

ОТЗЫВ

научного руководителя ведущего научного сотрудника д.ф.-м.н. Федоровой Натальи Николаевны на диссертацию 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

Исследование процессов горения газовых смесей является фундаментальной научной задачей, имеющей важное прикладное значение с точки зрения повышения эффективности работы технических устройств и снижения вредных выбросов. Водород является одним из наиболее перспективных видов топлив как в двигательных, так и энергетических установках. Процесс воспламенения водорода происходит с участием большого числа молекул, радикалов и атомов, и может быть описан на основе детальных кинетических механизмов. Если топливо и окислитель предварительно не смешаны и поток имеет высокие скорости, возникает проблема обеспечения уровня смешения, достаточного для воспламенения и стабилизации пламени. Сверхзвуковые внутренние течения имеют сложную пространственную структуру, которая взаимосвязана с процессом горения. Горение является нестационарным процессом, который в значительной степени зависит от предыстории. При турбулентном горении очень велико взаимное влияние турбулентности и химических реакций, поскольку турбулентность может усилить пульсации в потоке или, наоборот, ослабить их. Одним из инструментов исследования сложных физических процессов является математическое моделирование.

В работе Ваньковой О.С. в той или иной степени учтены все перечисленные выше аспекты задачи, каждый из которых может составить предмет отдельного диссертационного исследования. Следует отметить, что до сих пор нет устоявшихся рекомендаций по поводу использования моделей турбулентности, кинетических схем, а также подходов для описания турбулентности и химии, которые хорошо работают в достаточно широком диапазоне физических условий и концентраций компонентов. В связи с этим особую актуальность имеет выбор математических моделей и расчетных методик, проверенных на надежных экспериментальных данных.

В диссертации решены следующие задачи:

- Выполнено тестирование численных моделей нестационарных сверхзвуковых турбулентных течений с учетом массообмена и химических реакций;
- Проведена верификация кинетических механизмов горения водорода в воздухе и различных подходов моделирования взаимодействия турбулентности и химии;
- Исследовано влияние параметров внешней среды и состава воздушной струи на воспламенение и стабилизацию горения водородных струй, истекающих в затопленное пространство;
- Исследовано энергетическое воздействие на процессы воспламенения стехиометрических водородно-воздушных смесей в каналах при высоких числах Маха;
- Численно исследованы процессы воспламенения неподготовленной водородно-воздушной смеси и стабилизации пламени для условий многоструйной инжекции водорода в канал переменного сечения.

Наиболее существенные результаты диссертации состоят в следующем:

- На наборе одно-, двух- и трехмерных тестовых конфигураций, включающих воспламенение за ударной волной, «классические» двумерные струйные течения, а также трехмерные течения в каналах переменного течения с инжекцией водорода в поперечный сверхзвуковой воздушный поток выполнен подробный анализ нескольких кинетических механизмов воспламенения водородно-воздушной смеси и стабилизации пламени.
- Результаты, полученные для двумерных конфигураций, позволили сделать заключение о применимости различных кинетических схем с конечными скоростями химических реакций, а также модели диссипации вихря для моделирования течений с горением водорода в сверхзвуковых потоках. Выбрана детальная кинетика, позволившая получить лучшие результаты для нескольких тестовых конфигураций.
- Показано, что использование этой кинетики в сочетании с нестационарным подходом и основанного на давлении решателя системы уравнений Навье-Стокса позволяют получить нестационарные вихревые структуры на границе слоя горения, которые улучшают смешение холодных струй водорода и сверхзвукового воздушного потока и интенсифицируют процесс горения.
- Расчетные исследования искусственного «поджига» подготовленной стехиометрической водородно-воздушной смеси подтвердили экспериментальные данные о неэффективности этого способа при высоких

скоростях потока и позволили сопоставить результаты для каналов различной конфигурации.

- При исследовании трехмерных течений в расчете впервые воспроизведены наблюдаемые в эксперименте этапы развития процесса горения при числе Маха $M=4$ на входе в канал, в том числе получены режим со стабилизацией пламени на уступе и режим с «тепловым запиранием» канала.

Диссертантка в течение восьми лет является членом научного коллектива лаборатории волновых процессов в ультрадисперсных средах. За эти годы она защитила дипломную работу бакалавра, успешно закончила магистратуру НГТУ и аспирантуру ИТПМ СО РАН. В настоящее время является младшим научным сотрудником лаборатории термогазодинамических технологий. Во время обучения Ванькова О.С. познакомилась с методами решения задач аэрофизики и газовой динамики, численными методами динамики жидкостей, современными моделями турбулентности и методами расчета реагирующих течений. Она владеет методикой расчета в программном комплексе ANSYS Fluent, может самостоятельно создавать сложные расчетные модели, проводить нестационарные трехмерные расчеты и анализировать их результаты. Она также имеет педагогический опыт проведения практических занятий по использованию ANSYS для расчета реагирующих течений вязкого газа.

Ванькова О.С. принимала непосредственное участие в подготовке и проведении численных экспериментов, проводила расчеты и обрабатывала их результаты. Результаты исследований были доложены на научных семинарах и конференциях различного уровня. По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК и 9 статей в международных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus и Web of Science.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями Высшей Аттестационной Комиссии. Автореферат отражает наиболее существенные положения и выводы диссертационной работы. Считаю, что автор диссертации Ванькова Ольга Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы

Научный руководитель
д.ф.-м.н., профессор



Федорова Н.Н.

31.08.2022