



Бакалаврская работа

по направлению 150300 «Прикладная механика»

Анализ динамической прочности композитной пластины

Выполнил студент гр. 4055/1

Руководитель, к.т.н., проф.

Соруководитель, асс.

Журавлёв Д.Н.

Боровков А.И.

Михайлов А.А.

Санкт-Петербург,
2012 г.



Содержание

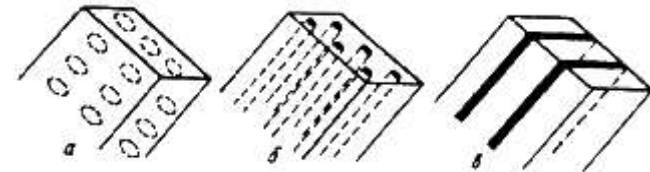
- Композиционные материалы. Структура, классификация, применение.
- Тестовая задача. Контакт твердого тела с упругой преградой.
- Задача о пробитии композитной пластины. Численное решение, критерии разрушения композиционного материала.
- Заключение. Выводы.

Композиционные материалы

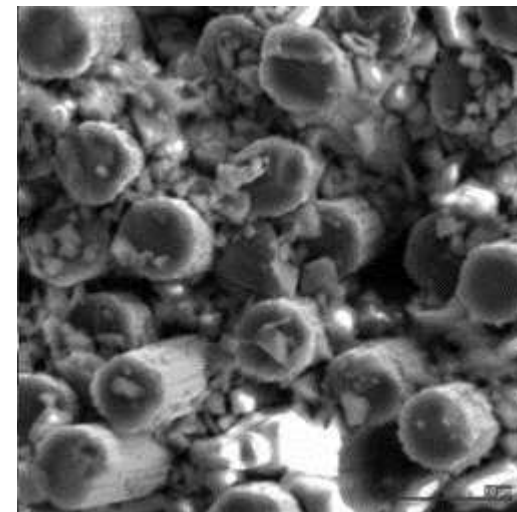
Применение композитных материалов в Аэробусе A380



Применение КМ в
Аэробусе A380

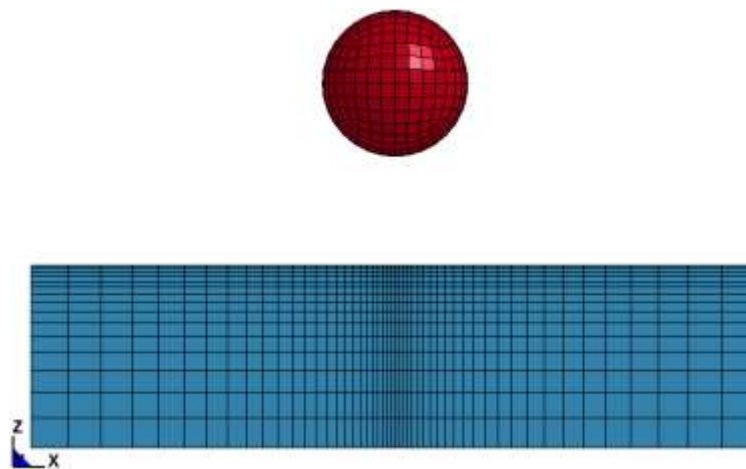
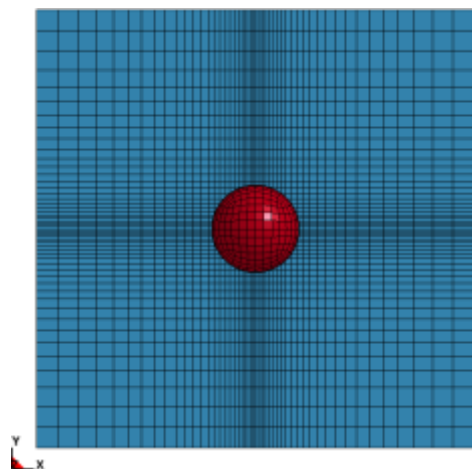


Некоторые виды КМ:
дисперсно-упрочненные;
волокнистые; слоистые



Микроструктура
стеклокерамического КМ

Решение тестовой задачи



КЭ модель тестовой задачи

Модели материалов:

шар (твердое тело)

*MAT_RIGID

$$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$$

$$v_0 = 20 \text{ м/с}$$

$$r = 2 \text{ см}$$

Преграда: $20 \times 20 \times 5 \text{ см}$

Преграда заделана по граням нижнего основания

$$(u_x = u_y = u_z = 0)$$

преграда (упругое тело)

*MAT_ELASTIC

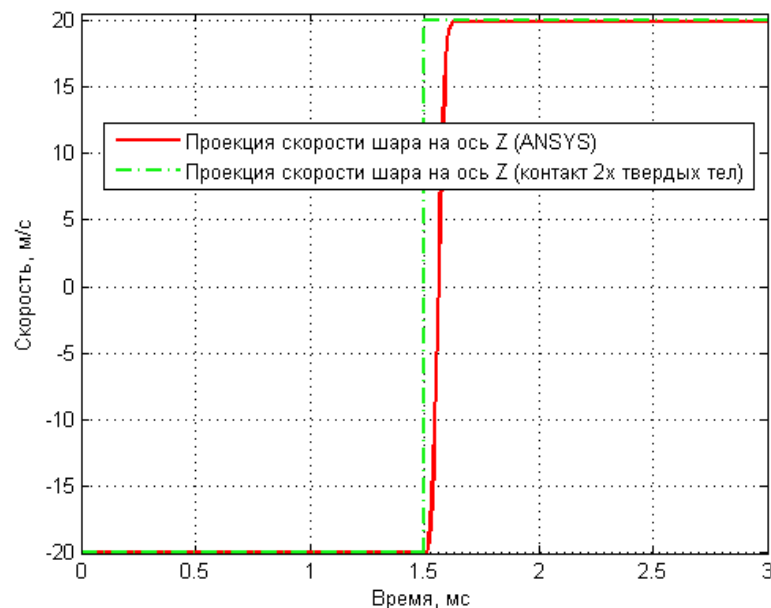
$$\rho = 2688.9 \text{ кг/м}^3$$

$$E = 70 \text{ ГПа}$$

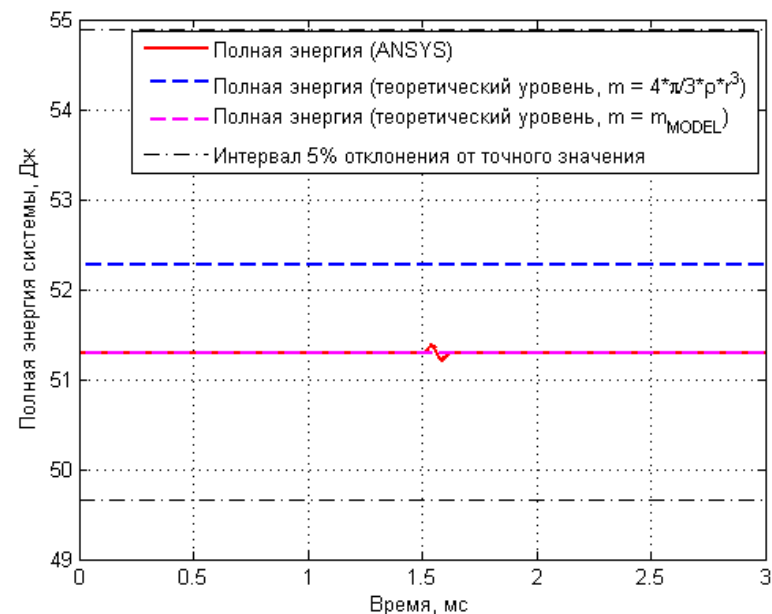
$$\nu = 0.34$$

NN	NE	NDF
43889	39548	112667

Решение тестовой задачи



Изменение скорости шара
в процессе столкновения



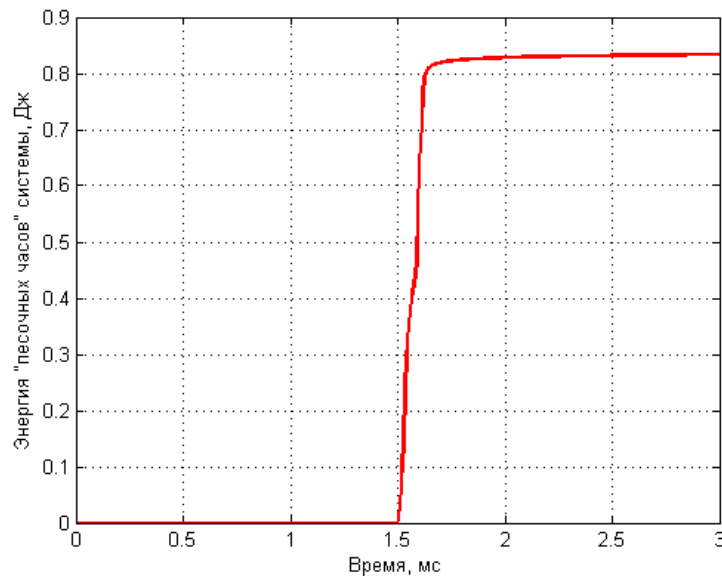
Суммарная энергия системы

$$T = m \frac{v_0^2}{2} = 52.2 \text{ Дж} \quad m = \rho V = \rho \cdot \frac{4\pi}{3} r^3 \approx 0.261 \text{ кг} \quad \text{Теоретические значения суммарной энергии системы}$$

$$T = m_{model} \frac{v_0^2}{2} = 51.2 \text{ Дж} \quad m_{model} \approx 0.256$$

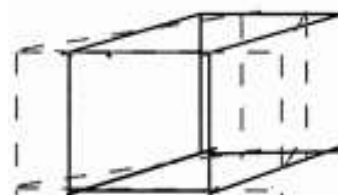
для точного и аппроксимированного значений массы шара

Решение тестовой задачи

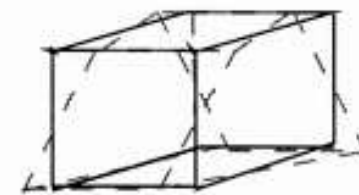


hourglass energy

Энергия, соответствующая определенным деформациям элементов, не должна превышать 5% от суммарной энергии системы



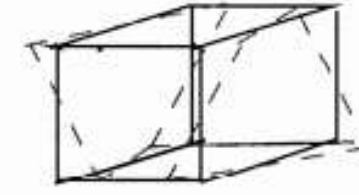
1k



2k



3k

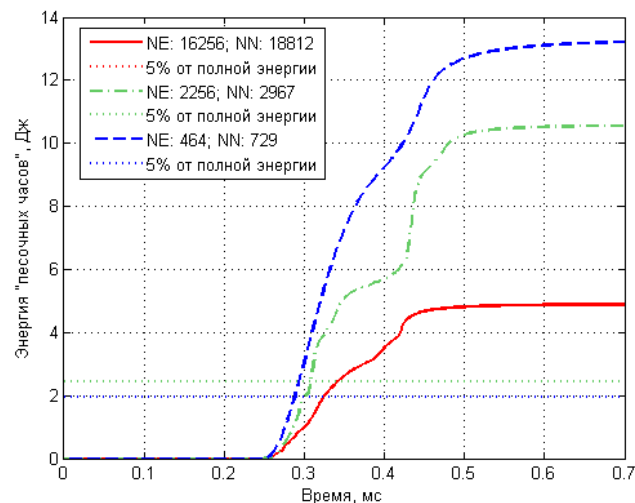
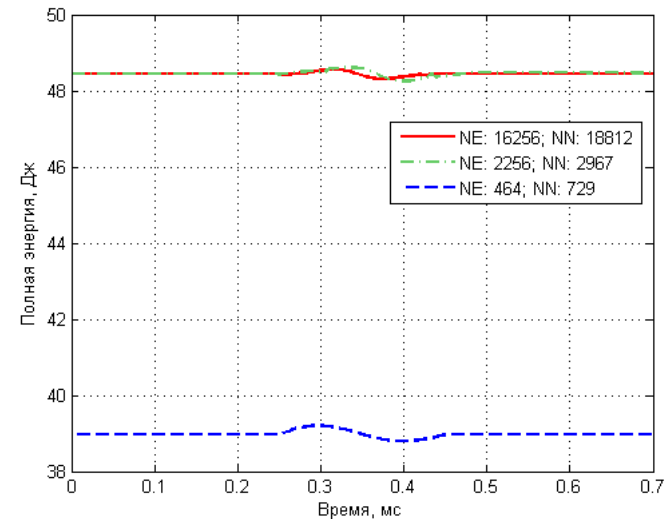
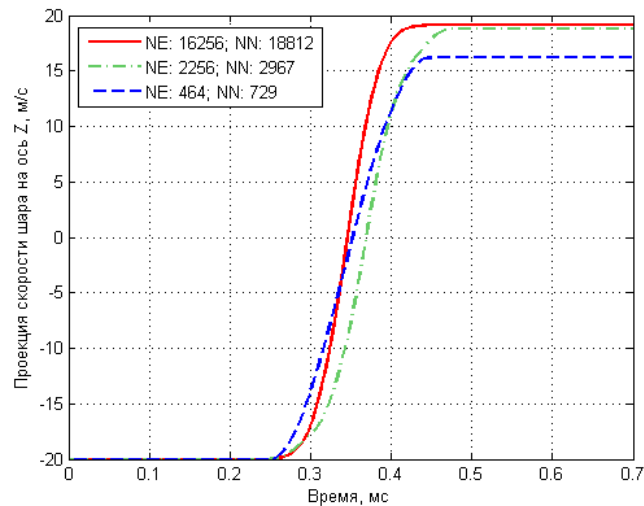


4k

Решение тестовой задачи

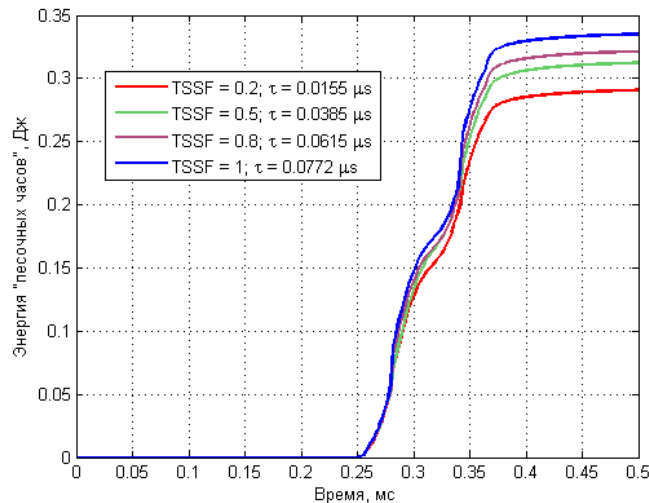
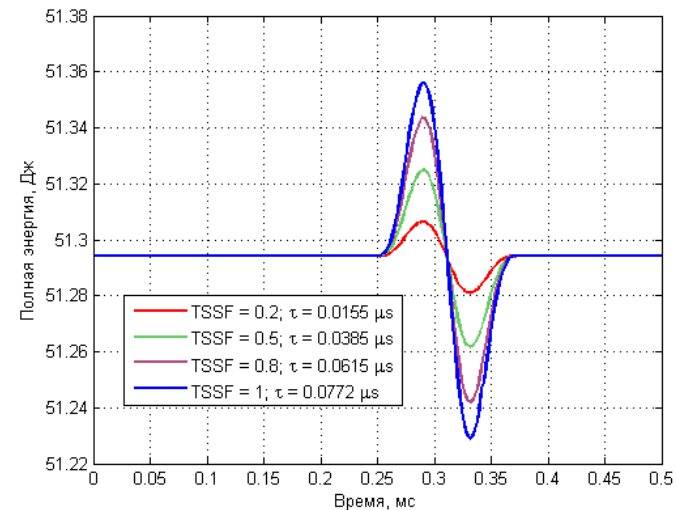
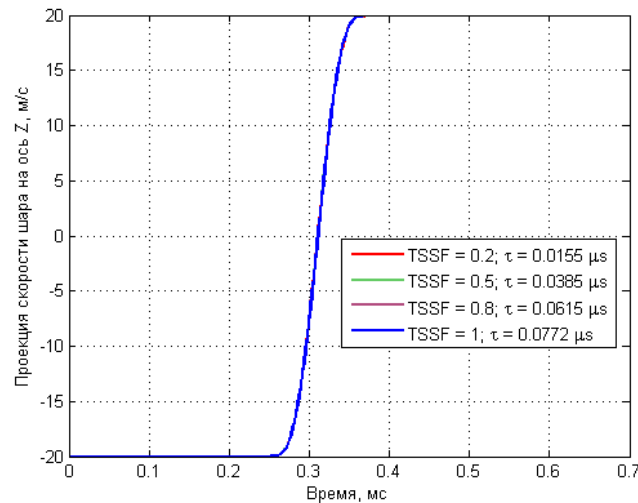
Эквивалентные по Мизесу напряжения
в преграде

Решение тестовой задачи



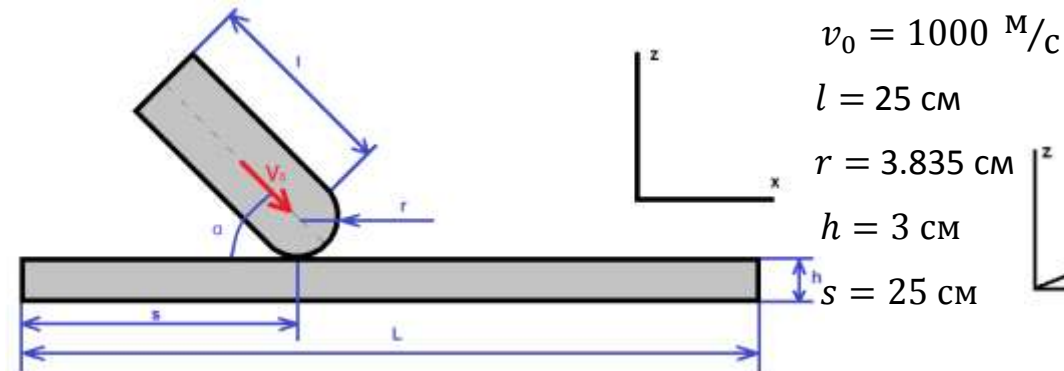
Зависимость получаемого решения
 от числа степеней свободы модели

Решение тестовой задачи

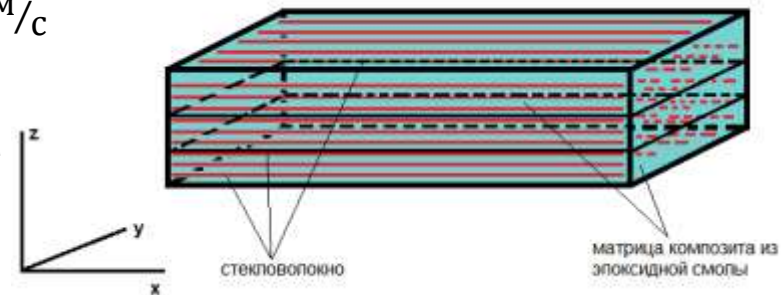


Зависимость получаемого решения
от шага интегрирования по времени

Задача о пробитии композиционной пластины



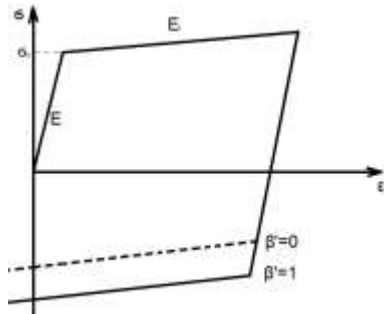
Постановка задачи



Структура моделируемого КМ

Модели материалов:

Снаряд (билинейная модель),
 *MAT_PLASTIC_KINEMATIC



$$\begin{aligned}
 \rho &= 7800 \text{ кг/м}^3 \\
 E &= 210 \text{ ГПа} \\
 E_t &= 0 \\
 \nu &= 0.28 \\
 \beta' &= 1
 \end{aligned}$$

Пластина (композиционный материал),
 *MAT_COMPOSITE_DAMAGE

$$\begin{aligned}
 \rho &= 2200 \text{ кг/м}^3 & G_{ab} &= 4.14 \text{ ГПа} & S_1 &= 1.062 \text{ ГПа} \\
 E_a &= 38.6 \text{ ГПа} & G_{ac} &= 4.14 \text{ ГПа} & S_2 &= 31 \text{ МПа} \\
 E_b &= 8.27 \text{ ГПа} & G_{bc} &= 2.1 \text{ ГПа} & S_{12} &= 72 \text{ МПа} \\
 E_c &= 8.27 \text{ ГПа} & & & C_2 &= 118 \text{ МПа} \\
 \nu_{ab} &= 0.0557 \\
 \nu_{ac} &= 0.0557 \\
 \nu_{bc} &= 0.49
 \end{aligned}$$

Задача о пробитии композиционной пластины

Критерии разрушения композиционного материала

Разрушение матрицы

$$F_{matrix} = \left(\frac{\sigma_2}{S_2} \right)^2 + \bar{\tau}$$

$$\bar{\tau} = \frac{\frac{\tau_{12}^2}{2G_{12}} + \frac{3}{4}\alpha\tau_{12}^4}{\frac{S_{12}^2}{2G_{12}} + \frac{3}{4}\alpha S_{12}^4}; \quad \alpha = 0 \Rightarrow \bar{\tau} = \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}} \right)^2$$

$$F_{matrix} > 1 \Rightarrow E_2 = G_{12} = \nu_1 = \nu_2 = 0$$

Разрушение волокна

$$F_{fiber} = \left(\frac{\sigma_1}{S_1} \right)^2 + \bar{\tau}$$

$$F_{fiber} > 1 \Rightarrow E_1 = E_2 = G_{12} = \nu_1 = \nu_2 = 0$$

Свойства материала после срабатывание критерия

$$\rho = 2200 \text{ кг/м}^3$$

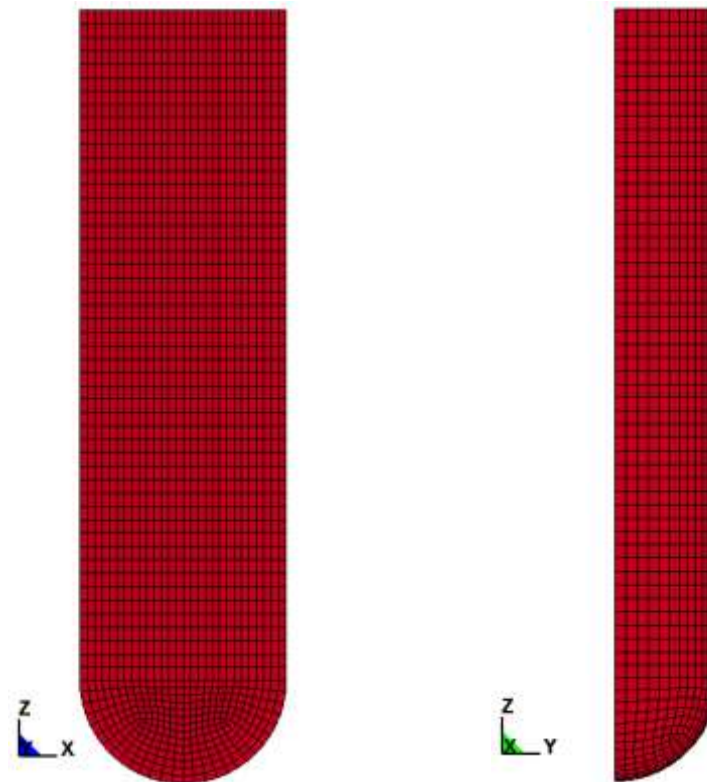
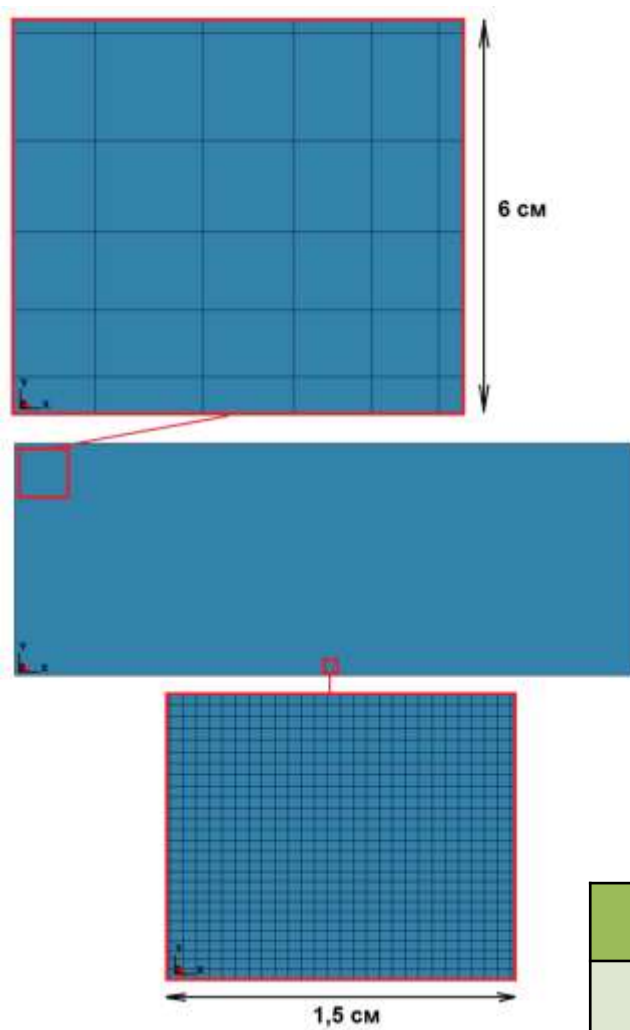
$$E_a = 38.6 \text{ ГПа}$$

$$\nu_{ab} = 0$$

Если для конечного элемента сработал критерий разрушения матрицы, элемент не считается разрушившимся, но его свойства меняются – остается только волокно.

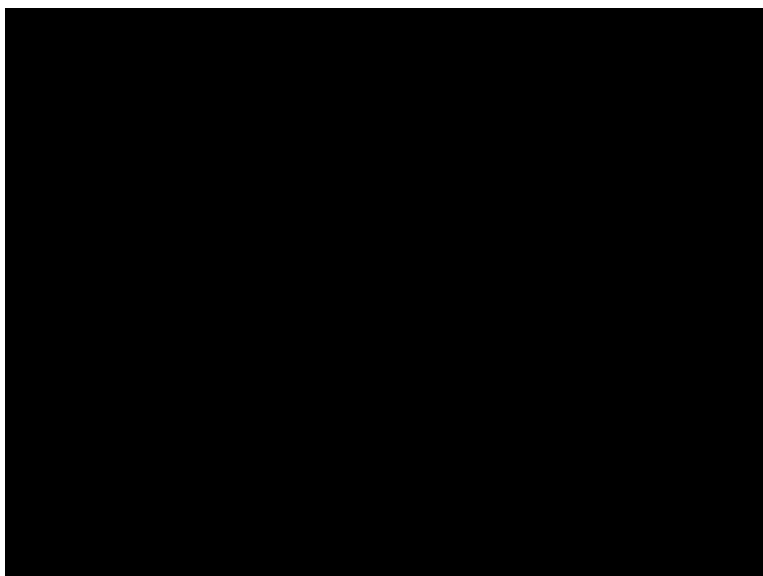
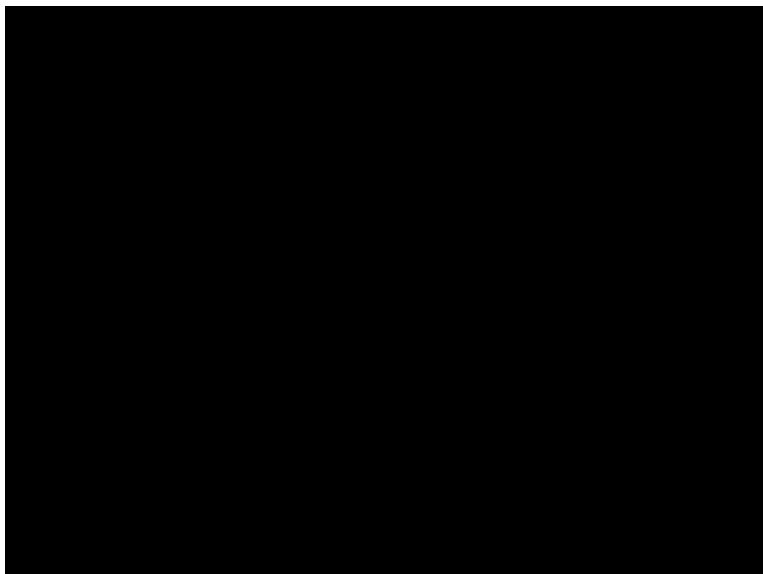
Если для конечного элемента сработал критерий разрушения волокна, элемент считается разрушившимся, его матрица жесткости обнуляется, он удаляется из дальнейшего расчета

Задача о пробитии композиционной пластины



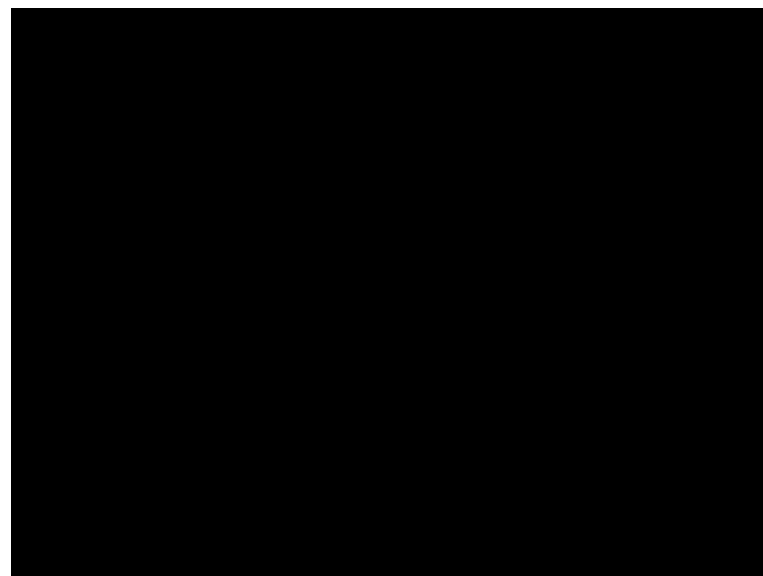
NN	NE	NDF
111882	109244	330691

Задача о пробитии композиционной пластины

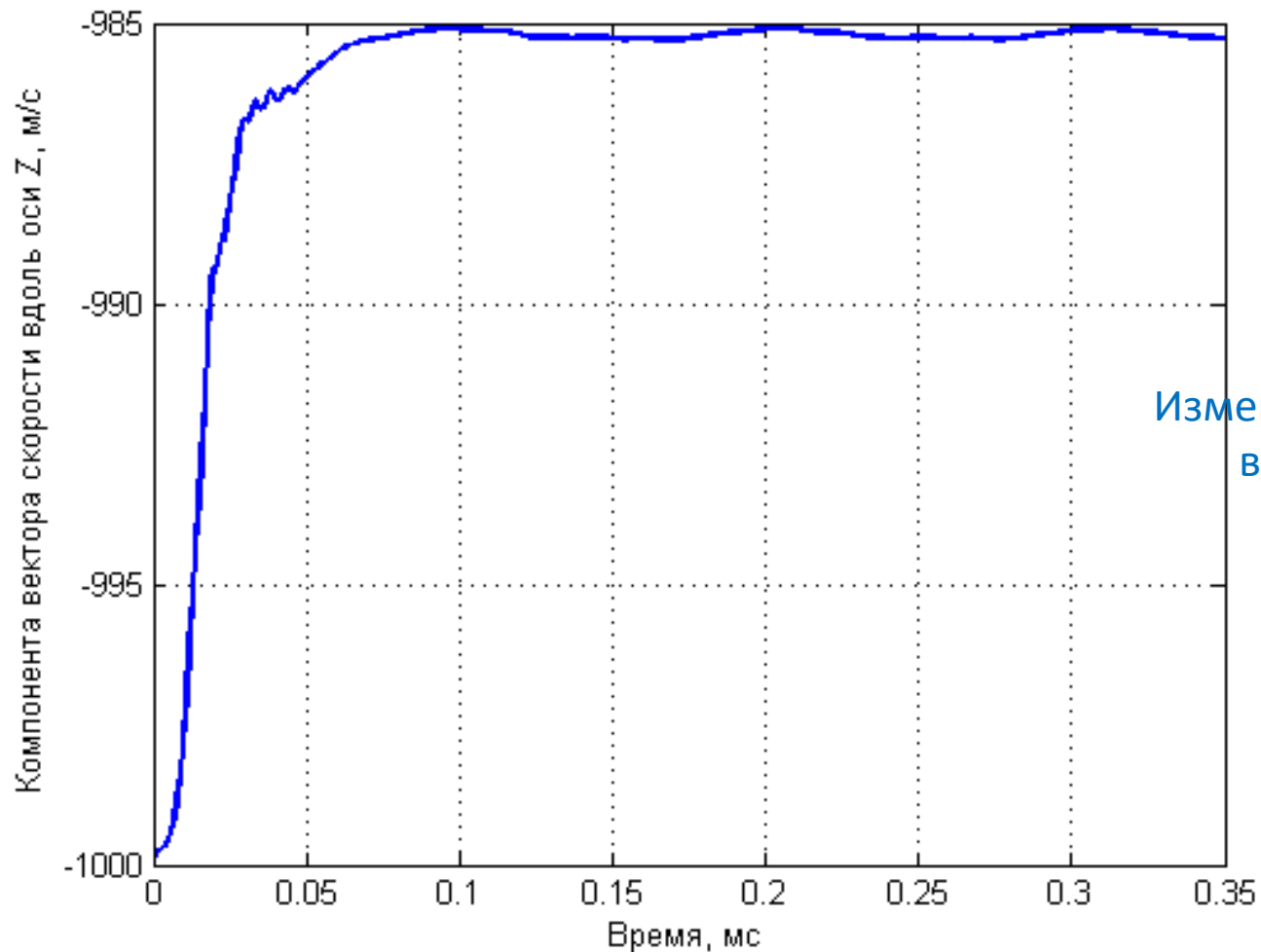


Результаты для угла
 $\alpha = 90^\circ$

Эквивалентные по Мизесу напряжения,
критерии разрушения волокна и матрицы

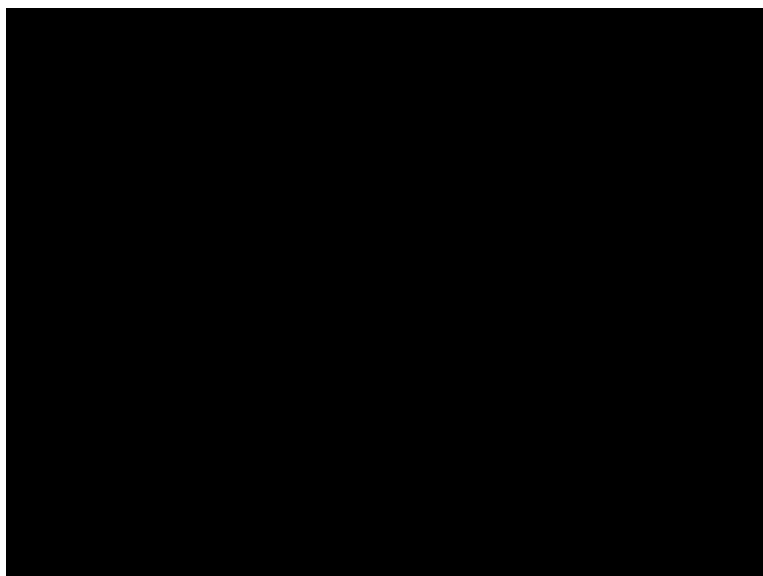
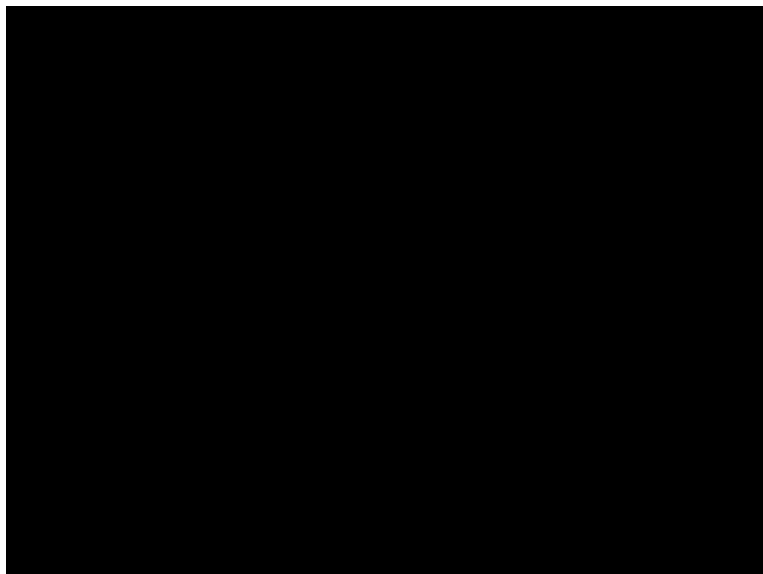


Задача о пробитии композиционной пластины



Изменение скорости снаряда
в процессе пробития
пластины

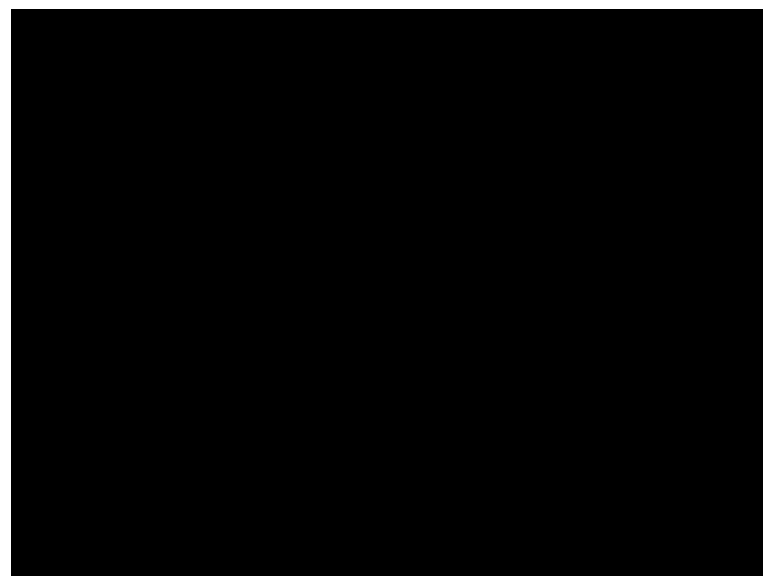
Задача о пробитии композиционной пластины



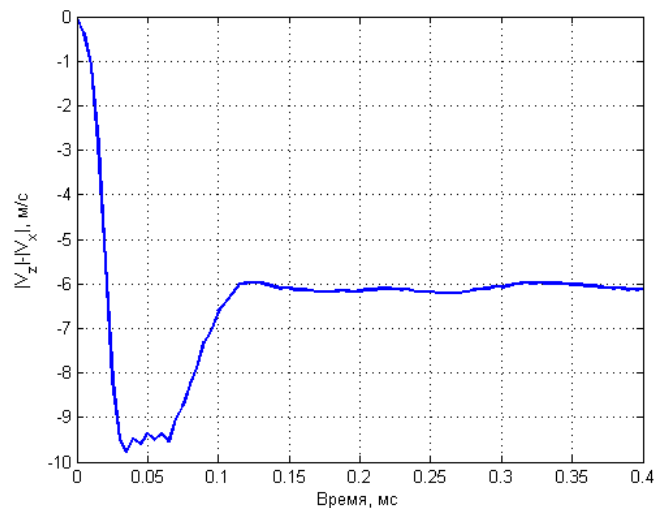
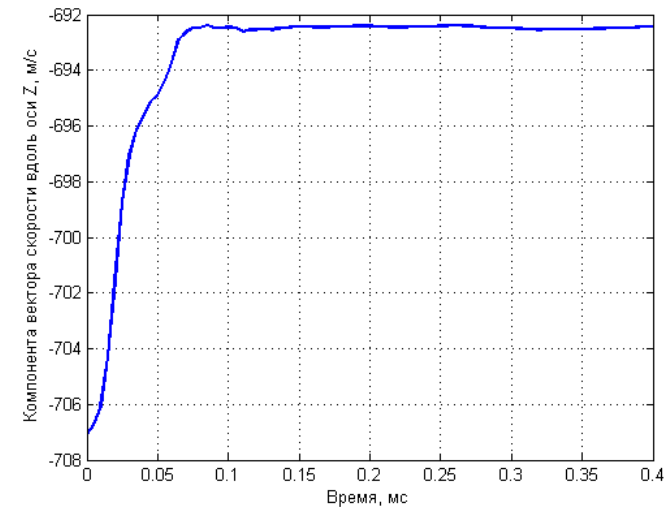
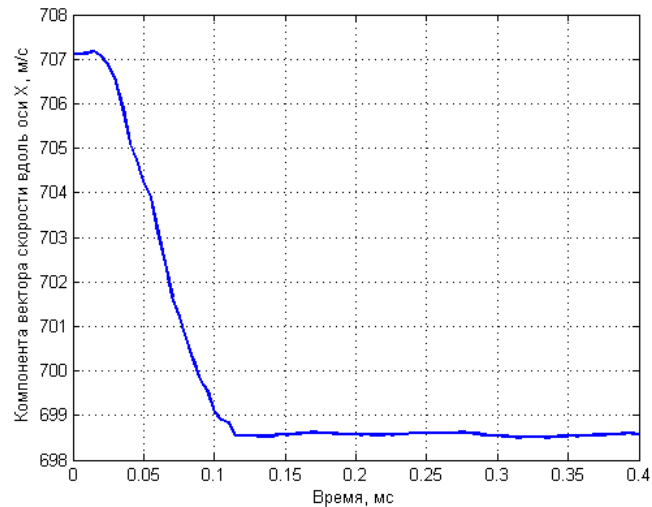
Результаты для угла

$$\alpha = 45^\circ$$

Эквивалентные по Мизесу напряжения,
критерии разрушения волокна и матрицы

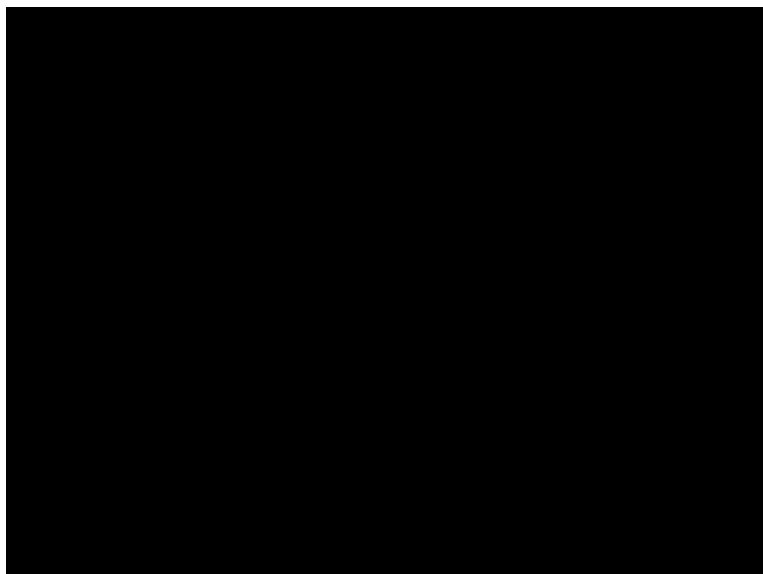
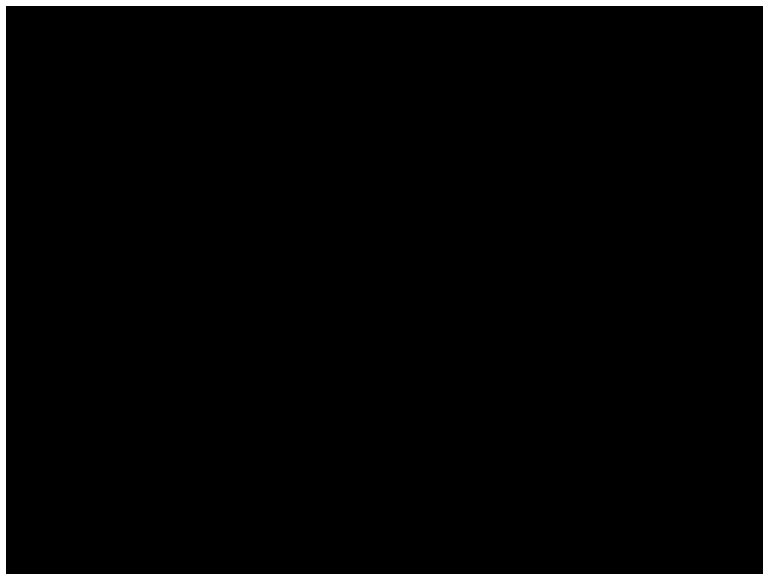


Задача о пробитии композиционной пластины



Изменение компонент модуля
вектора скорости;
 $|v_x| \neq |v_z|$
Снаряд движется в пластине
не по прямой;
Угол α со временем
уменьшается

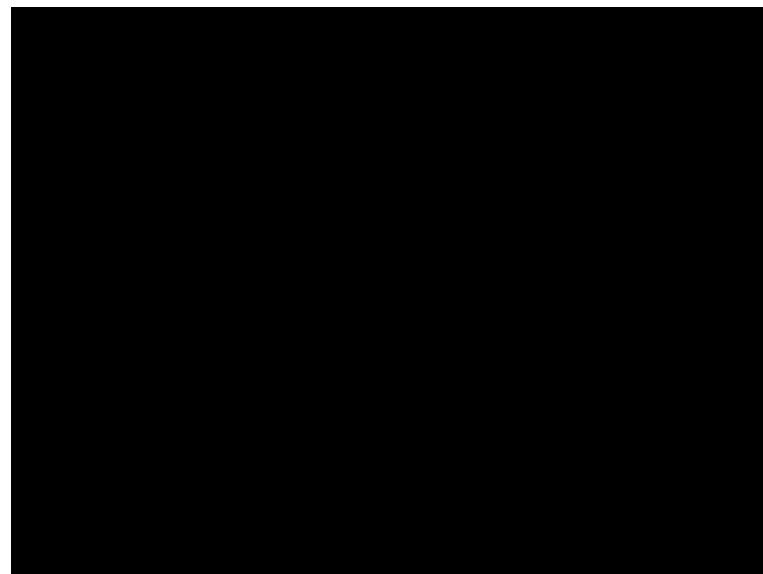
Задача о пробитии композиционной пластины



Результаты для угла

$$\alpha = 15^\circ$$

Эквивалентные по Мизесу напряжения,
критерии разрушения волокна и матрицы

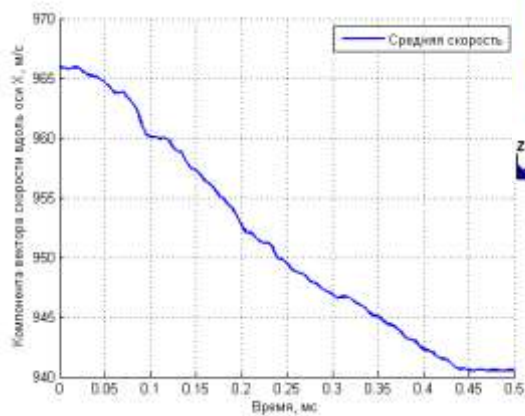


Задача о пробитии композиционной пластины

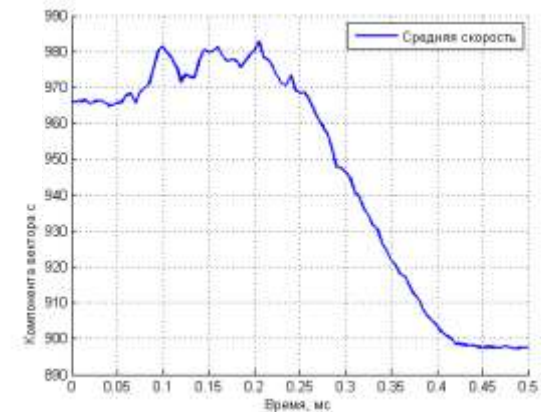
Большой осколок

Меньший осколок

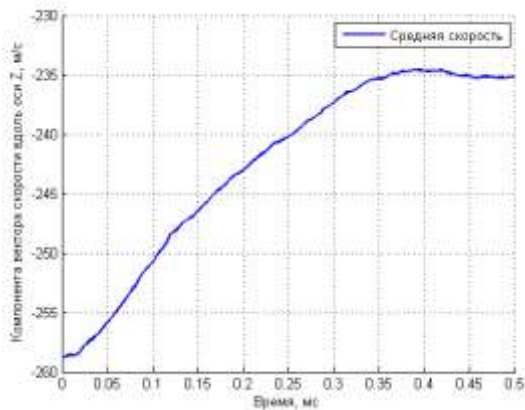
v_x



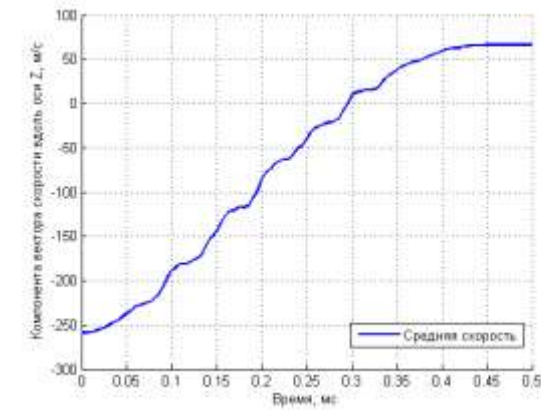
v_x



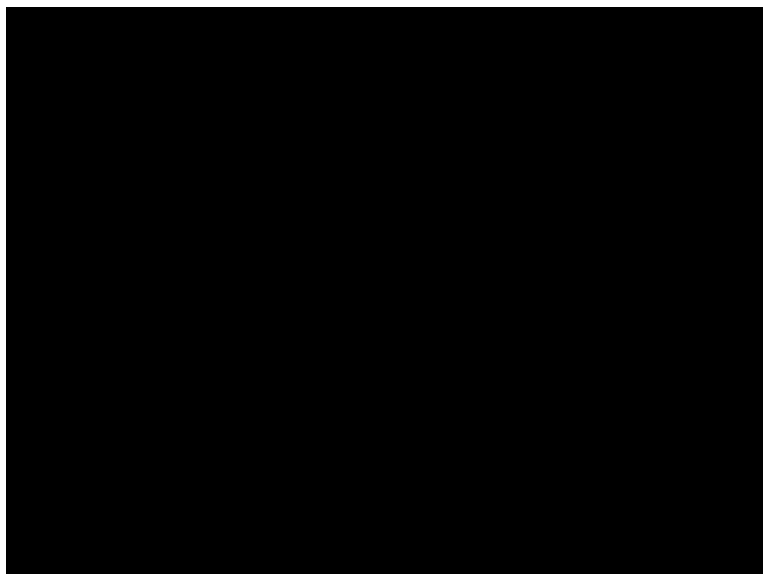
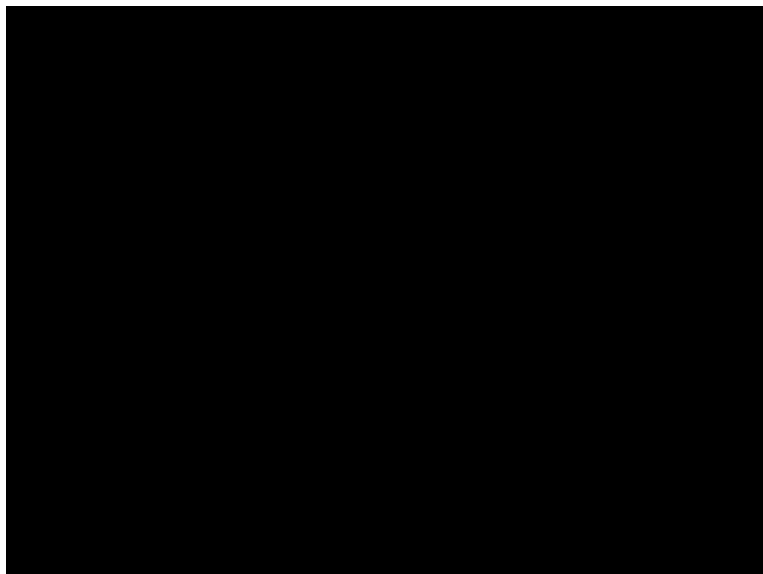
v_z



v_z



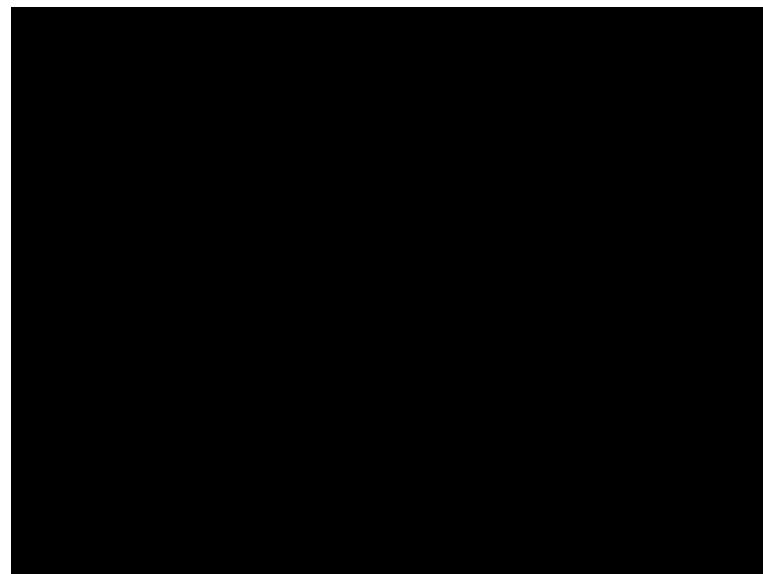
Задача о пробитии композиционной пластины



Результаты для угла

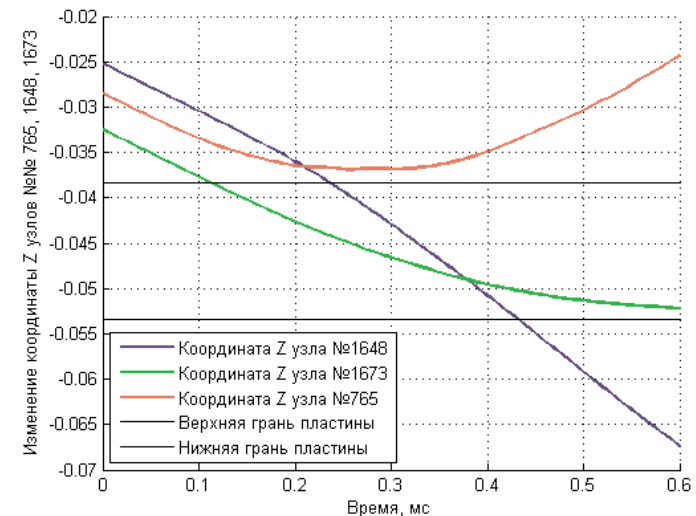
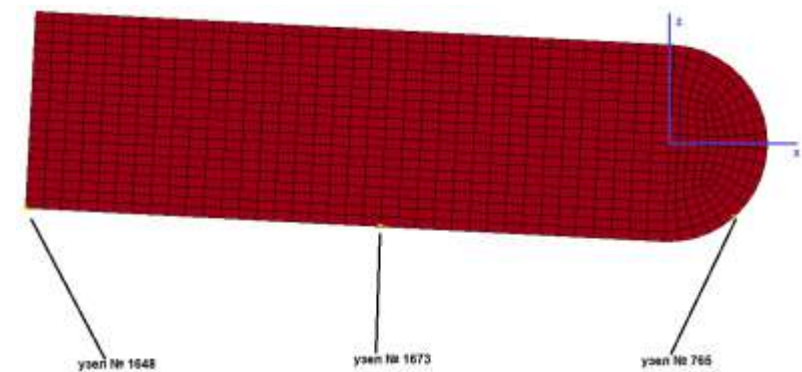
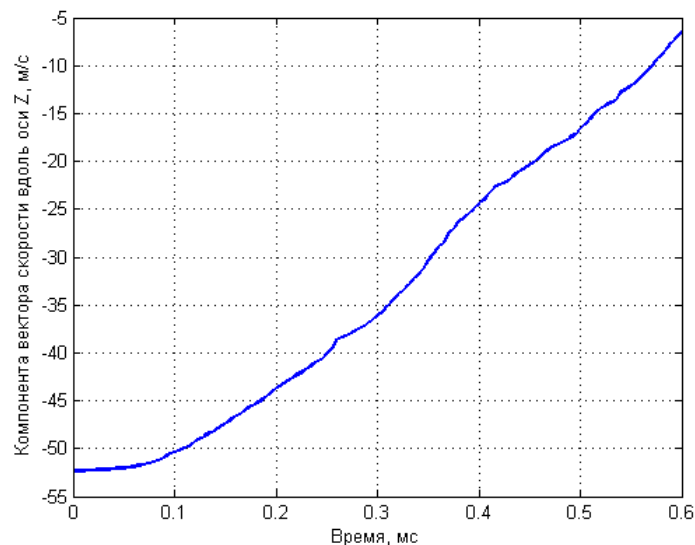
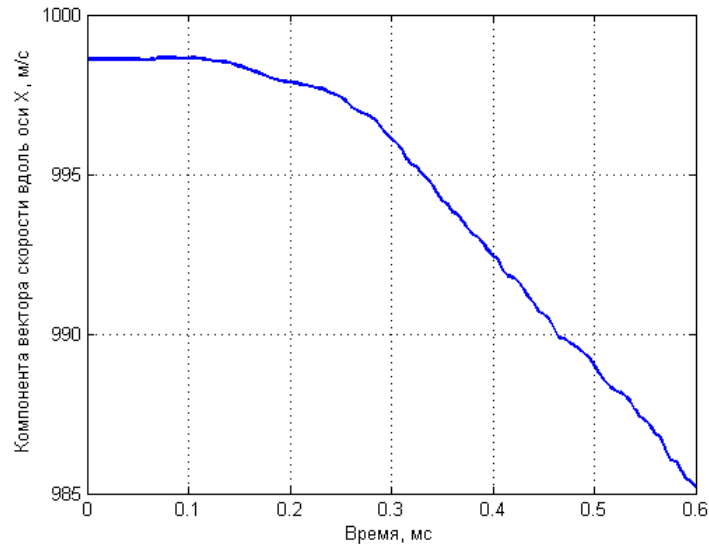
$$\alpha = 3^\circ$$

Эквивалентные по Мизесу напряжения,
критерии разрушения волокна и матрицы



Задача о пробитии композиционной пластины

Компоненты v_x и v_z вектора скорости снаряда



Перемещения узлов

Заключение

- Было рассмотрено решение контактной задачи об ударе твердого тела об упругую преграду, выполнен анализ зависимости численного решения от числа степеней свободы модели и величины шага численного интегрирования, а так же было проведено сравнение основных параметров решения с их аналитическими значениями;
- В основной части данной работы был промоделирован процесс пробития стальным снарядом тонкой пластины из композиционного материала. Было рассмотрено несколько вариантов задачи: начальный угол, под которым снаряд подлетал к пластине, принимал 4 различных значения;
- Полученные результаты позволяют утверждать, что в процессе пробития разрушается та часть композиционного материала, которая либо контактирует со снарядом, либо находится в непосредственной близости от зоны контакта. Материал, находящийся на расстоянии, примерно вдвое превосходящем диаметр снаряда, от места контакта, сохраняет свою структуру;
- Из графиков, на которых приведены критерии разрушения, так же видно, что если в некотором объеме материала разрушилось волокно композита, то этот объем практически сразу исключается из расчета, что эквивалентно его механическому разрушению. Если же в некотором объеме материала разрушена лишь матрица, но волокно композита осталось цело, этот объем может продолжать выдерживать нагрузки.



Спасибо за внимание!