Моделирование взаимодействия деформируемого ударника с металлической преградой в пакете LS-DYNA

Студент: Бакулина А. И.

Группа: СА-41

Руководитель: лаб №11

н.с, к.ф.-м.н. Бузюркин А.Е.

Актуальность и цель работы

- На данный момент времени разработка безошибочных методов анализа непробиваемости являются одними из самых приоритетных направлений в динамике деформации твердого тела. Основой для создания таких методов служит объединение экспериментального исследования и технологий 3-х мерного моделирования. В настоящий момент с учетом увеличивающегося прогресса вычислительный эксперимент является одним из самых недорогих видов исследования, что стало огромным преимуществом при проектировании сложных задач.

- **Целью** работы является создание технологии моделирования высокоскоростного взаимодействия ударника с преградой в пакете LS-DYNA для методического обеспечения процесса проектирования преград заданного уровня защиты.

Теоретическая справка

1) Уравнение движения:

$$\sigma_{ij,j} + \rho f_i = \rho \ddot{x}_i .$$

2) Уравнение сохранения массы:

$$\rho V = \rho_0 V_0 .$$

3) Уравнение энергии:

$$\dot{E} = V s_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} - (p + q)\dot{V} .$$

4) Условие текучести:

$$\phi = \frac{1}{2} \xi_{ij} \xi_{ij} - \frac{\sigma_y^2}{3} = 0 .$$

Описание модели материала, реализованного в пакете LS-DYNA

Материал 3. Упругопластический материал с кинематическим (изотропным) упрочнением (Plastic Kinematic/Isotropic).

Ключевое слово: *MAT_PLASTIC_KINEMATIC

- Это модель упругопластического течения с изотропным, кинематическим или комбинированным упрочнением, учитывающая скоростные эффекты. Это эффективная модель, которая используется с балочными, оболочечными и объемными элементами.

Плотность, кг/м^3	Модуль Юнга, мПа	Коэффициент Пуассона	Предел текучести, мПа	Касательный модуль, мПа	Параметр упрочнения
7850	200	0.3	210	0	1

Основные формулы для используемой модели материала

1. Условие текучести:

$$\phi = \frac{1}{2}\xi_{ij}\xi_{ij} - \frac{\sigma_y^2}{3} = 0, \text{ где } \quad \xi_{ij} = S_{ij} - \alpha_{ij}.$$

2. Уравнение напряжений в модели Купера-Саймондса:

$$\sigma_Y = \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{c}\right)^{\frac{1}{p}}\right]\left(\sigma_0 + \beta E_p \varepsilon_{eff}^p\right).$$

3. Уравнение текущего радиуса поверхности текучести:

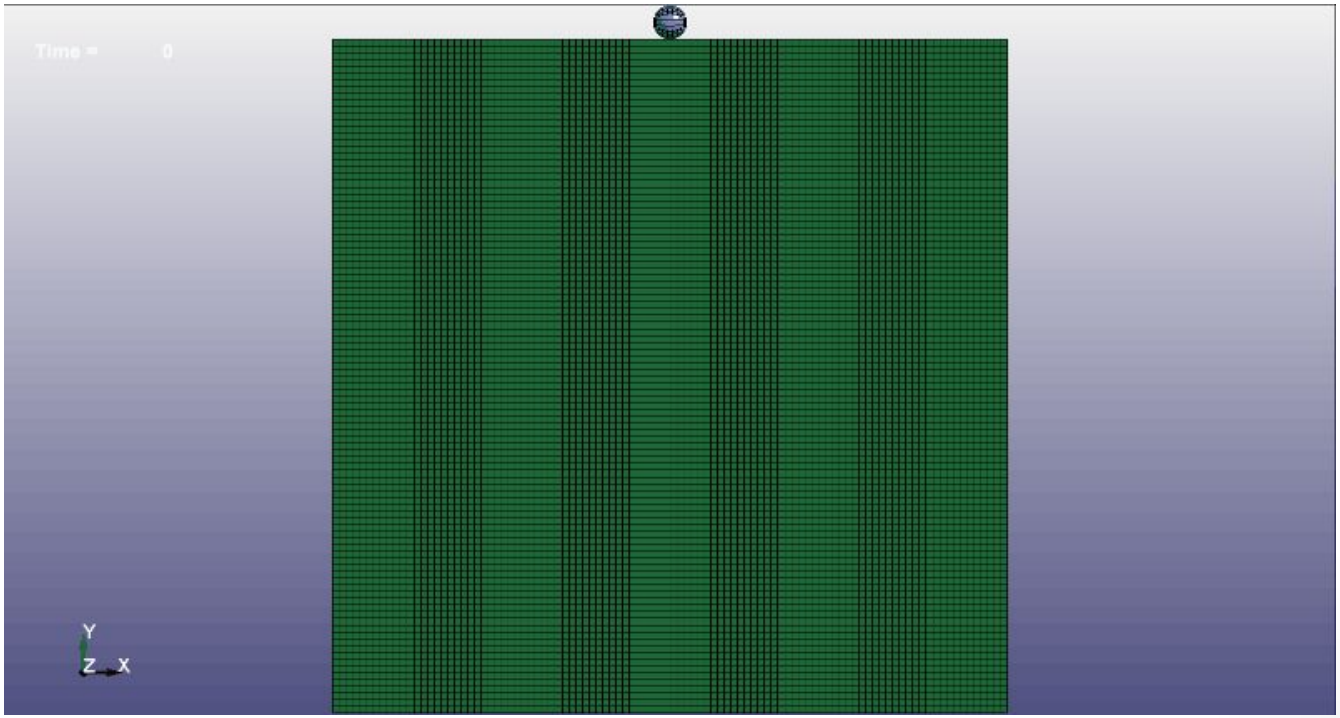
$$\varepsilon_{eff}^p = \int_0^t \left(\frac{2}{3}\dot{\varepsilon}_{eff}^p \dot{\varepsilon}_{eff}^p\right)^{1/2} dt.$$

4. Уравнение девиатора тензора напряжения:

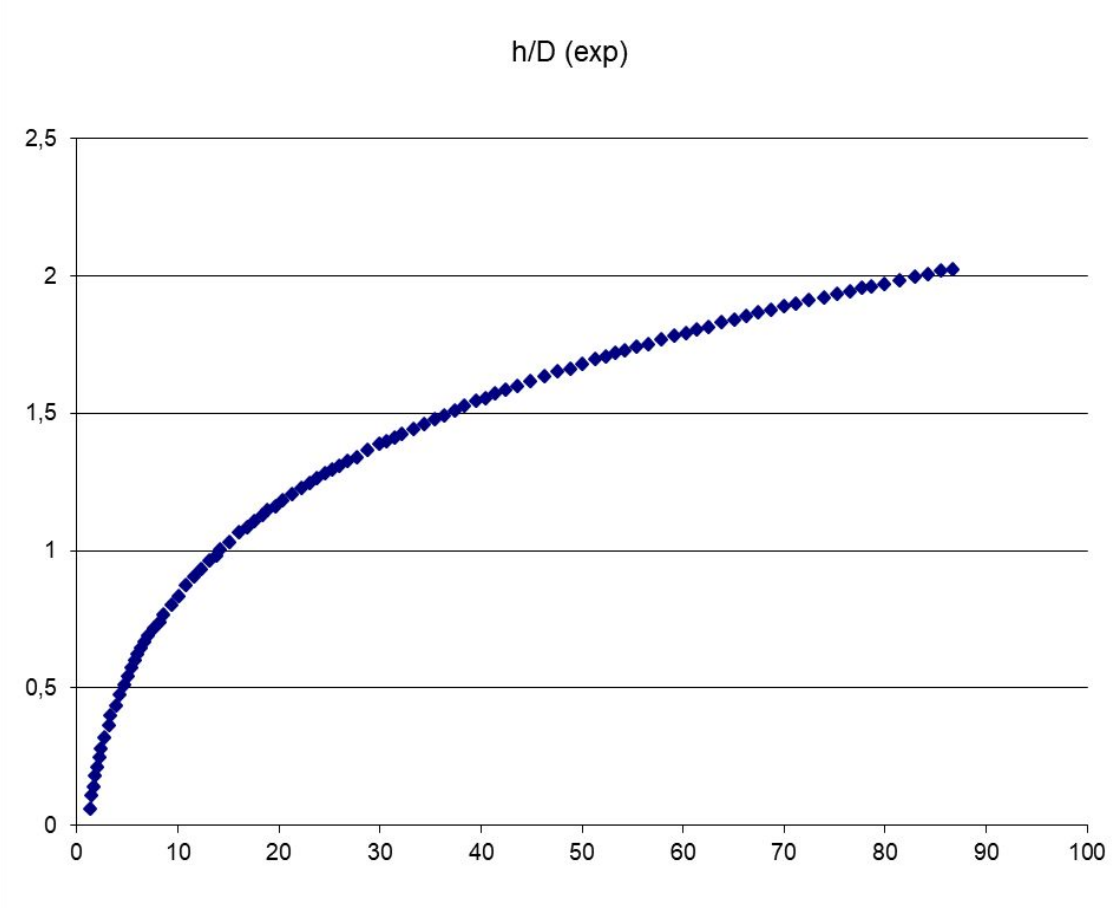
$$\sigma_{ij}^* = \sigma_{ij}^n + c_{ijkl}\Delta\varepsilon_{kl}.$$

Результаты вычислительных экспериментов

Исходные данные	
Материал	Сталь ГОСТ 1050-88
Плотность	7850 кг/м^3
Диаметр сферического ударника	10 мм
Преграда (массивный куб)	100x100x100 мм
Скоростной диапазон	от 500 до 2000 м/с



Кривая моделирования зависимости конечной глубины каверны, которая создается в массивной мишени при ударе шаром из того же металла, что и мишень, от скорости встречи тел.



- В таблице приведены данные по отношению глубины проникания к исходному диаметру ударника в зависимости от скорости соударения, а так же значения безразмерного параметра $\frac{\rho v^2}{H}$, согласно графику.

V, м/с	h/d	$\frac{\rho v^2}{H}$
500	0,25	2,25
1000	0,8	11,61
1500	1,18	20,41
2000	1,45	34,46

Расчетные значения динамической твердости H, вычисленные, исходя из полученных значений безразмерного параметра $\frac{\rho v^2}{H}$, для различных значений h/d приведены в таблице.

V, м/с	H, МПа
500	874,6
1000	838
1500	911
2000	827

Заключение

1. Освоен пакет LS-DYNA, в части системы задания данных и вывода результатов.
2. Выполнено моделирование соударения сферического ударника и массивной металлической преграды, имеющей форму куба. Получены данные по величине проникания ударника в преграду.
3. Используя кривую моделирования Н.А. Златина восстановлены значения динамической твердости преграды и проведено сравнение с их экспериментальными значениями. Показано качественное соответствие.
4. Пакет LS-DYNA может быть применен для создания технологии моделирования высокоскоростного взаимодействия ударника с преградой для методического обеспечения процесса проектирования преград заданного уровня защиты.

Спасибо за внимание!