

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОММИСИИ

диссертационного совета Д 003.035.03 при ИТПМ СО РАН

о диссертационной работе Ваньковой Ольги Сергеевны

«Математическое моделирование воспламенения и стабилизации горения в предварительно не перемешанных водородно-воздушных потоках при сверхзвуковых скоростях», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация Ваньковой Ольги Сергеевны «Математическое моделирование воспламенения и стабилизации горения в предварительно не перемешанных водородно-воздушных потоках при сверхзвуковых скоростях», представляемая на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, посвящена численному исследованию процессов смешения, воспламенения и горения водородно-воздушных топлив в высокоскоростных течениях. Целью работы является разработка фундаментальных основ численного моделирования сверхзвуковых внутренних турбулентных реагирующих течений с учетом смешения и горения водородного топлива и исследование с помощью математического моделирования высокоскоростных реагирующих течений.

В диссертационной работе были поставлены и решены следующие задачи:

1. Проведено тестирование численных моделей нестационарных сверхзвуковых турбулентных течений с учетом массообмена и химических реакций;
2. Проведена верификация кинетических механизмов горения водорода в воздухе и тестирование различных подходов моделирования взаимодействия турбулентности и химии;

3. Исследовано влияние параметров внешней среды и состава струи окислителя на воспламенение и стабилизацию горения водородных струй, истекающих в затопленное пространство;
4. Исследовано энергетическое воздействие на процессы воспламенения стехиометрических водородно-воздушных смесей в канале при высоких числах Маха;
5. Проведено численное исследование процессов воспламенения неподготовленной водородно-воздушной смеси и стабилизации пламени в каналах переменного сечения для условий экспериментов, проведенных в импульсной установке ИТ-302М ИТПМ СО РАН.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. На основе сравнения результатов тестовых расчетов с использованием различных кинетических схем и подходов к моделированию взаимодействия турбулентности и горения выбрана кинетическая схема, показавшая лучшие результаты при решении различных задач.
2. Показано, что на процесс воспламенения и интенсификации горения существенно влияет волновая структура течения в канале. Использование нестационарного подхода позволяет воспроизвести в расчете вихревые структуры, развивающиеся на границе слоя горения, которые вносят существенный вклад в смешение водородной и воздушной струй, и таким образом ускоряют химические реакции.
3. Параметры внешней среды и состав струи окислителя существенно влияют на процессы смешения, самовоспламенение и стабилизацию горения водородных струй, истекающих в затопленное пространство.
4. Энергетическое воздействия на высокоскоростное течение водородно-воздушной смеси в канале способствует воспламенению смеси при статической температуре, не превосходящей 800 К. Выбор оптимальной геометрии стабилизатора позволяет обеспечить распространение пламени по всему каналу и стабилизацию горения в областях с низкими скоростями даже при высоких числах Маха.

5. Расчеты с использованием нестационарных условий на входе в канал, соответствующих условиям эксперимента в импульсной аэродинамической установке, воспроизводят структуру «холодного» течения, параметры которых хорошо согласуются с экспериментом. Показано, что структура и безразмерные параметры не изменяются со временем.
6. Численно изучены этапы нестационарного процесса горения в канале, установлено их качественное соответствие с экспериментальными картинками. Получены количественные данные о давлении, температуре, концентрациях химических компонентов, выполнена оценка полноты сгорания водорода на различных этапах. Показано, что в зависимости от входных условий наблюдается стабилизация горения в секции постоянного сечения или развивается режим теплового запираания канала с выходом волны горения и предшествующей ей ударной волны в секцию инъекции.

Рассмотрев содержание диссертационной работы и автореферата, комиссия пришла к выводу, что тема диссертационной работы, а также ее содержание, соответствуют научной специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, из которых 5 статей - в изданиях, рекомендованных ВАК, и 9 статей - в международных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science. Основные результаты представлены на 7 российских и 3 международных конференциях. Таким образом, полученные соискателем ученой степени результаты в полной мере представлены в отечественных и зарубежных изданиях, Требования к публикациям, предусмотренные пунктами 11, 13 «Положения о присуждении ученых степеней», соблюдены.

Все результаты, представленные в работе, получены автором или при его непосредственном участии. Ванькова О.С. провела тестирование кинетических механизмов и подходов к моделированию взаимодействия турбулентности и горения. При ее участии разработана методика численного

моделирования сверхзвуковых внутренних турбулентных реагирующих течений с учетом смешения и горения водородного топлива. Она участвовала в проведении всех описанных в работе вычислительных экспериментов, анализе и обработке результатов расчетов, а также подготовке статей по результатам исследования. Материалы других авторов, использованные в диссертационной работе Ваньковой О.С., во всех случаях содержат ссылку на источник и удовлетворяют требованиям пункта 14 «Положения о присуждении ученых степеней».

Экспертная комиссия рекомендует принять к защите диссертационную работу Ваньковой Ольги Сергеевны «Математическое моделирование воспламенения и стабилизации горения в предварительно не перемешанных водородно-воздушных потоках при сверхзвуковых скоростях» по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

Председатель комиссии:

Профессор, д.ф.-м.н.

Созлов В.В.

Члены комиссии:

Профессор, д.ф.-м.н.

Черных Г.Г.

Д.ф.-м.н.

Медведев А.Е.

30.09.2022