

ИНИЦИИРОВАНИЕ БИФУРКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.А. Васильев, В.А. Васильев, А.В. Троцюк

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН
630090, Новосибирск, Россия*

Введение и основные задачи

До недавнего времени считалось, что в горючих смесях вырабатывается некоторый однозначный режим распространения, за который ответственны усредненные параметры системы (даже если система многопараметрична) – Рис.1а. Около 15 лет назад были обнаружены режимы детонации, структуры и характеристики которых обладали неожиданным свойством - соответствовали одновременно двум различным режимам (бифуркационные структуры) [1] – Рис.1б. Интересные задачи как для экспериментаторов, так и для теоретиков представляют природа таких режимов, область существования, структура и т.д. На сегодняшний день имеются лишь единичные публикации по данной проблеме.

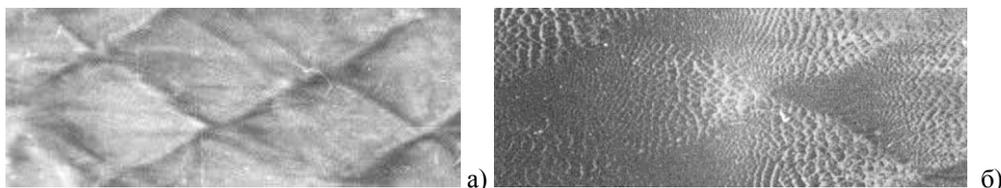


Рис.1. Следовые отпечатки многофронтной ДВ: а) классическая одномерная ячеистая структура; б) «бифуркационная» многомерная структура (распространение ДВ слева – направо).

С выявлением бифуркационных структур возникает необходимость проверки различных критериев, установленных для классической одномерной структуры детонации, и необходимость внесения корректив во все установленные закономерности, характерные для одномасштабных структур. Прежде всего, это касается критических условий инициирования детонации в смесях с бифуркационными свойствами и диаметра дифракционного реинициирования: какая ячейка – крупная или мелкая – ответственна за критерий реинициирования в смесях с двухячейистой структурой? Принципиально важными являются вопросы о концентрационных пределах бифуркационных структур, о механизме трансформации бифуркационной структуры в классическую одномерную структуру ДВ (особенно вблизи пределов), о природе и локализации разномасштабной неустойчивости на элементах детонационного фронта, и т.д.

В докладе представлены основные результаты последних исследований неклассических структур многофронтной газовой детонации.

Какие смеси обладают бифуркационными свойствами?

В [3-4] была сформулирована концепция о том, в каких смесях из нескольких топливных компонент следует ожидать проявления бифуркационных свойств. Подобные двухразмерные ячеистые структуры могут наблюдаться во многих системах (при определенных условиях), где одна из присутствующих топливных компонент разлагается с экзотермическим эффектом. Такие вещества обеспечивают начальную стадию выделения энергии и развитие неустойчивости непосредственно на головном фронте ДВ, перед стадией основного энерговыделения смеси. Идеализированная схема бифуркационных возмущений на различных участках фронта ДВ представлена на рис.2, а усредненный двухстадийный профиль энерговыделения – на рис.3.

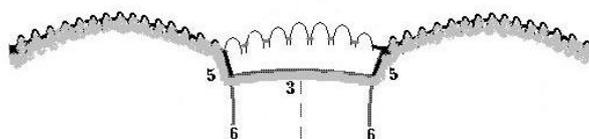


Рис.2. Мелкомасштабные возмущения на переднем фронте ДВ и основные поперечные волны 5, формирующие крупномасштабные ячейки бифуркационной структуры ДВ.

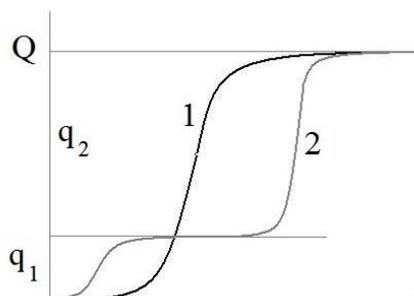


Рис.3. Идеализированные профили энерговыведения в монотопливной системе (линия 1) и двухстадийного энерговыведения в многотопливной смеси (линия 2).

В последние годы пристальный интерес к научным основам проблемы оптимизации режимов горения и детонации вызван работами, ведущимися во многих развитых странах, по выяснению принципиальной возможности новых принципов и технологий сжигания топлив в сверхзвуковых потоках смеси. Прикладным аспектом этой проблемы является создание нового поколения перспективных двигателей для авиационной и ракетно-космической техники, использующих режим наиболее быстрого детонационного сжигания смеси. Прогресс в данном вопросе сдерживается его недостаточной научной проработкой и отсутствием комплексных экспериментальных исследований и достоверных данных по условиям инициирования и сжигания смеси, особенно в наиболее трудно возбуждаемых топливно-воздушных смесях.

Иницирование ДВ в смеси с бифуркационными свойствами и ее дифракция

В результате экспериментальных исследований инициирования ДВ в смеси с бифуркационными свойствами установлено, что такая характеристика как критическая энергия инициирования определяется только большим масштабом (во всяком случае – в исследованном диапазоне концентраций и давлений). Это несколько неожиданный результат, не согласующийся с современным представлением, согласно которому условия инициирования улучшаются при наличии дополнительных "горячих точек". В системах с бифуркационными свойствами таких "горячих точек" больше за счет большего количества поперечных волн в бифуркационных структурах ДВ. Отсутствие заметного влияния может быть объяснено относительно небольшим размером отдельной "горячей точки" в мелкомасштабной структуре. Другими словами, играет роль не только количество "горячих точек", но и их относительный размер.

В результате экспериментальных исследований дифракции ДВ с бифуркационными свойствами установлено, что такая характеристика как дифракционный диаметр для около-стехиометрических смесей определяются также только большим масштабом (критическое отношение диаметра трубы и размера большей ячейки близко к аналогичной величине для одноразмерных структур).

При удалении от стехиометрии начинает проявляться воздействие на дифракцию ДВ и мелкомасштабной структуры: при удалении от стехиометрии, как правило, наблюдается укрупнение всех ячеистых структур, в том числе – размеров «горячих точек». При уходе от стехиометрии к пределам относительная роль «горячих точек» возрастает, а роль крупномасштабной структуры несколько уменьшается. Критическое соотношение диаметра трубы и размера большей ячейки становится меньше по сравнению с аналогичной величиной для одноразмерных структур, возникает второй безразмерный параметр – отношение диаметра трубы к меньшему размеру ячейки.

Основные результаты

В результате выполнения экспериментальных и численных исследований получила подтверждение гипотеза о природе бифуркационных структур газовой детонации, основанная на присутствии в многотопливной системе веществ с положительным энерговыделением при своем разложении. Это позволяет вести целенаправленные исследования данных структур, заранее прогнозируя вероятность их появления в рассматриваемой многотопливной системе. Исследования позволили обнаружить двухразмерные ячеистые структуры ДВ в новых смесях.

При экспериментальных исследованиях инициирования и дифракции ДВ в смесях с бифуркационными свойствами установлено, что такая характеристика как критическая энергия инициирования и дифракционный диаметр для около-стехиометрических смесей определяются только большим масштабом (критическое отношение диаметра трубы к размеру большей ячейки близко к аналогичной величине для одноразмерных структур). При удалении от стехиометрии критическое отношение диаметра трубы и размера большей ячейки становится меньше по сравнению с аналогичной величиной для одноразмерных структур, возникает второй безразмерный параметр – отношение диаметра трубы к меньшему размеру ячейки.

Выполненные на сегодняшний день исследования, проясняя многое, ставят новые вопросы о природе и характеристиках бифуркационных структур. Часть результатов выходит за рамки классических представлений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ грант 14-01-00436а), ведущей научной школой РФ «Механика ударных и детонационных процессов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Desbordes D., Presles H.-N.** Multi-scaled cellular detonation//in “Shock Wave Science and Technology Reference Library. Volume 6: Detonation Dynamics”/F.Zhang (Editor). Springer, 2012, 281-338 (ISBN 978-3-642-22966-4).
2. **Vasil'ev A.A.** Dynamic Parameters of Detonation//in “Shock Wave Science and Technology Reference Library. Volume 6: Detonation Dynamics”/F.Zhang (Editor). Springer, 2012, 213-279 (ISBN 978-3-642-22966-4)
3. **Vasil'ev A.A., Trotsyuk A.V.** Multi-scaled cellular structure of gaseous detonation//CD ISBN 5-98901-004-4 “5 ISFS Proceedings of the 5th International Seminar on Flame Structure. Novosibirsk, Russia. July 11-14, 2005”, eds. by Korobeinichev O. Parallel Ltd., Novosibirsk-2005, OPr-08 (7 стр)
4. **Васильев А.А., Васильев В.А., Троцюк А.В.** Бифуркационные структуры газовой детонации// Физика горения и взрыва, 2010, **46**, 2, с.88-100.
5. **Guilly V., Khasainov B., Presles H.-N., Desbordes D., Vidal P.** Numerical Study of Detonation Cells under Non-Monotonous Heat Release//CD: Proceeding of the 20-th ICDERS, Monreal, Canada, 2005