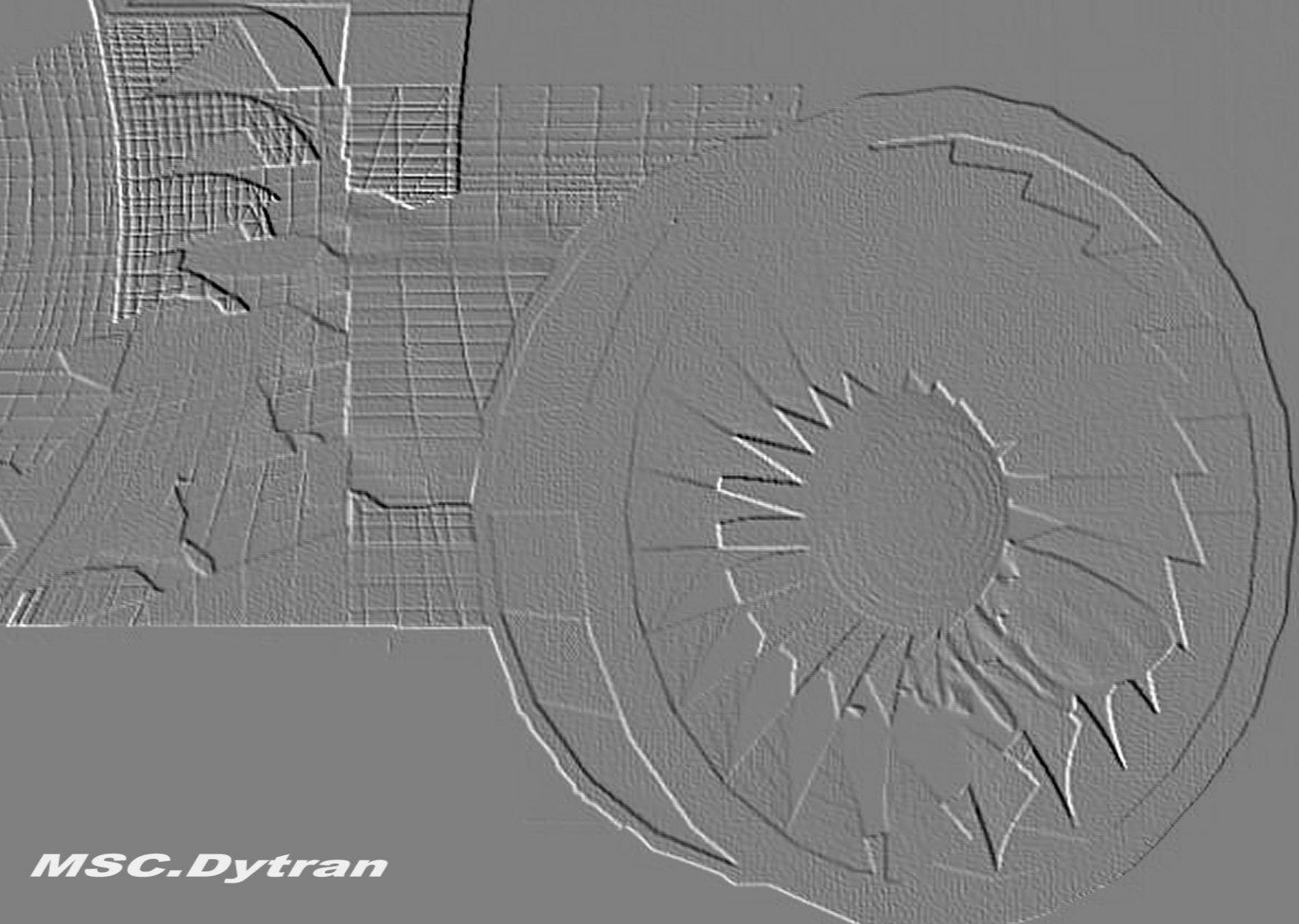


CHAPTER 15 - FEATURES OF STANDARD EULER



СОДЕРЖАНИЕ

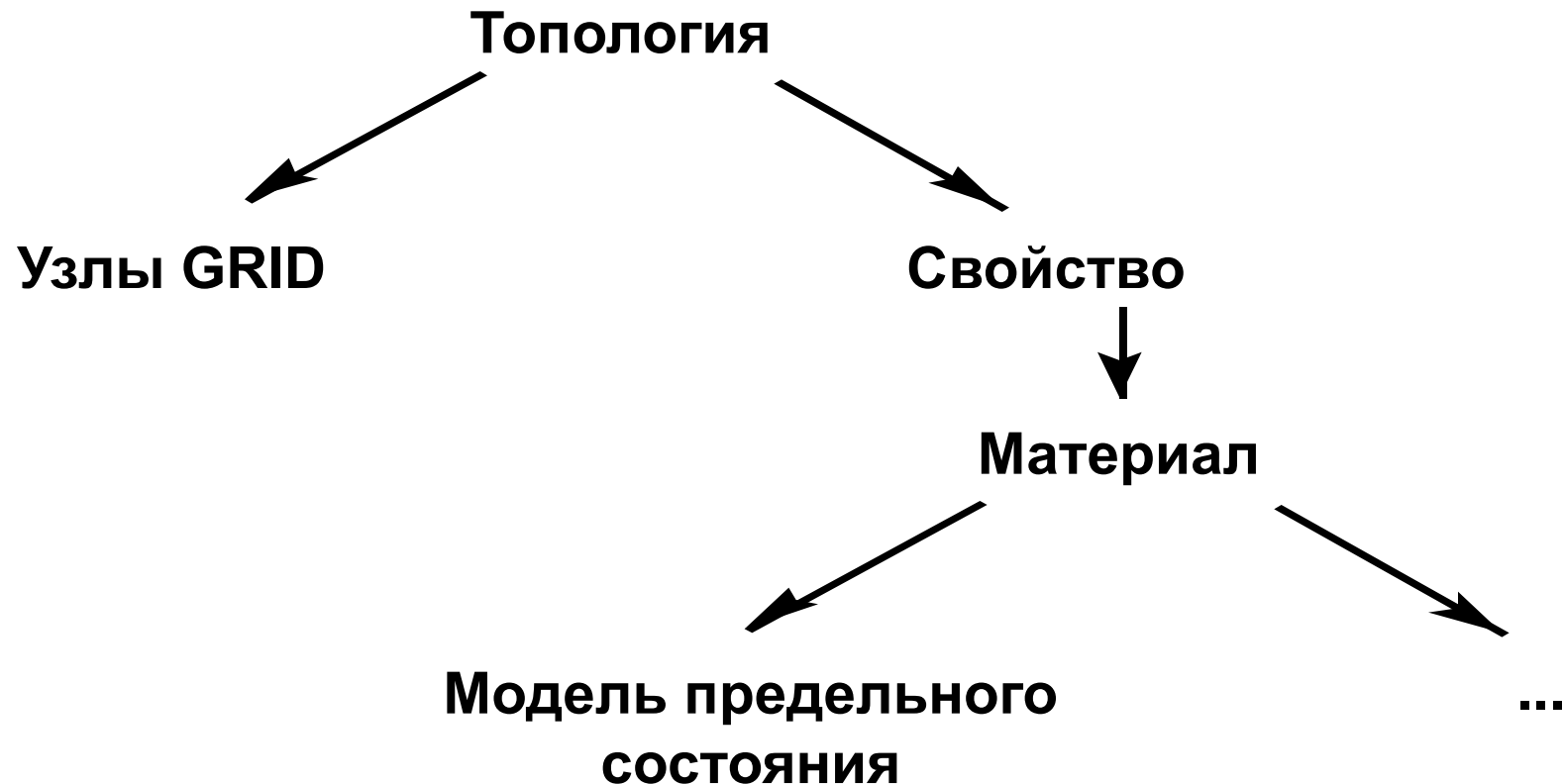
- ❑ **Определение (задание) элемента**
- ❑ **Топология *эйлеровых* элементов**
- ❑ **Типы *эйлеровых* элементов**
- ❑ **Материалы**
- ❑ **Начальные условия**
- ❑ ***Эйлеровы* граничные условия**
- ❑ **Автоматический генератор *эйлеровой* сетки**
- ❑ ***ROE*-решатель**
- ❑ **Вывод результатов**

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)

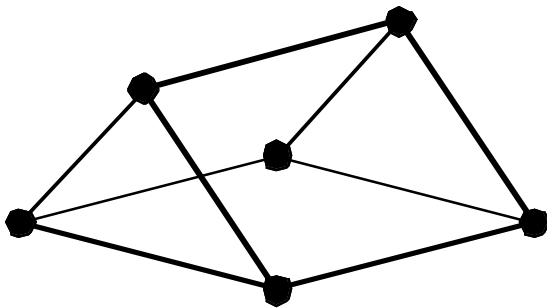
ОПРЕДЕЛЕНИЕ (ЗАДАНИЕ) ЭЛЕМЕНТА

- “Дерево” ссылок с помощью идентификаторов ID



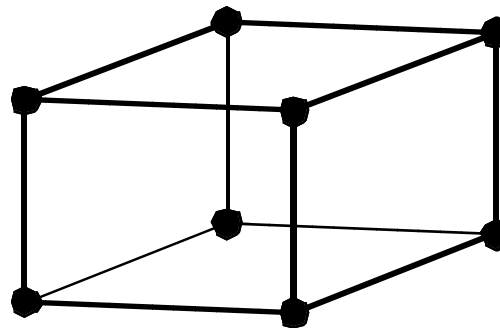
ТОПОЛОГИЯ ЭЙЛЕРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- ❑ 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



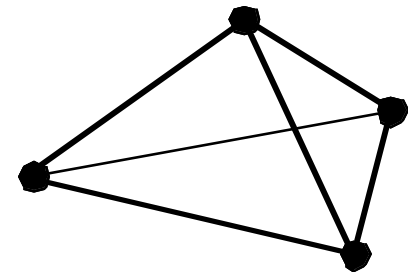
CPENT

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, yld, fid, pid

mid	- (уникальный) номер материала	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)
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

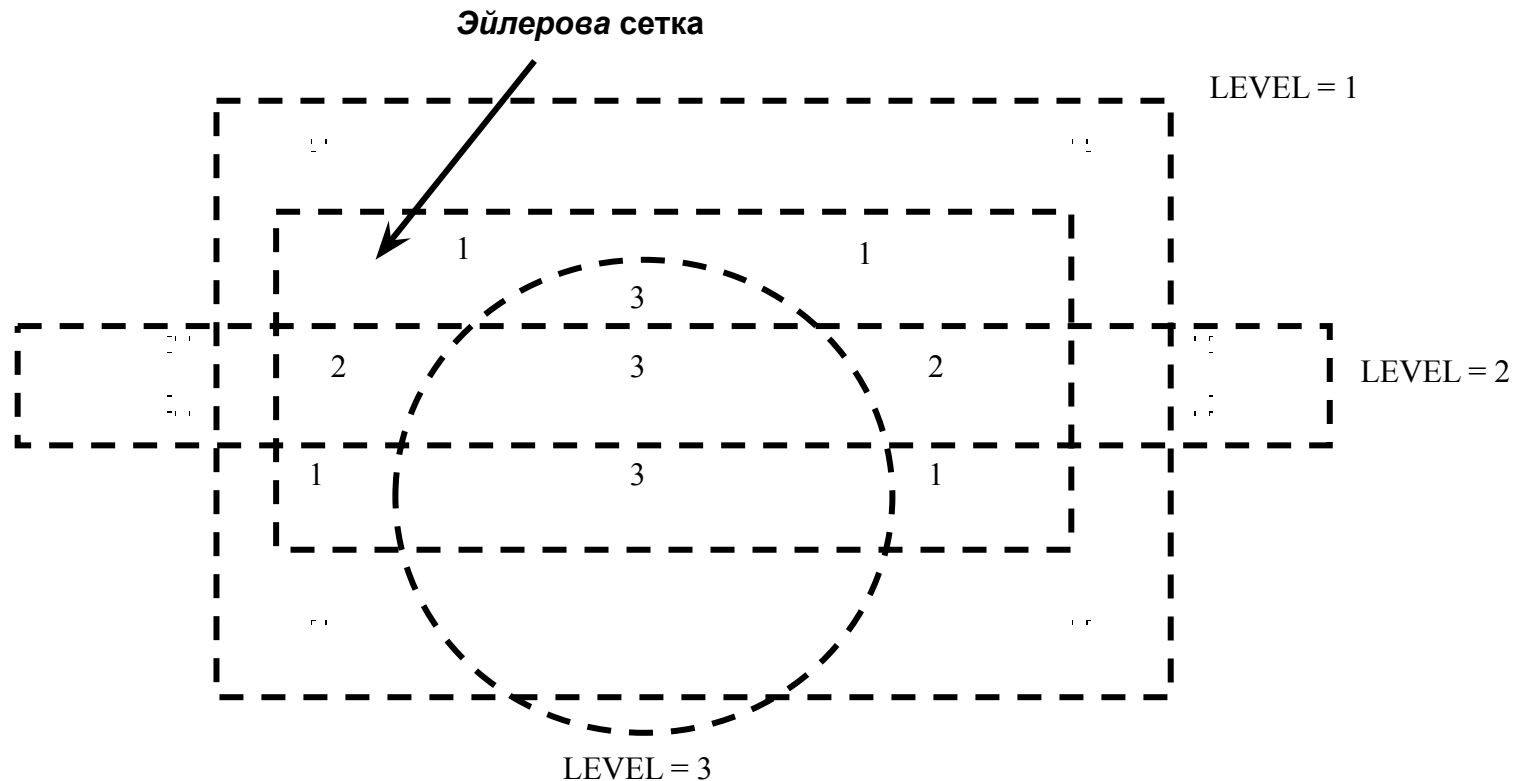
НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

❑ 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

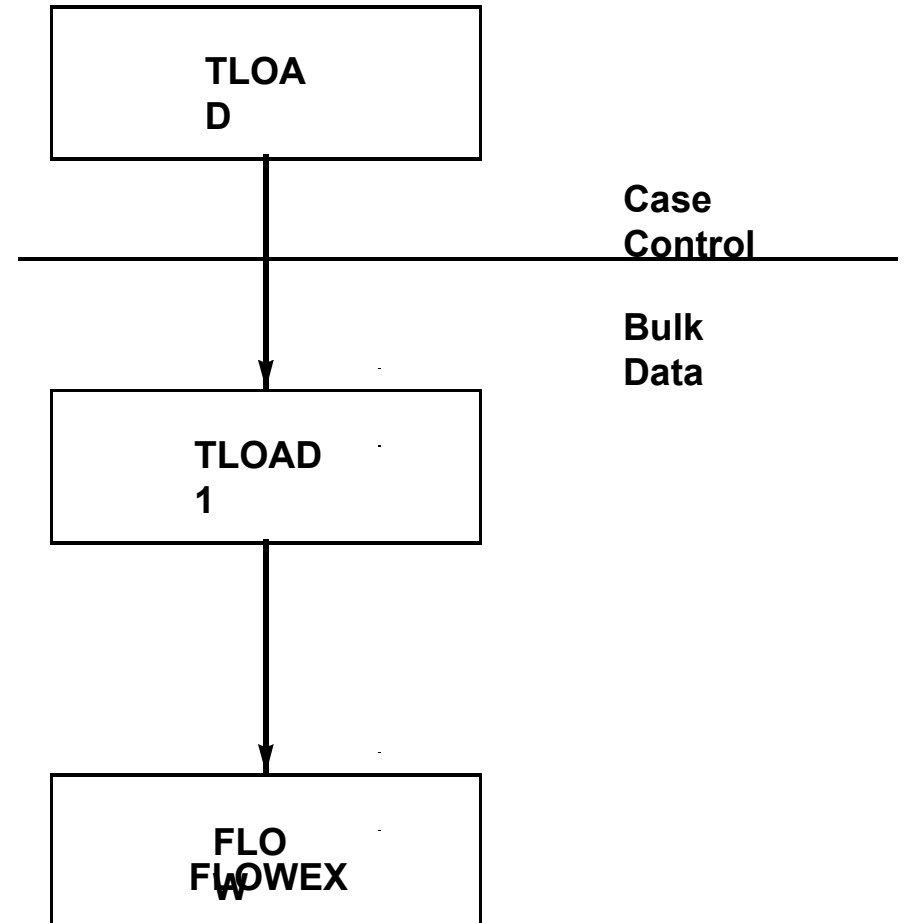
❑ Пример 2:

- 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 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 CFACE_n
 - 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_n)
 - 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 WALLEТ)
- ❑ 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