

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯЧЕИСТОЙ ДЕТОНАЦИИ С ПРОБКАМИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Бедарев И. А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт теоретической и прикладной механики им. Христиановича СО РАН,  
630090, Россия, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный технический университет,  
630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20*

В работе выполнено математическое моделирование взаимодействия ячейистой детонационной волны, распространяющейся по водородовоздушной смеси, со слоем нереагирующего газа. Актуальность данных исследований связана с вопросами взрыво- и пожаробезопасности, а именно с проблемой ослабления и подавления детонационных волн в горючих газовых смесях [1-4]. Предлагается для подавления детонации и изоляции зон горения использовать пробки инертных газов. Газодинамика процесса моделировалась системой уравнений Навье–Стокса, описывающей движение вязкого сжимаемого теплопроводного газа, с учетом многокомпонентности газовой смеси и химической кинетики. Для описания процесса горения смеси горючего и окислителя задействован приведенный кинетический механизм, который в [5-6] верифицирован по времени задержки воспламенения, скорости детонационной волны, размеру детонационной ячейки и режимам наклонных детонационных волн. Вычислительная технология реализована в рамках пакета ANSYS Fluent. Ранее данная вычислительная технология использовалась для решения задачи об ослаблении и подавлении ячейистых детонационных волн инертными частицами [7-8].

Проведено сравнение взаимодействия детонационной волны с пробками трех инертных газов:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ . На рис. 1 показана постановка задачи. В начальный момент времени в правой части канала задается развитая ячейистая детонационная волна (ДВ). В камере низкого давления (КНД) находится пробка инертного газа, левая граница которой располагается в координате  $x = 0.3$  м. Длина пробки  $L$  варьируется.



Рис. 1 Постановка задачи. Схема течения.

В зависимости вида изолирующего газа и длины пробки могут реализоваться различные режимы течения после выхода ударной волны из инертной пробки. На рис. 2 показаны три таких режима для пробки  $\text{CO}_2$  длиной  $L = 0.2$  м,  $0.3$  м и  $0.4$  м: а) с реиницированием детонации; б) подавление детонационной волны с образованием волны дефлаграции; в) подавление детонационной волны без образования волны дефлаграции. На рис. 2 показаны поля максимумов плотности во времени. Два последних режима практически неотличимы на картинах максимума плотности.

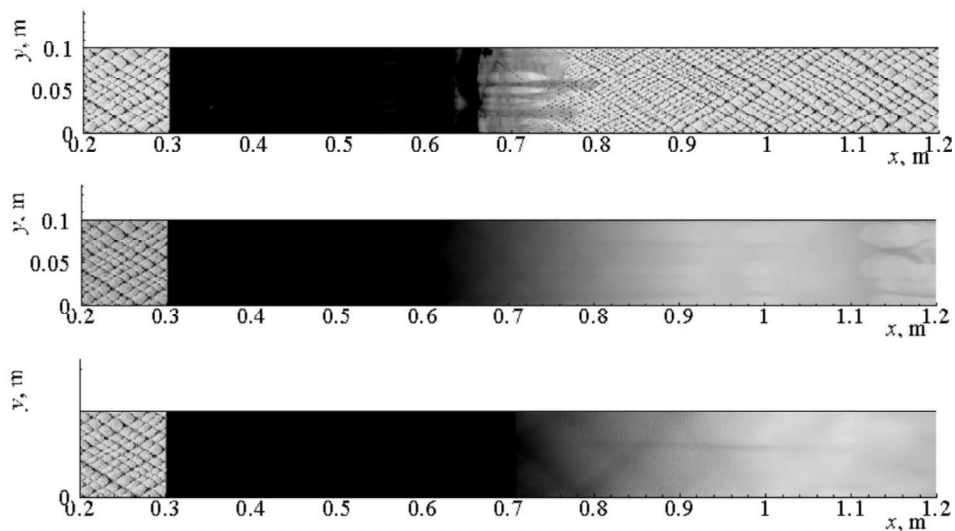


Рис. 2 Поля максимумов плотности во времени для пробки  $\text{CO}_2$  длиной  $L = 0.2$  м,  $0.3$  м и  $0.4$  м.

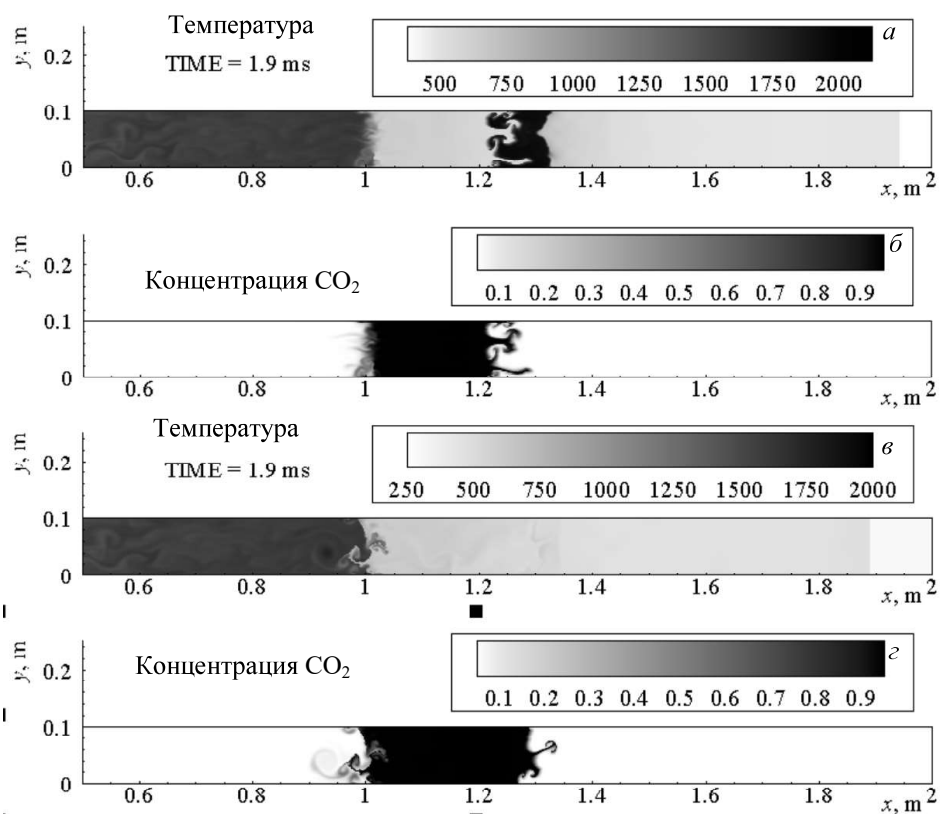


Рис. 3 Поля температуры и массовой концентрации  $\text{CO}_2$  для пробки длиной  $0.3$  м (*а, б*) и  $0.4$  м (*в, г*)

Различие между этими режимами можно увидеть на полях температуры и относительных массовых концентраций  $\text{CO}_2$  показанных на рис. 3. Здесь представлены результаты расчетов в момент времени 1.9 мс для облаков длиной 0.3 м (а, б) и 0.4 м (в, г). Из рисунка видно, что для облака инертного газа длиной 0.3 м на его правой границе возникает зона горения, которая за момент времени от 1.7 мс до 1.9 мс перемещается со средней скоростью примерно 485 м/с. Выводы о динамике распространения зоны горения и о влиянии турбулентности на ее поведение позволят сделать дальнейшие исследования.

В таблице приведены сводные данные о режимах течения после выхода ударной волны из облака для трех инертных газов:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , Ar. Из таблицы видно, что более эффективным для подавления детонации является использование углекислого газа. В таблице режимы обозначены следующим образом: А – режим с реиницированием детонации; Б – режим подавления детонационной волны с образованием волны дефлаграции; В – режим подавления детонационной волны без образования волны дефлаграции.

Таблица

Газ \ L, м	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75
$\text{CO}_2$	А	Б	В	В	В
$\text{N}_2$	А	А	А	Б	В
Ar	А	А	Б	В	В

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы (проект АААА-А17-117030610139-4).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Tropin D.A., Fedorov A.V.** Physical and mathematical modeling of ignition, combustion and detonation of silane-hydrogen-air mixtures. // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2017. Vol.49, Part B. P. 762-768.
2. **Tropin D.A., Fedorov A.V.** Attenuation and suppression of detonation waves in reacting gas mixtures by clouds of inert micro- and nanoparticles. // Combustion, Explosion and Shock Waves. 2018. Vol.54, No.2. P. 200-206.
3. **Tropin D.A., Fedorov A.V.** Effect of inert micro- and nanoparticles on the parameters of detonation waves in silane/hydrogen - air mixtures. // Combustion, Explosion and Shock Waves. 2019. Vol.55, No.2. P. 230-236.
4. **Tropin D.A., Fedorov A.V.** Physical and mathematical modeling of interaction of detonation waves in mixtures of hydrogen, methane, silane, and oxidizer with clouds of inert micro- and nanoparticles. // Combustion Science and Technology. 2019. -No.(in Press). P. 1-9.
5. **Bedarev I.A., Rylova K.V., Fedorov A.V.** Application of detailed and reduced kinetic schemes for the description of detonation of diluted hydrogen-air mixtures // Combustion, Explosion and Shock Waves. 2015. Vol.51, No.5. P. 528-539.
6. **Bedarev I.A., Temerbekov V.M., Fedorov A.V.** Simulating the regimes of oblique detonation waves arising at detonation initiation by a small-diameter projectile // Thermophysics and Aeromechanics. 2019. Vol.26, No.1. P. 59-68.
7. **Bedarev I.A.** Micro-Level Modeling of the Detonation Wave Attenuation by inert particles // Thermal Science. Vol.23, No.2. 2019. P. 439-445.
8. **Bedarev I.A.** Numerical simulation of the suppression of cellular detonation by inert particles // Journal of Physics: Conference Series. Vol.1128, No.1, paper 012060. 2018. 6 p.