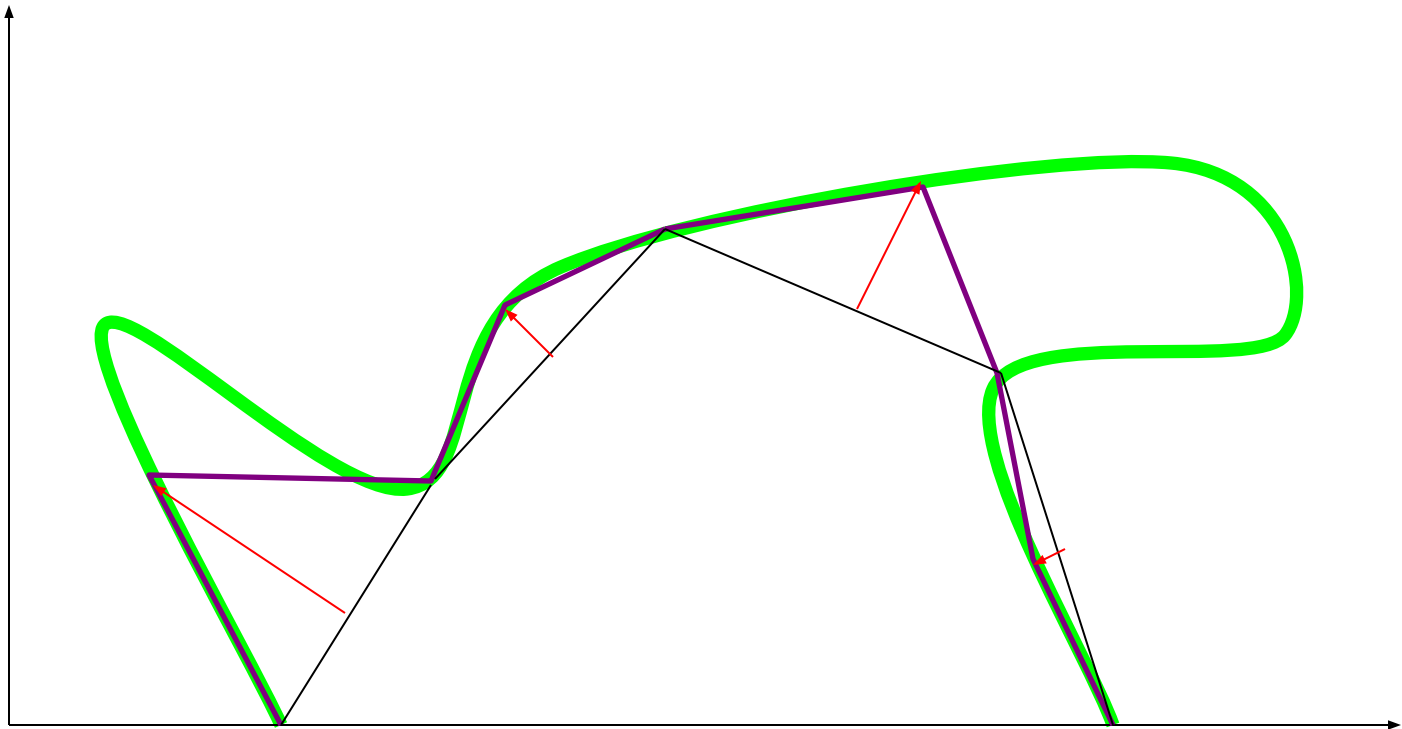
1 вектор

Аппроксимация кривой этап 3



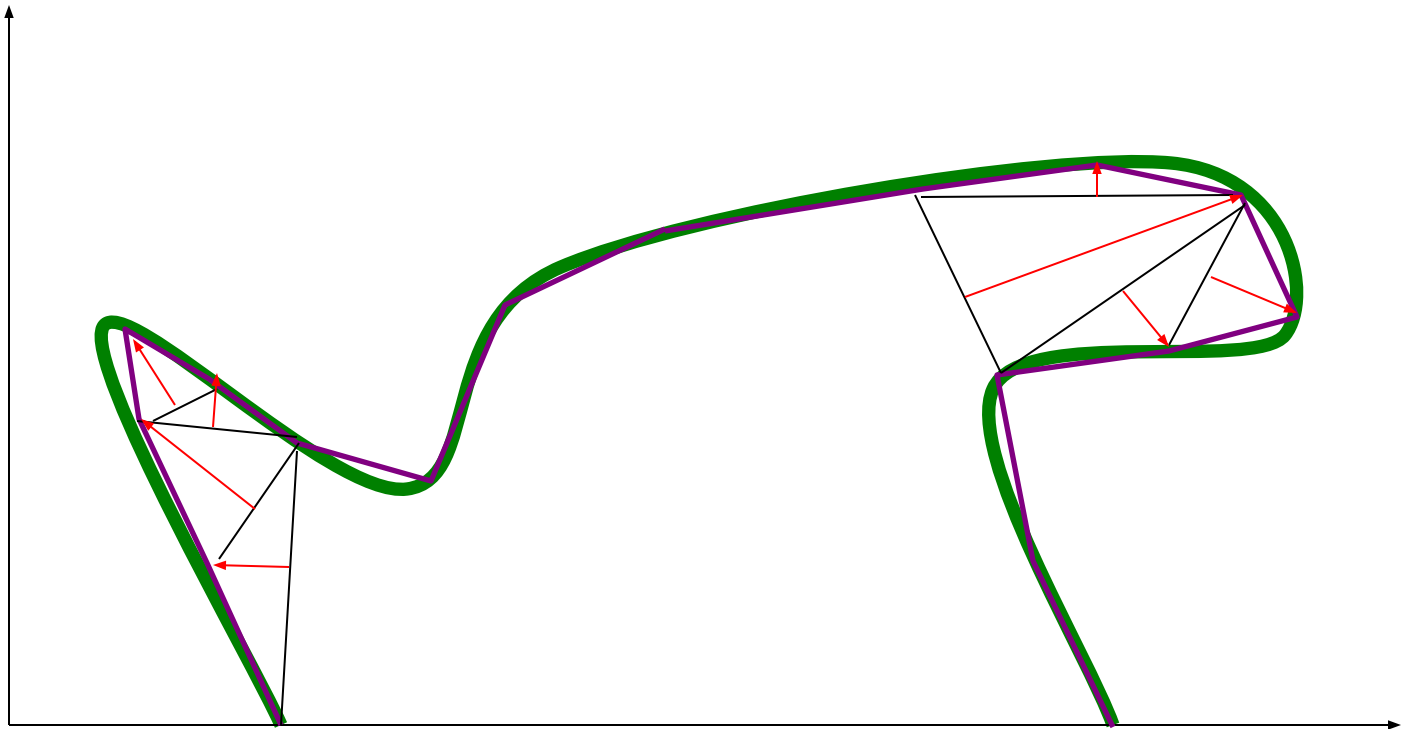
3 вектора

Аппроксимация кривой этап 4



7 векторов

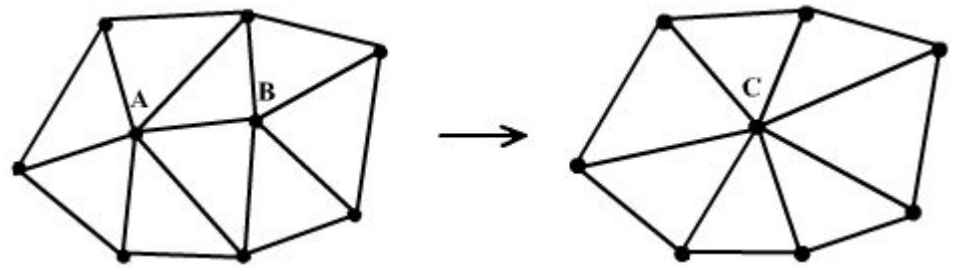
Аппроксимация кривой этап 5



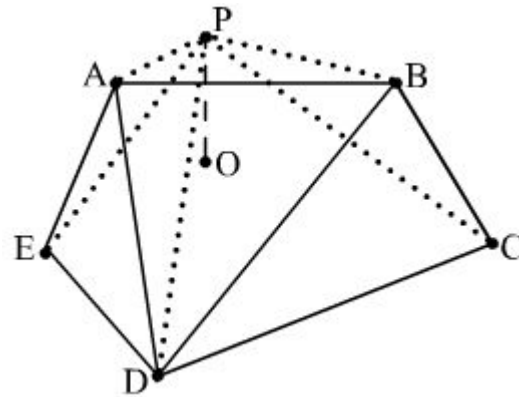
15 векторов

Методы редуцирования

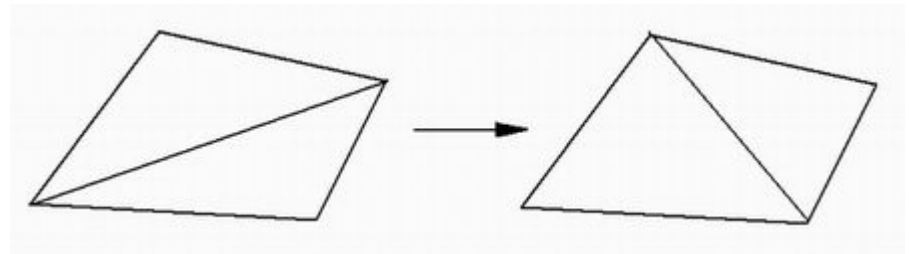
Удаление ребра



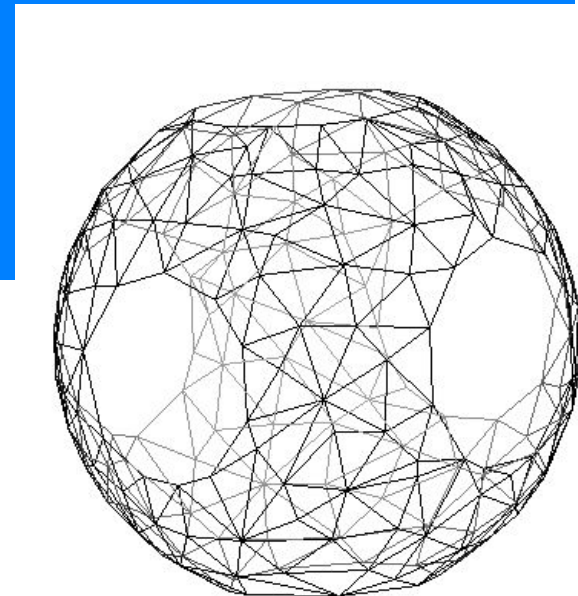
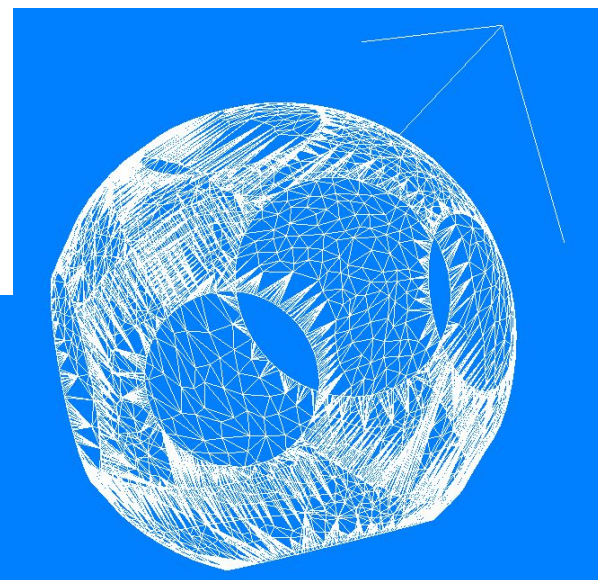
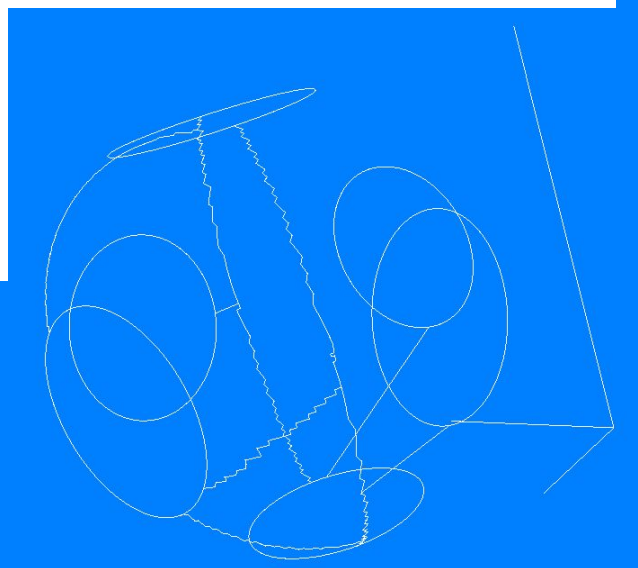
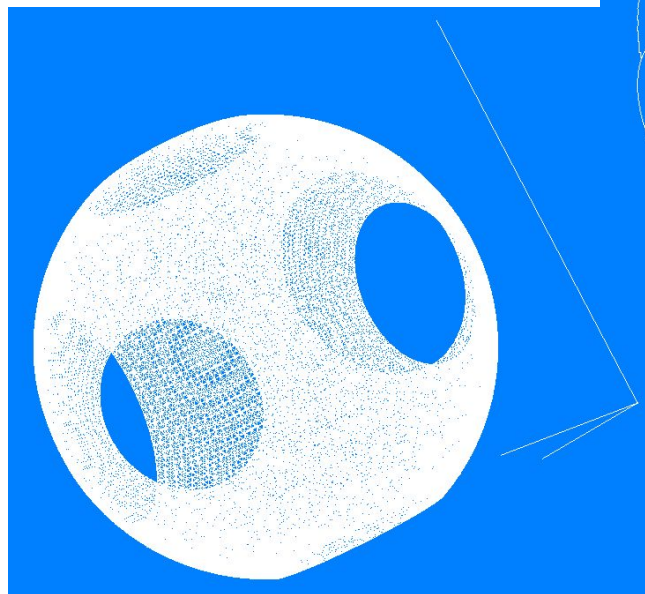
Удаление точки



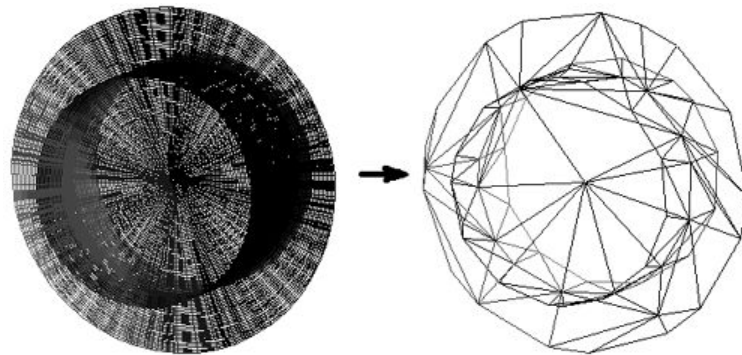
Уточнение топологии



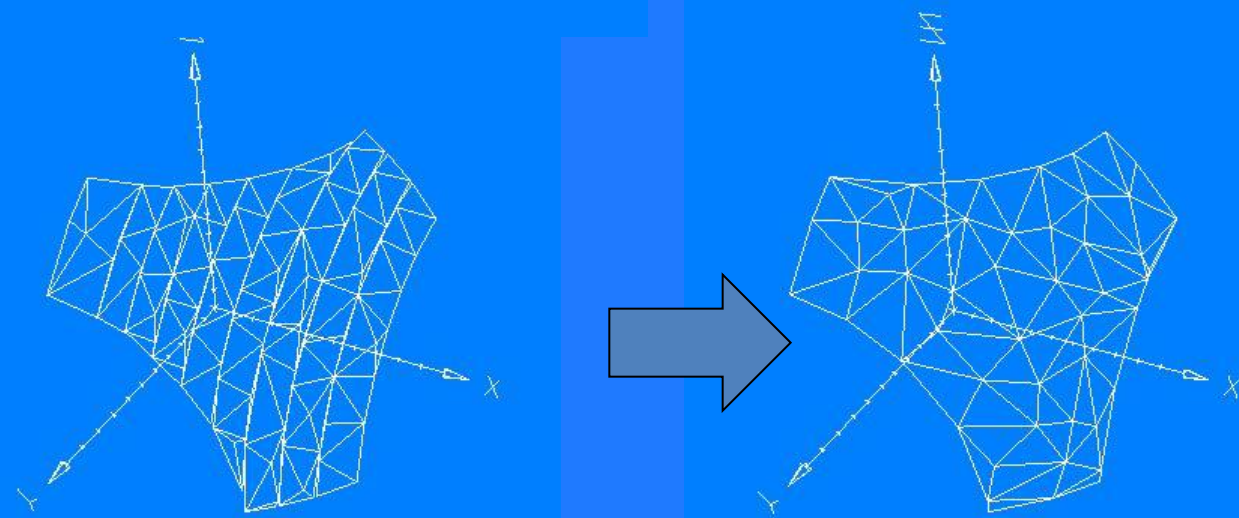
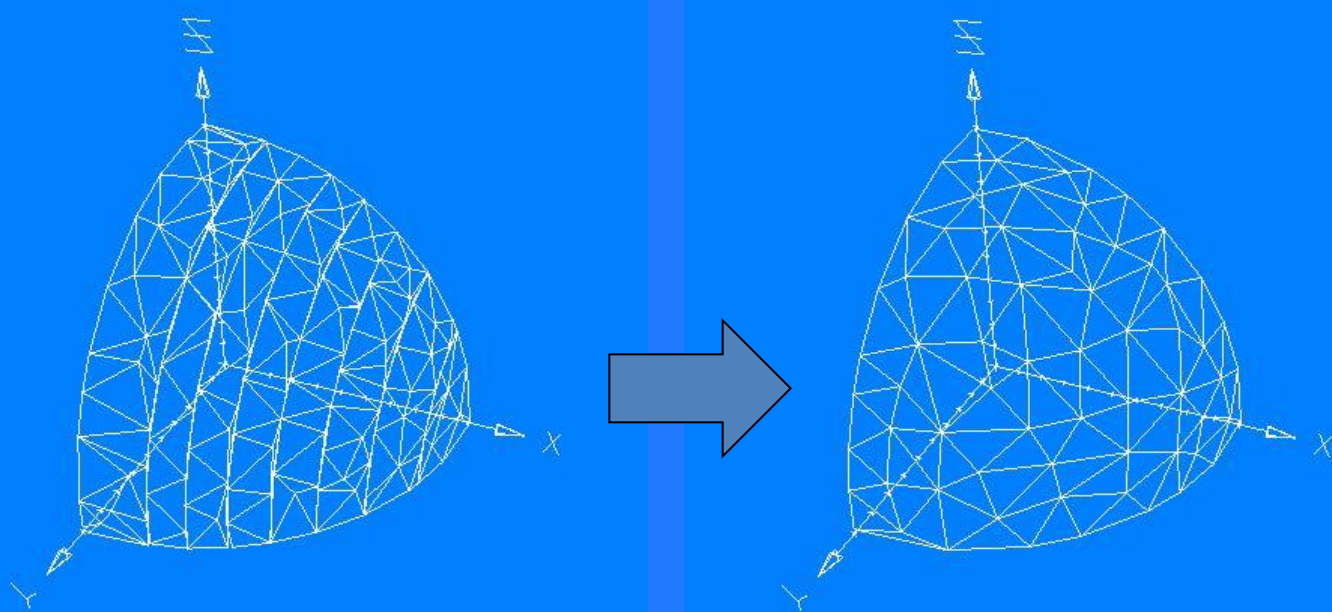
Аппроксимация изоповерхностей



Плоскость, пересекающая цилиндр

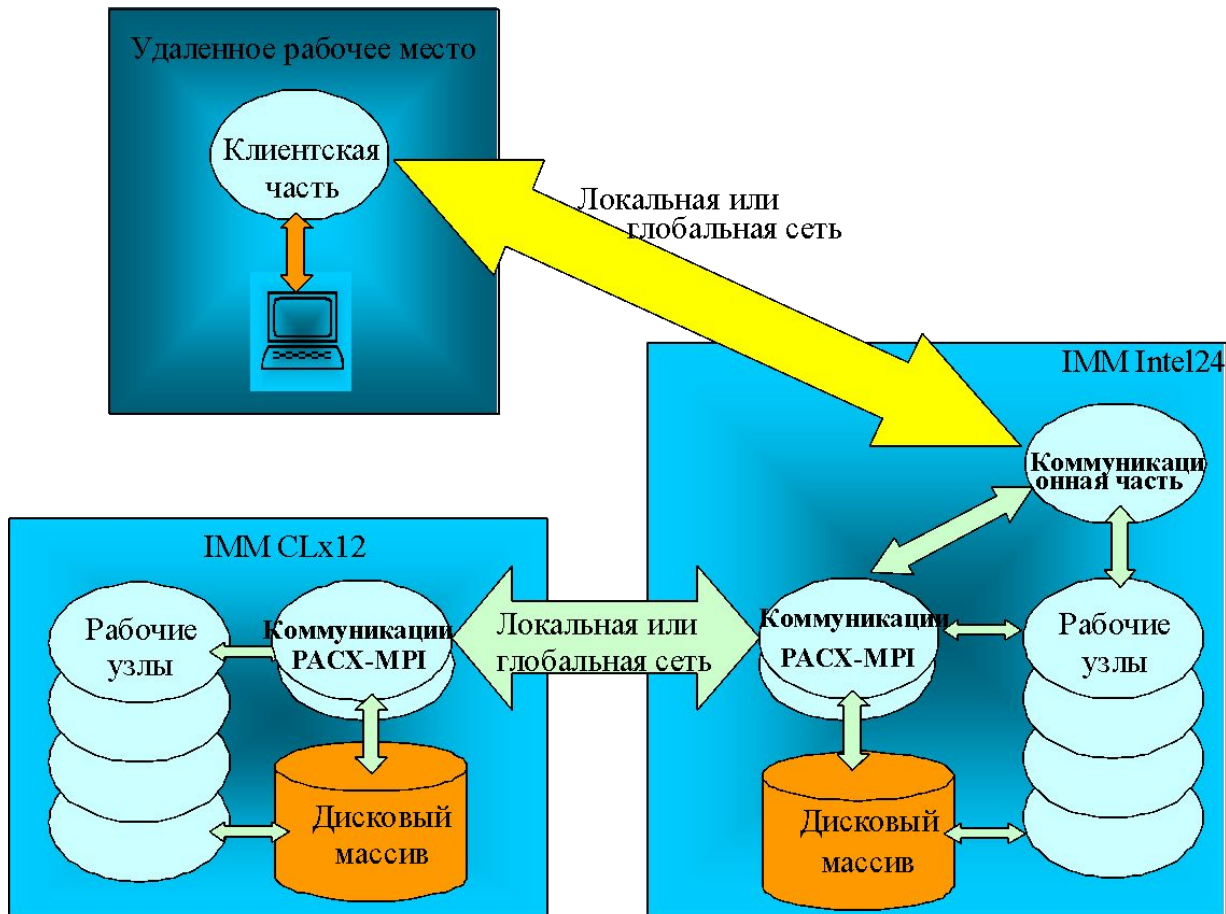


Ошибка аппроксимации 5%

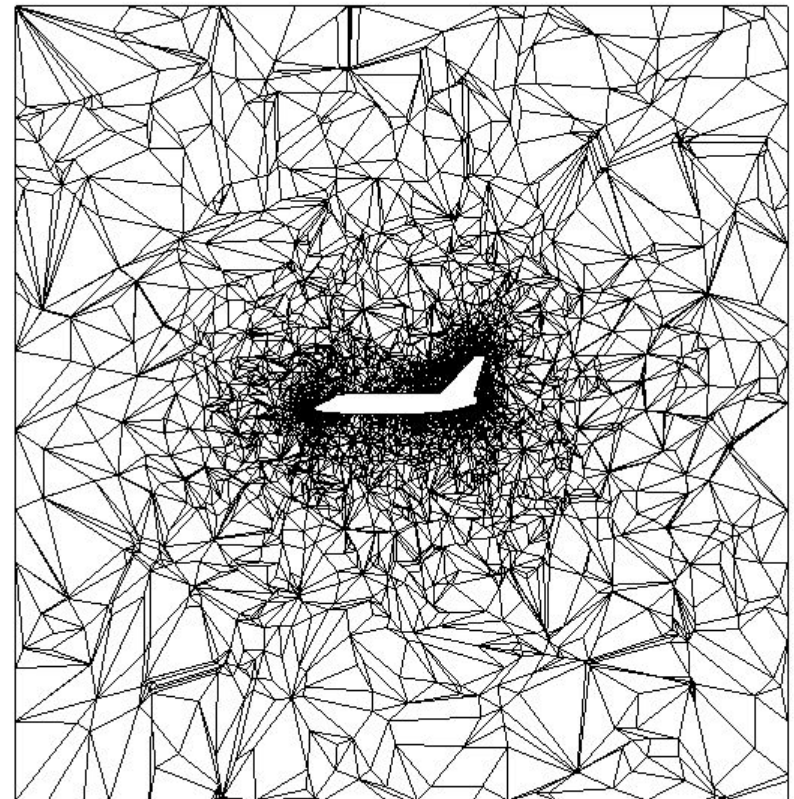
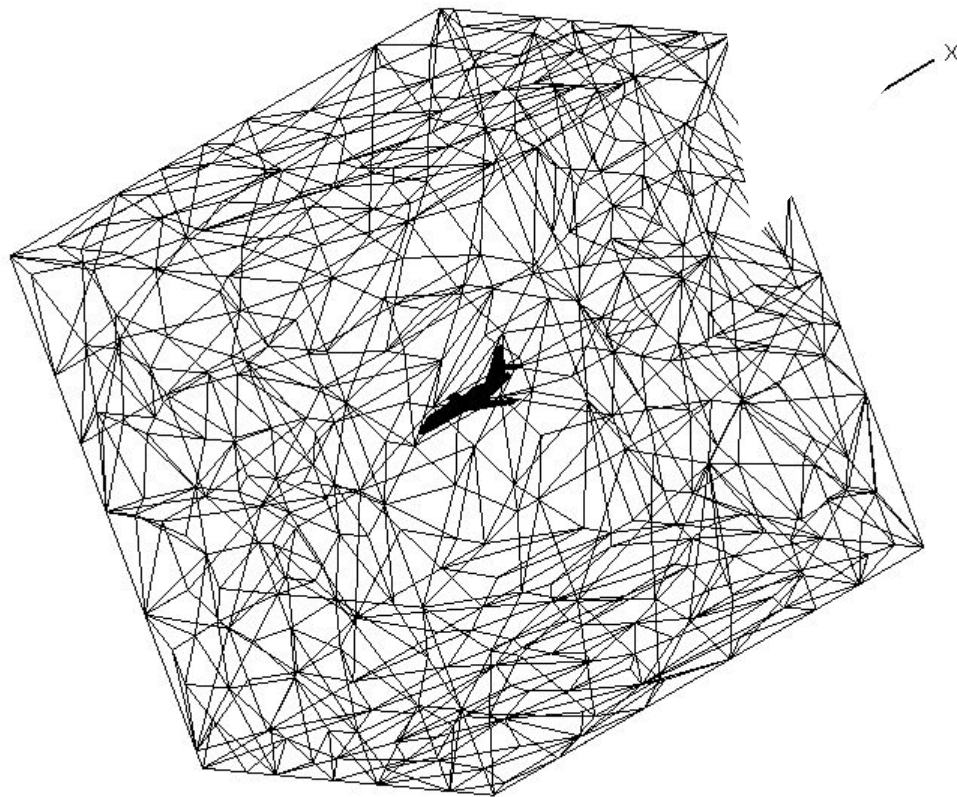


Многоуровневое огрубление больших сеток

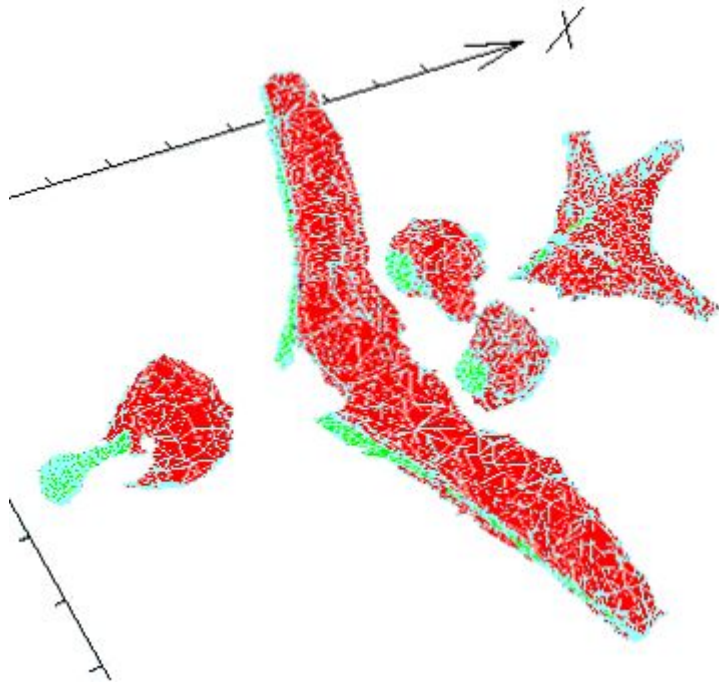
Распределенная визуализация



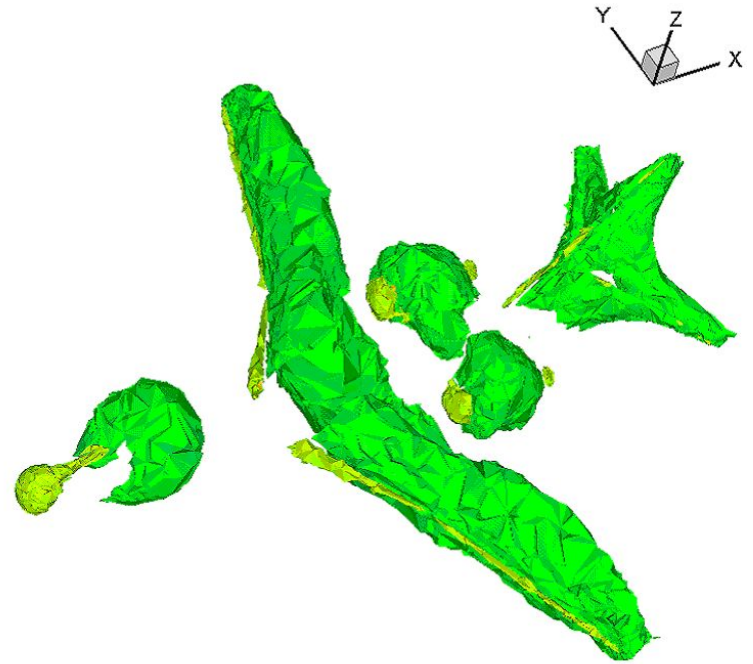
Моделирование течения вокруг летательного аппарата



Изоповерхности поля плотности

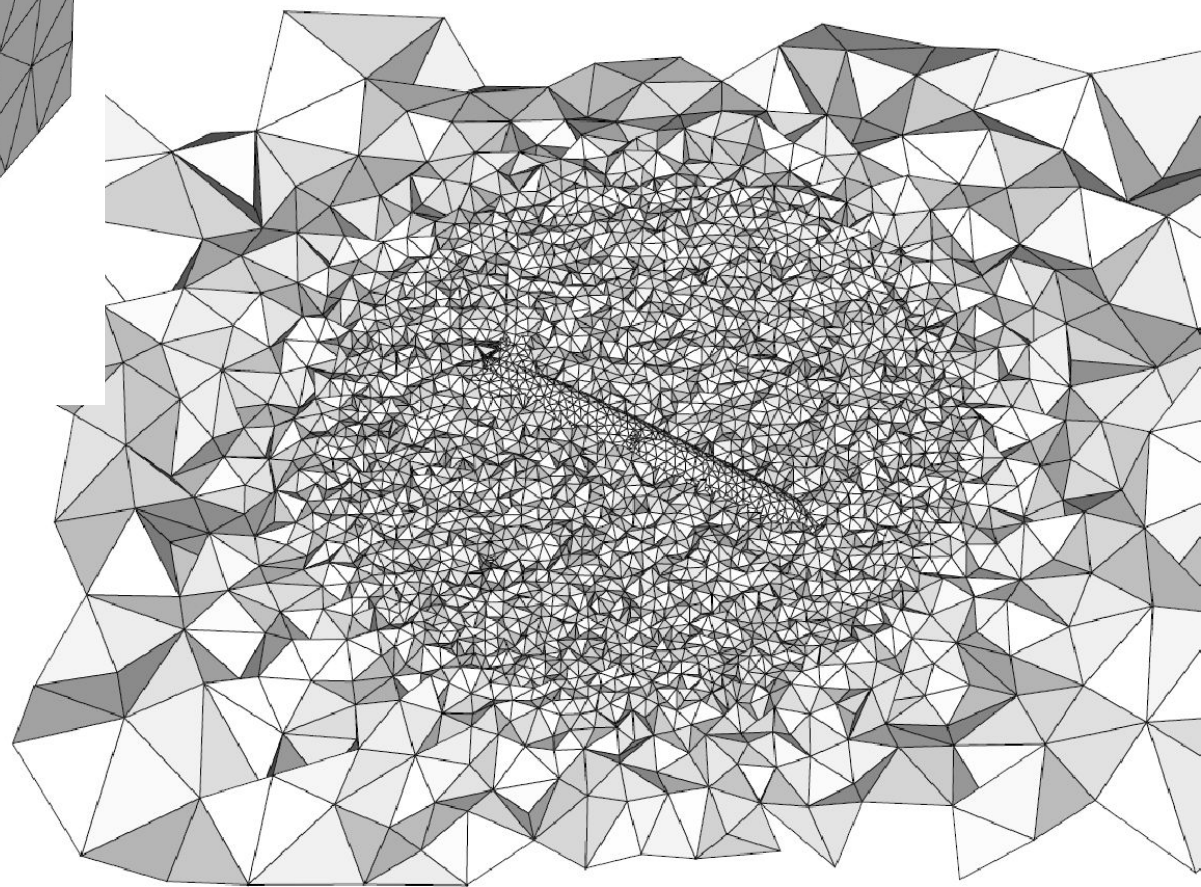
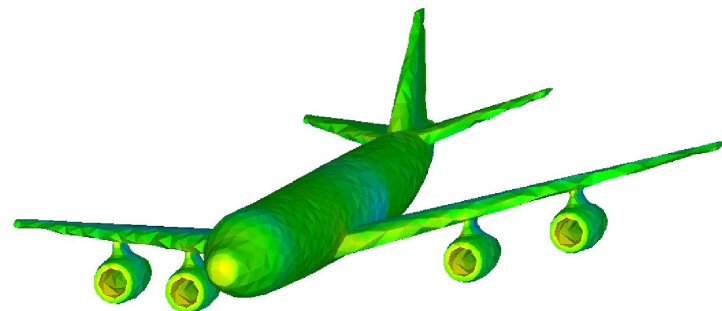
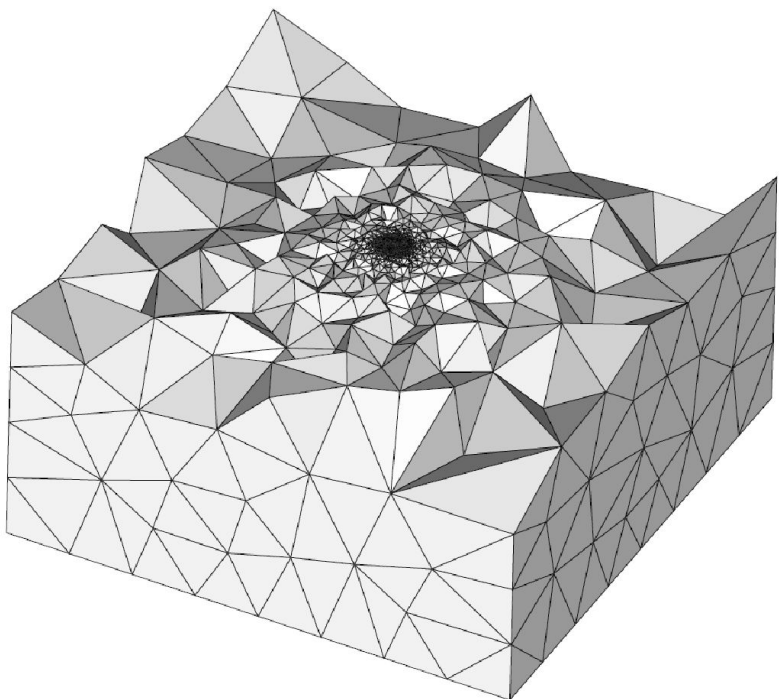


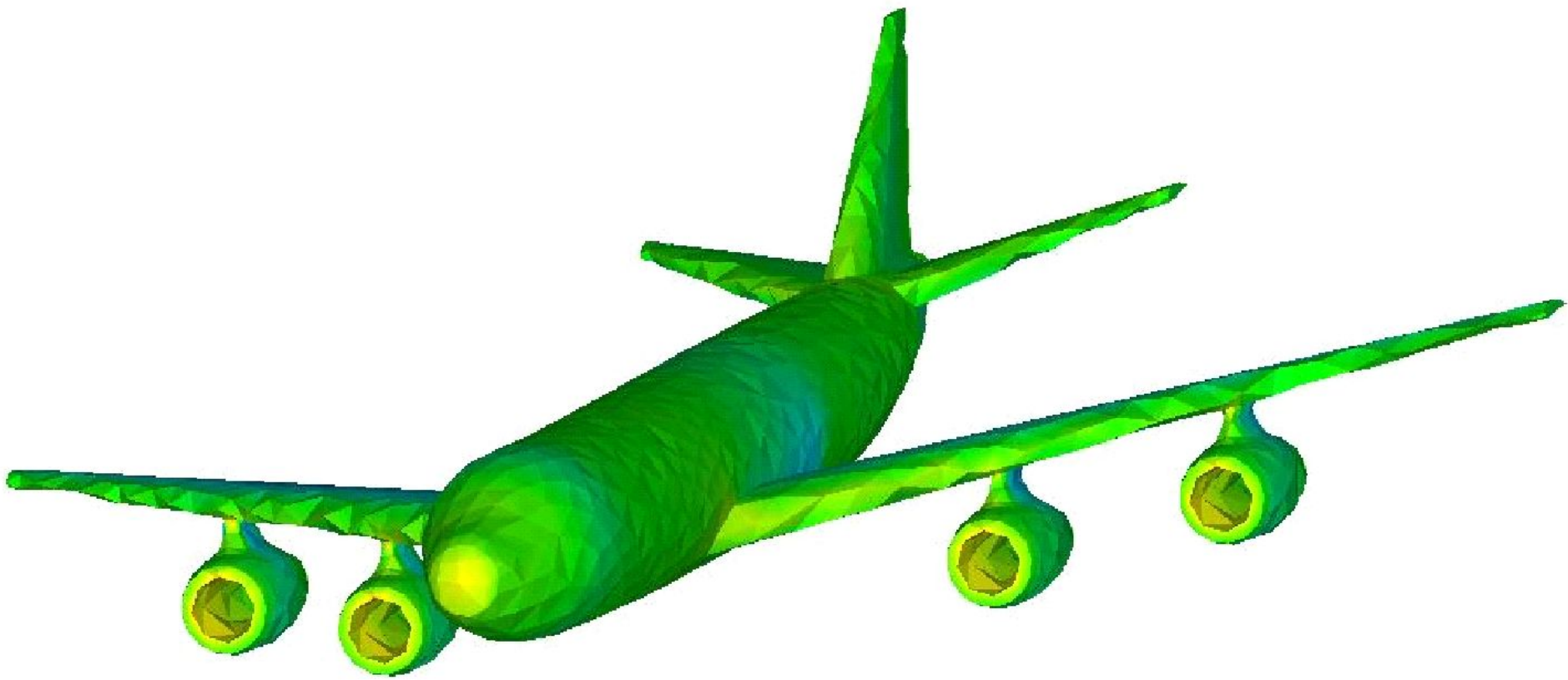
R_{emote} *Viewer*



Tecplot

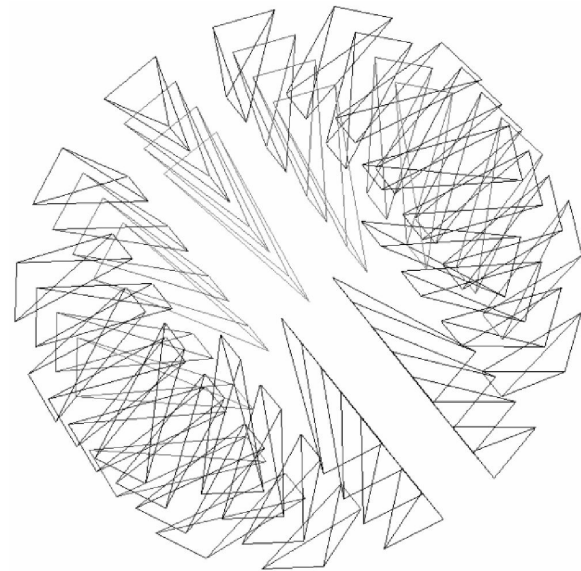
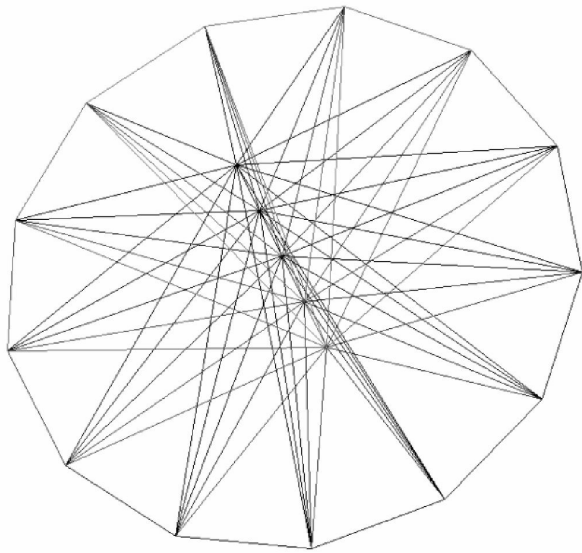
Тетраэдральные сетки 10^8 узлов





Заполнение пространства пирамидами

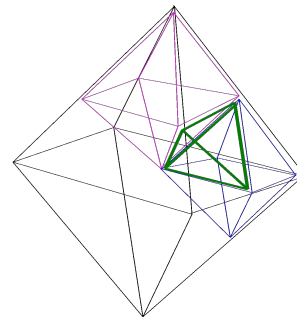
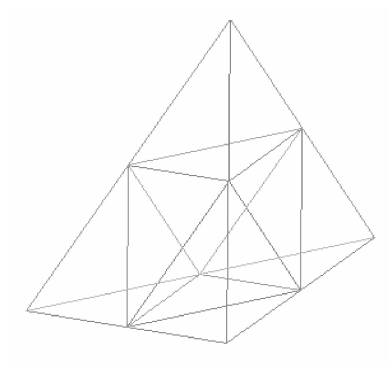
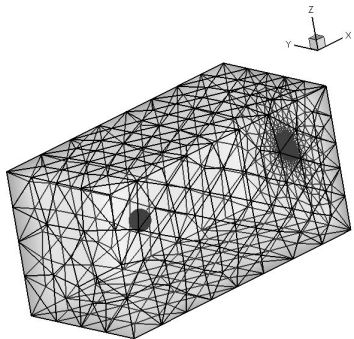
- На каждую из $2n$ точек в среднем опирается $2n$ пирамид
- Число пирамид $\sim n^2$



Зависимость объема хранимых данных от числа микродоменов

| | | | | | | | |
|----------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Число микродоменов | 1 | 50 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| Размер описания (МБ) | 124 | 127 | 145 | 152 | 158 | 163 | 168 |

38 350 -> 2 356 196 узлов
219 034 * 8² -> 14 018 176 тетраэдров



На 35%
больше
чем 124

Нерегулярная тетраэдральная сетка

110 533 834 узлов

659 316 736 тетраэдров

2 589 184 поверхностных треугольников

Время выполнения программы на 100 процессорах МВС-15000ВМ составляет *270* секунд (с учетом записи данных на диск).

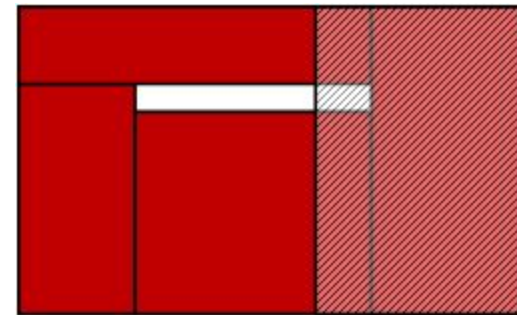
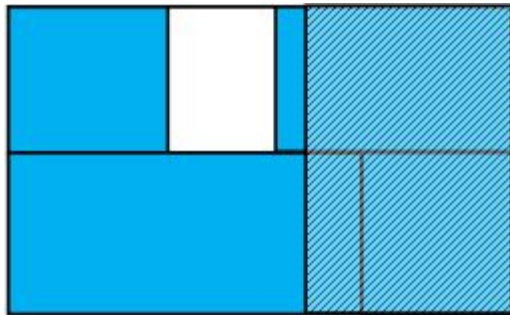
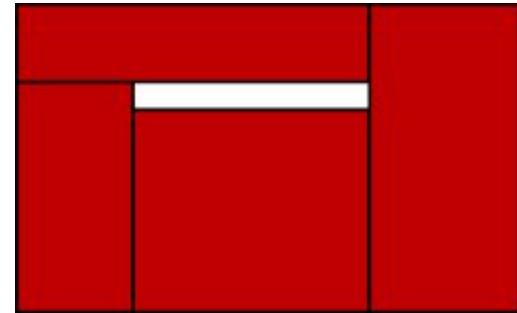
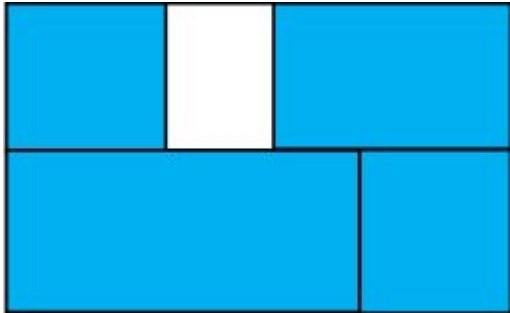
Время равномерного измельчения – 30 секунд.

Дисковое пространство *12.33* Гб

Библиотека ввода-вывода

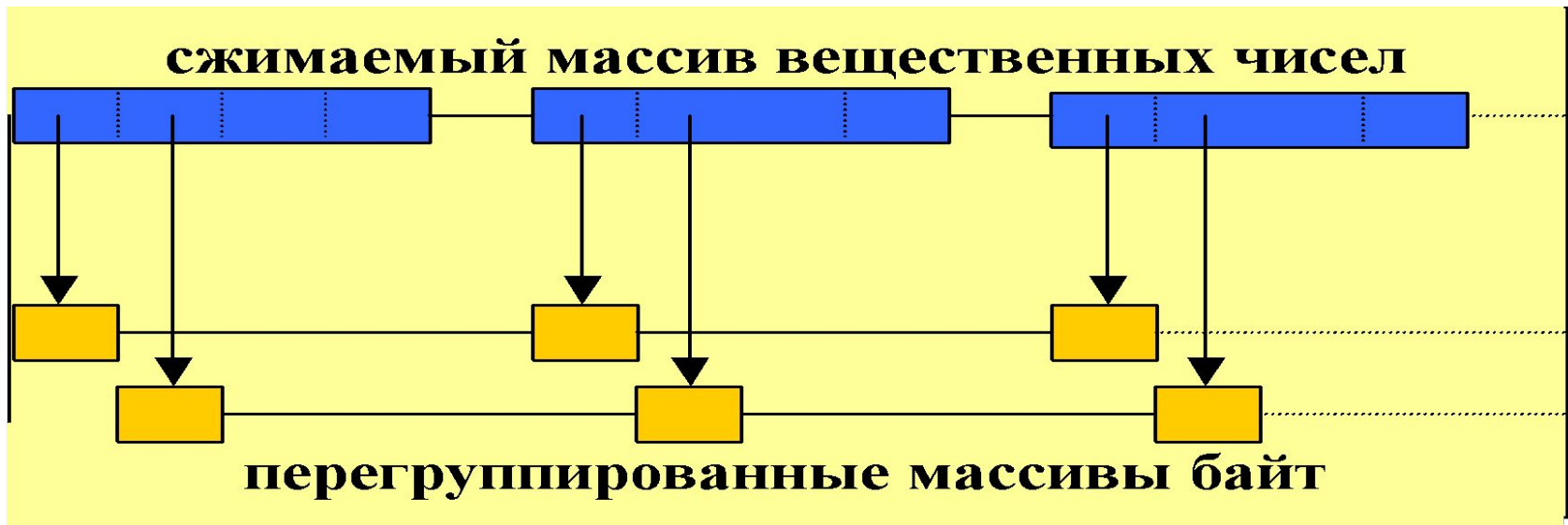
- Ввод-вывод тетраэдральных сеток
 - Хранение микродоменов
 - Хранение макрографа
- Ввод-вывод регулярных решеток
 - Хранение фрагментов сеток
 - Хранение сеточных функций

Записи двух сеточных 2d функций



Групповое сжатие вещественных чисел

Обнуление младших бит мантииссы



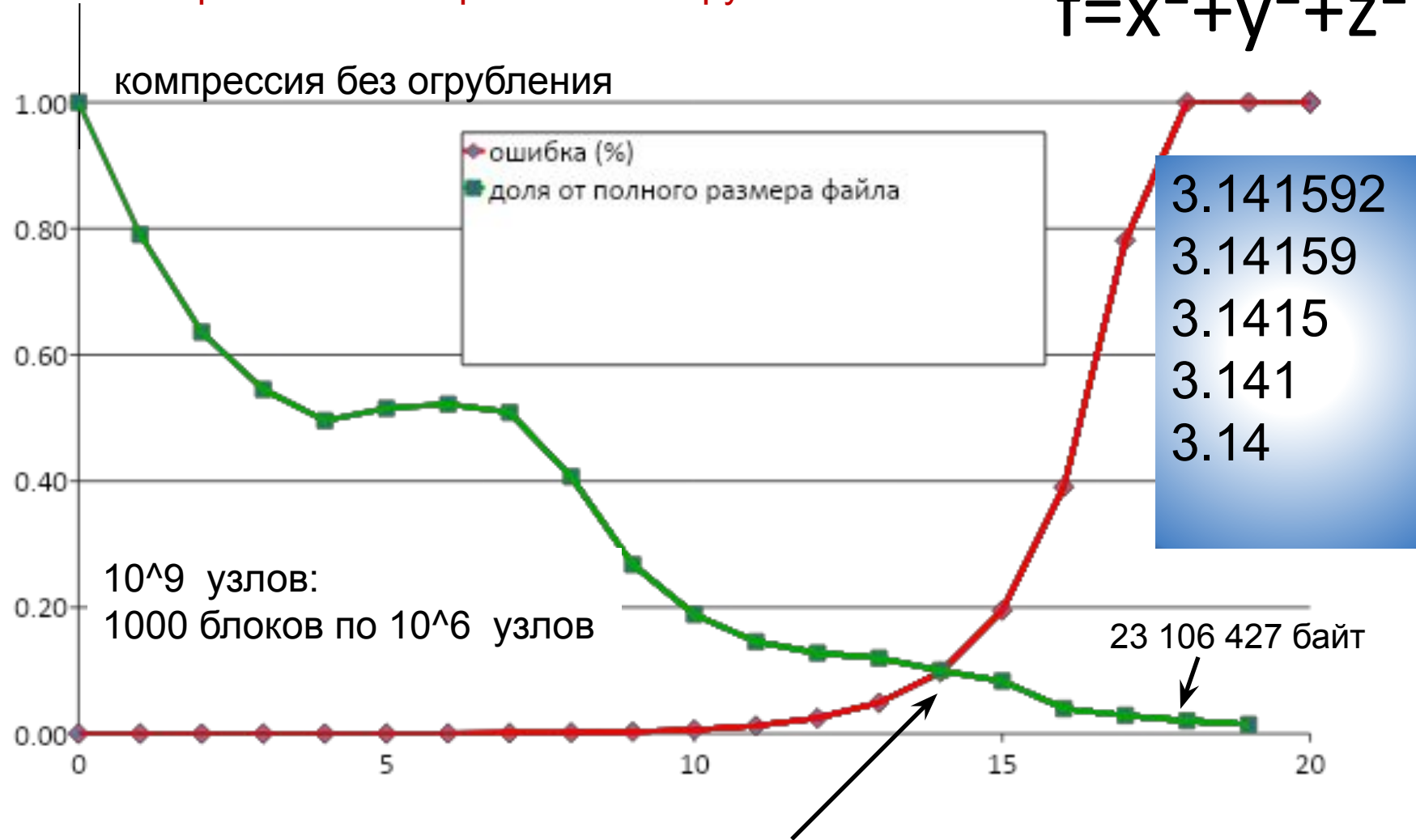
Перегруппировка байт

Сжатие байт стандартной библиотекой
zlib

Отсечение младших бит мантииссы

3.54 ■ бинарный без компрессии без округления

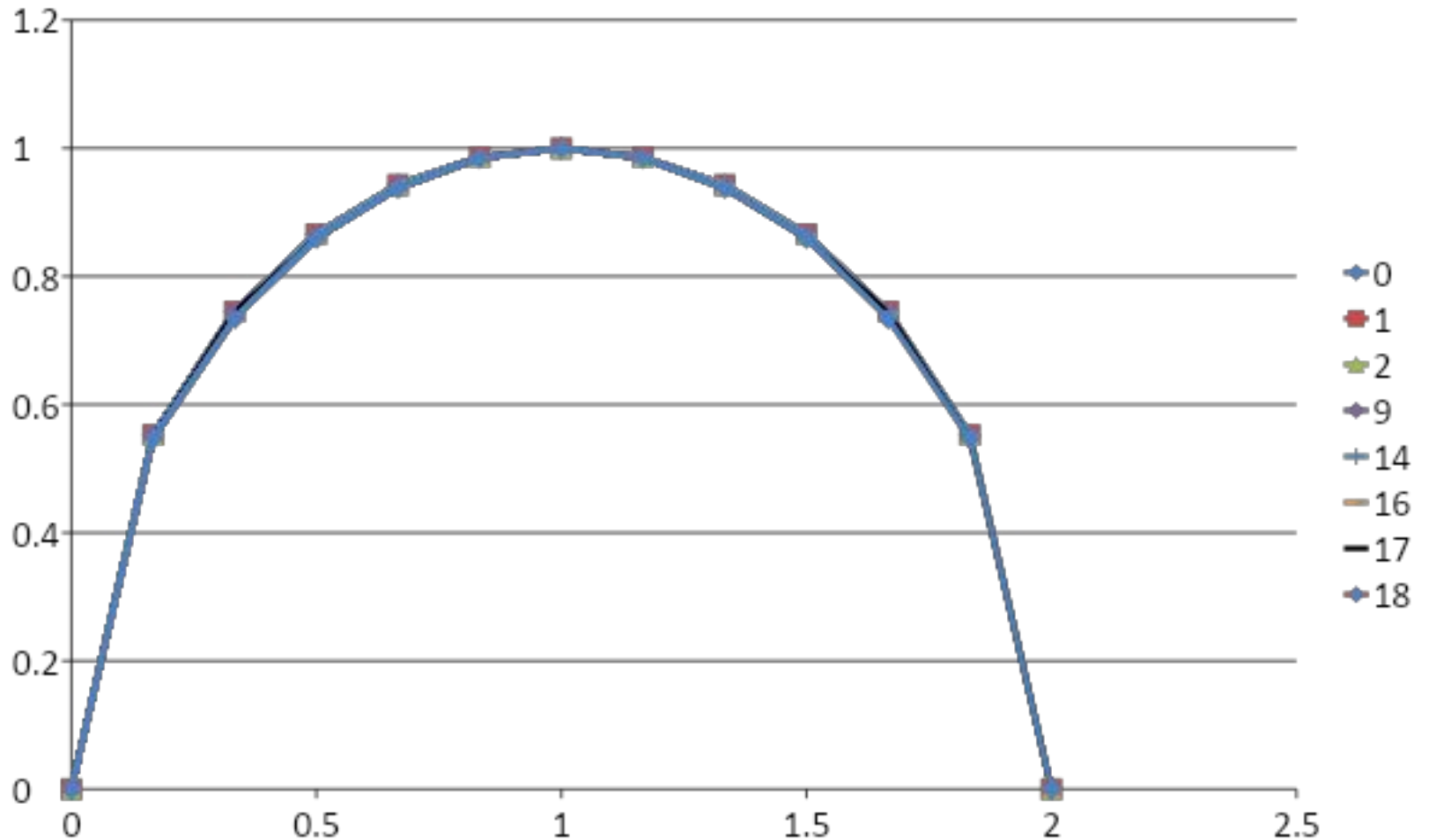
$$f=x^2+y^2+z^2$$



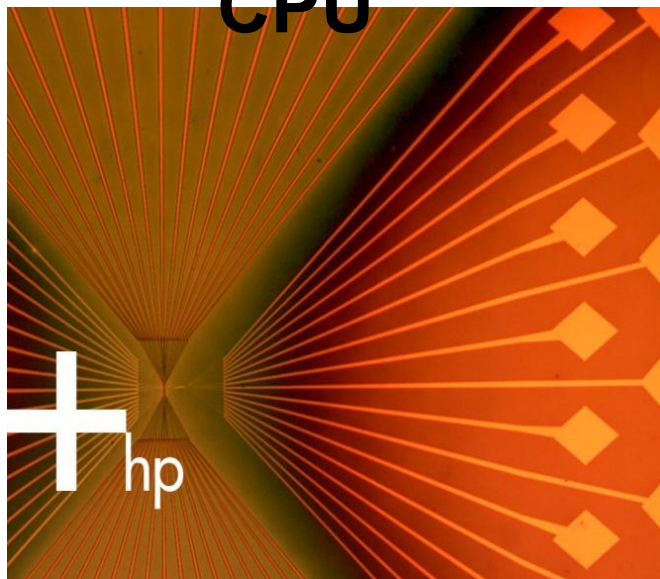
3.141592
3.14159
3.1415
3.141
3.14

10⁹ узлов - 113 354 035 байт - 0.1% - 0.92 бита на узел

Огрубление данных

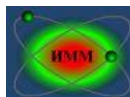


Моделирование процессов охлаждения CPU



РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ

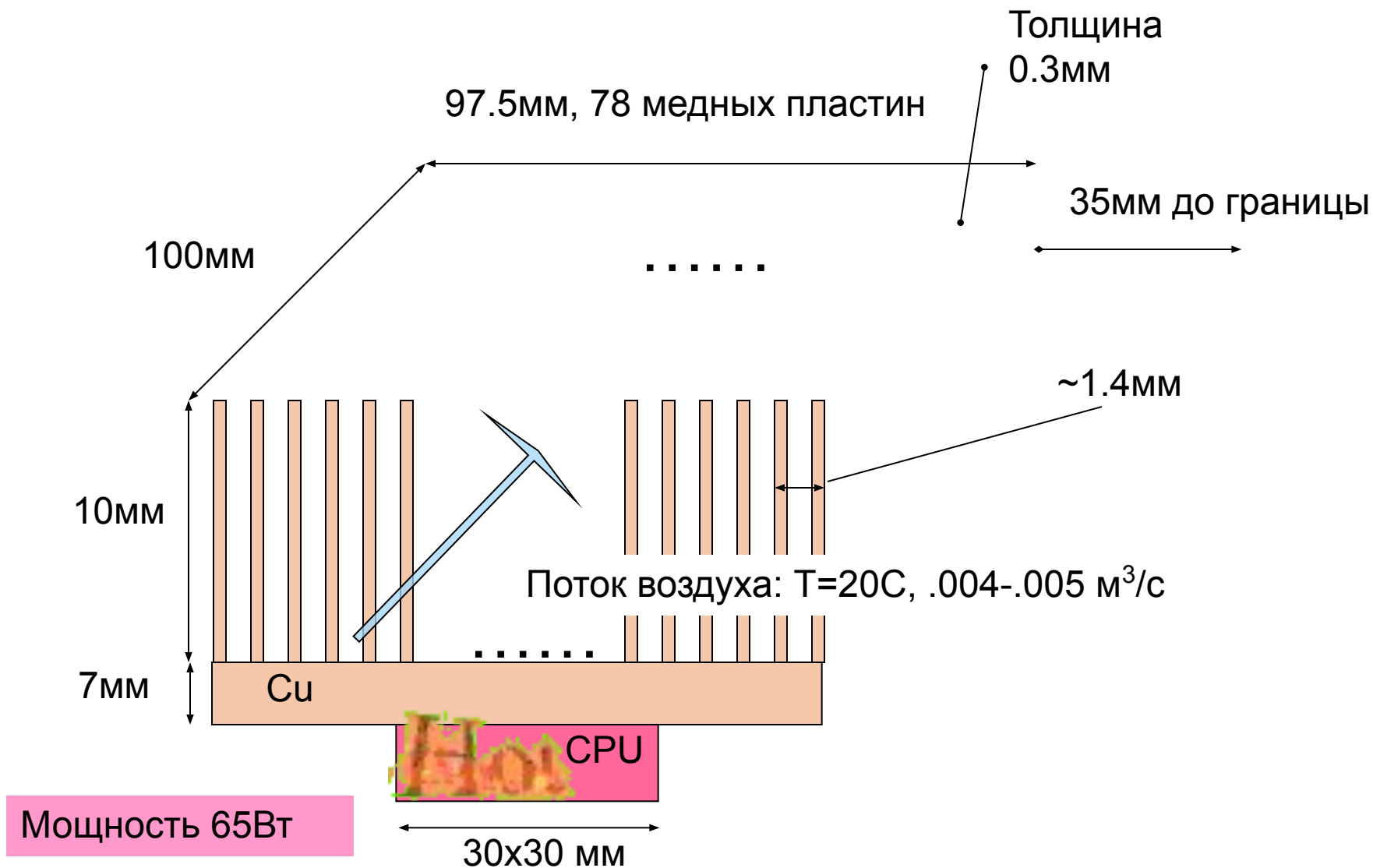


Институт Математического Моделирования РАН

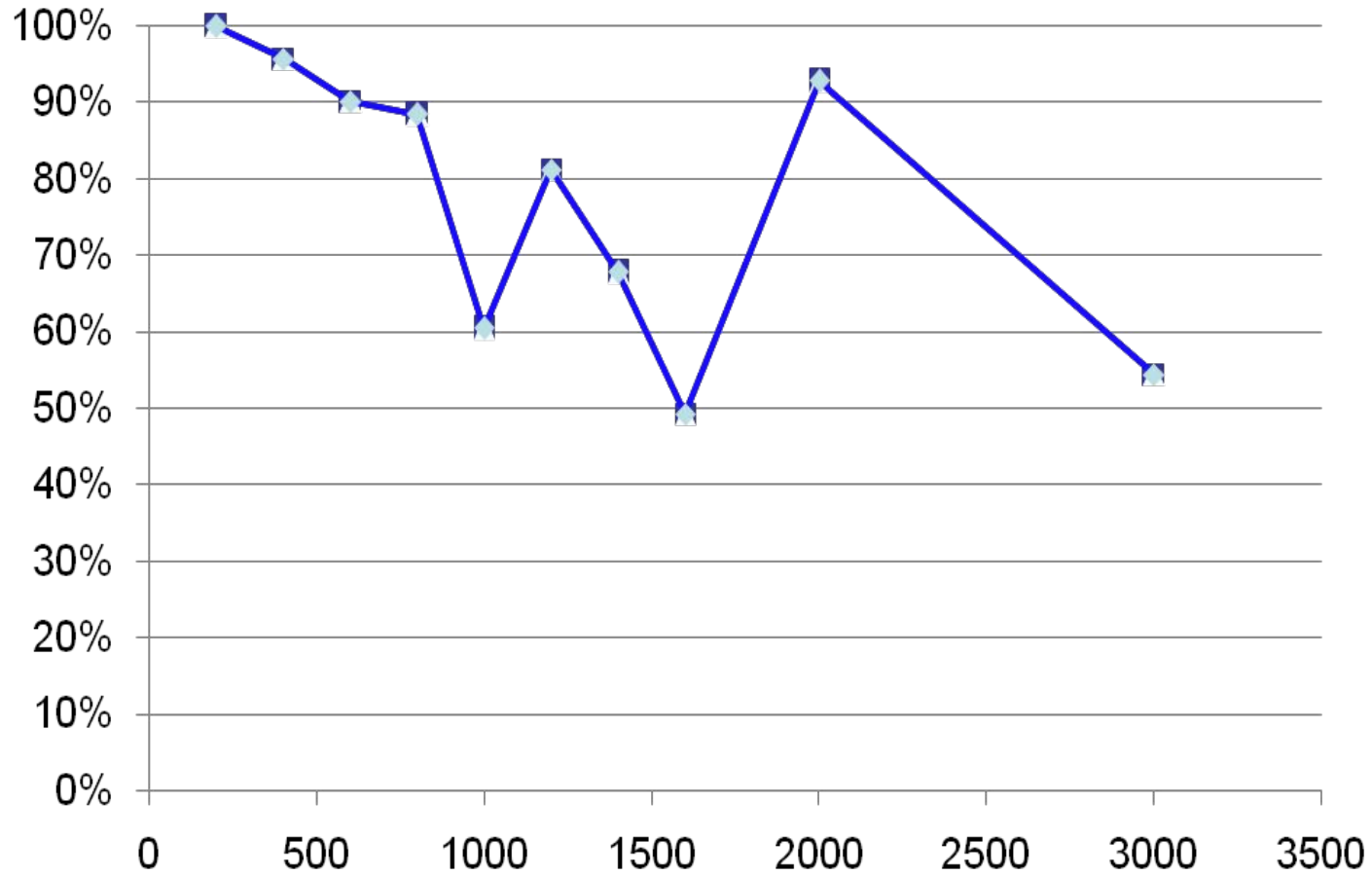
Адрес: 125047, Миусская пл. 4а, Москва, Россия.
Телефон: (+7-095)-250-7986 Факс: (+7-095)-972-0723



Процессор, охлаждаемый медным радиатором



Зависимость эффективности от числа ядер



Конфигурация: 78 тонких ребер (0.3 мм) на радиаторе

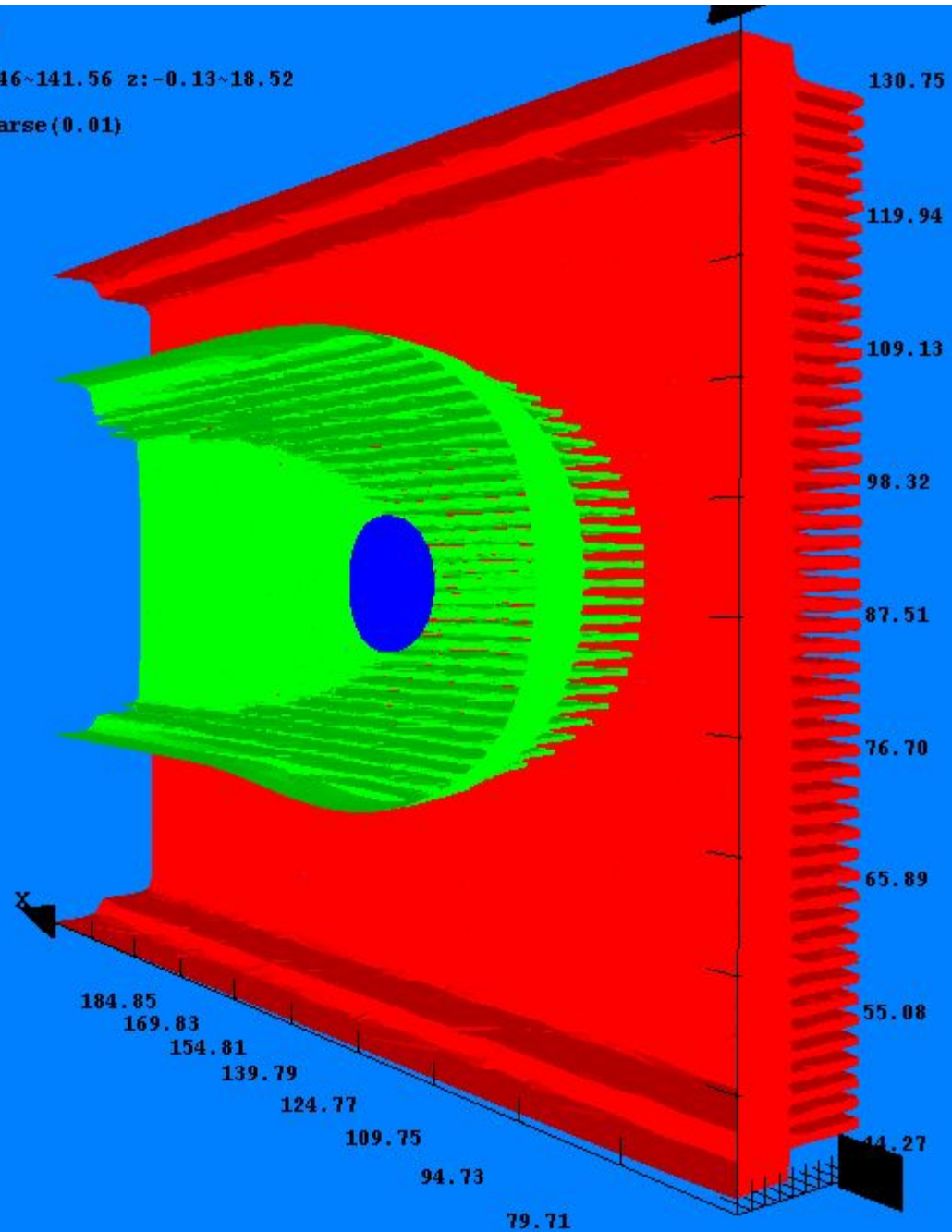
Сетка: 1000 x 3500 x 150 = 525 млн.

Параллельная реализация: MPI + нити (8 нитей на узле)

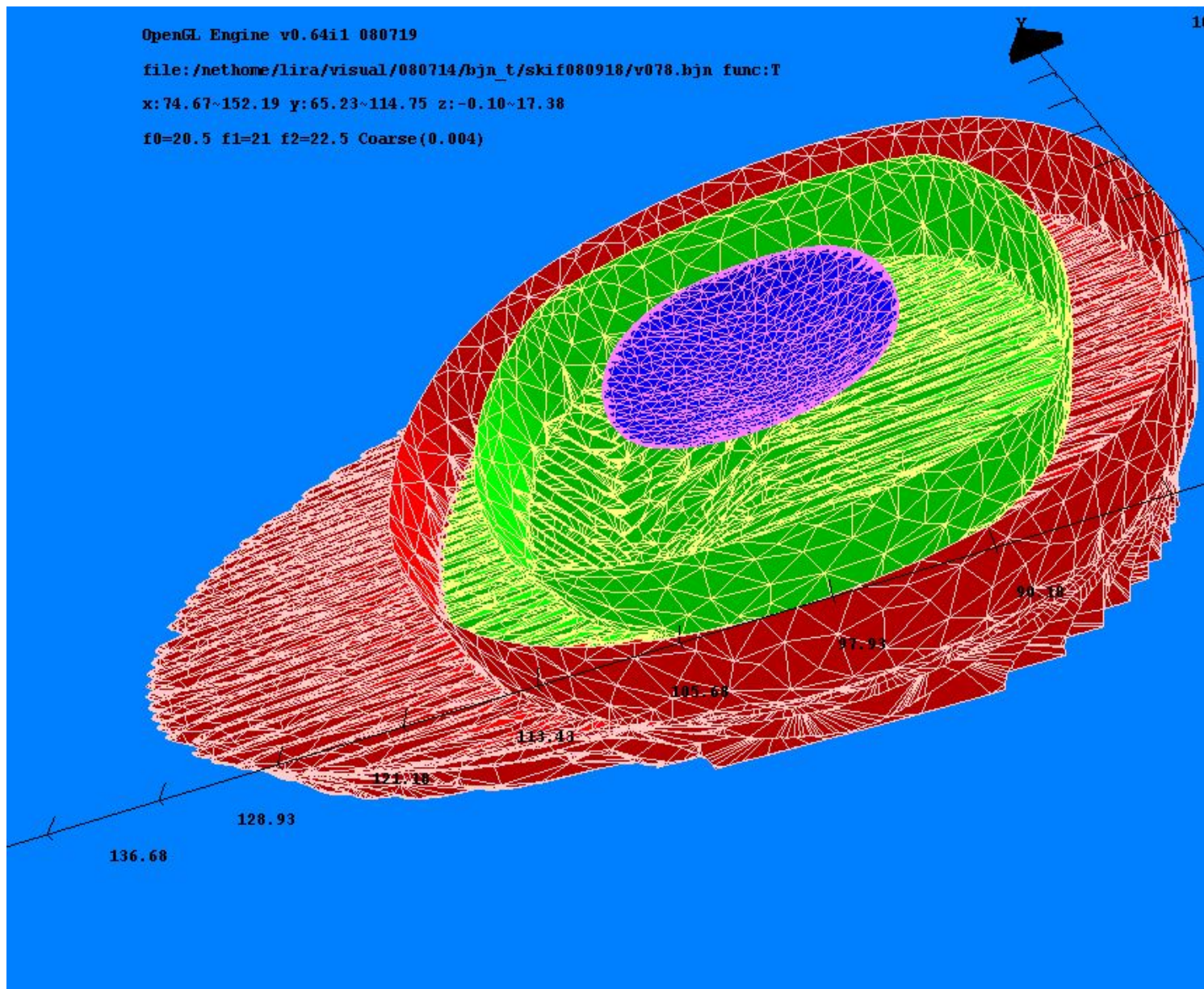
file:v050.bjn func:T

x:49.66~199.88 y:33.46~141.56 z:-0.13~18.52

f0=21 f1=30 f2=33 Coarse(0.01)



Изоповерхности температуры: T=20.5, 21, 22.5 С сетка 800*700*120=67,2 млн. узлов



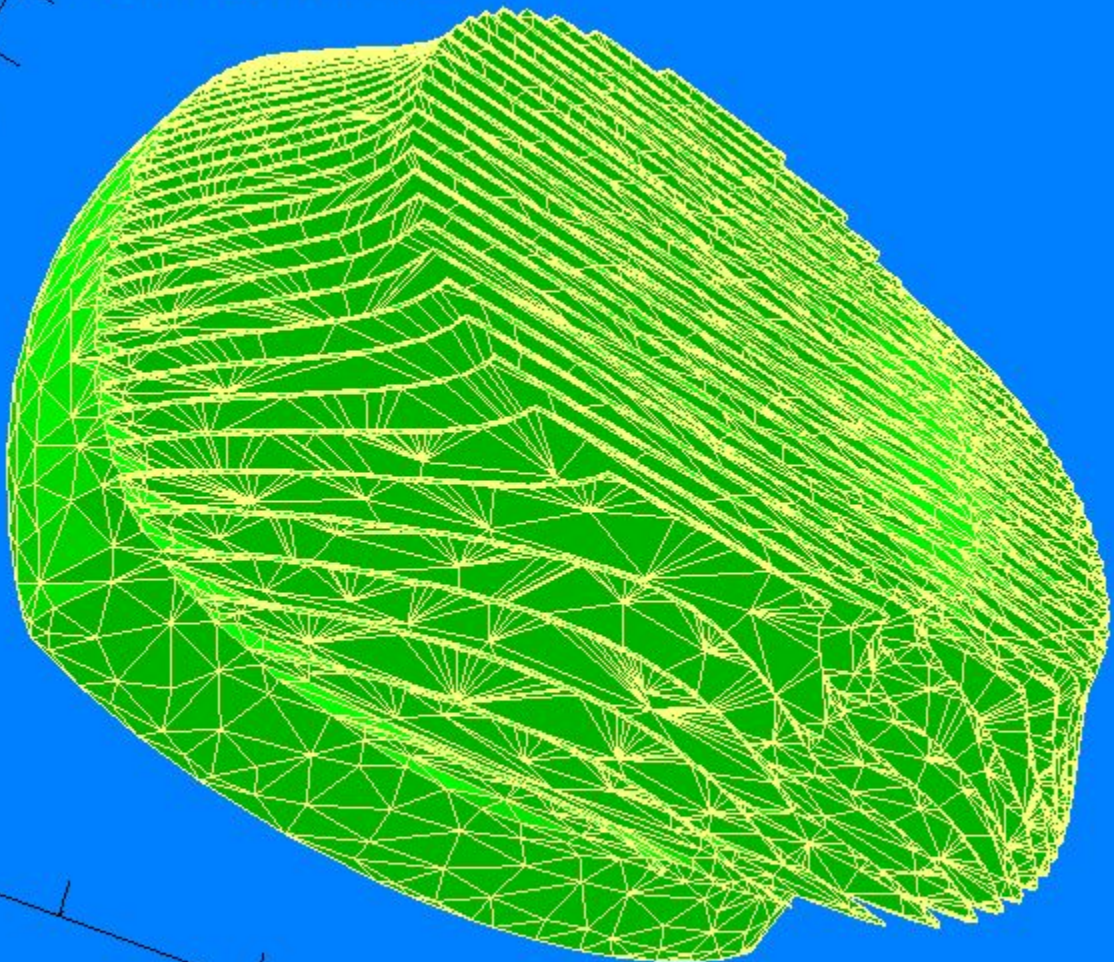
OpenGL Engine v0.64i1 080719

108.64

Path: /nethome/lira/visual/080714/bjn_t/skif080918/v101.bjn func:T

x: 75.85~139.62 y: 66.68~113.30 z: -0.10~15.43

f0=20.5 f1=21 f2=22.5 Coarse(0.004)



88.60

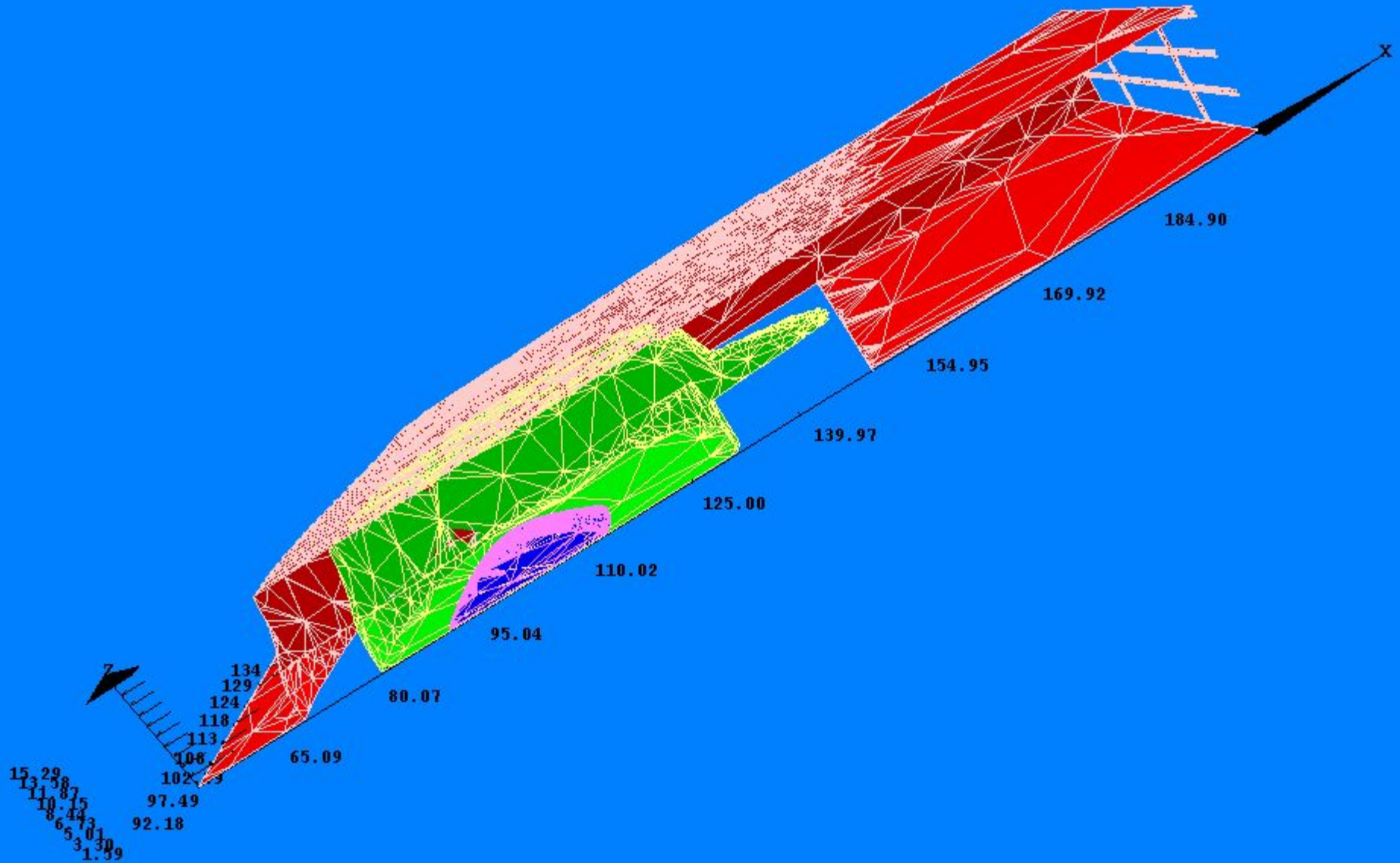
94.98

OpenGL Engine v0.64i1 080719

file:w050.hjn func:T

x:50.12~199.88 y:86.88~139.94 z:-0.13~17.01

f0=69.1 f1=70.51 f2=72.5 Coarse(0.01)

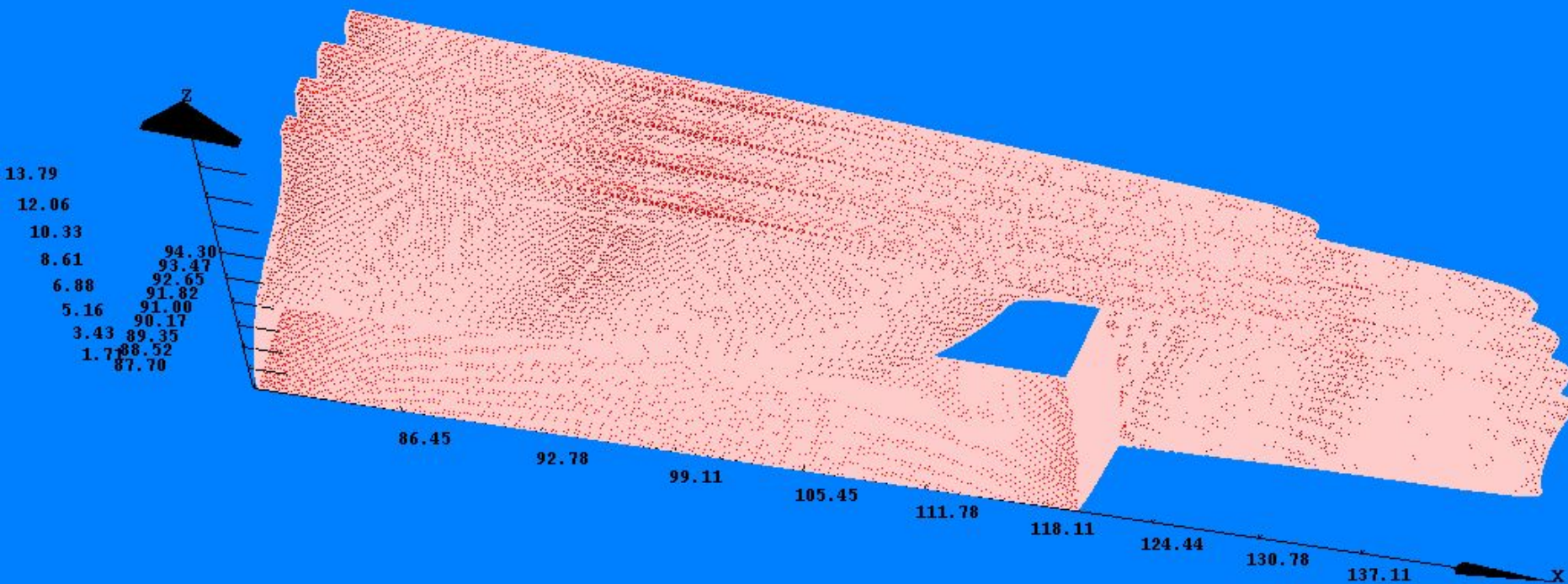


OpenGL Engine v0.64i1 080719

file:v008.bjn func:T

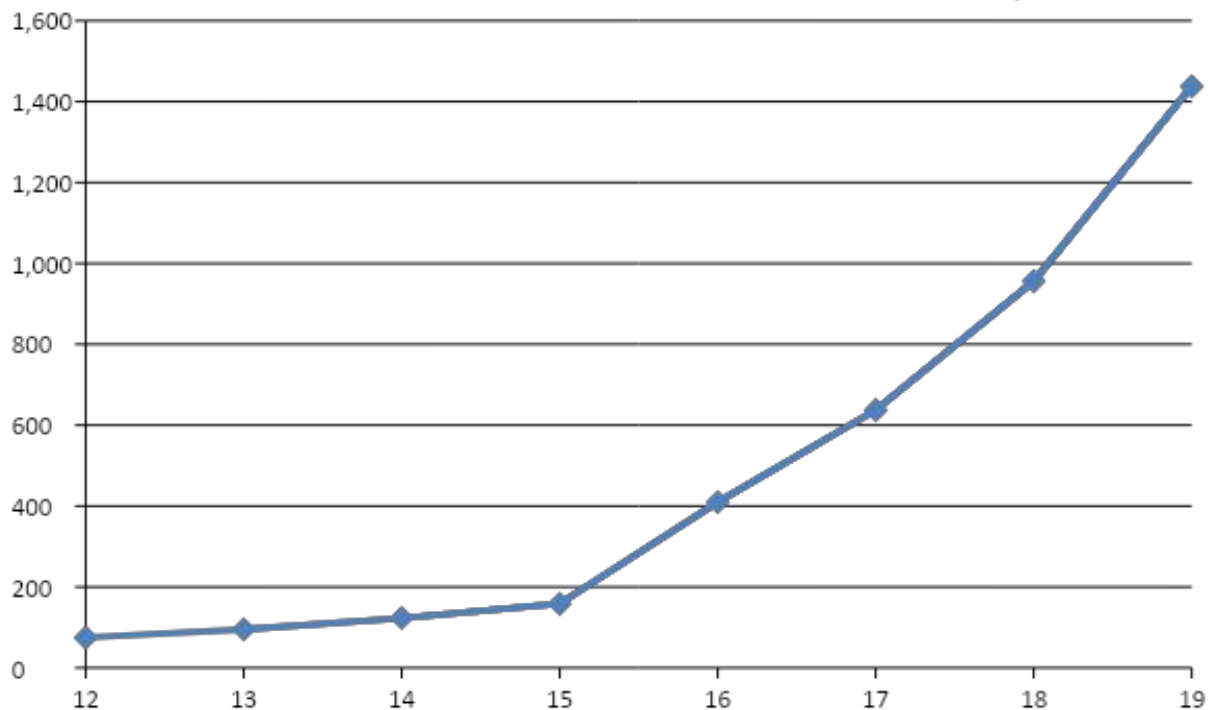
x:80.12~143.44 y:86.88~95.13 z:-0.02~17.24

f0=21.5



Зависимость коэффициента сжатия от числа усеченных бит

Сетка: 1000 x 3500 x 150 = 525 млн узлов



| | | | | |
|-----|-----|-----|--------------|--------|
| 28 | 244 | 379 | w101_reduced | 12.bjn |
| 22 | 340 | 718 | w101_reduced | 13.bjn |
| 17 | 228 | 023 | w101_reduced | 14.bjn |
| 13 | 339 | 249 | w101_reduced | 15.bjn |
| 5 | 171 | 208 | w101_reduced | 16.bjn |
| 3 | 321 | 150 | w101_reduced | 17.bjn |
| 2 | 213 | 949 | w101_reduced | 18.bjn |
| 1 | 471 | 818 | w101_reduced | 19.bjn |
| | | | | |
| 793 | 457 | | w101grid.bjn | |

Параллельные библиотеки

<http://www.imamod.ru>

SDLB - динамическая балансировка (0D)

MCoarse - огрубление сеток (2D, 3D)

VjnlOlib - ввод-вывод регулярных сеток

TMLlib - ввод-вывод неструктурированных сеток

LRND - генерация псевдослучайных чисел

PSORT - параллельная сортировка

Якобовский М.В.

д.ф.-м.н.,

зав. сектором

«Программного обеспечения
многопроцессорных систем и
вычислительных сетей»

Института математического
моделирования

Российской академии наук

mail: _____ mail: lira@imamod.ru mail:

lira@imamod.ru

<http://lira.imamod.ru>

