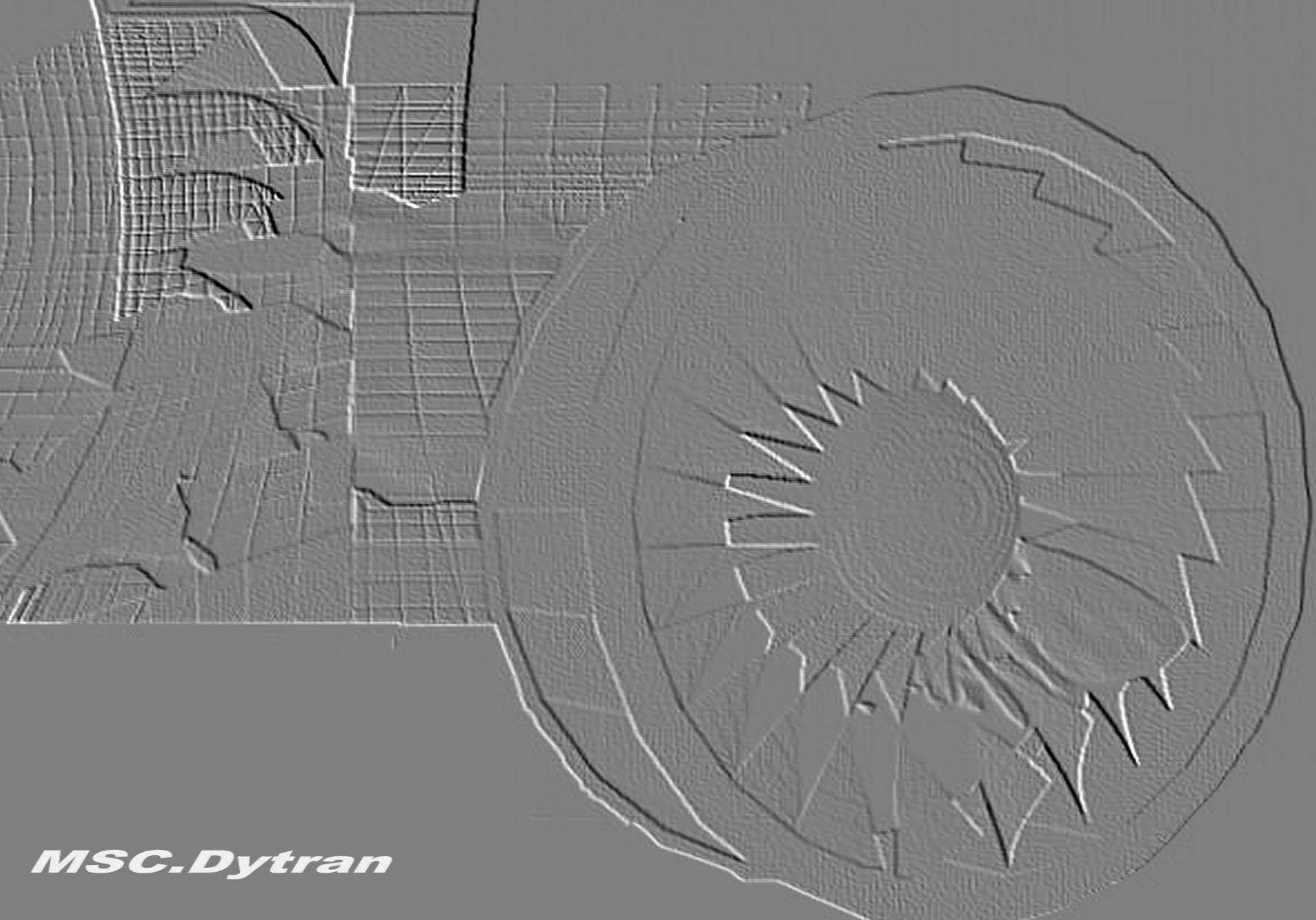


***CHAPTER 15 - FEATURES OF STANDARD EULER***



## СОДЕРЖАНИЕ

- ❑ **Определение (задание) элемента**
- ❑ **Топология *эйлеровых* элементов**
- ❑ **Типы *эйлеровых* элементов**
- ❑ **Материалы**
- ❑ **Начальные условия**
- ❑ ***Эйлеровы* граничные условия**
- ❑ **Автоматический генератор *эйлеровой* сетки**
- ❑ ***ROE*-решатель**
- ❑ **Вывод результатов**

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ (ЗАДАНИЕ) ЭЛЕМЕНТА

- ❑ Для определения элемента необходимо задать:
  - Координаты узлов
    - ✓ Координаты узлов задаются операторами GRID
  - Топологию элементов
    - ✓ Топология элементов задаётся операторами CHEXA / CPENTA / CTETRA
  - Свойства элемента
    - ✓ Свойства элемента (математическая формулировка) задаются операторами PEULER или PEULER1
  - Материал
    - ✓ Оператор DMAT используется для задания параметров материала
- ❑ Каждый оператор должен иметь свой уникальный идентификатор (ID)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ (ЗАДАНИЕ) ЭЛЕМЕНТА

- ❑ “Дерево” ссылок с помощью идентификаторов ID

### Топология

Узлы GRID

Свойство

Материал

Модель предельного  
состояния

...

## ТОПОЛОГИЯ ЭЙЛЕРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- Для эйлеровой сетки допустимы только элементы HEXA, PENTA и TETRA
  - В эйлеровых моделях элементы PENTA и TETRA имеют точность аналогичную точности элементов HEXA
- Элементы PENTA и TETRA могут применяться только при использовании *General Coupling* в качестве модели взаимодействия конструкция - жидкость

CPENT

A

CHEX

A

CTETRA

## ТИПЫ ЭЙЛЕРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Имеются четыре типа *эйлеровых* элементов**
  - **Полное или частичное заполнение только одним материалом с гидродинамическим “поведением”**
    - ✓ Тензор напряжений в материале представлен только гидравлическим давлением; вычислительные затраты невелики  
PEULER, 100, 2, HYDRO
  - **Полное или частичное заполнение только одним материалом со сдвиговыми напряжениями**
    - ✓ Тензор напряжений представлен сдвиговыми напряжениями и гидравлическим давлением; сравнительно большие вычислительные затраты  
PEULER, 100, 2, STRENGTH
  - **Полное или частичное заполнение различными материалами с гидродинамическим “поведением”**
    - ✓ Тензор напряжений материалов в элементе представлен только гидравлическим давлением
    - ✓ Нет ограничений на количество материалов в расчётной схеме, однако в одном отдельно взятом элементе может быть не более 5 материалов  
PEULER, 100, 2, MMHYDRO
  - **Полное или частичное заполнение различными материалами со сдвиговыми напряжениями**
    - ✓ Тензор напряжений представлен сдвиговыми напряжениями и гидравлическим давлением, однако, опять же, в каждом элементе не может быть более 5 материалов  
PEULER, 100, 2, MMSTREN

## ПРИМЕНЯЕМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ

- ❑ **Эйлеров материал с гидродинамическим “поведением” применяется для моделирования**
  - Жидкостей
  - Газов
  
- ❑ **Эйлеров материал со сдвиговыми напряжениями применяются для моделирования**
  - Объёмных тел с большими деформациями
  - Вязких жидкостей
  - Вязких газов

## МАТЕРИАЛЫ

- Оператор **DMAT** применяется для описания всех типов материалов для *эйлеровых* моделей с различными уравнениями состояния, моделями сдвиговых свойств, предельного состояния, разрушения, разрыва и т.п.

DMAT, mid, rho, eid, sid, yid, fid, pid

mid	- (уникальный) номер материала	yid	- номер оператора YLDxxx описания модели предельного состояния - YLDHY – гидродинамическая модель - YLDVM – модель Мизеса - YLDJC – модель Джонсона-Кука (Johnson-Cook'a) - YLDMC – модель Мора-Кулона (Mohr-Coulomb'a)
rho	- “исходная” плотность материала	tid	- номер оператора FAILxxx описания модели разрушения - FAILMPS – разрушение по максимуму деформаций - FAILEX – пользовательская модель
eid	- номер оператора EOSxxx задания уравнения состояния - EOSGAM – уравнение состояния идеального газа - EOSJWL – уравнение состояния JWL взрывчатого вещества (ВВ) - EOSPOL – полиномиальное уравнение состояния - EOSTAIT – уравнение состояния Тэта (Tait'a)	pid	- номер оператора PMINxxx описания модели потери сплошности (разрыва) - PMINC – “разрыв” по достижении заданной величины давления
sid	- номер оператора SHRxxx описания сдвиговых свойств - SHREL – модуль сдвига		

## НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

### □ Оператор TICEL – задание начальных условий (параметров среды) для элементов

- Оператор TICEL ссылается на оператор SET1, определяющий список элементов, для которых задаются начальные условия
- Пример: задание начального значения плотности и скорости движения среды в направлении x

PEULER, 666, 2, HYDRO

DMAT, 2, 1.114, 4

EOSGAM, 4, 1.4, 293.

...

TICEL, 3, 100, DENSITY, 1.114, XVEL, 100.

SET1, 100, <список элементов>

## НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

### □ Инициализация плотности по умолчанию

- Если начальное значение плотности не задано в операторе TICEL, то она принимает значение, указанное в операторе DMAT

### □ Инициализация давления

- Давление инициализируется в соответствии с уравнением состояния
- Пример для случая уравнения состояния идеального газа:

$$P_{initial} = (\gamma - 1) \cdot \rho_{initial} \cdot e_{initial}$$

- Если задать давление с помощью оператора TICEL, то оно будет переопределено на значение, вычисленное по указанному выше выражению

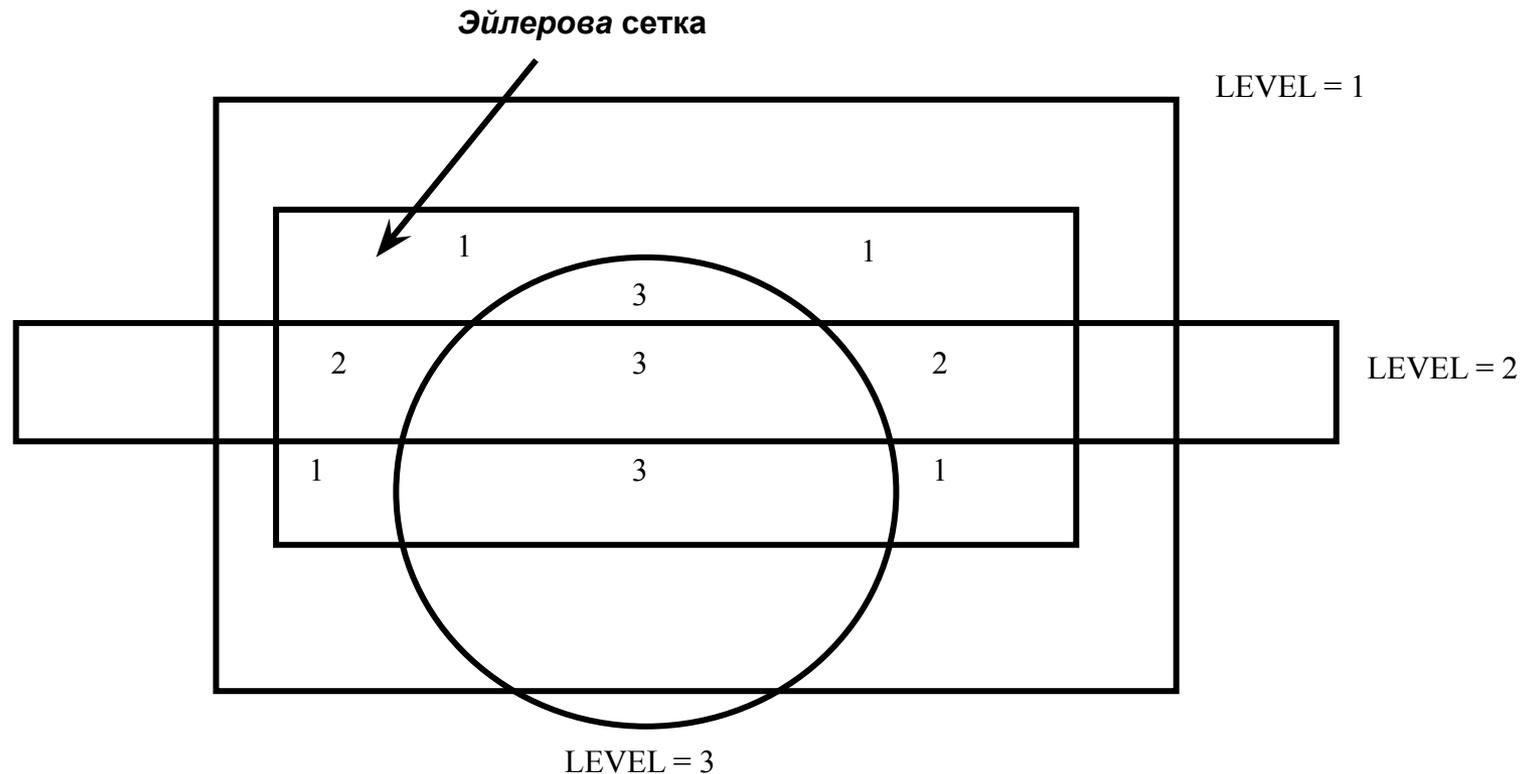
## НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

### ❑ Оператор TICEUL – задание начальных условий (параметров среды) для геометрического региона (зоны)

- Свойства эйлеровых элементов задаются оператором PEULER1
- Оператор PEULER1 ссылается на оператор TICEUL
- Пример:  
PEULER1, 777, , HYDRO, 333  
...  
TICEUL, 333, ...
- Оператор TICEUL определяет регионы, которым при инициализации будут назначены
  - ✓ Материал
  - ✓ Начальные значения переменных
- Форма геометрических регионов
  - ✓ Сфера
  - ✓ Цилиндр
  - ✓ Поверхность
  - ✓ Блок (набор) элементов
- Каждому геометрическому региону присваивается свой индекс
  - ✓ Регионы могут перекрываться в пространстве и регион с большим значением индекса будет иметь больший приоритет

## НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Пример 1: цифры на рисунке показывают принадлежность элементов в разных зонах модели к трём заданным регионам



## НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

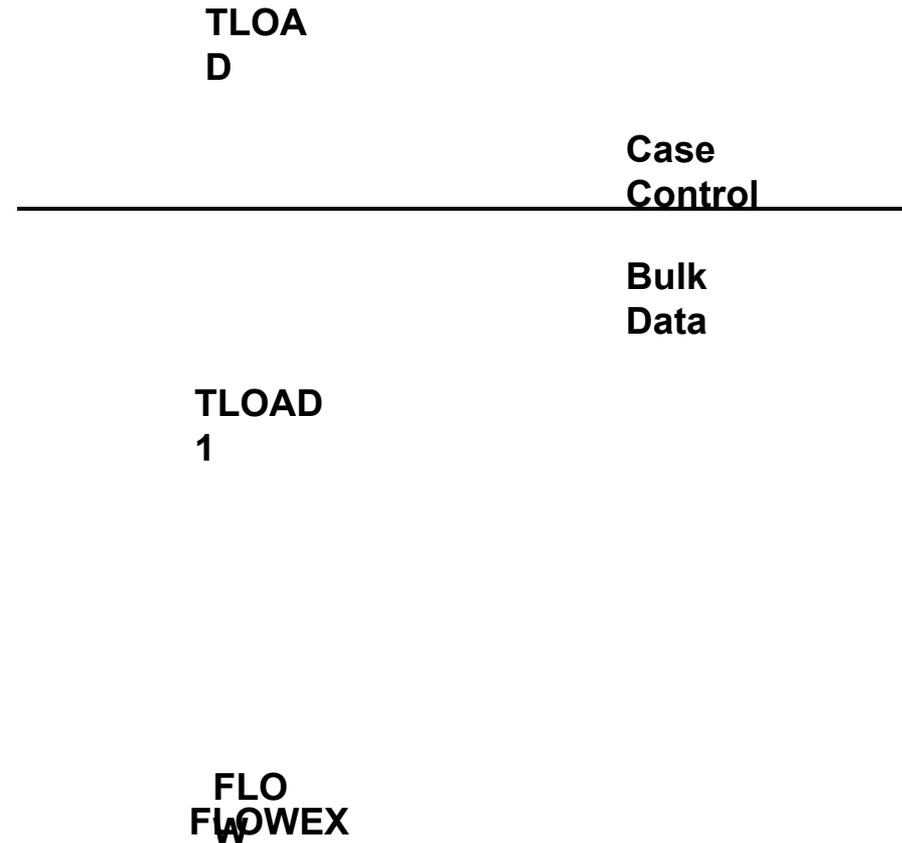
### □ Пример 2:

- 1000 объёмных элементов со свойством PID=111 будут инициализированы как эйлеровы элементы с возможностью заполнения несколькими материалами
- Эти 1000 элементы инициализируются как заполненные материалом 444 с начальными параметрами, указанными в операторе TICVAL 555
- Однако, элементы, находящиеся внутри сферы с центром в точке с координатами (0,0,0) и радиусом 0,1, инициализируются как заполненные материалом 222 с начальными параметрами, указанными в операторе TICVAL 333

```
PEULER1, 111, , MMHYDRO, 777
DMAT, 222, 1000., 5
DMAT, 444, 1.114, 6
TICEUL, 777, , , , , , +
+, SPHERE, 888, 222, 333, 10., , , , +
+, ELEM, 999, 444, 555, 1.
SPHERE, 888, , 0., 0., 0., 0.1
TICVAL, 333, , XVEL, 100.
SET1, 999, 1, THRU, 1000
TICVAL, 555, , XVEL, 500.
```

## ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ - FLOW

- ❑ **Задаются неизменные или изменяющиеся граничные условия**
  - **Задание параметров среды на границе иницируется при TYPE=4 в операторе TLOAD1**
  - **Операторы Bulk Data описания граничных условий должны быть инициированы соответствующими операторами Case Control**



## ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ - FLOW

- ❑ Операторы **TLOAD1** и **FLOW** определяют *эйлеровы* граничные условия – параметры среды на границе
  - Под границей понимается набор сегментов, перечисленных в операторах CFACE<sub>n</sub>
  - Пример:  
CFACE1, 222, 200, 6  
TLOAD1, 1, 333, 4  
FLOW, 333, 222, XVEL, 100, PRESSURE, 1.0E5
- ❑ Операторы **TLOAD1** и **FLOWEX** используются для задания граничных условий посредством пользовательской подпрограммы
  - Граница определяется как набор сегментов, перечисленных в операторах CFACE<sub>n</sub>)
  - Пользователь должен позаботиться о собственной подпрограмме EXFLOW
  - Пример:  
CFACE1, 222, 200, 6  
TLOAD1, 1, 333, 4  
FLOWEX, 333, 222, USERFLOW

## ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ - WALLET

□ Оператор **WALLET** описывает барьер внутри эйлеровой сетки, препятствующий движению (течению) материала

- Барьер задаётся в виде набора сегментов, перечисленных в операторах CFACEn
- Пример:

CFACE1, 222, 200, 6

WALLET, 100, 222

## ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ - DEFAULT

- ❑ По умолчанию на границах эйлеровой сетки автоматически генерируются граничные условия “барьер” (задаваемые оператором WALLET)
- ❑ С помощью оператора **FLOWDEF** граничные условия по умолчанию на границах эйлеровой сетки могут быть переопределены
  - Пример: на границах эйлеровой сетки задаётся постоянное давление  $1 \cdot 10^5$   
FLOWDEF, 44, , HYDRO, , , , , +  
+, PRESSURE, 1.0E5

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЭЙЛЕРОВОЙ СЕТКИ

- ❑ Оператор **MESH** (TYPE=BOX) – автоматическая генерация ортогональной *эйлеровой* сетки

  - Пример: генерация *эйлеровой* сетки с “начальной точкой” (0,0,0), размерами пространства 5×5×5, количеством элементов в каждом направлении 20, номером первого узла 1001, номером первого элемента 2001, типом *свойства* (EULER) и номером оператора описания *свойства* элементов 1

```
MESH, 1, BOX, , , , , , +
+, 0., 0., 0., 5., 5., 5., , , +
+, 20, 20, 20, , 1001, 2001, EULER, 1
```
  
- ❑ Оператор **MESH** (TYPE=ADAPT) – автоматическая генерация ортогональной *эйлеровой* сетки в областях пространства, в которых поверхность взаимодействия с конструкцией перемещается “*наружу*” (начиная с версии **MSC.Dytran 2002r2**)

  - Пример: автоматическая генерация *эйлеровой* сетки с размером элемента во всех направлениях 0,25, с номером первого вновь созданного узла 1001 и номером первого вновь созданного элемента (со свойством 11) 2001

```
MESH, 1, ADAPT, 0.25, 0.25, 0.25, 0., 0., 0., +
+, , , , , , 1, OUTSIDE, +
+, , , , , 1001, 2001, EULER, 11
```

Номер поверхности взаимодействия, движение которой инициирует автоматическую генерацию сетки

## ROE-РЕШАТЕЛЬ

- ❑ **Эйлеров решатель, основанный на алгоритме Riemann'a, разработанного проф. Ф. Рое (Phillip Roe)**
  - 1-ый или 2-ой порядок пространственной аппроксимации
  - 2-ой порядок (принят по умолчанию) обеспечивает отсутствие осцилляций решения в области существенных изменений параметров течения среды
  - Примеры:
    - PARAM,LIMITER,ROE,NONE – первый порядок аппроксимации
    - PARAM,LIMITER,ROE – второй порядок аппроксимации
- ❑ **Для интегрирования во временной области используется многошаговый алгоритм Рунге-Кутты**
  - PARAM,RKSCHEME,1
  - PARAM,RKSCHEME,3
- ❑ **При применении ROE-решателя использование модели материала (уравнение состояния) JWL недопустимо – необходимо использовать “обычную” технологию**
- ❑ **При применении ROE-решателя допустимо наличие в модели только одного материала, “пустые” зоны модели (void) также недопустимы**

## ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ

- ❑ Операторы **ELEMENTS** и **ELOUT** – вывод результатов для эйлеровой области

```
TYPE(EUL) = ARCHIVE
ELEMENTS(EUL) = 40
SET 40 = ALLEULHYDRO
ELOUT(EUL) = XVEL,YVEL,ZVEL,XMOM,YMOM,
             ZMOM,PRESSURE,ENEGY,
             DENSITY,SIE,FVUNC
TIME(EUL) = 0.0, THRU, END, BY, 1.0E-3
SAVE(EUL) = 100000
```

- ❑ Операторы **EBDS** и **EBDOUT** – вывод результатов для границы эйлеровой области

```
TYPE(EULB) = TIMEHIS
EBDS(EULB) = 16
SETC 16 = FLOW1`
EBDOUT(EULD) = MFL,ENERGY,XMOM,
              FY,MFLR,XVEL
TIME(EULB) = 0.0, THRU, END, BY, 1.0E-5
SAVE(EULB) = 100000
```