

РАСЧЕТ ИНИЦИИРОВАНИЯ ДЕТОНАЦИИ В ВОДОРОДО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ СФЕРИЧЕСКИМ СНАРЯДОМ МАЛОГО ДИАМЕТРА

И.А. Бедарев¹, В.М. Темербеков^{1,2}, А.В. Федоров^{1,2,3}

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

² *Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20*

³ *Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, Новосибирск, ул. Пирогова, 2*

Изучение инициирования и стабилизации детонации снарядом, метаемым со сверхзвуковой скоростью, важно как с научной, так и с технологической точек зрения. Для численных исследований подобных задач необходимо обеспечить адекватность выбранной математической модели и в частности кинетической схемы химических реакций. Значение констант кинетической схемы могут тем или иным образом влиять на точность полученных результатов. Задачей настоящей работы является верификация математической модели по экспериментальным данным с целью выбора констант кинетической схемы, для дальнейшего исследования проблем детонации численными методами.

Математическая модель включает в себя осреднённые по Фавру уравнения Навье-Стокса для многокомпонентной газовой смеси с учетом химических реакций. При моделировании течений с детонационными волнами, как и в любой задаче с химическими реакциями, возникает задача выбора кинетической схемы для адекватного описания процесса горения. Различают приведенную и детальную кинетику горения. Детальная кинетика позволяет более точно воспроизвести такие параметры, как время задержки воспламенения и горения смеси, особенно на предельных режимах, но требует больших затрат машинного времени. Для моделирования химической кинетики в работе была использована приведенная кинетическая схема, включающая одну брутто-реакцию горения водорода в воздухе. В работе [1] данная кинетическая схема была верифицирована по экспериментальным данным о временах задержки воспламенения и скорости распространения детонационной волны при различных условиях.

В качестве решателя использован программный комплекс ANSYS Fluent. Для аппроксимации по времени используется неявная схема второго порядка, а для аппроксимации по пространству – схема расщепления вектора потоков AUSM с противопотоковой аппроксимацией второго порядка точности.

Проведен расчёт инициирования детонации с помощью шарика, метаемого в водородо-воздушную смесь со скоростью $V_p = 1.2 \div 1.5 M_{СД}$, и выполнено сравнение с экспериментальными данными [2]. Для приведенной кинетики в стехиометрической водородо-воздушной смеси число Маха Чепмена-Жуге составляет $M_{СД} = 5$. Расчёты проводились для различных значений статического давления набегающего потока. При моделировании определялись константы модели (предэкспоненциальный множитель и энергия активации) при которых при которых результаты расчёта наилучшим образом согласуются с экспериментальными данными. На рис. 1 приведено сравнение результатов моделирования с результатами эксперимента. Режим детонационного горения с наклонной детонационной волной, инициируемой ударной волной перед шаром, при $P=141$ кПа показан на рис. 1а, 1б. Режим горения именуемый в работе [2] «Straw Hat» при $P=136$ кПа изображен

на рис. 1с, 1d. Режим с горением смеси в следе за шаром при P=121 кПа представлен на рис. 1е, 1f.

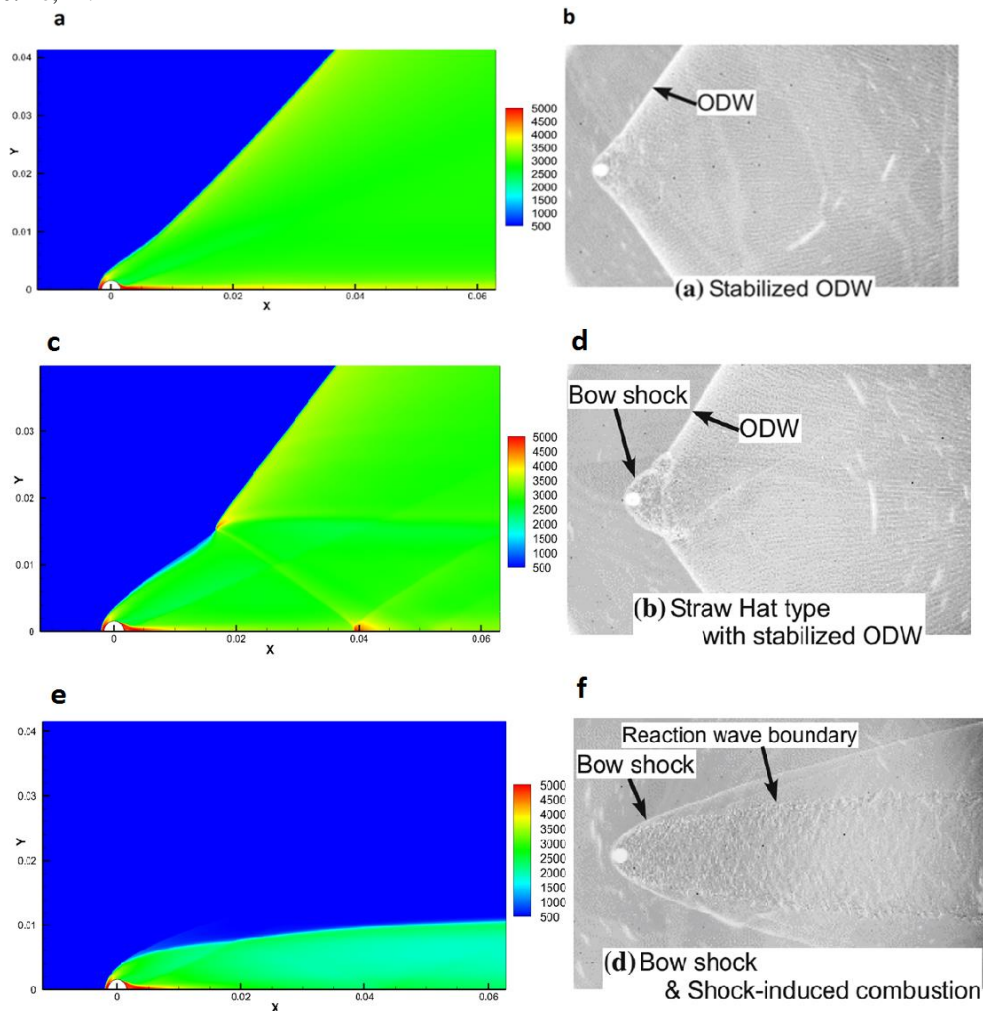


Рис. 1 Расчетное поле температуры: а) P=141 кПа, с) P=136 кПа, е) P=121 кПа.
Экспериментальные теневые фотографии: б) P=141 кПа, д) P=136 кПа, ф) P=121 кПа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-41-540918).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедарев И.А., Федоров А.В., Рылова К.В. Применение детальных и приведенных кинетических схем для описания детонации водородо-воздушных смесей с разбавителем // Физика горения и взрыва. 2015. Т. 51, № 5. С. 22-33
2. Maeda S., Sumiya S., Kasahara J., Matsuo A. Scale effect of spherical projectiles for stabilization of oblique detonation waves // Shock Waves. 2015. Vol. 25. P. 141–150