Связанная сетка Лагранжа/ALE Моделирование: Возможности и трудности

А. С. Робинсон, Дж. Е. Бишоп, Д. М. Хенсингер, Т. Е. Вот и М. К. Вонг

Совместная Российско – Американская конференция пяти лабораторий по вычислительной математике/физике

19-23 июня 2005

Вена, Австрия

Sandia is a multiprogram laboratory operated by Sandia Corporation, a Lockheed Martin Company, for the United States Department of Energy's National Nuclear Security Administration under contract DE-AC04-94AL85000.

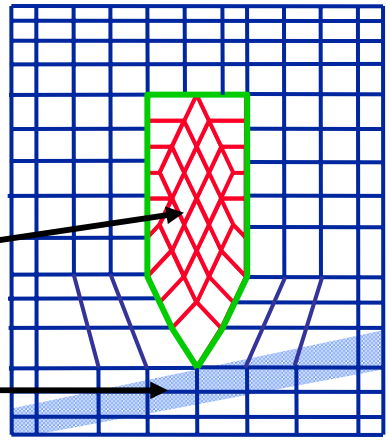
ALEGRA

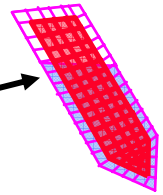
- Наша задача – точное моделирование реакции и взаимодействия проникающего тела и материала мишени, в случае когда жесткость проникающего тела выше жесткости мишени.
- Наши допущения:
  - Проникающее тело жестче, чем среда настолько, что оно не подвергается экстремальным деформациям, но может достичь состояния пластичности или разрушения.
  - Среда мишени в высокой степени неоднородна и является объектом интенсивного разрушения и течения вокруг проникающего тела.
  - Взаимодействие между проникающим телом и средой существенно влияет на механическую реакцию проникающего тела.

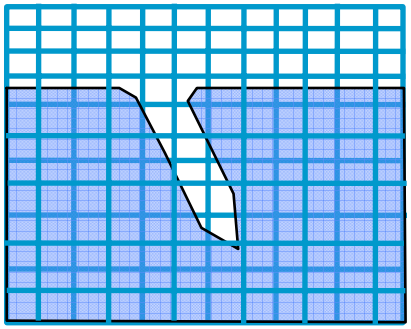
Sandia National Laboratories

Технглогии проникающего тела в модели Alegra

- Расширение каверны
  - Простая аналитическая модель
- **SHISM** (Поверхностная механика мягкого жесткого взаимодействия)
  - Проникающий блок Лагранжа и взаимодействие
  - **ALE** блок мишени
  - Без нахлестки сетки
- **EP** (проникающее тело)
  - Регион проницания Лагранжа с конформной фантомной сеткой
  - Структурированная область мишени Эйлера







Sandia National Laboratories

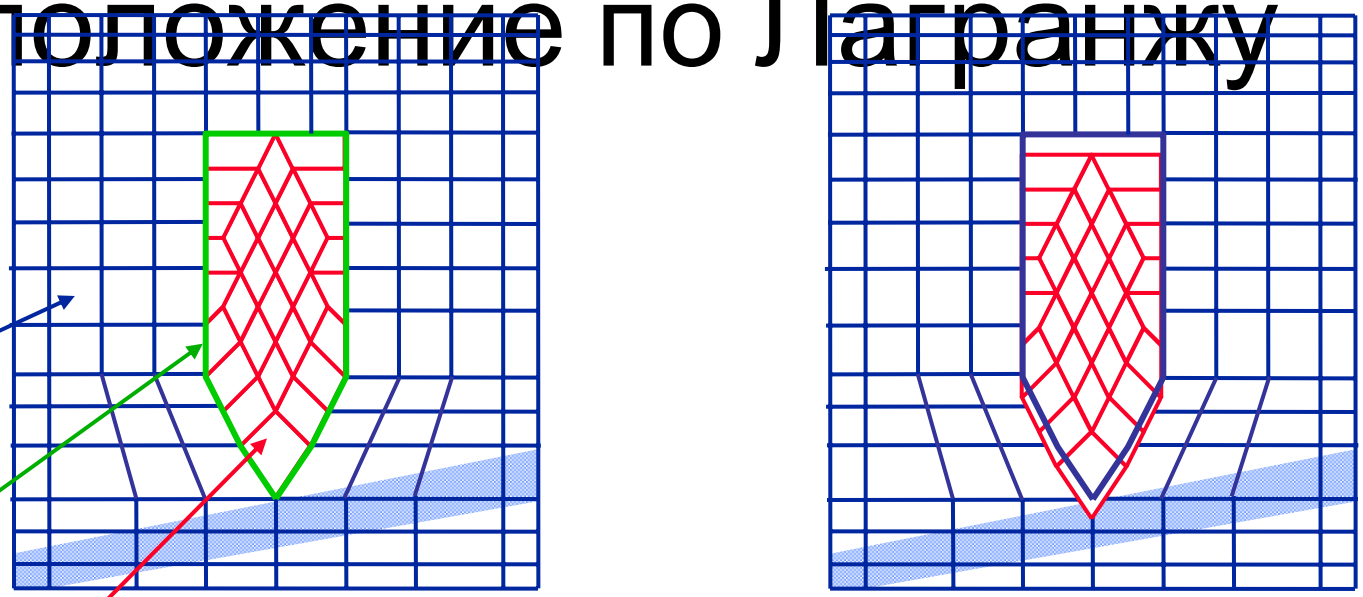
Варианты баз данных и алгоритмов в модели Alegra

- Области опорной сетки:
  - Неструктурированная: сетка типовых конечных элементов произвольных соединений.
  - Структурированная: логическая прямоугольная сетка (т.е. линии ijk) с криволинейными координатами.
- Имеется алгоритм блока сетки, который составляет область:
  - По Лагранжу: сетка перемещается вместе с материалом – дает хорошие результаты для данных по устойчивым состояниям материалов и интерфейсов.
  - По Эйлеру: материал проходит сквозь фиксированную сетку – дает хорошие результаты, позволяя ввести существенную деформацию материала без искривлений сетки.
  - Произвольный (ALE): материал и сетка перемещаются независимо. Сетка перемещается, сохраняя положение и форму некоторых оптимальных элементов.

Sandia National Laboratories

SHISM

Прогнозированное положение по Лагранжу



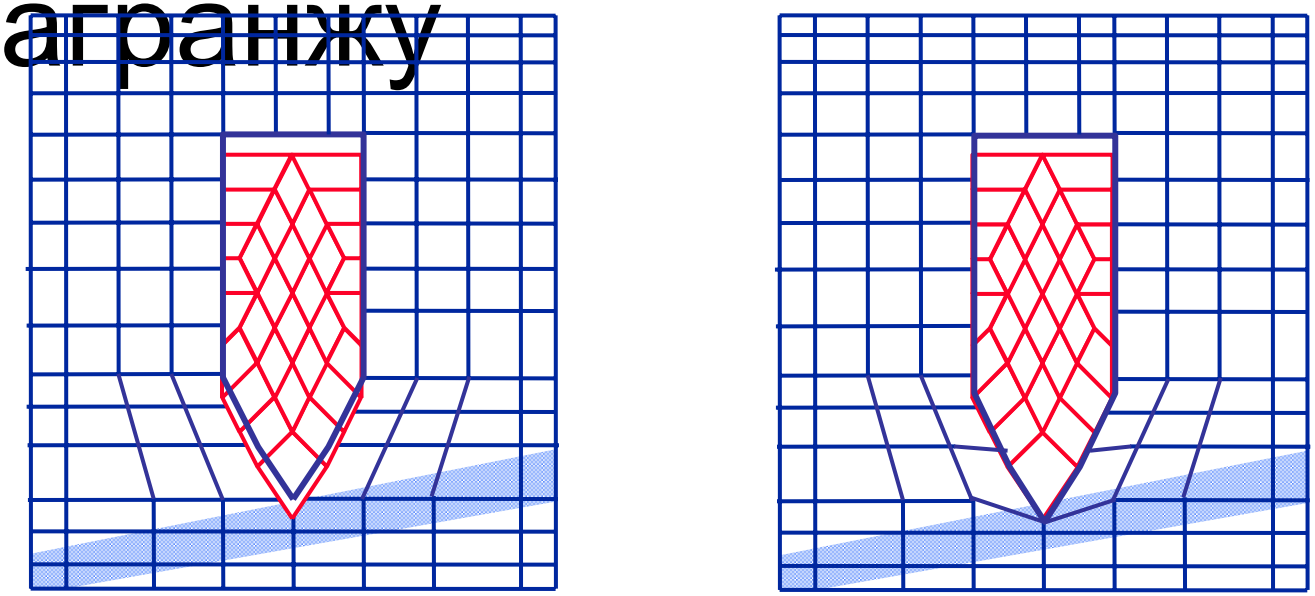
- Проникающее тело (Сетка Лагранжа)
- Контактная поверхность по Лагранжу (ACME)
- Мишень (ALE/сетка Эйлера)

- Кинематические вычисления
  - Вычислить усилия
  - *Вычислить прогноз скорости и положения*
  - Вычислить усилие контакта
  - Вычислть конечную скорость и положение
- Корректировка данных состояния материала
  - Вычислить скорость деформации
  - Корректировка данных по растяжению и вращению
  - Вычислить новое состояние напряжения
  - Вычислить искусственную вязкость
- Изменить сетку
- Изменить отображение

Sandia National Laboratories

SHISM

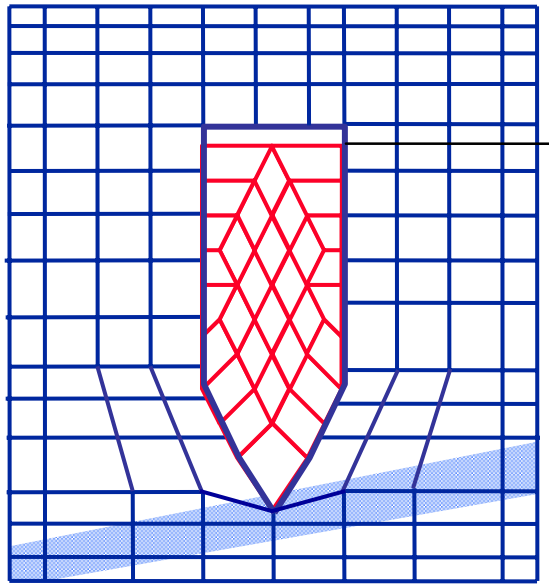
Конечные положения по Лагранжу



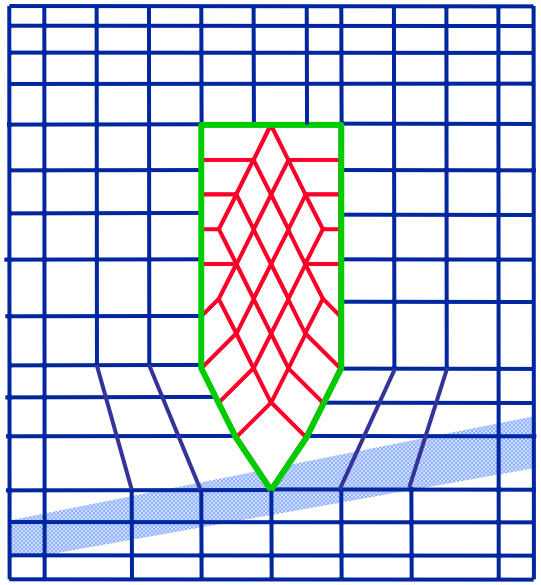
- Кинематические вычисления
  - Вычислить усилия
  - *Вычислить прогноз скорости и положения*
  - Вычислить усилие контакта
  - Вычислть конечную скорость и положение
- Корректировка данных состояния материала
  - Вычислить скорость деформации
  - Корректировка данных по растяжению и вращению
  - Вычислить новое состояние напряжения
  - Вычислить искусственную вязкость
- Изменить сетку
- Изменить отображение

Sandia National Laboratories

SHISM
Изменение сетки/карты



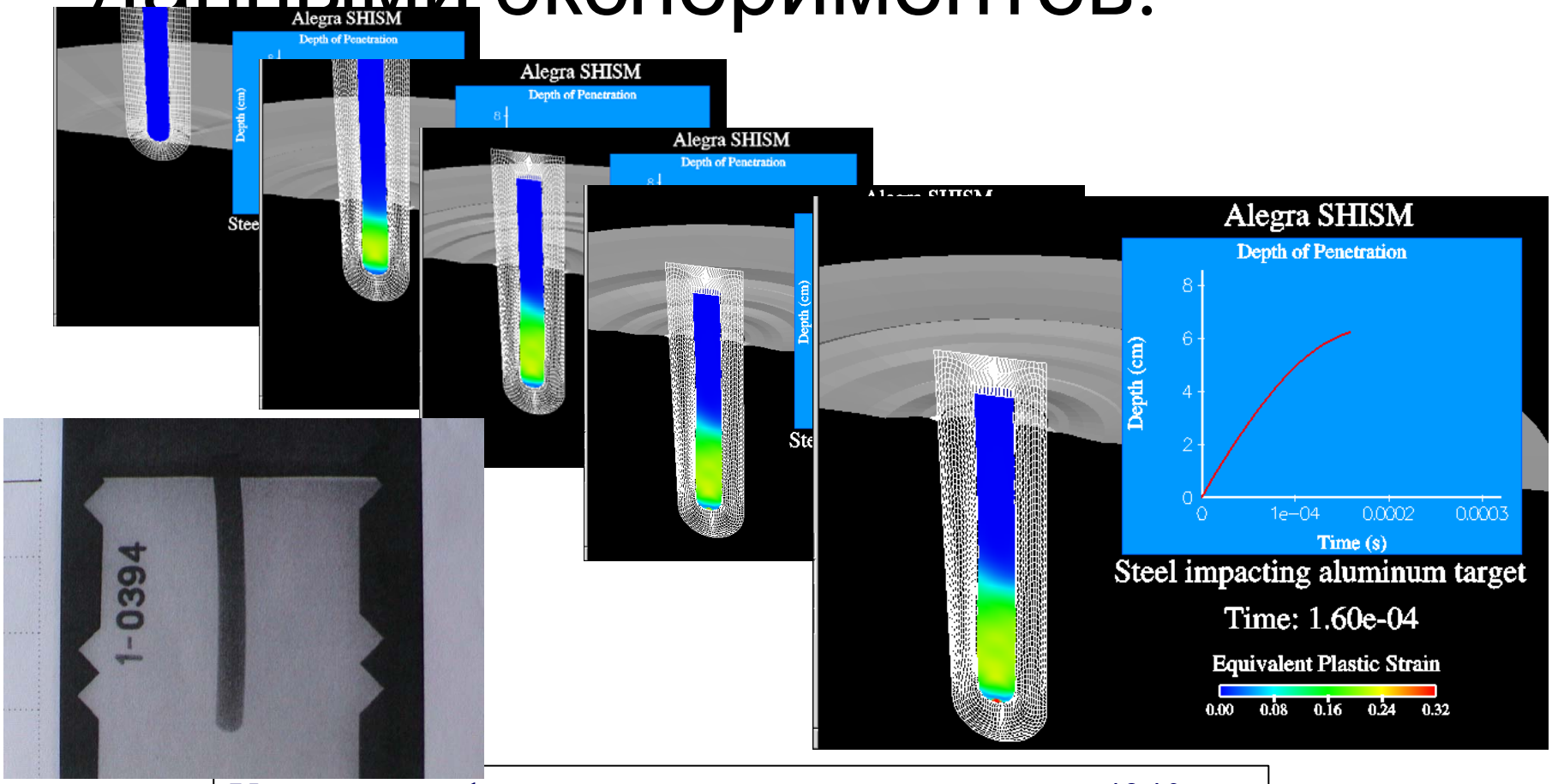
Переместить узлы интерфейса и проследить внешнюю сетку ALE с проникающим телом. Обратите внимание материал мишени“пролходит ” сквозь сетку.



- Кинематические вычисления
  - Вычислить усилия
  - *Вычислить прогноз скорости и положения*
  - Вычислить усилие контакта
  - Вычислть конечную скорость и положение
- Корректировка данных состояния материала
  - Вычислить скорость дформации
  - Обновить данные по растяжению и вращению
  - Вычислить новое состояние напряжения
  - Вычислить искусственную вязкость
- Изменить сетку
- Изменить отображение

Sandia National Laboratories

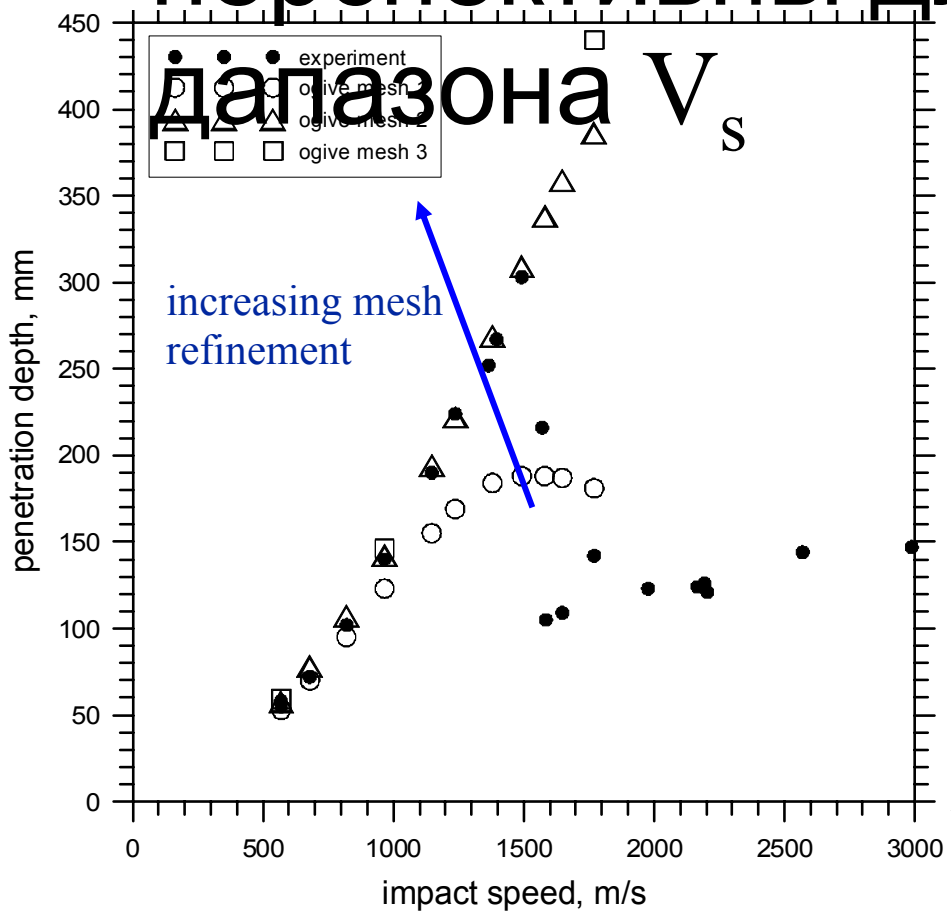
Как правило, можно получить хорошее соответствие с данными экспериментов.

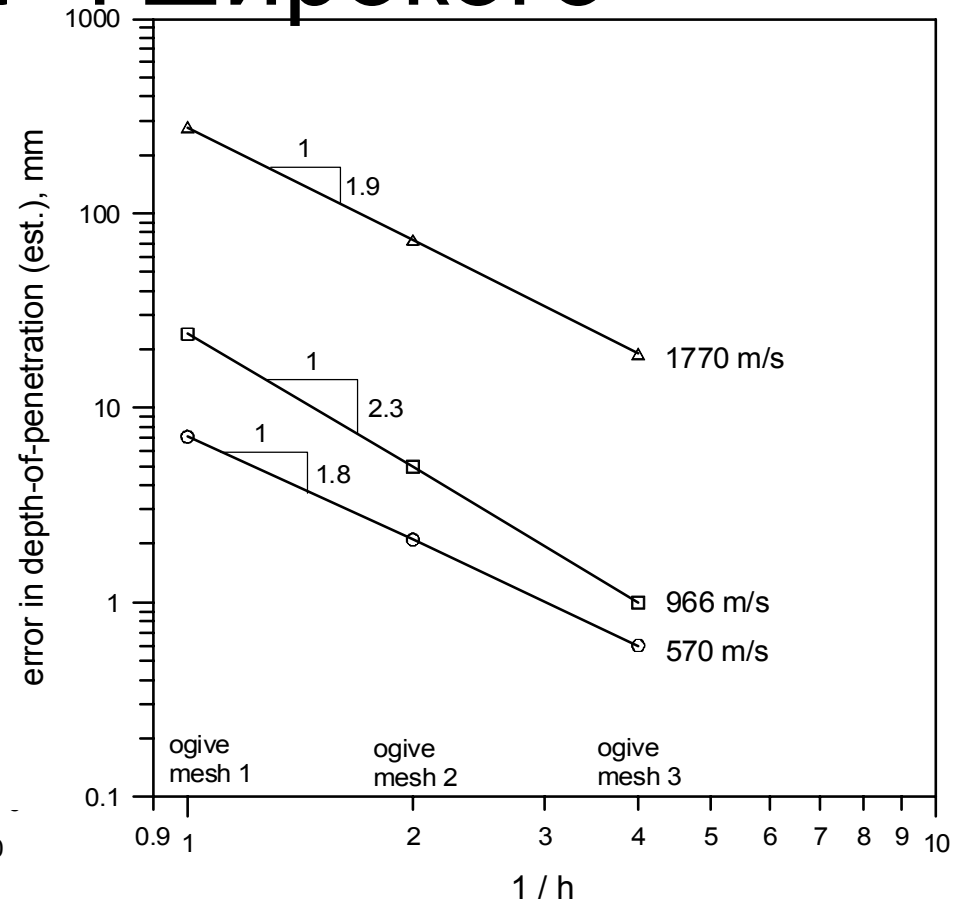


Ударник со сферическим наконечником из стали 4340 по мишени из алюминия 6061-T6511, 720м/сек. Угол соударения 1°.

Sandia National Laboratories

экспериментальными данными и методы конвергенции перспективны для широкого диапазона V_s



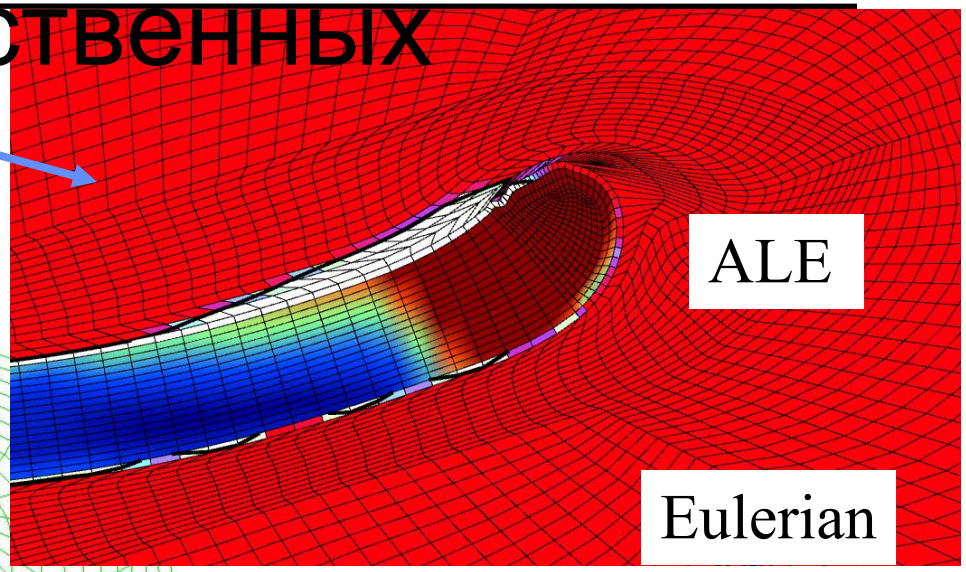


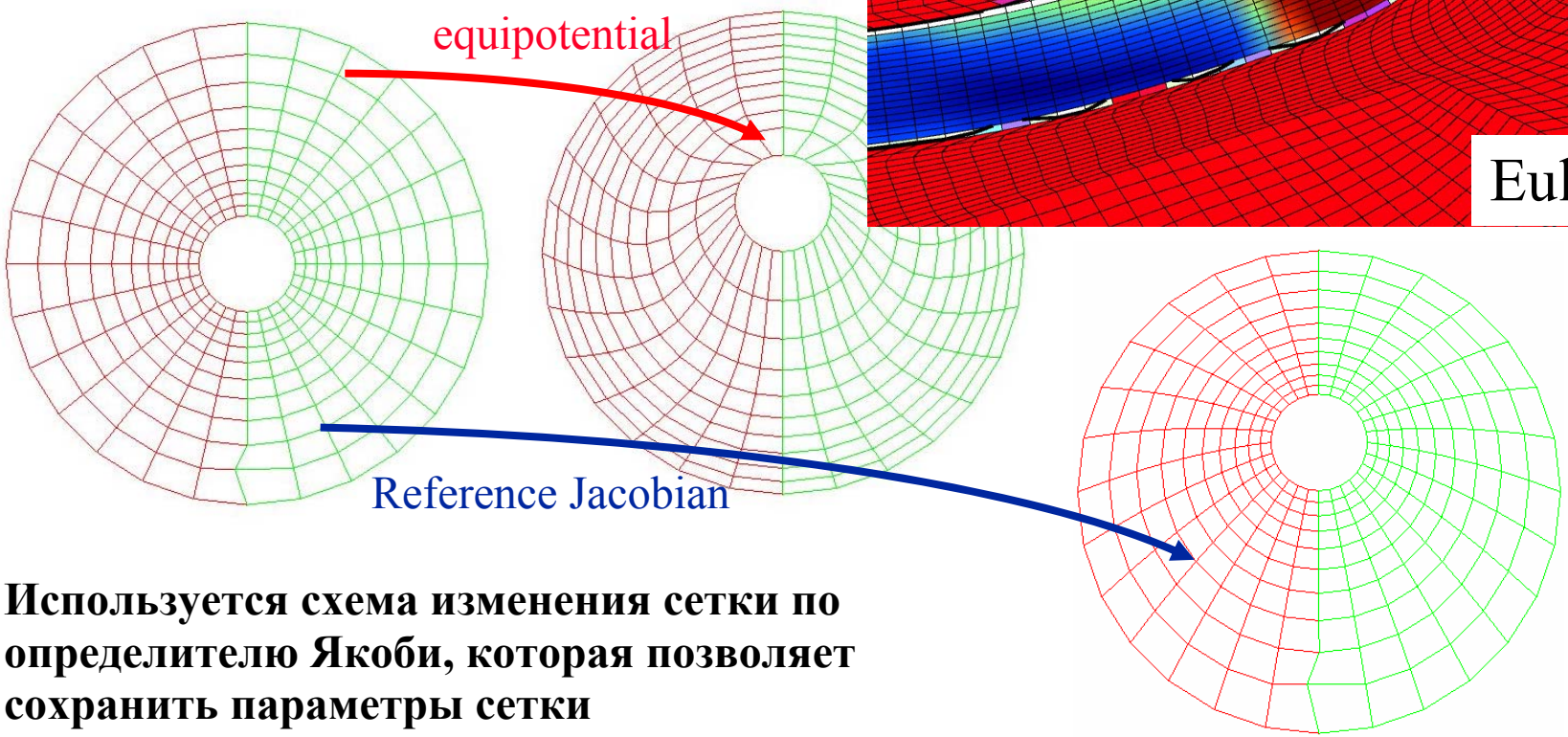
Прогнозированная (Bishop et al., 2005) и измеренная (Warren et al., 1999) величины. Стальное тело по алюминиевой мишени. На правом графике принята асимптотическая конвергенция.

Sandia National Laboratories

включает моделирование не идеального соударения

Моделирование 2º AOA и эквипотенциальное изменеиие сетки. Область Эйлера ограничивает движение сетки вокруг проникающего тела.



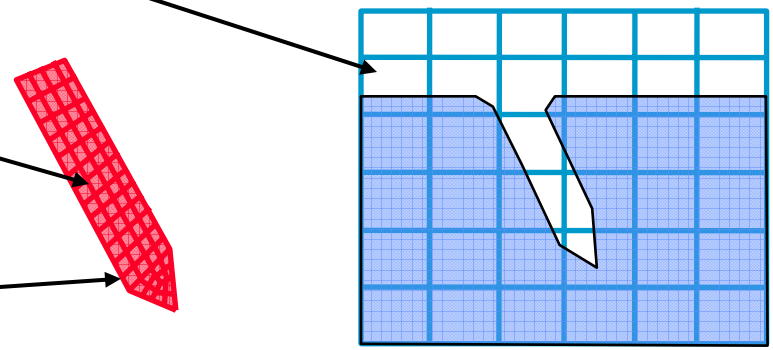


Используется схема изменения сетки по определителю Якоби, которая позволяет сохранить параметры сетки (Knupp et al., 2003; Hansen et al., 2004).

Sandia National Laboratories

Современные возможности EP

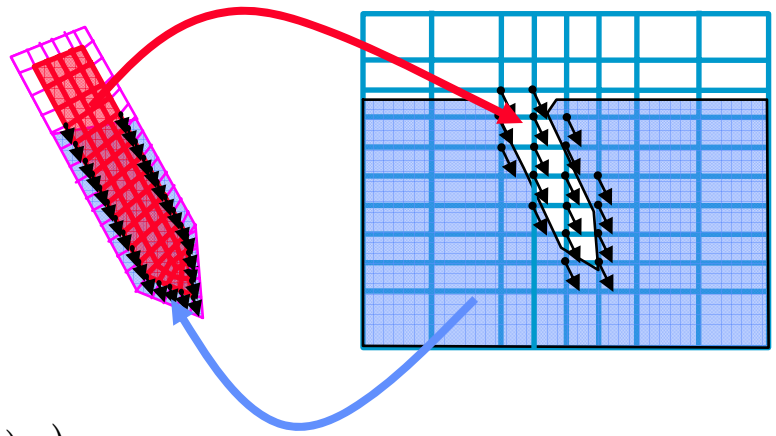
- Мишень находится в структурированной сетке Эйлера, в которую включена интересующая нас область исключительно материала мишени.
- Проникающее тело представлено неструктурированной сеткой Лагранжа.
- Область проникающего тела включает информацию виртуальной фантомной сетки, которая облегчает обмен данных между областями.
- Перемещения каждой сетки учитываются независимо, позволяя получить прогнозируемую скорость и поле смещений без ограничений.



Sandia National Laboratories

Современные возможности EP (продолжение)

- Масса и импульс передаются от проникающего тела на структурированную сетку мишени Эйлера.
- Масса и импульс среды мишени передаются на фантомную сетку.
- Обеспечивается постоянство нормальной скорости.

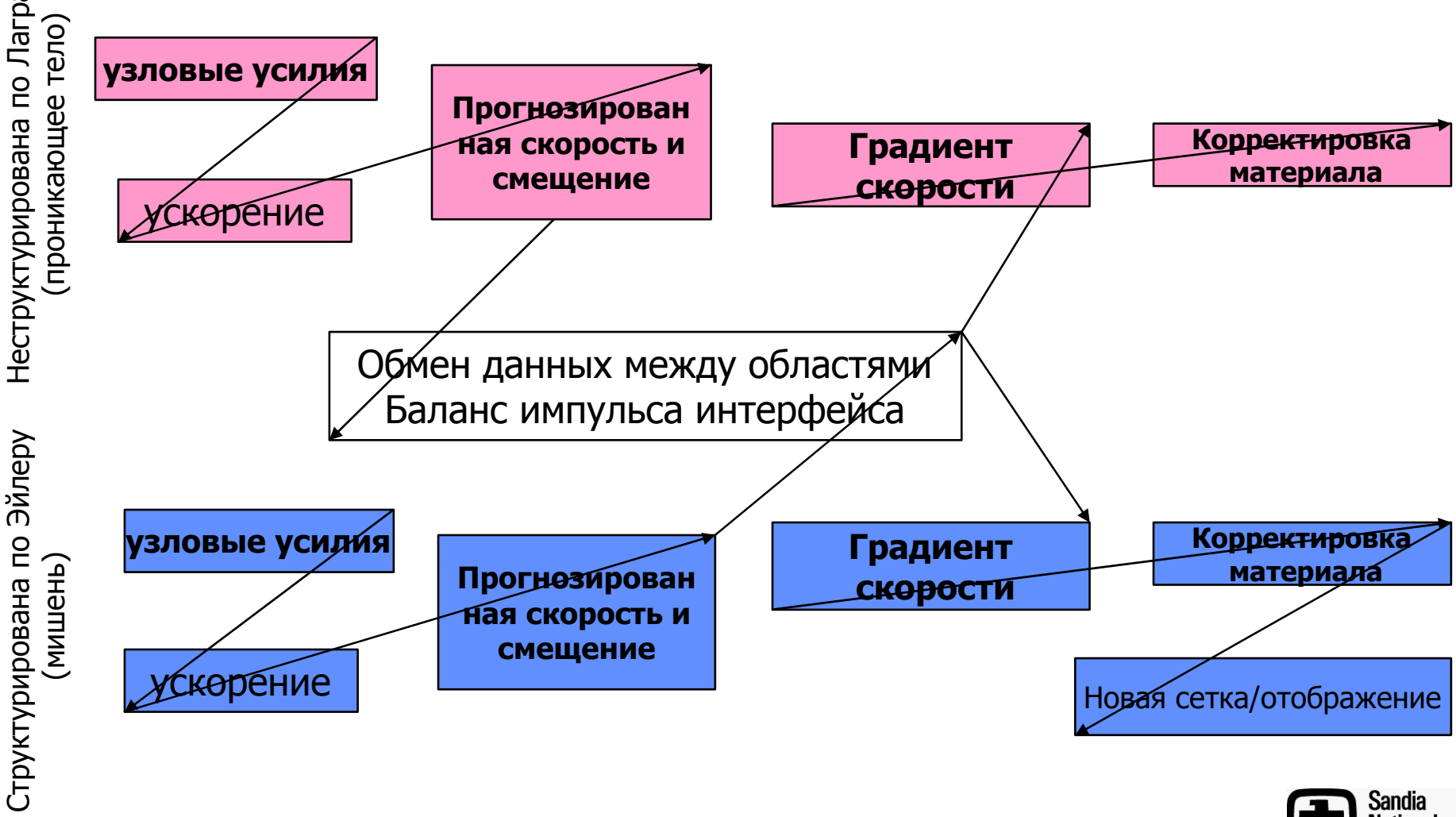


$$V_L^{new} = \left[\left(\frac{(mV)_L + (mV)_E}{m_L + m_E} \right) \bullet n \right] n + \left(V_L - (V_L \cdot n) n \right)$$

$$V_E^{new} = \left[\left(\frac{(mV)_L + (mV)_E}{m_L + m_E} \right) \bullet n \right] n + \left(V_E - (V_E \cdot n) n \right)$$

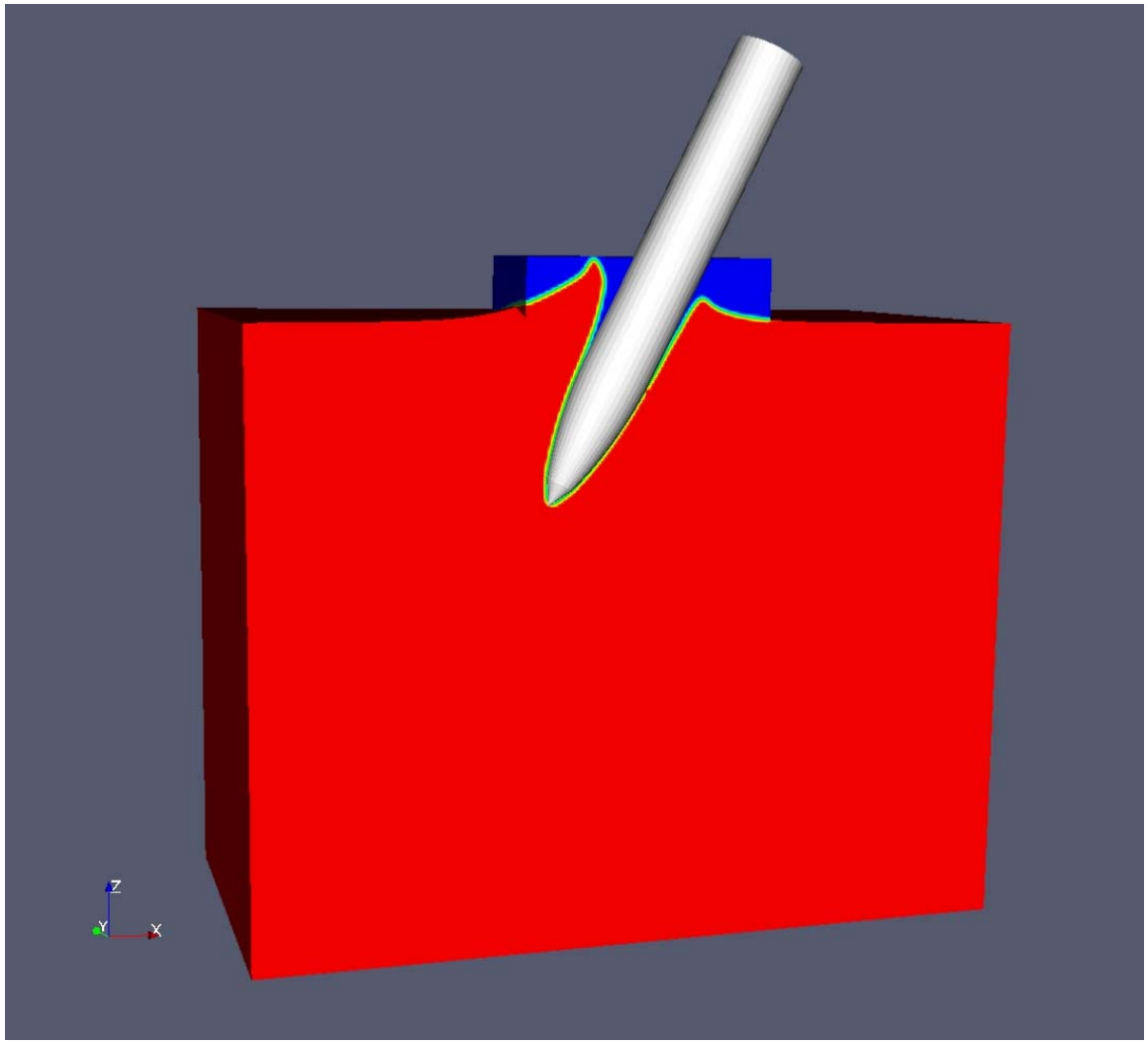
Sandia National Laboratories

Обзор EP алгоритма



Sandia National Laboratories

EP Пример расчета



Sandia National Laboratories

Заключение

- **SHISM**
  - Надежный подход.
  - Все еще необходима модернизация сетки, позволяющая сгдадить процесс.
- **EP**
  - Инфраструктура основного программного обеспечения для алгоритма вида **EP** имеется в наличии.
  - Современные алгоритмы связи представляются неудовлетворительными для отражения взаимодействий и интерфейса.
  - Необходимо исследовать другие подходы.
- Работа в будущем
  - Точность.
  - Производительность и масштабирование.
  - Устойчивость.

Sandia National Laboratories