

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ ДЕТОНАЦИИ С ПОРИСТОЙ ВСТАВКОЙ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ\*

Д. А. Тропин, С. А. Лаврук

Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук

**Аннотация:** Проведено численное моделирование взаимодействия гетерогенной детонации с пористой вставкой. В математической модели пористых вставок предполагалось, что пористая зона представляет собой сплошную среду в виде сетки неподвижных цилиндров. Для микронных частиц алюминия получены основные режимы и критические условия затухания детонации в пористых зонах. Описаны основные особенности полей течений в канале. Установлено, что для микронных частиц в открытом пространстве формируется плоская детонационная волна. Выявлены основные закономерности для микронных реагирующих частиц и инертной пористой зоны. Рассчитана критическая высота свободного пространства без пористых вставок. Критическая высота открытого пространства не зависит от количества свободных участков в пористой зоне. Критическая высота не зависит от ширины канала. Для микронных частиц предложено физическое объяснение существования плоской детонации, связанное с временами тепловой релаксации.

**Ключевые слова:** физическо-математическое моделирование; гетерогенная детонация; пористые вставки; срыв детонации

DOI: 10.30826/CE23160108

EDN: AWQKLH

## Литература

1. Фёдоров А. В., Кратова Ю. В. Расчет распространения детонационной волны в газозвеси алюминиевых и инертных частиц // *Физика горения и взрыва*, 2013. Т. 49. № 3. С. 88–101. EDN: QASQRR.
2. Кратова Ю. В., Фёдоров А. В. Взаимодействие волны гетерогенной детонации, распространяющейся в ячеечном режиме, с облаком инертных частиц // *Физика горения и взрыва*, 2014. Т. 50. № 2. С. 68–76. EDN: SMBIPP.
3. Lavruk S. Investigation of detonation suppression in aluminum suspensions of micro- and nanoparticles by inert particle clouds // *AIP Conf. Proc.*, 2019. Vol. 2125. Article No. 030082. 6 p.
4. Lavruk S. A., Tropin D. A. Investigation of the heterogeneous detonation suppression by clouds of inert particles and droplet suspension // *J. Phys. Conf. Ser.*, 2019. Vol. 1404. Article No. 012062. 6 p.
5. Фёдоров А. В., Тропин Д. А. Определение критического размера облака частиц, необходимого для подавления газовой детонации // *Физика горения и взрыва*, 2011. Т. 47. № 4. С. 100–108. EDN: OHSQZT.
6. Bedarev I. Micro-level modeling of the detonation wave attenuation by inert particles // *Therm. Sci.*, 2019. Vol. 23. P. 439–445.
7. Tropin D. A., Bedarev I. A. Problems of detonation wave suppression in hydrogen–air mixtures by clouds of inert particles in one- and two-dimensional formulation // *Combust. Sci. Technol.*, 2021. Vol. 193. No. 2. P. 197–210.
8. Bedarev I. A. Numerical simulation of the cellular detonation interaction with inert gas plugs // *J. Phys. Conf. Ser.*, 2019. Vol. 1404. Article No. 012053. 6 p.
9. Tropin D., Bedarev I. Physical and mathematical modeling of interaction of detonation waves with inert gas plugs // *J. Loss Prevent. Proc.*, 2021. Vol. 72. Article No. 104595.
10. Evans M. W., Given F. I., Richeson W. E. Effects of attenuating materials on detonation induction distances in gases // *J. Appl. Phys.*, 1955. Vol. 26. No. 9. P. 1111–1113.
11. Васильев А. А. Околопредельные режимы детонации в каналах с пористыми стенками // *Физика горения и взрыва*, 1994. № 1. С. 101–106.
12. Bivol G. Y., Golovastov S. V., Golub V. V. Attenuation and recovery of detonation wave after passing through acoustically absorbing section in hydrogen–air mixture at atmospheric pressure // *J. Loss Prevent. Proc.*, 2016. Vol. 43. P. 311–314.
13. Golovastov S. V., Bivol G. Y., Alexandrova D. Evolution of detonation wave and parameters of its attenuation when passing along a porous coating // *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 2019. Vol. 100. P. 124–134.
14. Radulescu M. I., Maxwell B. M. N. The mechanism of detonation attenuation by a porous medium and its subsequent re-initiation // *J. Fluid Mech.*, 2011. Vol. 667. P. 96–134.
15. Фёдоров А. В. Структура гетерогенной детонации частиц алюминия, диспергированных в кислороде // *Физика горения и взрыва*, 1992. Т. 28. № 3. С. 72–83. EDN: XWFPCP.

\*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10083, <https://rscf.ru/project/21-79-10083/>. Статья основана на докладе, представленном на 10-м Международном симпозиуме по неравновесным процессам, плазме, горению и атмосферным явлениям (NEPCAP), прошедшем в Сочи (Россия) в период с 3 по 7 октября 2022 г.

16. *Fedorov A. V., Khmel' T. A., Fomin V. M.* Non-equilibrium model of steady detonations in aluminum particles – oxygen suspensions // *Shock Waves*, 1999. Vol. 9. No. 5. P. 313–318.
17. *Фёдоров А. В., Хмель Т. А.* 2019. Проблемы замыкания моделей при описании детонации ультрадисперсных газозвесей алюминия (обзор) // *Физика горения и взрыва*, 2019. Т. 55. № 1. С. 3–20. doi: 10.15372/FGV20190101. EDN: YVPADR.
18. *Khmel T., Lavruk S.* Detonation flows in aluminium particle gas suspensions, inhomogeneous in concentrations // *J. Loss Prevent. Proc.*, 2021. Vol. 72. Article No. 104522.
19. *Хмель Т. А.* Моделирование ячеистой детонации в газозвесах субмикронных и наноразмерных частиц алюминия // *Физика горения и взрыва*, 2019. Т. 55. № 5. С. 73–82. doi: 10.15372/FGV20190509. EDN: LSFURA.

*Поступила в редакцию 11.04.2022*