

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СНАРЯДОВ И АВИАДВИГАТЕЛЯ С БЕТОННЫМИ ЗАЩИТНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Батуев С.П.,
Радченко А.В.,
Радченко П.А.

Система уравнений, описывающих нестационарные адиабатные движения сжимаемой среды в произвольной системе координат, включает следующие уравнения:

– неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \nabla_i v^i = 0;$$

– движения

$$\rho a^k = \nabla_i \sigma^{ik} + F^k;$$

– энергии

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{\rho} \sigma^{ij} e_{ij},$$

где

$$e_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i v_j + \nabla_j v_i).$$

$$\sigma^{ij} = -Pg^{ij} + S^{ij}$$

$$P = \sum_{n=1}^3 K_n \left(\frac{V}{V_0} - 1 \right)^n + K_0 \rho E$$

$$2G \left(g^{im} g^{jk} e_{mk} - \frac{1}{3} g^{mk} e_{mk} g^{ij} \right) = \frac{DS^{ij}}{Dt} + \lambda S^{ij}, \quad (\lambda \geq 0)$$

$$\frac{DS^{ij}}{Dt} = \frac{dS^{ij}}{dt} - g^{im} \omega_{mk} S^{kj} - g^{jm} \omega_{mk} S^{ik}$$

Параметр λ определяется с помощью условия Мизеса: $S^{ij} S_{ij} \leq \frac{2}{3} \sigma_d^2$

Критерий разрушения: $e_u < \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{3T_2 - T_1^2}$,

где T_1, T_2 – первый и второй инварианты тензора деформаций, $e_u = 1$

$$\sigma^{ij} = -Pg^{ij} + S^{ij}$$

$$P = K \left(\frac{V_0}{V} - 1 \right)$$

$$\sigma_d = 7.7 + \frac{11.398P}{13.9 + 0.82P},$$

$$2G \left(g^{im} g^{jk} e_{mk} - \frac{1}{3} g^{mk} e_{mk} g^{ij} \right) = \frac{DS^{ij}}{Dt} + \lambda S^{ij}, \quad (\lambda \geq 0)$$

$$\frac{DS^{ij}}{Dt} = \frac{dS^{ij}}{dt} - g^{im} \omega_{mk} S^{kj} - g^{jm} \omega_{mk} S^{ik}$$

Параметр λ определяется с помощью условия Мизеса: $S^{ij} S_{ij} \leq \frac{2}{3} \sigma_d^2$

$$C_1(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + C_2(\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + C_3(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + \\ + C_4\sigma_{11} + C_5\sigma_{22} + C_6\sigma_{33} + C_7\sigma_{12}^2 + C_8\sigma_{23}^2 + C_9\sigma_{31}^2 \geq 1$$

Если критерий выполняется при сжатии: считается, что материал теряет свойства анизотропии и для описания такой среды используется гидродинамическая модель, при которой материал сопротивляется объемному сжатию и не сопротивляется сдвигу и растяжению.

Если критерий выполняется при растяжении: материал считается полностью разрушенным, и компоненты тензора напряжений полагаются равными нулю.

$$C_1 = [(Y_t Y_c)^{-1} + (Z_t Z_c)^{-1} - (X_t X_c)^{-1}] / 2;$$

$$C_2 = [(X_t X_c)^{-1} + (Z_t Z_c)^{-1} - (Y_t Y_c)^{-1}] / 2;$$

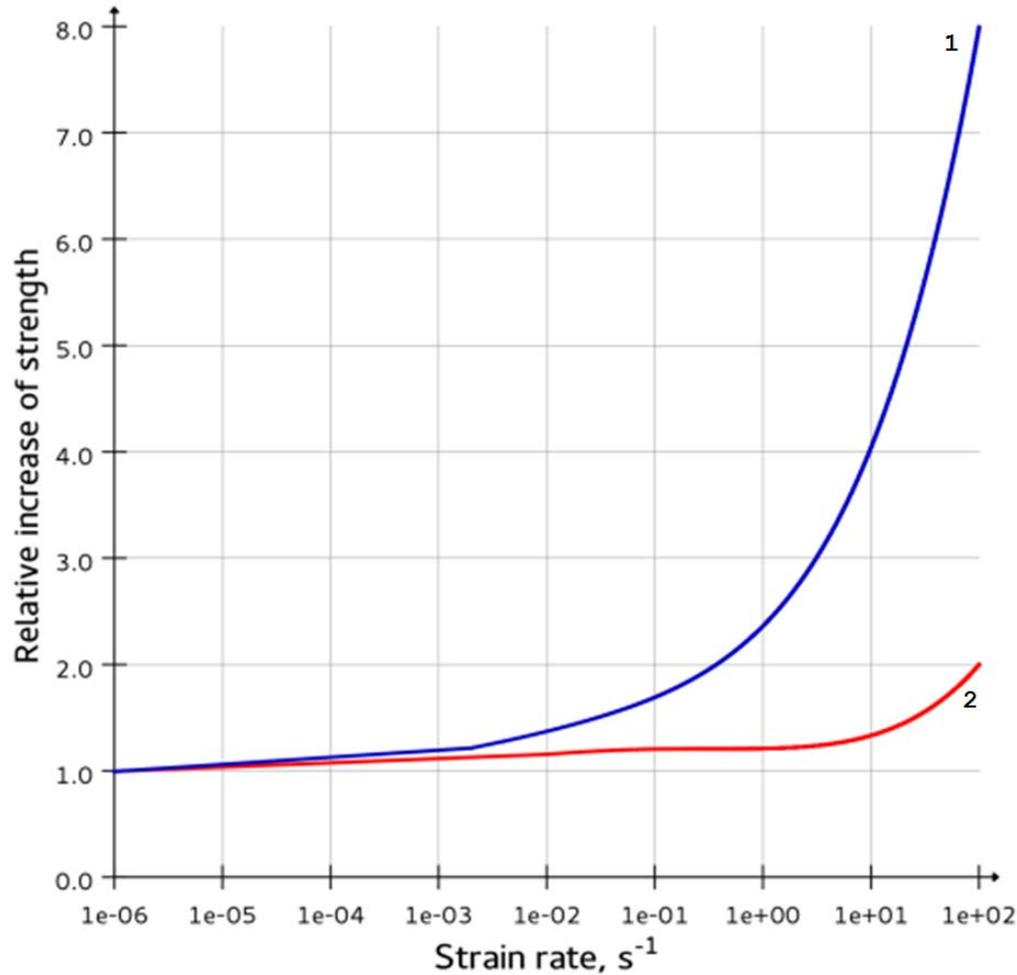
$$C_3 = [(X_t X_c)^{-1} + (Y_t Y_c)^{-1} - (Z_t Z_c)^{-1}] / 2;$$

$$C_4 = (X_t^{-1} - X_c^{-1}); \quad C_7 = S_{yz}^{-2};$$

$$C_5 = (Y_t^{-1} - Y_c^{-1}); \quad C_8 = S_{zx}^{-2};$$

$$C_6 = (Z_t^{-1} - Z_c^{-1}); \quad C_9 = S_{xy}^{-2}.$$

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ БЕТОНА



$$K_d = R_d / R_s$$

$$R_s = 0.55\sqrt{R_c R_t}$$

$$K_{dt} = 0.00158333e^5 + 0.0252855e^4 + 0.15255e^3 + 0.47898e^2 + 1.01959e + 2.36037.$$

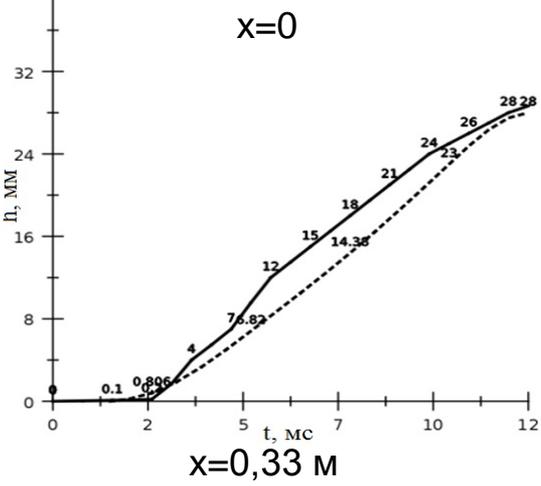
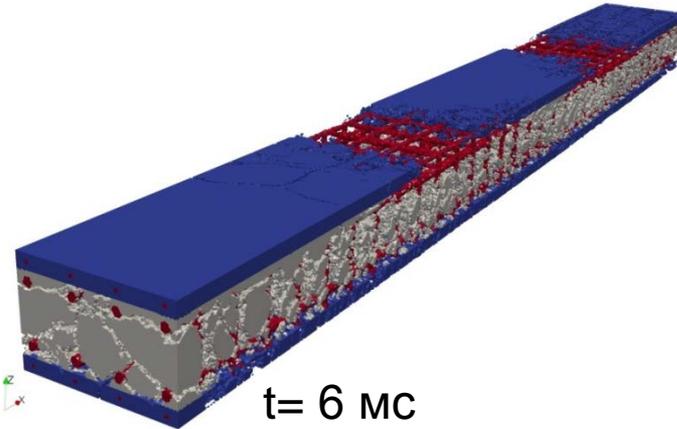
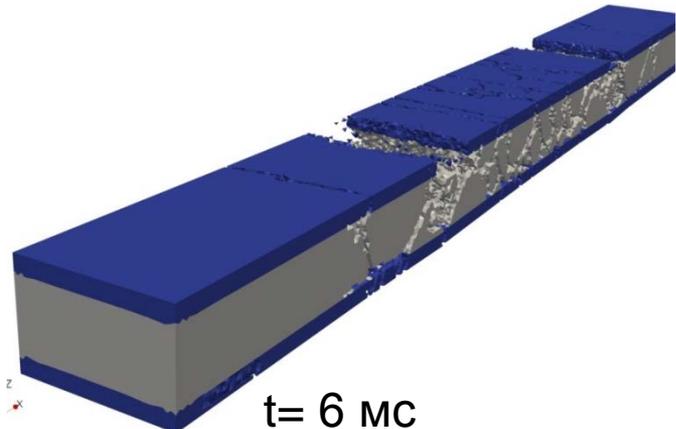
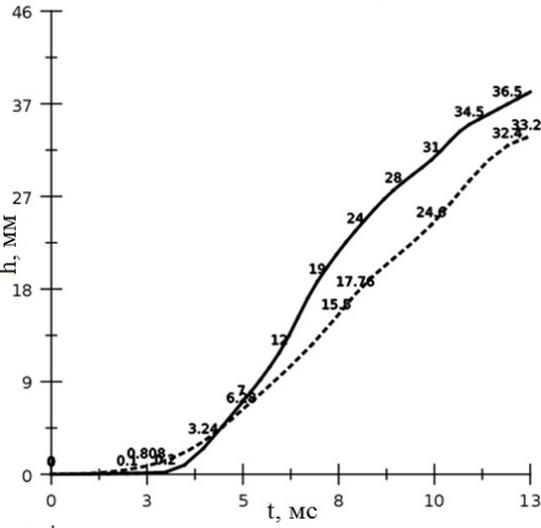
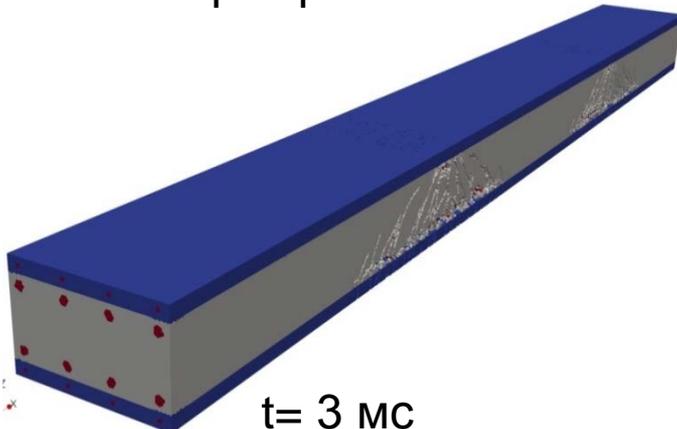
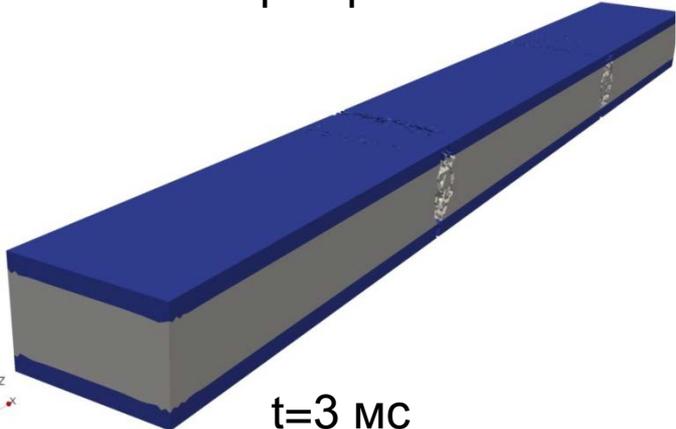
$$K_{dc} = 0.000832308e^5 + 0.0110547e^4 + 0.0447734e^3 + 0.0475887e^2 + 0.0184316e + 1.20895.$$

Разрушение балок из бетона и фибробетона

Без армирования

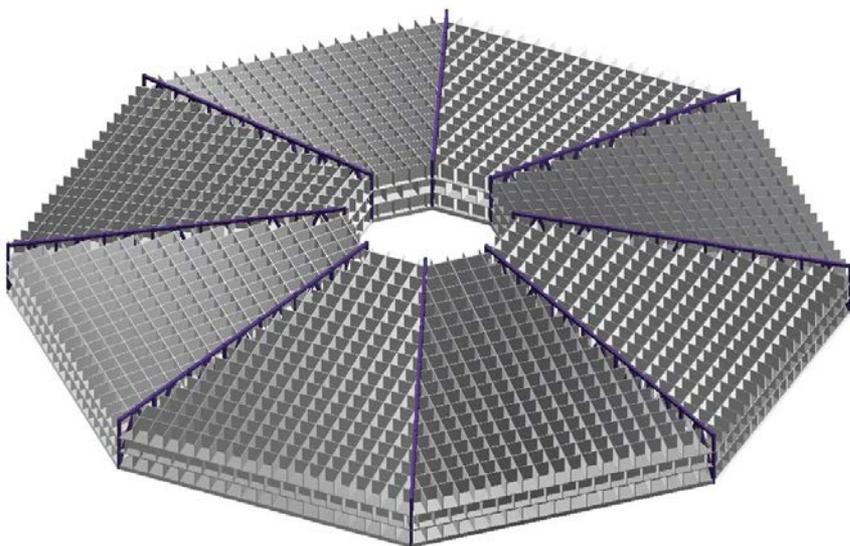
С армированием

Перемещение точки на тыльной поверхности





Внешний вид оболочки



Внутренняя сотовая конструкция

Численное исследование оболочки АС

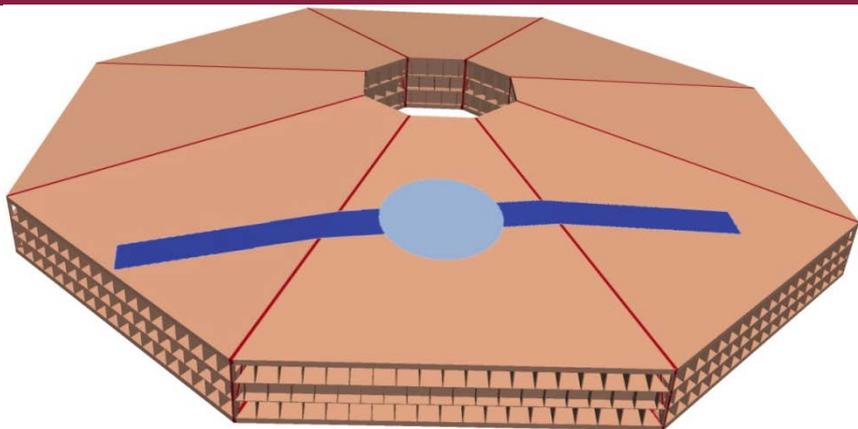
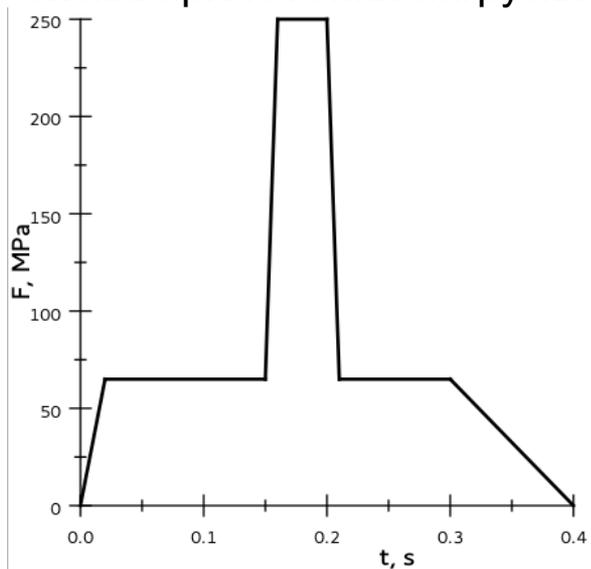
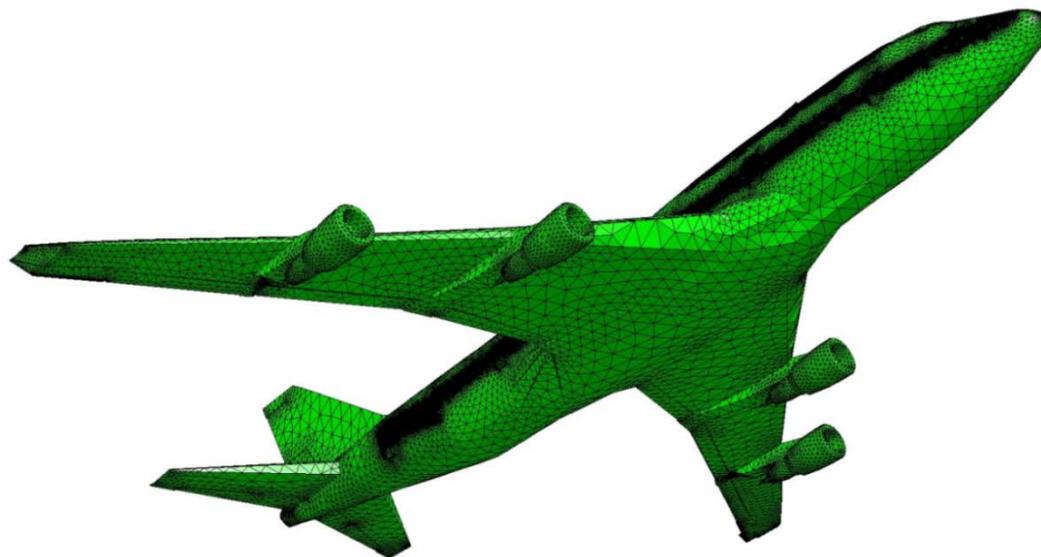


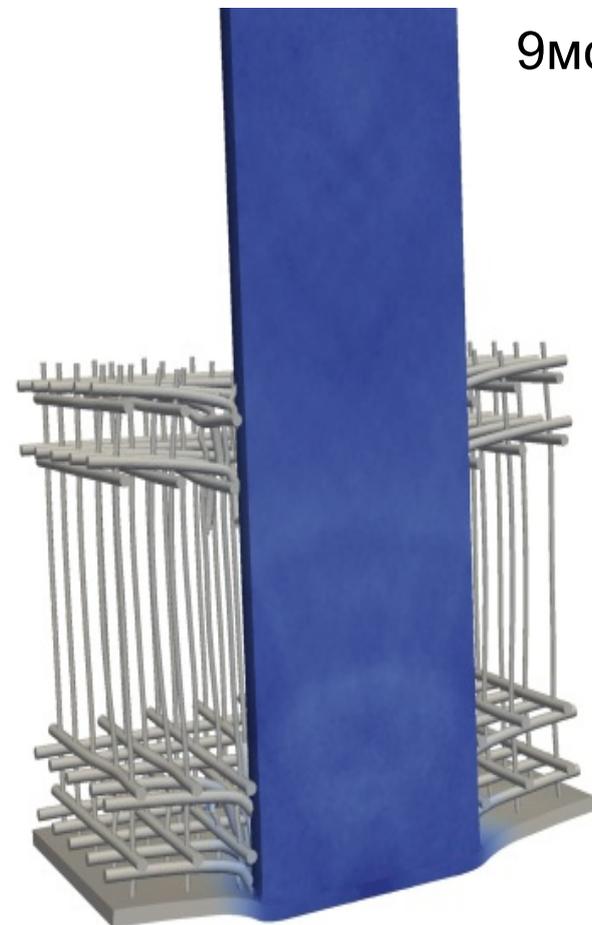
Схема приложения нагрузки



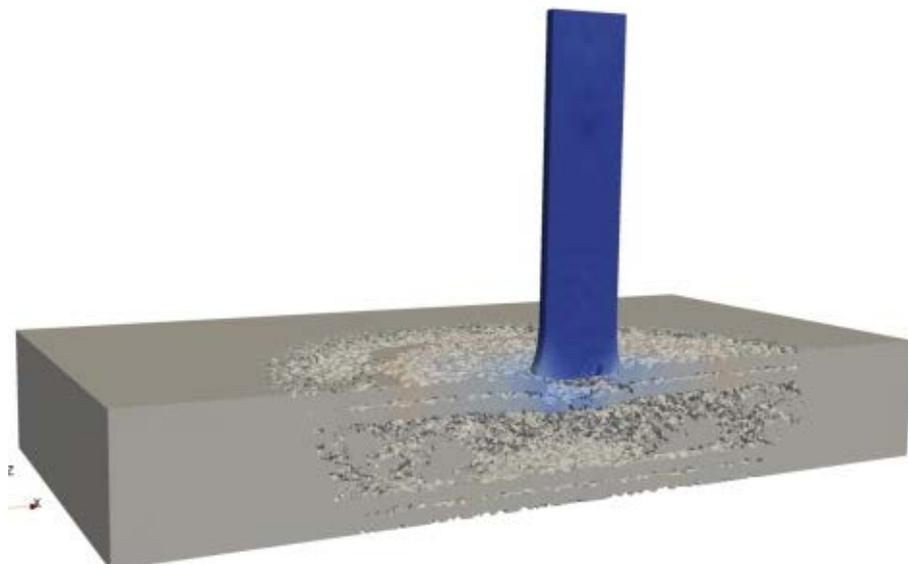
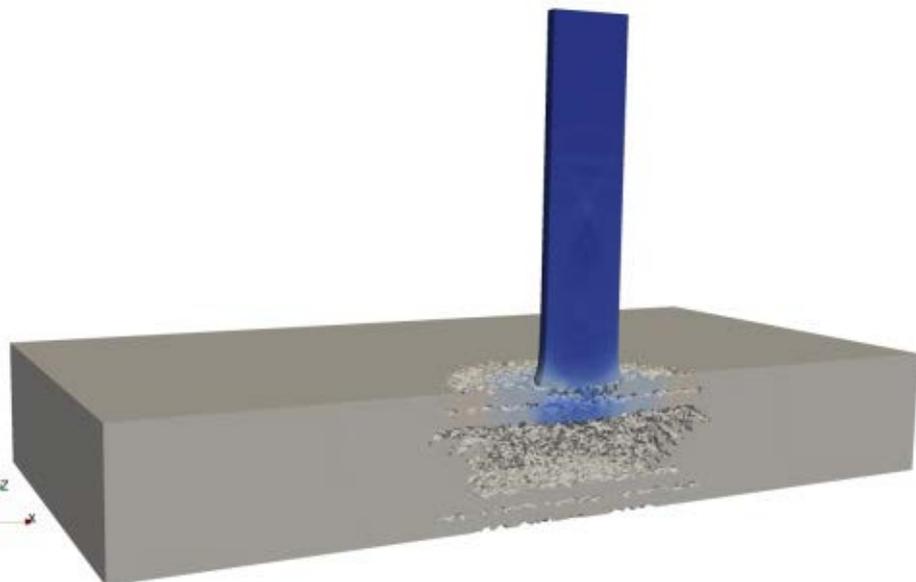
Зависимость нагружения от времени



Внедрение модели авиадвигателя

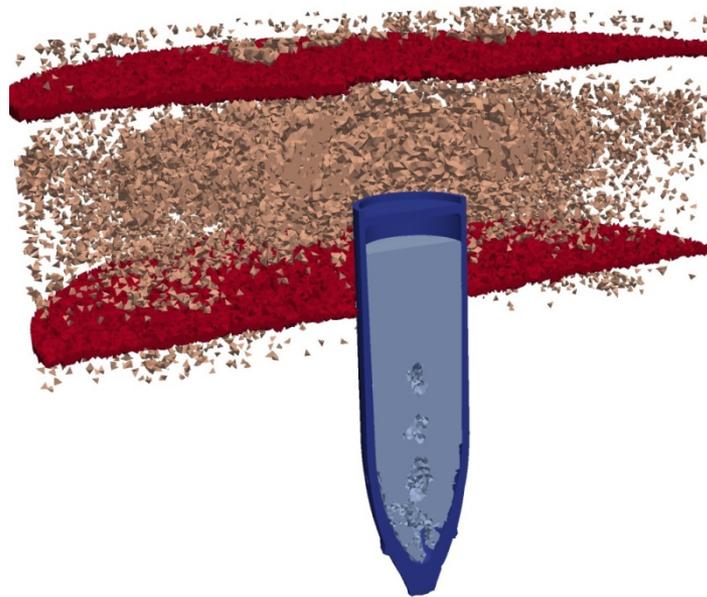
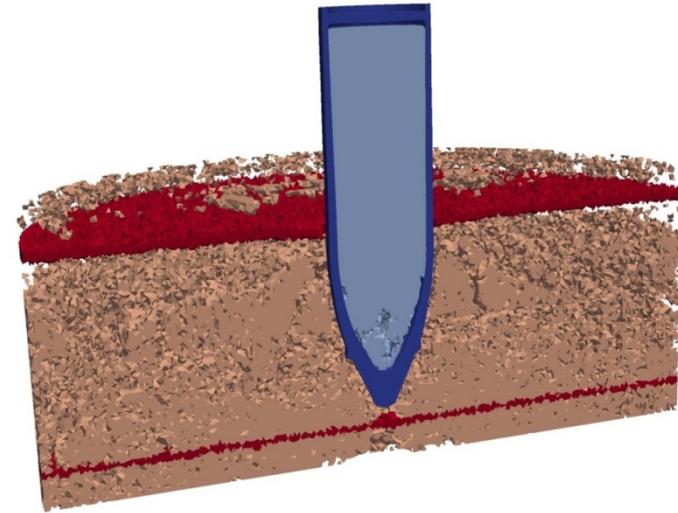
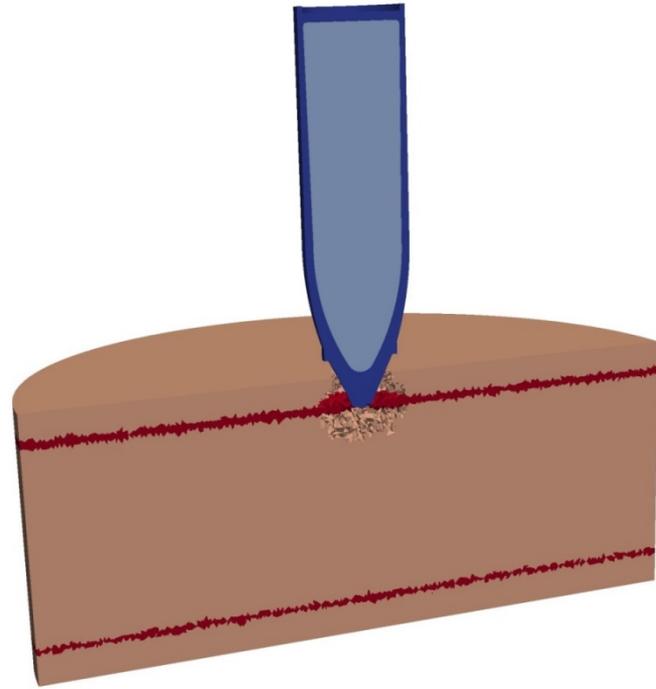


Внедрение модели авиадвигателя



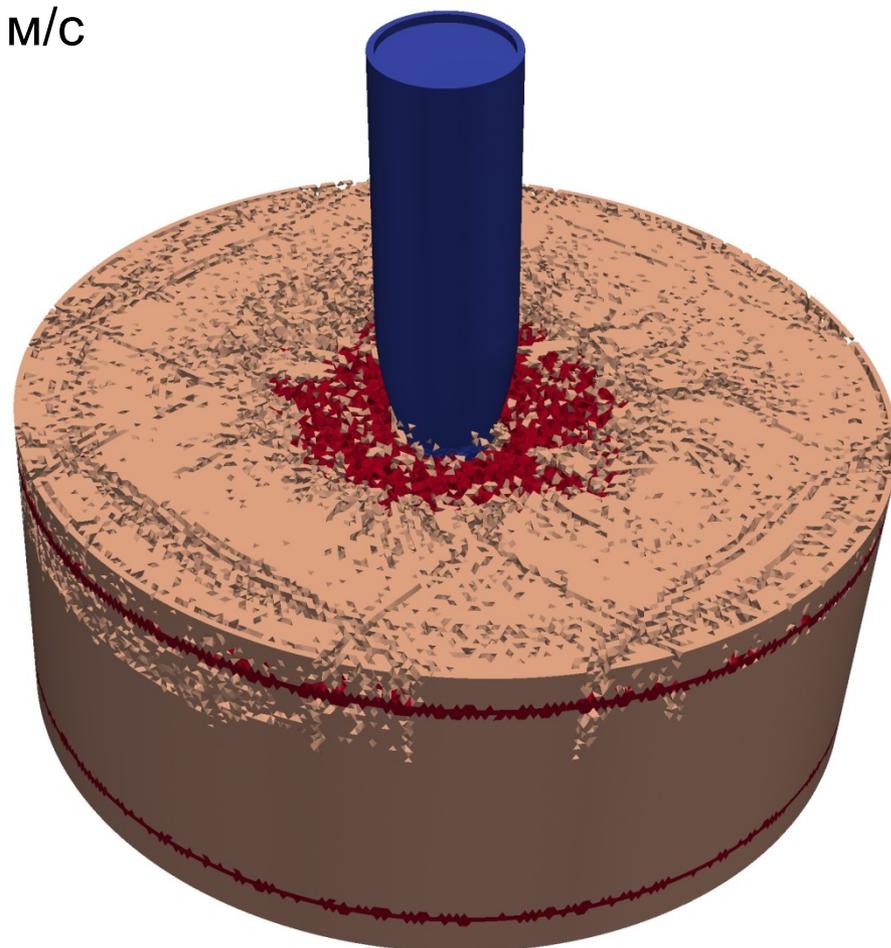
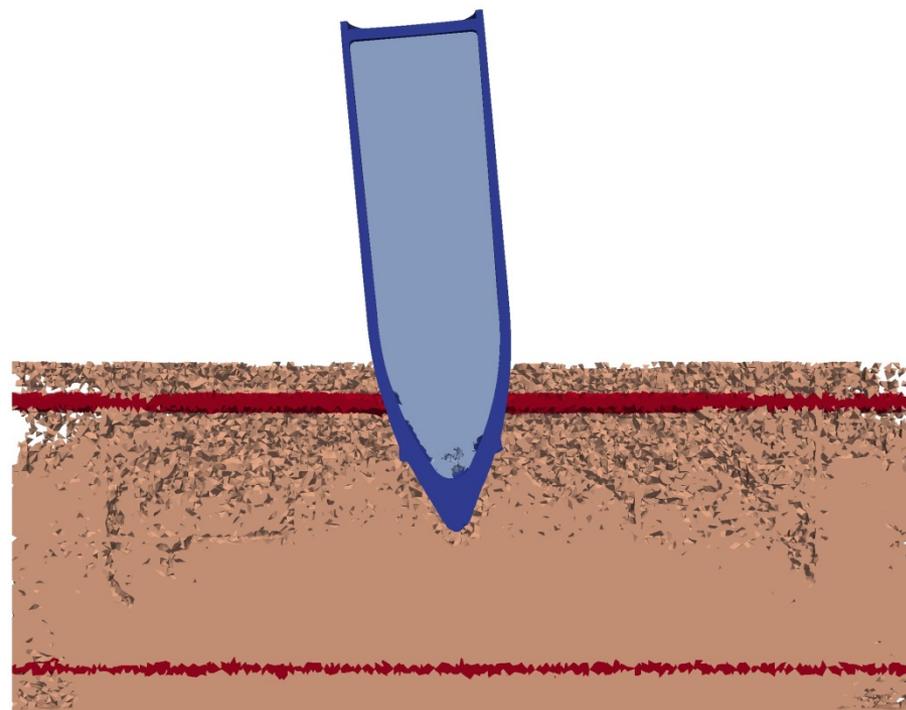
Внедрение снаряда

300 м/с



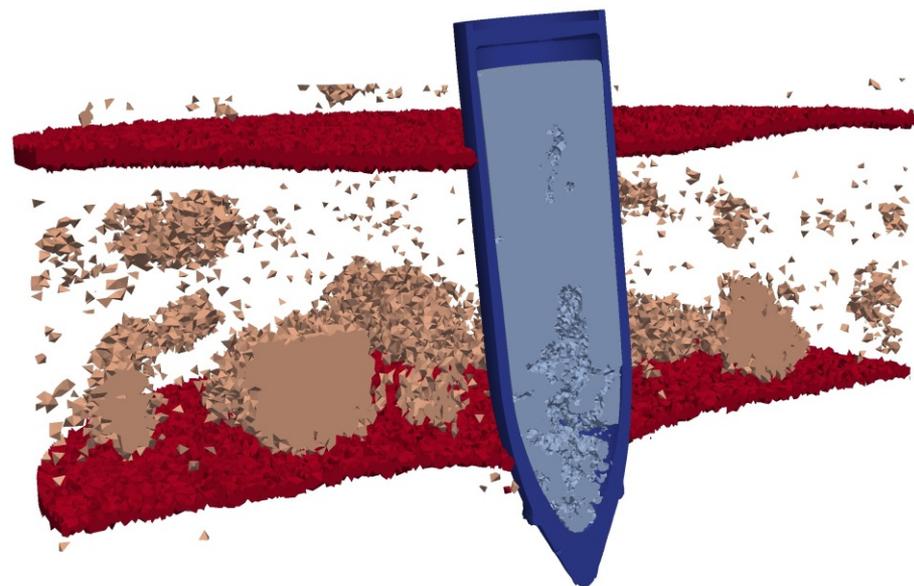
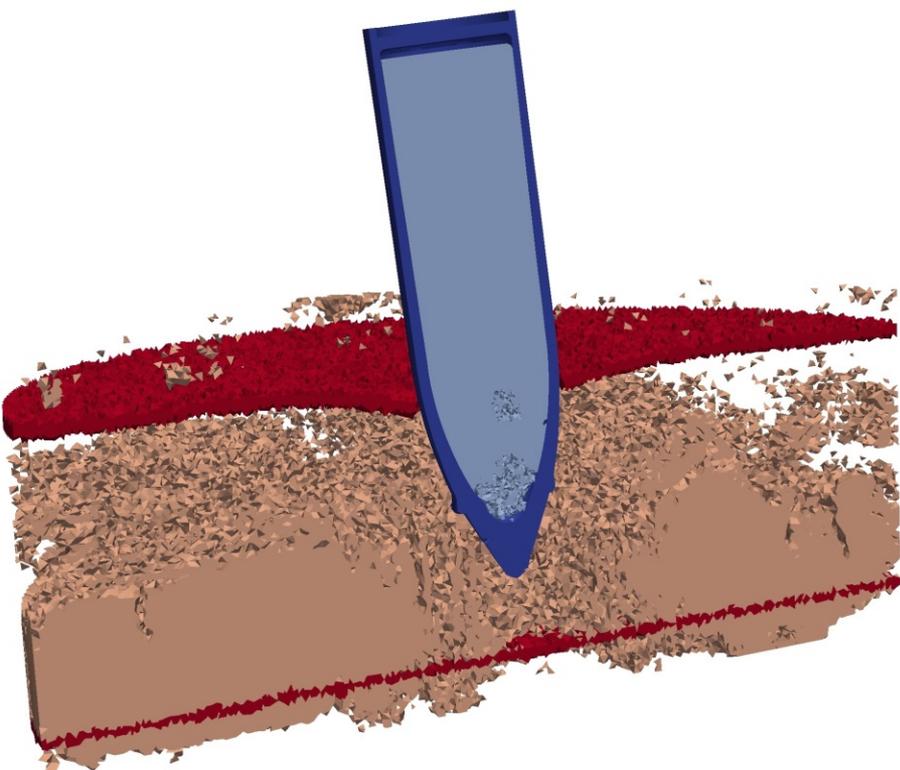
Внедрение снаряда

300 м/с



Внедрение снаряда

300 м/с





Спасибо за внимание!
