

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОАКСИАЛЬНО-СЛОИСТЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЯХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А. В. Станкевич, Д. В. Петров

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский НИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина», Снежинск, Россия

Цель – оценка газодинамических течений в комбинированных изделиях

Численное моделирование газодинамических процессов в изделиях сложной геометрии, состоящих из различных энергетических материалов (ЭМ), позволяет составлять простые инженерные схемы для дальнейшего анализа функциональных показателей систем и газодинамических процессов. Например, при создании нагружающих устройств в физике высоких плотностей энергии, анализе активности частиц и компонентов химических процессов при высоких давлениях и температурах близких к 1-1,5 эВ. Для выполнения таких численных экспериментов необходим набор уравнений состояния, кинетики реагирующих компонентов, упруго-пластики каждого материала, входящего в систему [1-5].

В данной работе рассмотрена системная задача изучения процессов газовой динамики при взрывном течении, образованном продуктами превращения химически реагирующих смесей, расположенных в различных частях слоистых цилиндрических образцов: коаксиальные и планальные слои (рис.1). Исследование проводилось расчётными методами конечных элементов по сеткам Вороного-Делоне в постановках Эйлера и Лагранжа. Динамическая коррекция сеток выполнялась по дискретным алгоритмам эрозии. Уравнения для моделирования процессов были взяты из известной литературы и баз данных, а также построены на основе маломасштабных экспериментов физической химии. С учетом химической кинетики показан характер течения при формировании тройных (маховских) отражений в различных частях брикетов из энергетических материалов (рис. 2).

Дано:

для случая - I

$$Q_2 > Q_3 > Q_1$$

$$P_3 > P_1 > P_2$$

$$V_{d3} > V_{d1} > V_{d2}$$

для случая - II

$$Q_2 > Q_1 > Q_3$$

$$P_2 > P_1 > P_3$$

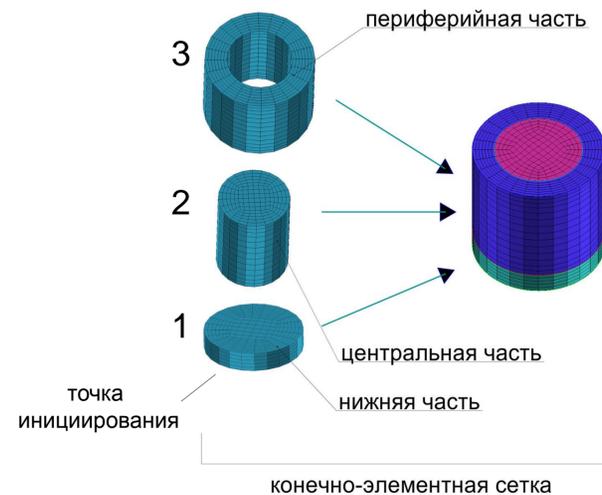
$$V_{d2} > V_{d1} > V_{d3}$$

Найти:

для случая I		для случая II	
Искомое	Условие	Искомое	Условие
$h/H; L/H$	$L \rightarrow L_{min}; R_{max}$	$h/H; L/H$	$V \rightarrow V_{max}$
$L/D; d/D$	$P \rightarrow P_{max}$	L/D	$P \rightarrow P_{3-2 max}$
$\epsilon_{кр}$	$dm \rightarrow max$	d/D	$V \rightarrow V_{max}$
$P_{3-2}; V_{d(3-2)}$	$P \rightarrow P_{max}$ $V_d \rightarrow V_{d max}$	$P_{3-2}; V_{d(3-2)}$	$P \rightarrow P_{max}$ $V_d \rightarrow V_{d max}$



Рис 1. Геометрическая модель коаксиально-слоистого изделия



R – радиус фронта детонационной волны (ФДВ);
D, d – внешний и внутренний диаметр изделия;
Vr – радиальная скорость движения ФДВ;
 $\epsilon_{кр}$ – соотношение d/D, при котором диск Маха не образуется;
 V_d – нормальная скорость движения ФДВ (скорость детонации); 3-2 – переходные параметры от слоя 3 к слою 2.

Физико-математическая модель

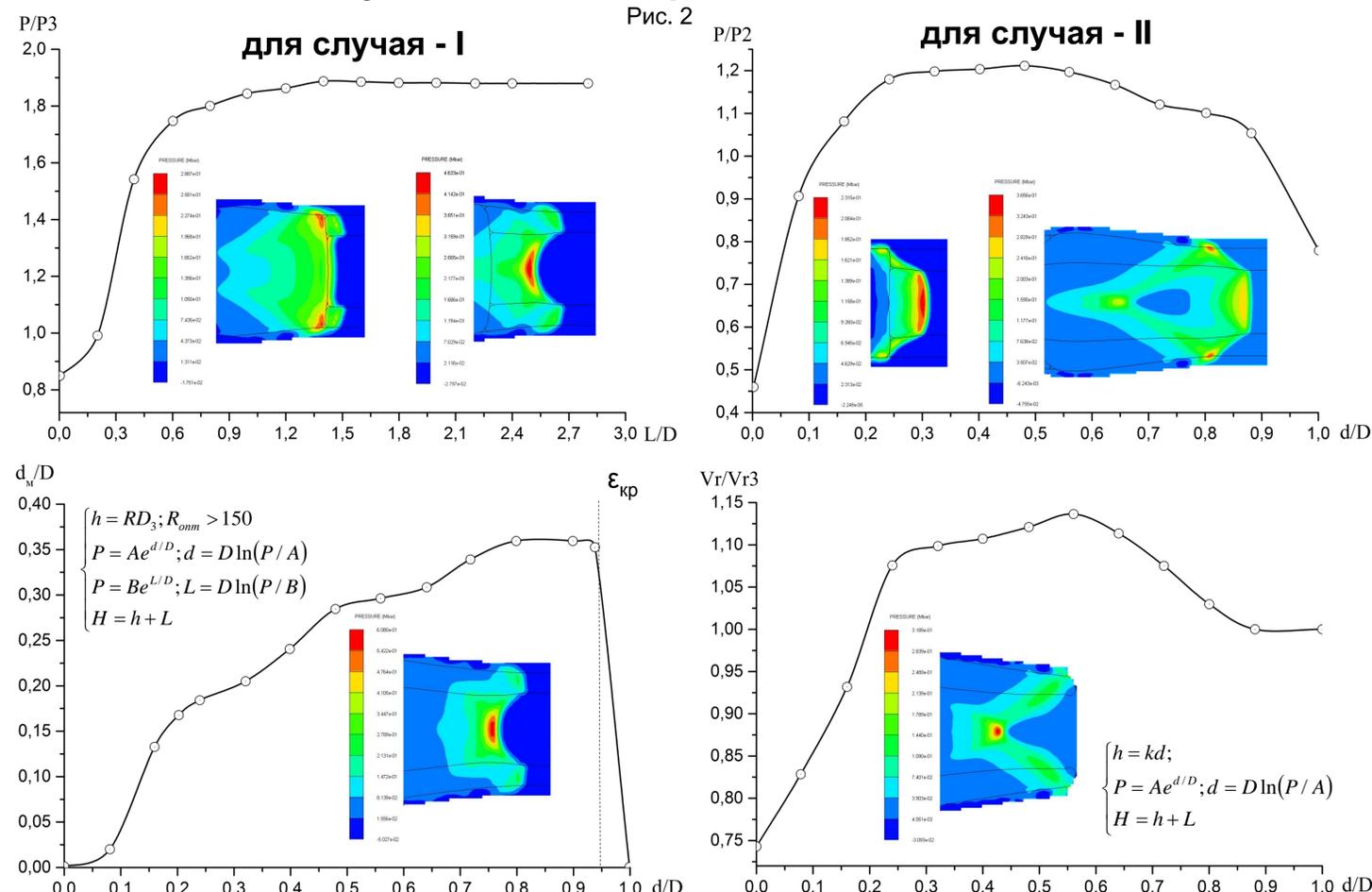
(для каждой из частей)

$$1-3 \begin{cases} P = \frac{n_g RT}{V_g} (1 + x e^{\beta x}) \\ x = \left(K \sum_{j=1}^{NC} k_j n_j^g \right) / [v_g (T + \Theta)^\alpha] \\ P = A e^{-R_1 V} + B e^{-R_2 V} + \frac{\Gamma C_v T}{V} \end{cases}$$

$$1, 3 \begin{cases} P = A e^{-R_1 V} + B e^{-R_2 V} + \frac{\Gamma C_v T}{V} \\ \rho_0 D = \rho(D - u) \\ p = p_0 + \frac{D^2}{v_0^2} (v - v_0) \\ \epsilon_n - \epsilon_0 = \frac{P_n - P_0}{2} (v_n - v_0) + Q_v \end{cases} \quad 2$$

$$\begin{cases} t = (\rho C a^2 / \lambda) F(E/T_m - E/T_1) \\ \tau_{ao} = (c \rho R T_0^2 e^{E/RT}) (QEZ) \\ P = A e^{-R_1 V} + B e^{-R_2 V} + \frac{\Gamma C_v T}{V} \\ \rho_0 D = \rho(D - u) \\ p = p_0 + \frac{D^2}{v_0^2} (v - v_0) \\ \epsilon_n - \epsilon_0 = \frac{P_n - P_0}{2} (v_n - v_0) + Q_v \end{cases}$$

Результаты моделирования. Решение.



Ответ

I $h/H \sim 0,12 \dots 0,43; L/D \sim 1,43 \dots 1,52; d/D \sim 0,56 \dots 0,85; \epsilon_{кр} \sim 0,94; P_{3-2} \sim 1,9 \dots 4,8 P_3; V_{d(3-2)} \sim 0,98 \dots 1,0 V_{d3}$
II $h/H \sim 0,1 \dots 0,24; L/D \sim 1,75 \dots 1,88; d/D \sim 0,48 \dots 0,74; P_{3-2} \sim 1,0 \dots 1,8 P_2; V_{d(3-2)} \sim 0,98 \dots 1,0 V_{d3}$

Вывод

Газодинамические процессы в цилиндрических коаксиально-слоистых комбинированных изделиях из различных типов ЭМ протекают с формированием Маховского диска и вторичных отражений, что позволяет увеличить давление и скорость радиального разлёта по сравнению с индивидуальным изделием.

Литература
[1] Mader C.L. Numerical Modeling of explosives and propellants. – NW.: Taylor&Francis, 2008.
[2] Фундаментальные проблемы моделирования турбулентных и двухфазных течений. Т.2: Численное моделирование. – М.: Наука, 2010.
[3] Станкевич А.В., Базотов В.Я., Евсеева Т.П., Суркова И.Ю. Исследование структуры и свойств, комбинированных коаксиально-слоистых зарядов промышленного назначения// Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. – № 11. – С. 215 – 221.
[4] Станкевич А.В., Базотов В.Я., Евсеева Т.П., Суркова И.Ю. Исследование эффективности действия модельных комбинированных зарядов при непосредственном контакте с мишенью// XV Харитоновские тематические научные чтения: сборник материалов международной конференции 18 марта-22 марта 2013г. - Саров: из-во РФЯЦ -ВНИИЭФ, 2013 - с. 399.
[5] Базотов В.Я., Мокеев А.А., Станкевич А.В., Евсеева Т.П., Евдокимов А.П. Изучение параметров функционирования коаксиально-слоевого кумулятивного заряда промышленного назначения// Взрывное дело. 2015. № 114-71. С. 242-251.