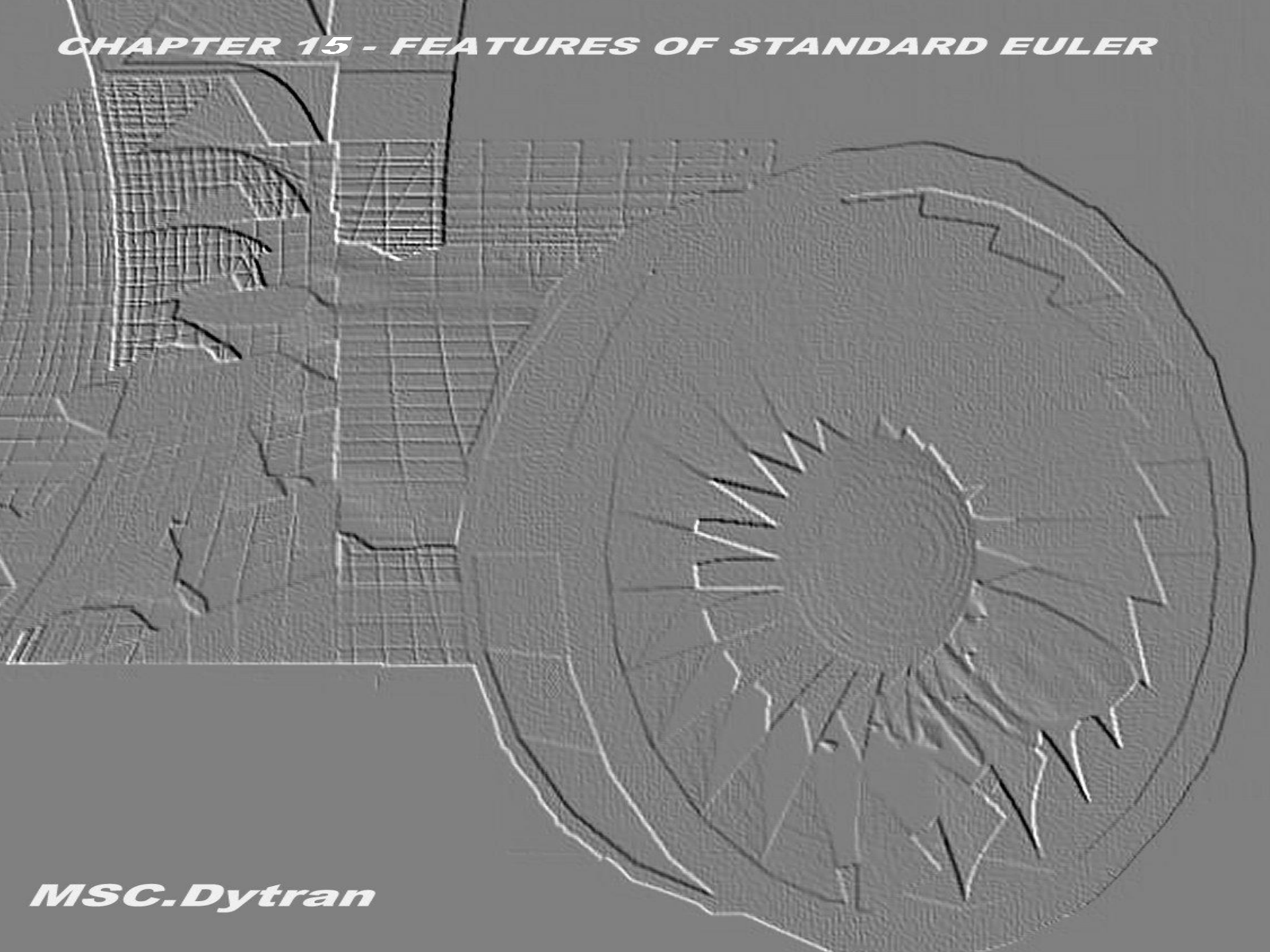
CHAPTER 15 - FEATURES OF STANDARD EULER



MSC.Dytran

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**

CPENTA **CHEXA** **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

rho - “исходная” плотность материала

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)

sid - номер оператора SHRxxx описания сдвиговых свойств
- SHREL – модуль сдвига

yld - 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)

tid - номер оператора FAILxxx описания модели разрушения
- FAILMPS – разрушение по максимуму деформаций
- FAILEX – пользовательская модель

pid - номер оператора PMINxxx описания модели потери сплошности (разрыва)
- PMINC – “разрыв” по достижении заданной величины давления

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- **Оператор TICEL – задание начальных условий (параметров среды) *<u>для элементов</u>***
  - **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:**

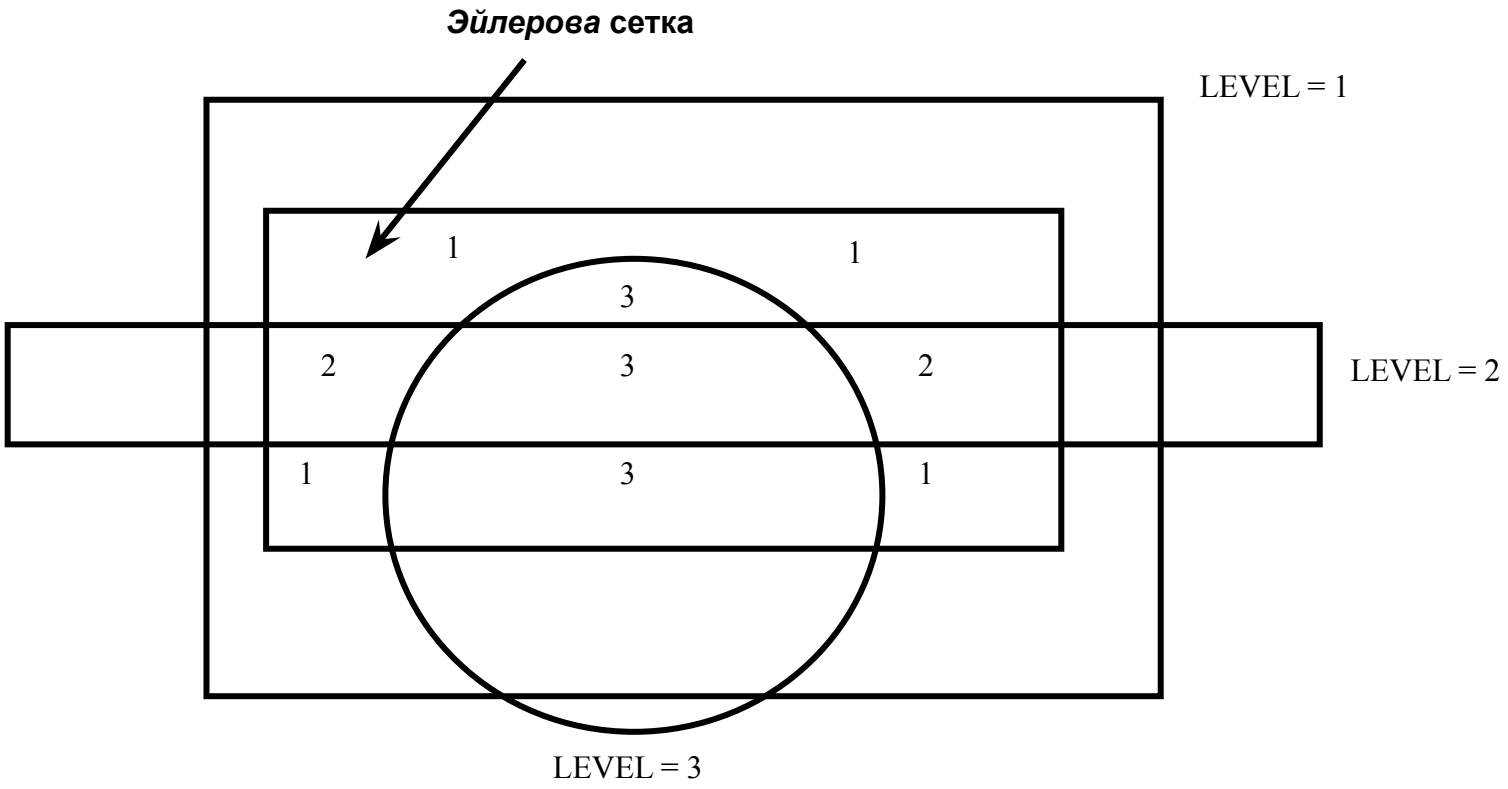
    PEULER1, 777, , HYDRO, 333

    …

    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**



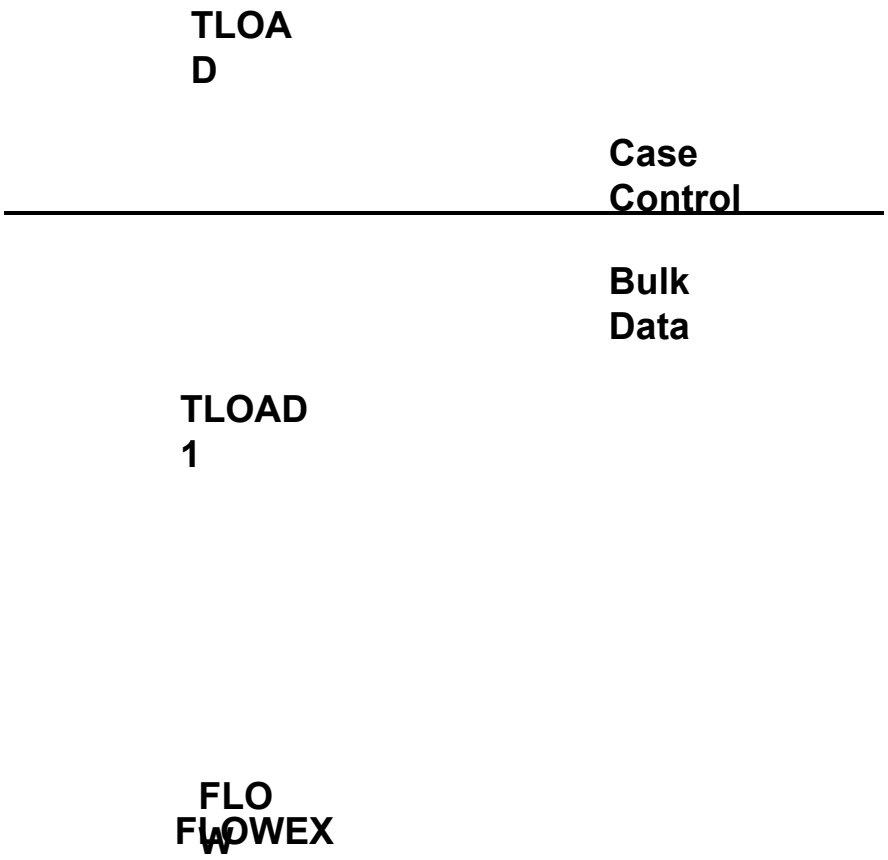
НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- **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 инициируется 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 CFACEn**
  - **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 CFACEn)**
  - **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
```