

## УСКОРЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ СХЕМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЯЗЫКА C++\*

В. Г. Крупкин<sup>1</sup>, Г. Н. Мохин<sup>2</sup>

**Аннотация:** Проведены численные эксперименты по производительности численных схем для моделирования воспламенения и пульсирующего горения на персональном компьютере с использованием новых возможностей языка программирования C++. В качестве модельной рассматривалась задача иницирования горения в конденсированном веществе, где возможны пульсирующие и хаотические режимы. Описано влияние различных компонентов, входящих в современный стандарт языка C++ и библиотеку стандартных шаблонов (standard template library, STL) языка C++, таких как стандартные контейнеры и алгоритмы в однопоточной и параллельной, многопоточной реализации. Предложены варианты ускорения расчетов посредством выбора алгоритмов параллельной обработки и аппроксимаций экспоненциального члена в уравнениях горения. Показано, что на производительность численной схемы существенно влияет аппаратное кэширование, что, в свою очередь, также должно учитываться при выборе алгоритма.

**Ключевые слова:** теория горения; пульсирующие режимы горения; численное моделирование; оптимизация; язык программирования C++ в научных расчетах

**DOI:** 10.30826/CE23160206

**EDN:** FOBWVE

### Литература

1. *Pitt-Francis J., Whiteley J.* Guide to scientific computing in C++. — 2nd ed. — New York, NY, USA: Springer, 2017. 287 p. doi: 10.1007/978-3-319-73132-2.
2. ISO/IEC JTC 1/SC 22. Programming languages, their environments and system software interfaces. <https://www.iso.org/committee/45202.html>.
3. ISO/IEC 14882:2020. Programming languages — C++. <https://www.iso.org/standard/79358.html>.
4. *Raman V., Hassanaly M.* Emerging trends in numerical simulations of combustion systems // P. Combust. Inst., 2019. Vol. 37. No. 2. P. 2073–2089.
5. *Маршаков В. Н.* Параметры очагово-пульсирующего режима горения нитроглицеринового пороха // Хим. физика, 1987. Т. 6. № 4. С. 530–537.
6. *Kasimov A. R., Faria L. M., Rosales R. R.* Model for shock wave chaos // Phys. Rev. Lett., 2013. Vol. 110. No. 10. 104104. doi: 10.1103/PhysRevLett.110.104104.
7. *Marshakov V. N., Krupkin V. G., Mokhin G. N.* Characteristic scale of hotspot-cellular structures of combustion wave in double-base propellants // Zel'dovich Memorial: Accomplishments in the combustion science in the last decade / Eds. A. A. Borisov, S. M. Frolov. — M.: TORUS PRESS, 2014. Vol. 2. P. 127–132.
8. *Крупкин В. Г., Мохин Г. Н.* Образование очагов воспламенения в конденсированном веществе при наличии неоднородностей поверхности // Горение и взрыв, 2014. Вып. 7. С. 293–298.
9. *Крупкин В. Г., Мохин Г. Н.* Пульсирующий режим горения подповерхностного слоя в гомогенных энергетических материалах // Горение и взрыв, 2015. Т. 8. № 2. С. 138–146.
10. *Касимов А. Р., Фария Л. М., Розалес Р. Р.* К теоретическому предсказанию динамики пульсирующей и ячеистой детонации в газах // Горение и взрыв, 2016. Т. 9. № 2. С. 42–50.
11. *Крупкин В. Г., Мохин Г. Н.* Неустойчивость волн горения пороха с подповерхностным максимумом температуры // Хим. физика, 2019. Т. 38. № 1. С. 62–66.
12. *Шкадинский К. Г., Хайкин Б. И., Мержанов А. Г.* Распространение пульсирующего фронта экзотермической реакции в конденсированной фазе // Физика горения и взрыва, 1971. Т. 7. № 1. С. 19–28.

Поступила в редакцию 23.03.2023

\* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований РФ «Процессы горения и взрыва», регистрационный № 122040500073-4, и имела бюджетное финансирование.

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, [krupkin49@mail.ru](mailto:krupkin49@mail.ru)

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, [mokhin@gmail.com](mailto:mokhin@gmail.com)