

Отзыв научного руководителя
доктора физико-математических наук, профессора Смирнова Николая
Николаевича
на диссертационную работу Михальченко Елены Викторовны по теме
«Управление процессами детонации: ингибирование и инициирование в
каналах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и
плазмы

Диссертационная работа выполнена Михальченко Еленой Викторовной во время её работы в НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ. За время работы Михальченко Е.В. проявила широкий научный кругозор, занималась различными задачами, связанными с математическим моделированием задач динамики горения и детонации газовых смесей.

В представленной работе исследуется актуальная задача газовой динамики и физики горения — численное моделирование детонационных процессов в горючих газовых смесях на основе водорода и углеводородов. Данная тема охватывает как фундаментальные аспекты (ячеистая структура детонационных волн, кинетические механизмы горения, методы химического ингибирования), так и прикладные задачи создания перспективных двигателей с вращающейся детонационной волной. Проблемы управления детонацией и повышения взрывобезопасности водородной инфраструктуры относятся к числу приоритетных направлений современной энергетики и аэрокосмической техники. Вместе с тем задачи численного воспроизведения ячеистой структуры детонации, исследования эффективности химических ингибиторов и трёхмерного моделирования вращающейся детонации в каналах остаются сложными и недостаточно изученными ввиду нестационарного, многомасштабного и нелинейного характера рассматриваемых явлений.

В первой главе диссертации представлена оригинальная расчётная программа для численного исследования ячеистой структуры детонационных волн в водородно-воздушных смесях. Реализована двумерная и трёхмерная нестационарная математическая модель на основе уравнений сохранения массы, импульса и энергии, дополненная детализированными кинетическими механизмами горения. Для обеспечения высокого разрешения ударно-волновых структур применена явная схема второго порядка точности с MUSCL-интерполяцией и методом AUSM+. Проведена верификация шести кинетических механизмов горения водорода с экспериментальными данными по размеру детонационной ячейки; установлено, что наилучшее согласие с

экспериментом обеспечивает механизм разрабатываемый А.М. Терезой и соавторами в ИХФ РАН им. Н.Н. Семенова (Россия), тогда как механизм З. Хонга и соавторов из Стэнфордского университета (США) даёт несколько меньший размер ячейки, а остальные механизмы существенно занижают её. Исследовано влияние начальной температуры смеси, неоднородностей зажигания и геометрии канала на формирование и стабилизацию ячеистого фронта.

Во второй главе с использованием разработанного программного кода исследовано химическое ингибирование развитой детонационной волны в водородно-воздушных смесях путём добавления пропилена C_3H_6 . Впервые численно показано, что малая добавка пропилена (3–4 об.%) надёжно подавляет детонацию за счёт разрушения ячеистой структуры и укрупнения детонационных ячеек, что согласуется с экспериментальными выводами. Построена обобщающая диаграмма («полуостров детонации»), определяющая критическое содержание ингибитора в зависимости от концентрации водорода в смеси; проведено сравнение применимости расширенного и сокращённого кинетических механизмов, установлены границы их достоверности.

В третьей главе представлены результаты трёхмерного численного моделирования вращающейся детонационной волны в канале на водородно-кислородных, водородно-воздушных и ацетилен-кислородных смесях. Предложен метод численного моделирования управляемого запуска детонационной волны с заданным направлением вращения; разработан авторский сокращённый кинетический механизм горения ацетилена, адекватность которого подтверждена сравнением с экспериментальными данными. Предложен новый способ стабилизации вращающейся детонации за счёт дополнительной инъекции окислителя через форсунки на боковых стенках щелевого зазора; показано, что для бедной смеси максимальный удельный импульс достигается при дополнительной подаче воздуха, а для богатой — при дополнительной подаче кислорода.

Результаты диссертации опубликованы в 8 научных статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, и входящих в перечень ВАК. Также по материалам диссертации получен патент и свидетельство о регистрации прав на программное обеспечение.

По результатам диссертации было сделано более 40 докладов на российских и международных научных конференциях. Также результаты работы были представлены на научных семинарах МГУ им. М.В. Ломоносова.

Диссертационная работа Михальченко Елены Викторовны «Управление процессами детонации: ингибирование и инициирование в каналах»

выполнена на высоком научном уровне и имеет характер законченного научного исследования. Она соответствует специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Рекомендую диссертацию «Управление процессами детонации: ингибирование и инициирование в каналах» Михальченко Елены Викторовны к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Смирнов Николай Николаевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного Совета и их дальнейшую обработку.

Научный руководитель:

Доктор физико-математических наук (по специальности 01.02.05)

Заместитель заведующего отделением фундаментальных и прикладных исследований НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ, профессор механико-математического ф-та МГУ имени М.В.Ломоносова

(117218, Москва, Нахимовский просп., 36, к.1., телефон +7 495 718 21 10)

e-mail: n.n.smirnov@niisi.ru

Смирнов Н.Н.

28 мая 2026

Подпись руки Н.Н. Смирнов заверяю
Начальник отдела кадров Алексей

