

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИИ ЗАГЛУБЛЕННОГО В ГРУНТ ЗАРЯДА НА ВЗРЫВНУЮ ИЛИ СЕЙСМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

РЫБАКИН Б.П., СЕКРИЕРУ Г.В., ГУЦУЛЯК Е.Н.

Академия Наук Республики Молдова
Институт Математики и Информатики

КИШИНЕВ, 2013

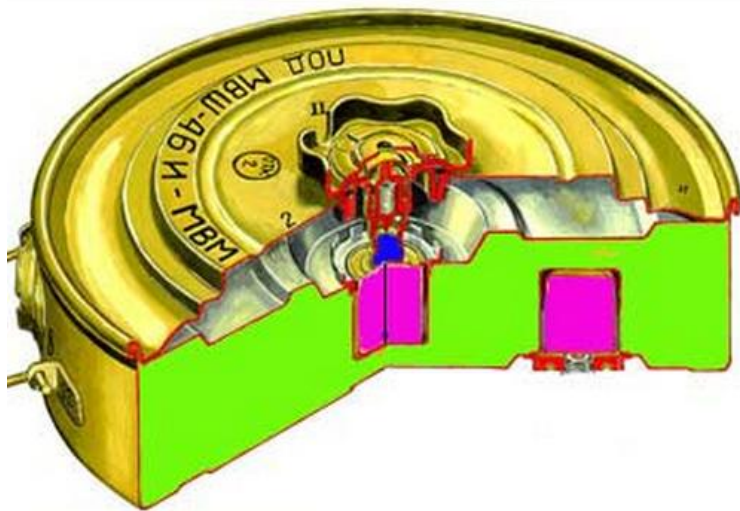
Взрывы на полигоне под Чапаевском (18.06.2013)







Схема противотанковой мины



Модель поврежденной упругопластической среды

СИСТЕМА БАЗОВЫХ УРАВНЕНИЙ

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} &= \frac{\partial(\rho v)}{\partial r} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial z} - \frac{\rho u}{r}, \\ \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} &= -\frac{\partial P}{\partial r} + \frac{\partial s_{rr}}{\partial r} - \frac{s_{rr} - s_{\theta\theta}}{r}, \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} &= -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial s_{rr}}{\partial z} + \frac{s_{zr}}{\partial r} + \frac{s_{rz}}{r}, \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} &= -\frac{P}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} + s_{rr} \frac{\partial u}{\partial r} + s_{\theta\theta} \frac{u}{r} + s_{rz} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial r} \right)\end{aligned}$$

где ρ - плотность, u и v - компоненты скорости по осям z и r , t - время,
 $\sigma_r = -p + s_r$, $\sigma_z = -p + s_z$, $\sigma_\varphi = -p + s_\varphi$ - компоненты тензора напряжений,
 p - давление, E - энергия.

Уравнения состояния

Уравнение состояния в форме Тета:

$$p = \frac{C}{n} \left(\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^n - 1 \right)$$

Уравнение состояния в форме ударной адиабаты:

$$p = a_0^2 \rho_0 \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) / \left(\left(\frac{\rho_0 - 1}{\rho} \right) \Lambda + 1 \right)^2$$

Уравнение состояния в форме Ми-Грюнайзена:

$$p = k_1 \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right) + k_2 \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^2 + k_3 \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^3 + \gamma_0$$

где p - давление, ρ - плотность, ρ_0 - начальная плотность, k_1, k_2, k_3, γ_0 - константы материала.

Уравнения состояния

Уравнение состояния для трехкомпонентного грунта:

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \sum_i^3 \alpha_i \left[\frac{n_i(p-p_0)}{\rho_i c_i^2} + 1 \right]^{-\frac{1}{n_i}}$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - объемное содержание в грунте газообразного, жидкого и твердого компонентов ($\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$), n_1, n_2, n_3 - показатели изэнтропы компонентов, ρ_1, ρ_2, ρ_3 - плотности, c_1, c_2, c_3 - скорости звука в этих компонентах.

$$\rho_0 = \alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2 + \alpha_3 \rho_3$$

аппроксимировано полиномом третьей степени относительно степени сжатия $b = \frac{\rho}{\rho_0} - 1$:

$$\rho = a_0 + a_1 b + a_2 b^2 + a_3 b^3$$

Модель детонации

Для взрывчатого вещества в твердой фазе уравнение состояния в форме Тета:

$$p = \frac{c_1}{n} \left(\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^n - 1 \right)$$

Уравнение состояния для продуктов детонации в виде политропы Ландау-Станюковича:

$$\begin{aligned} p &= A_0 \rho^\gamma \\ p &= A_1 \rho^n + A_2 \rho^{\gamma+1} \end{aligned}$$

где $A_0 = \frac{27D^2}{256\rho_{BB}^2}$ - константа ВВ, зависящая от его начальной плотности и скорости детонации D.

Схема осколочно-фугасного снаряда

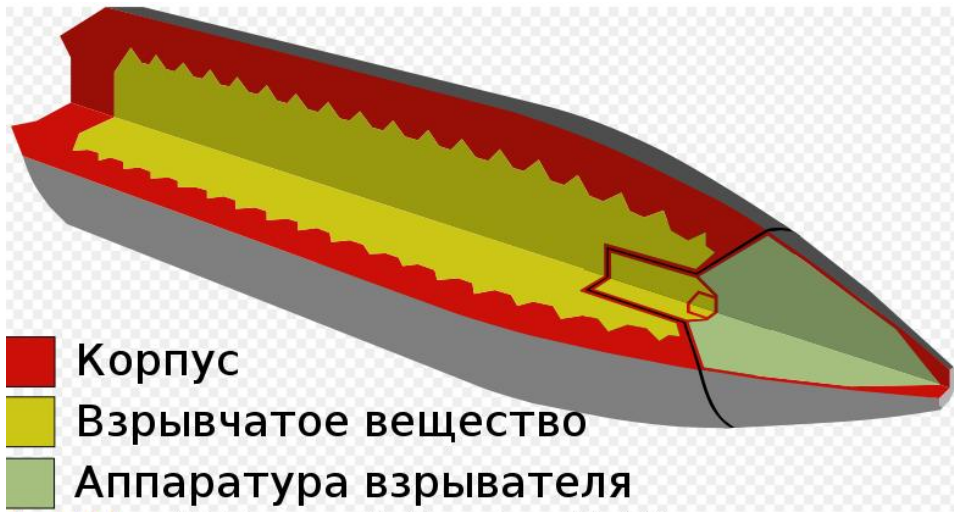
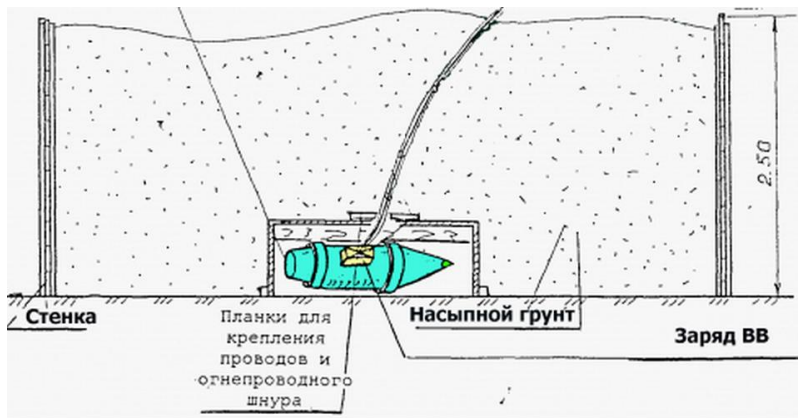
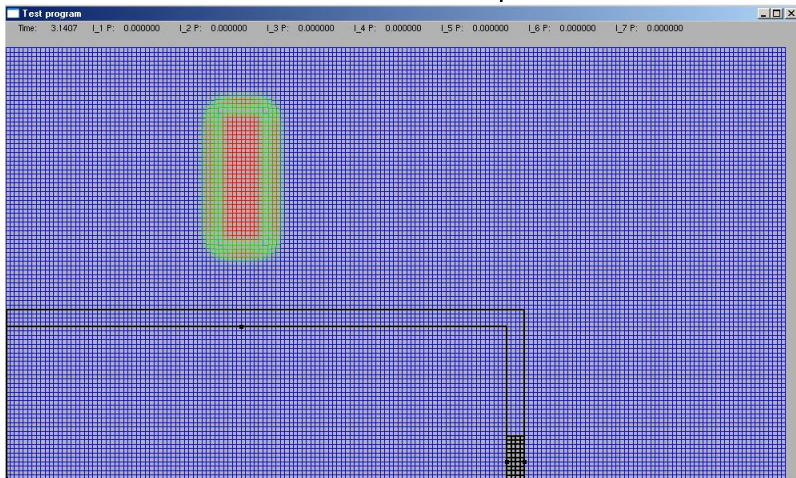


Схема разминирования снаряда



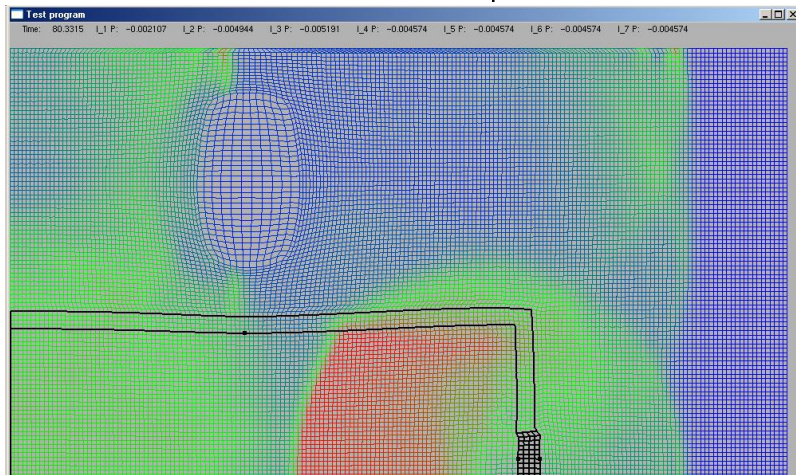
Воздействие взрывной волны на заглубленный заряд

Расчетная область в момент времени $T=3$ мкс



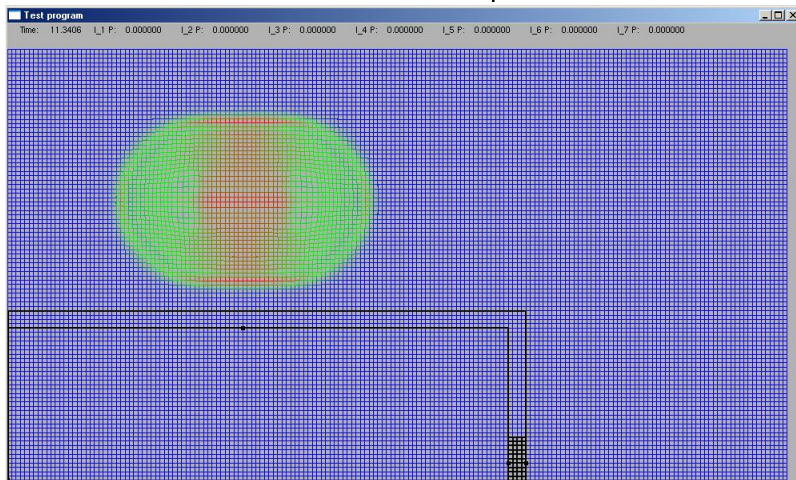
Воздействие взрывной волны на заглубленный заряд

Расчетная область в момент времени $T=80$ мкс



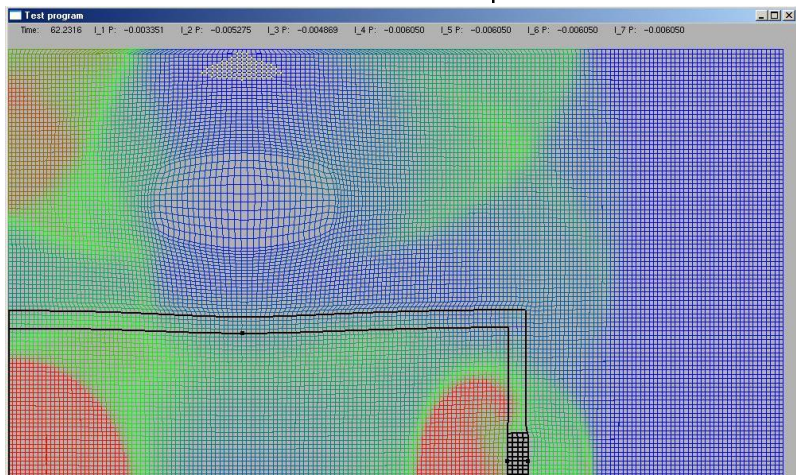
Воздействие взрывной волны на заглубленный заряд

Расчетная область в момент времени $T=11$ мкс



Воздействие взрывной волны на заглубленный заряд

Расчетная область в момент времени $T=60$ мкс



Модель масштабного пересчета сейсмического спектра (Mueller, Murphy)

Аналитическая аппроксимация формы профиля давления

$$P(t) = (P_o e^{-at} + P_{oc})H(t)$$

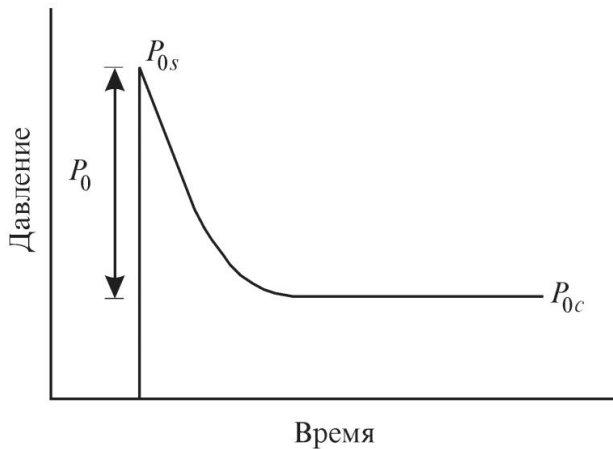
$P_{oc} + P_o = P_{os}$ - пиковое ударное давление,

P_{oc} - установившееся давление,

a - постоянная затухания,

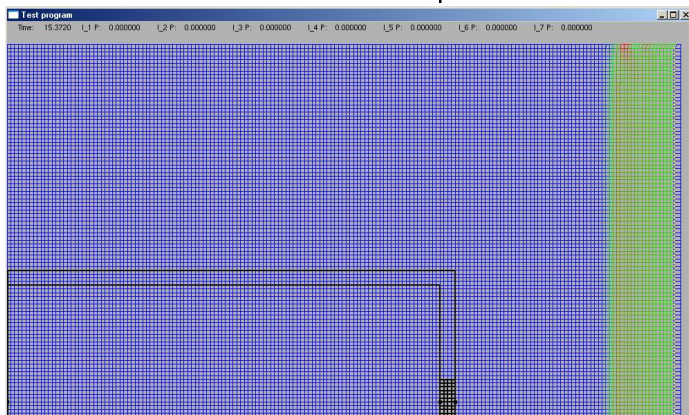
$H(t)$ - единичная ступенчатая функция.

Аналитическая аппроксимация формы профиля давления



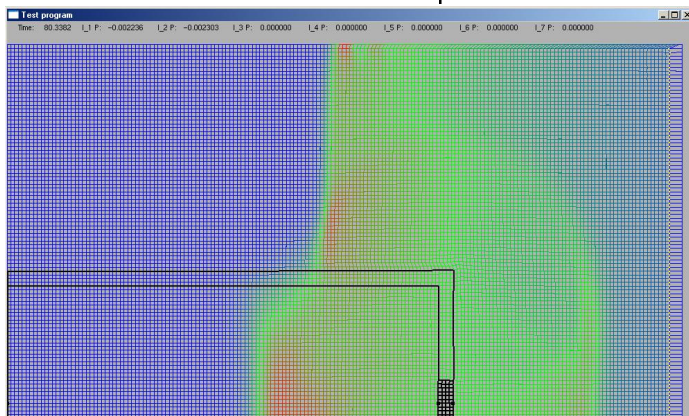
Математическое моделирование воздействия сейсмической волны на заглубленный заряд со взрывателем

Расчетная область в момент времени $T=15$ мкс



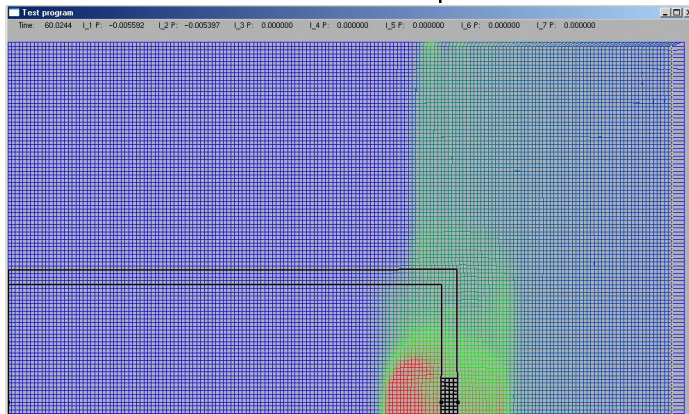
Математическое моделирование воздействия сейсмической волны на заглубленный заряд со взрывателем

Расчетная область в момент времени $T=80$ мкс

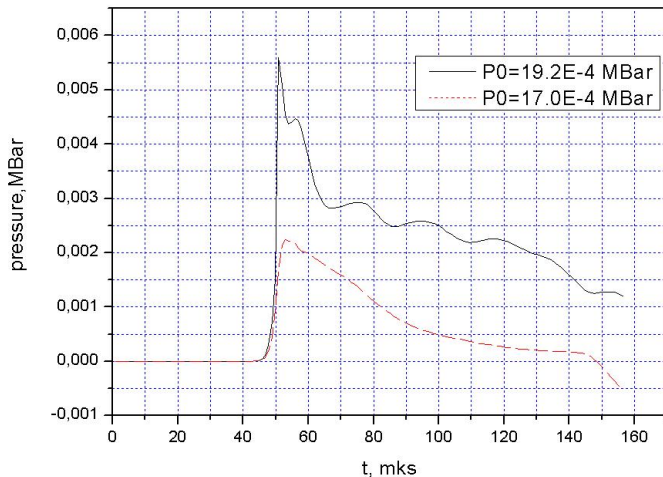


Математическое моделирование воздействия сейсмической волны на заглубленный заряд со взрывателем

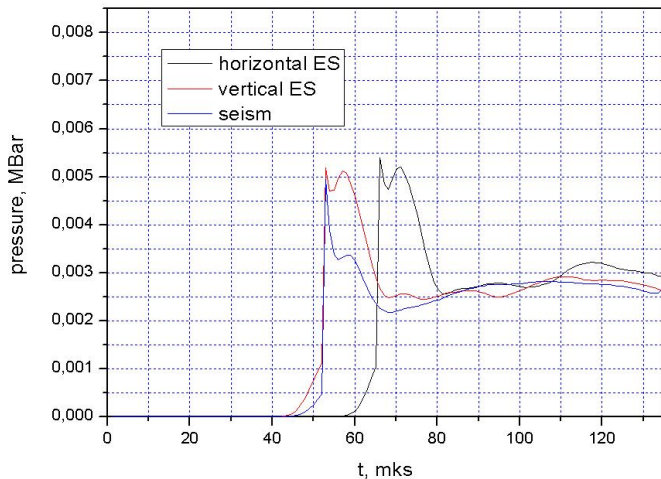
Расчетная область в момент времени $T=60$ мкс



Давление на границе «грунт-детонатор» для 3 вариантов расчета



Давление на границе «грунт-детонатор» для 3 вариантов расчета



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ