

ПРИМЕР: КРЫЛО

Эффективное использование открытых
пакетов SALOME, CalculiX, OpenFOAM
для создания расчётных сеток в задачах
МСС

Калиш С.А. (НИЦ «Курчатовский институт»)
Крапошин М.В. (НИЦ «Курчатовский институт»)
Тагиров А.М. (НИЦ «Курчатовский институт»)
Сибгатуллин И.Н. (НИИ механики МГУ им.
Ломоносова)
Стрижак С.В. (МГТУ им. Баумана)



ПРИМЕР: КРЫЛО

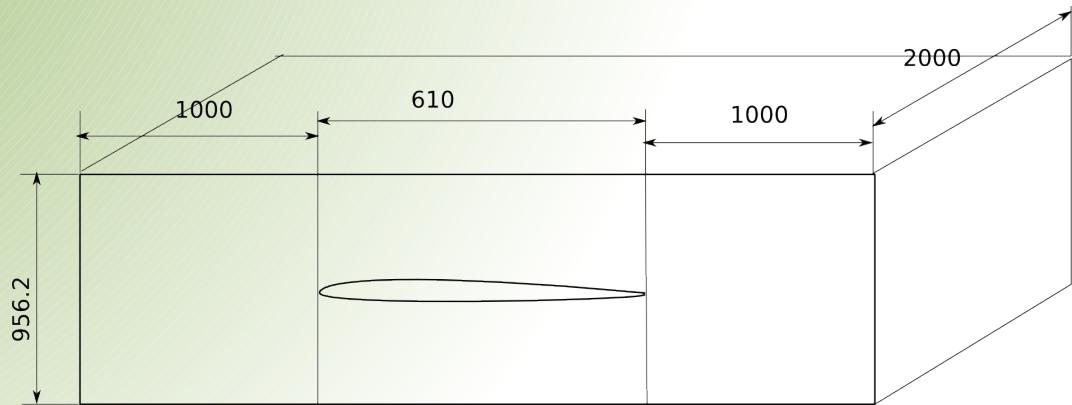
Построение сетки с помощью утилиты BlockMesh

Рассматривается обтекание крыла.

Хорда крыла 610 мм.

Размах крыла 1000 мм.

На верхней и нижней границах области условие стенки.



ПРИМЕР: КРЫЛО

Построение сетки с помощью утилиты BlockMesh

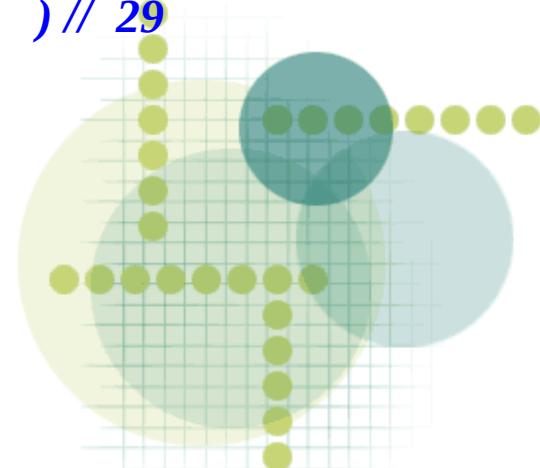
Редактируем файл blockMeshDict:

Раздел vertices:

```
(-1000.0  0.0  0.0 )// 0
(-1000.0  610.0  0.3111 )// 1
(-1000.0  610.0  -0.3111 )// 2
( 0.0  0.0  0.0 )// 3
( 0.0  610.0  0.3111 )// 4
( 0.0  610.0  -0.3111 )// 5
(1000.0  0.0  0.0 )// 6
(1000.0  610.0  0.3111 )// 7
(1000.0  610.0  -0.3111 )// 8

(-1000.0 -1000.0  0.0 )// 9
(-1000.0  1610.0  0.3111 )// 10
(-1000.0  1610.0  -0.3111 )// 11
( 0.0 -1000.0  0.0 )// 12
( 0.0  1610.0  0.3111 )// 13
( 0.0  1610.0  -0.3111 )// 14
(1000.0 -1000.0  0.0 )// 15
(1000.0  1610.0  0.3111 )// 16
(1000.0  1610.0  -0.3111 )// 17
```

```
(-1000.0 -1000.0  482.6 )// 18
(-1000.0   0.0  482.6 )// 19
(-1000.0  610.0  482.6 )// 20
(-1000.0  1610.0  482.6 )// 21
( 0.0 -1000.0  482.6 )// 22
( 0.0   0.0  482.6 )// 23
( 0.0  610.0  482.6 )// 24
( 0.0  1610.0  482.6 )// 25
(1000.0 -1000.0  482.6 )// 26
(1000.0   0.0  482.6 )// 27
(1000.0  610.0  482.6 )// 28
(1000.0  1610.0  482.6 )// 29
```



ПРИМЕР: КРЫЛО

Построение сетки с помощью утилиты BlockMesh

```
(-1000.0 -1000.0 -482.6 )// 30
(-1000.0 0.0 -482.6 )// 31
(-1000.0 610.0 -482.6 )// 32
(-1000.0 1610.0 -482.6 )// 33
( 0.0 -1000.0 -482.6 )// 34
( 0.0 0.0 -482.6 )// 35
( 0.0 610.0 -482.6 )// 36
( 0.0 1610.0 -482.6 )// 37
( 1000.0 -1000.0 -482.6 )// 38
( 1000.0 0.0 -482.6 )// 39
( 1000.0 610.0 -482.6 )// 40
( 1000.0 1610.0 -482.6 )// 41

(-1000.0 610.0 0.0 )// 42
(-1000.0 1610.0 0.0 )// 43
( 0.0 610.0 0.0 )// 44
( 0.0 1610.0 0.0 )// 45
( 1000.0 610.0 0.0 )// 46
( 1000.0 1610.0 0.0 )// 47
```



Раздел blocks:

hex (9 12 3 0 18 22 23 19) (20 50 40) simpleGrading (1 0.25 4)
hex (0 3 4 1 19 23 24 20) (20 60 40) simpleGrading (1 1.0 4)
hex (1 4 13 10 20 24 25 21) (20 50 40) simpleGrading (1 4.0 4)
hex (0 3 44 42 0 3 4 1) (20 60 6) simpleGrading (1 1.0 0.5)
hex (42 44 45 43 1 4 13 10) (20 50 6) simpleGrading (1 4.0 0.5)
hex (0 3 5 2 0 3 44 42) (20 60 6) simpleGrading (1 1.0 2)
hex (2 5 14 11 42 44 45 43) (20 50 6) simpleGrading (1 4.0 2)
hex (30 34 35 31 9 12 3 0) (20 50 40) simpleGrading (1 0.25 0.25)
hex (31 35 36 32 0 3 5 2) (20 60 40) simpleGrading (1 1.0 0.25)
hex (32 36 37 33 2 5 14 11) (20 50 40) simpleGrading (1 4.0 0.25)

hex (12 15 6 3 22 26 27 23) (20 50 40) simpleGrading (1 0.25 4)
hex (3 6 7 4 23 27 28 24) (20 60 40) simpleGrading (1 1.0 4)
hex (4 7 16 13 24 28 29 25) (20 50 40) simpleGrading (1 4.0 4)
hex (44 46 47 45 4 7 16 13) (20 50 6) simpleGrading (1 4.0 0.5)
hex (5 8 17 14 44 46 47 45) (20 50 6) simpleGrading (1 4.0 2)
hex (34 38 39 35 12 15 6 3) (20 50 40) simpleGrading (1 0.25 0.25)
hex (35 39 40 36 3 6 8 5) (20 60 40) simpleGrading (1 1.0 0.25)
hex (36 40 41 37 5 8 17 14) (20 50 40) simpleGrading (1 4.0 0.25)

Блоки выделенные красным не гексаэдры, а призмы



ПРИМЕР: КРЫЛО

Раздел edges:

```
( spline 6 7
( ( 1000.0  1.22  4.5079 )
( 1000.0  3.05  6.283 )
( 1000.0  6.1   9.1561 )
( 1000.0  15.25 13.7433 )
( 1000.0  30.5  18.7636 )
( 1000.0  61.0  25.6932 )
( 1000.0  91.5  30.3719 )
( 1000.0  122.0 33.7574 )
( 1000.0  152.5 36.1669 )
( 1000.0  183.0 37.8505 )
( 1000.0  213.5 38.9119 )
( 1000.0  244.0 39.2596 )
( 1000.0  274.5 38.796 )
( 1000.0  305.0 37.5821 )
( 1000.0  335.5 35.746 )
( 1000.0  366.0 33.3243 )
( 1000.0  396.5 30.3353 )
( 1000.0  422.73 27.3463 )
( 1000.0  427.0  26.8217 )
( 1000.0  457.5  22.8445 )
( 1000.0  483.73 19.1052 )
( 1000.0  488.0  18.4708 )
( 1000.0  514.23 14.5363 )
( 1000.0  518.5  13.8897 )
( 1000.0  549.0  9.272 )
( 1000.0  559.98 7.6128 )
( 1000.0  573.4  5.5876 )
( 1000.0  579.5  4.6726 )
( 1000.0  591.7  2.8853 )
( 1000.0  594.75 2.44 )
( 1000.0  603.9  1.1468 ) )
```



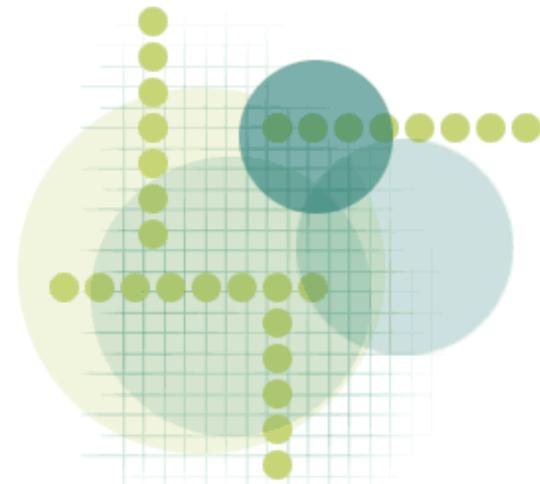
ПРИМЕР: КРЫЛО

построение сетки в blockMesh

Раздел boundary:

```
inlet
{
    type patch;
    faces
    (
        ( 9 18 22 12)
        (30 9 12 34)
        (12 22 26 15)
        (34 12 15 38)
    );
}
outlet
{
    type patch;
    faces
    (
        (33 11 14 37)
        (11 43 45 14)
        (43 10 13 45)
        (10 21 25 13)
        (13 25 29 16)
        (45 13 16 47)
        (14 45 47 17)
        (37 14 17 41)
    );
}
```

```
tunnel_walls
{
    type wall;
    faces
    (
        (18 19 23 22)
        (19 20 24 23)
        (20 21 25 24)
        (30 31 35 34)
        (31 32 36 35)
        (32 33 37 36)
        (22 23 27 26)
        (23 24 28 27)
        (24 25 29 28)
        (34 35 39 38)
        (35 36 40 39)
        (36 37 41 40)
    );
}
```



ПРИМЕР: КРЫЛО

построение сетки в blockMesh

```
surface
{
    type wall;
    faces
    (
        (3 4 7 6)
        (3 5 8 6)
        (3 44 4 3)
        (3 5 44 3)
        (44 4 7 46)
        (5 44 46 8)
    );
}

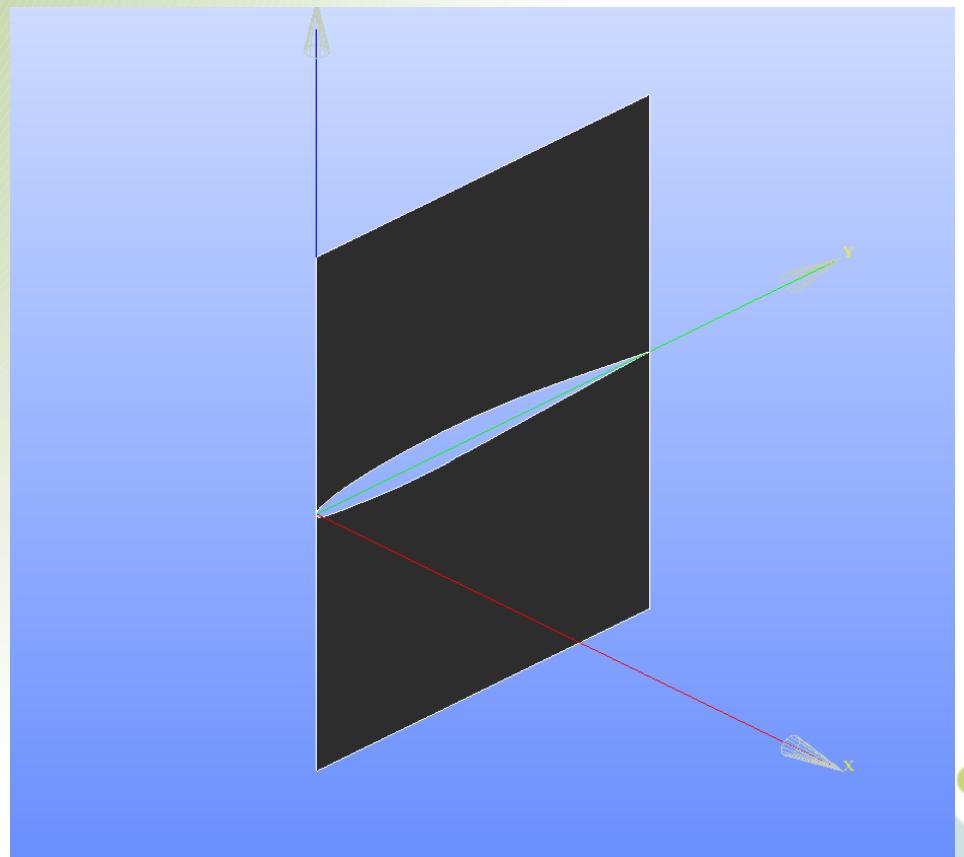
front_and_back
{
    type symmetryPlane;
    faces
    (
        (9 0 19 18)
        (0 1 20 19)
        (1 10 21 20)
        (0 42 1 0)
        (0 2 42 0)
        (42 43 10 1)
        (2 11 43 42)
        (30 31 0 9)
        (31 32 2 0)
        (32 33 11 2)
        (15 6 27 26)
        (6 7 28 27)
        (7 16 29 28)
        (46 47 16 17)
        (8 17 47 46)
        (38 39 6 15)
        (39 40 8 6)
        (40 41 17 8)
    );
}
```



ПРИМЕР: КРЫЛО

Построение сетки в SALOME

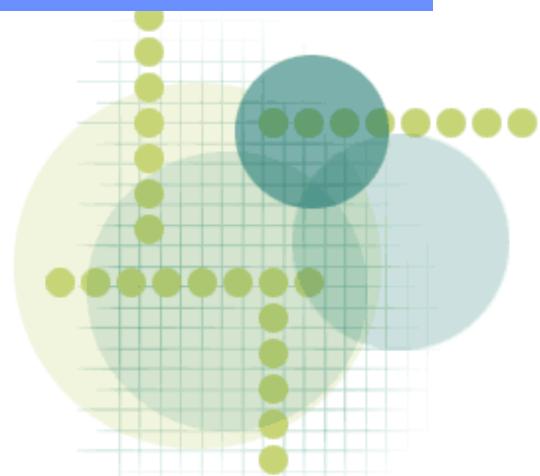
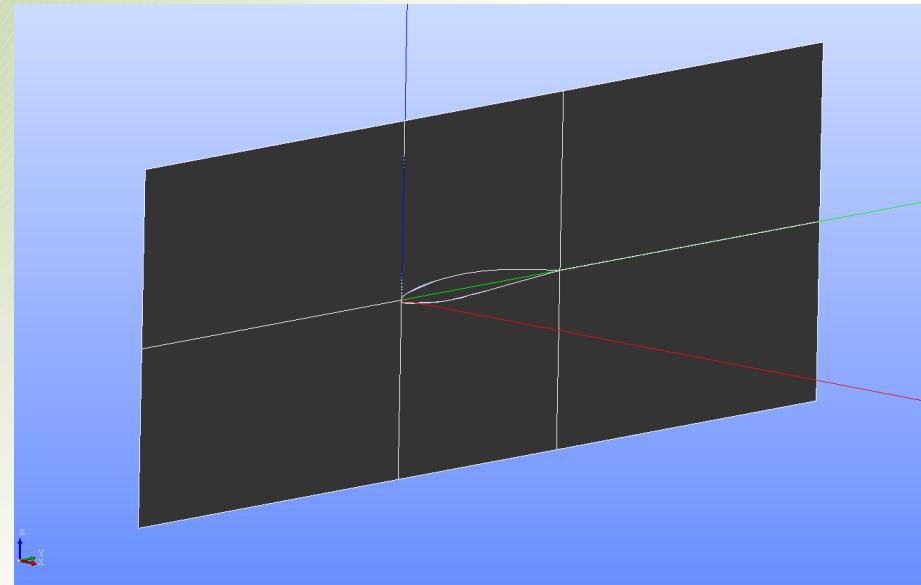
- Строим точки для построения профиля крыла.
- По точкам строим сплайны для верхней и нижней поверхности.
- Строим прямую заднюю кромку профиля.
- Строим грань профиля,
- Вытягиваем линию верхней поверхности профиля вдоль оси Z на 600, а нижнюю на -600.
- Рассекаем полученные поверхности плоскостями построенными в точках (0 0 482,6) и (0 0 -482,6) и нормалью (0 0 1).
- Выделяем поверхности в один объект, как показано на рисунке.
- Вытягиваем передние ребра поверхности вдоль Y на -1000
- Вытягиваем задние ребра и заднюю кромку профиля на 1000 вдоль Y.



ПРИМЕР: КРЫЛО

Построение сетки в SALOME

- Объединяем поверхности в один объект и склеиваем ребра.
- Получившийся объект (см. рисунок) вытягиваем вдоль оси X на 1000 и на -1000 , а профиль крыла на -1000.
- Объединяем получившиеся объекты в один и склеиваем поверхности.



ПРИМЕР: КРЫЛО

Построение сетки в SALOME

- Выделяем группы ребер:
 dX – ребра параллельные оси X ;
 dY_1 – ребра параллельные оси Y , в области перед профилем
 dY_2 – ребра параллельные оси Y , в области профиля;
 dY_3 – ребра параллельные оси Y , в области за профилем;
 dZ – ребра параллельные оси Z ;
- Выделяем группы поверхностей:
 $surface$ – ребра параллельные оси X ;
 $tunnelWals$ – ребра параллельные оси Y , в области перед профилем
 $inlet$ – ребра параллельные оси Y , в области профиля;
 $outlet$ – ребра параллельные оси Y , в области за профилем;
 dZ – ребра параллельные оси Z ;



ПРИМЕР: КРЫЛО

Построение сетки в SALOME

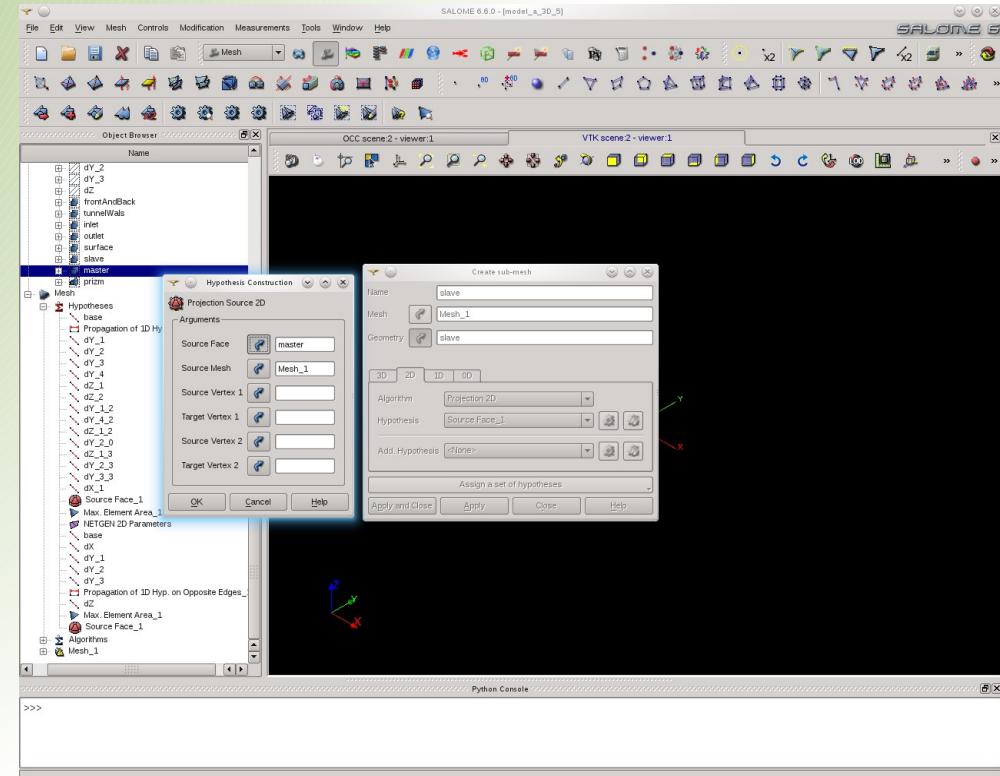
- Выделяем группы поверхностей:
surface – поверхность крыла;
tunnelWals – верхняя и нижняя
поверхности области;
inlet – левая поверхность;
outlet – правая поверхность;
master – торцевая поверхность крыла;
slave – поверхность напротив торца
крыла;
frontAndBack – передняя и задняя
поверхности.
- Выделяем группу объемов *prizm* –
объем для построения
призматических элементов на торце
крыла.



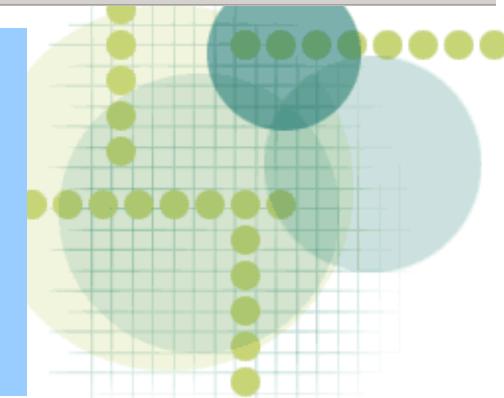
ПРИМЕР: КРЫЛО

Построение сетки в SALOME

- Создаем сетку со следующими параметрами:
Geometry – Glue_2
3D algorithm – Hexaedral (i,j,k)
2D algorithm – Quadrangle(maping)
1D algorithm – Wire Discretization
1D Hypothesis – Nb.Segments = 1
- Создаем под сетки для ребер:
dX – Nb.Segments = 50
dY_1 – Nb.Segments = 50,
scale factor = 4
dY_2 – Nb.Segments = 40
dY_3 – Nb.Segments = 50,
scale factor = 4
dZ – Nb.Segments = 25,
распределение точек задано таблицей:



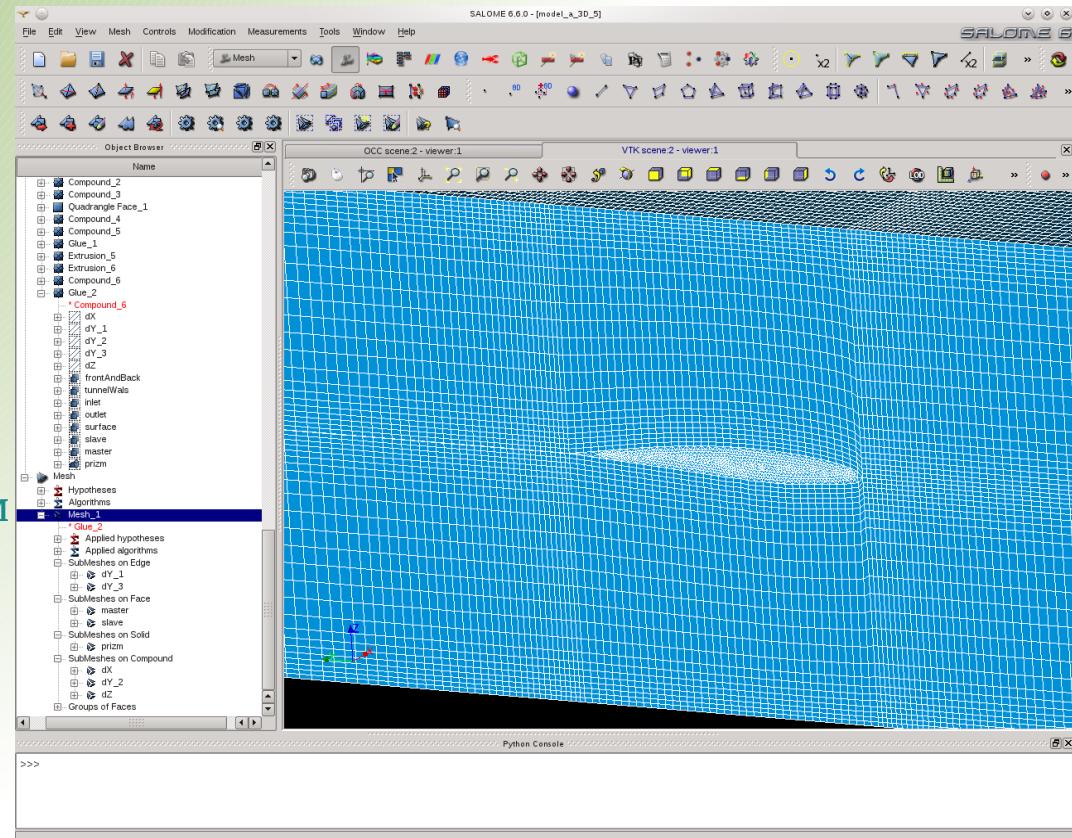
t	f(t)
0	1
0,25	0,25
0,75	0,25
1	1



ПРИМЕР: КРЫЛО

Построение сетки в SALOME

- Создаем под сетки для поверхностей:
master – netgen 2D,
Max. Element Area = 20.
slave – Projection 2D,
Source Face – master,
Source Mesh – Mesh_1
- Создаем под сетки для объемов:
prizm – 3D Extrusion.
- Добавляем группы поверхностей
- Применяем команду *Compute*, а затем
export → UNV file



ПРИМЕР: КРЫЛО

Создание сетки утилитой snappyHexMesh

- Использую геометрию из предидущего раздела строим сетку на группе поверхностей surface с параметрами:
2D algorithm – Netgen 1D-2D
2D Hypothesis – Netgen 2D parameters
Max. Size = 0,5
Min. Size = 0,1
Fineness – Moderate
- Экспортируем полученную сетку в STL-файл.



ПРИМЕР: КРЫЛО

Создание сетки утилитой snappyHexMesh

- Создаем фоновую сетку
точки: (1000 -1000 -482,6)
(1000 1610 -482,6)
(1000 1610 482,6)
(1000 -1000 482,6)
(-1000 -1000 -482,6)
(-1000 1610 -482,6)
(-1000 1610 482,6)
(-1000 -1000 482,6)

блок:

hex (0 1 5 4 3 2 6 7) (44 57 21)

simpleGrading (1 1 1)



ПРИМЕР: КРЫЛО

Создание сетки утилитой snappyHexMesh

- Редактируем файл *snappyHexMeshDict*:

В разделе *geometry* делаем запись:

```
wing.stl
{
    type triSurfaceMesh;
    name wing;
}
```

В разделе *features* делаем запись:

```
{
    file "wing.eMesh";
    level 4;
}
```

В разделе *refinementSurfaces* делаем запись:

```
wing
{
    level (4 6);
}
```



ПРИМЕР: КРЫЛО

Создание сетки утилитой snappyHexMesh

Параметр *locationInMesh* (10 -10 10)

В разделе addLayersControls делаем запись:

```
relativeSizes true;  
layers  
{  
    "wing_.*"  
    {  
        nSurfaceLayers 3;  
    }  
}  
expansionRatio 2.0;  
finalLayerThickness 0.5;  
minThickness 0.25;  
nGrow 0;
```

