

ПРОЦЕСС ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГОРЕНИЯ ОБЕДНЕННОЙ ВОЗДУШНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ В КАНАЛЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СТРУИ ВОЗДУХА

В.П. Замураев^{1,2}, А.П. Калинина^{1,2}

¹*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск, 630090, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090, Россия*

Эффективность подвода теплоты в камере сгорания определяется полнотой сгорания горючего и потерями полного давления. Качество смешения горючего с воздухом определяет полноту сгорания. Применение прямоточных схем в двигателях летательных аппаратов для полетов с гиперзвуковой скоростью ограничено из-за больших потерь полного давления. Для решения этой задачи применяются газодинамические и кинетические способы [1-5]. В [1] предложен новый способ запуска двигателя без значительных потерь полного давления, обеспечивающий переход к сверхзвуковому течению в камере сгорания, с помощью струи при распределенной подаче топлива по длине камеры. Применяется предварительное торможение потока до околосвуковых скоростей. Объяснен физический механизм данного управления, приводятся подтверждающие экспериментальные данные. В [6] численно рассмотрена возможность создания подобласти околосвуковых скоростей с помощью струи и приповерхностного подвода энергии для плоского канала, в [7] – для осесимметричного канала. Принципиальным в данной схеме создания околосвуковой области является наличие пристеночных источников энергии, а также струи сжатого воздуха, создающей эффект дросселя. Пристеночные источники энергии могут создаваться либо импульсно периодическим подводом тепловой энергии, либо пристеночным горением любого вида топлива. Топливо может иметь любой фазовый состав: испаряющееся жидкое топливо, содержать твердые частицы, но принципиальным является взаимодействие выделяющегося тепла с газодинамической структурой исходного потока. В работе представлены результаты численного моделирования процесса формирования околосвуковой области в осесимметричном канале с помощью горения гетерогенной водородно-воздушной смеси в рамках упрощенной химической кинетики для плоского канала. Полученный режим интересен тем, что реализуется необходимое околосвуковое распределение чисел Маха, качественно подобное случаю импульсно-периодических источников.

Для изучения возможности создания пристеночных источников энергии с помощью горения водорода, подаваемого из инжекторов, проведены CFD расчеты для плоского случая, целью которых было качественное определение локализации областей горения. Задача решалась с применением уравнений Навье – Стокса, замыкаемых SST $k-\omega$ моделью турбулентности. Химическая кинетика моделировалась одной реакцией окисления водорода. Поперечный размер секции постоянного равен 30 мм, давление в форкамере составляло 7 атм. Две водородные струи втекают выше по потоку от струи сжатого воздуха.

Схема подачи струй водорода и воздуха, распределение числа Маха и температуры в канале в некоторый момент времени показаны на рис. 1а и 1б соответственно.

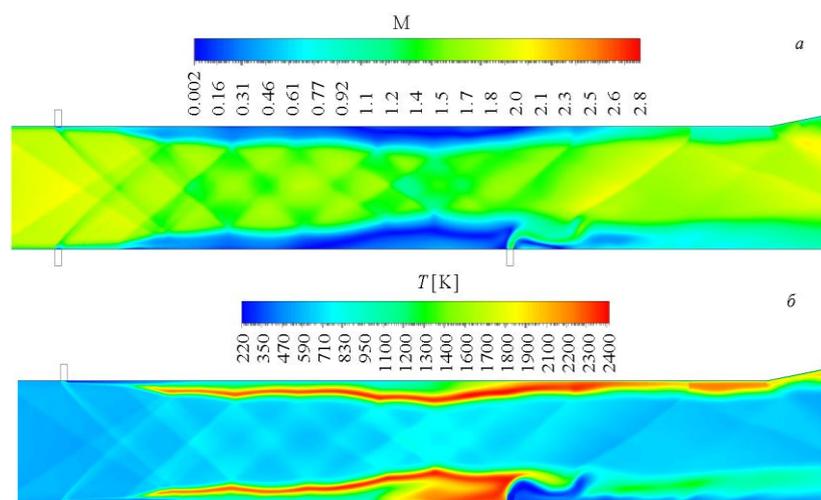


Рис. 1. Распределение числа Маха (а) и температуры (б).

Из распределения числа Маха и температуры видно, что определяющую роль в воспламенении водорода играет ударная волна, вызванная струей сжатого воздуха и отрывные зоны при втекании струй. Следует отметить, что задача с учетом вязкости не является масштабируемой, поэтому для прогноза горения в реальной установке необходим полный учет всех размеров устройств. В данном случае влияние горения на ударно-волновую структуру достаточно велико благодаря тому, что поперечный размер канала не очень велик по сравнению с размером отрывной зоны. Поперечная протяженность зоны горения сравнима с глубиной проникновения струи в область потока.

Таким образом, для каналов сечением около 30 мм численно показана возможность торможения потока в канале с числом Маха $M = 2$ до околосвуковых скоростей, что является благоприятной предпосылкой для реализации горения в расширяющейся части канала.

Работа выполнена в рамках проекта СО РАН III.22.6.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьяков П.К., Забайкин В.А., Прохоров А.Н. Высокоскоростной ПВРД с пульсирующим режимом запуска // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник докладов. Казань: Изд.-во Казанского университета. 2015. С. 3778-3780.
2. Гурылева Н.В., Иванькин М.А., Лапинский Д.А., Тимошенко В.И. Исследование особенностей течений в каналах при взаимодействии возмущений с псевдоскачком // Уч. записки ЦАГИ. 2012. Т. XLIII, №6 С. 40-54.
3. Фролов С.М., Дубровский А.В., Иванов В.С. Трехмерное численное моделирование рабочего процесса в камере сгорания с непрерывной детонацией // Хим. физика. 2012. Т. 31, № 3. С. 32-45.
4. Z. Zhao, J.-M. Li, J. Zheng, Y.D. Cui, B.C. Khoo Study of shock and induced flow dynamics by nanosecond dielectric-barrier-discharge plasma actuators // AIAA J. 2015. Т. 53, № 5. С. 1336-1348.
5. Журавская Т.А., Левин В.А. Стабилизация детонационного горения высокоскоростного потока горючей газовой смеси в плоском канале // Изв. РАН. МЖГ. 2015, №2. С. 117-128.
6. Замураев В.П., Калинин А.П. О возможности создания устойчивой околосвуковой области в сверхзвуковом потоке в канале // Тепловые процессы в технике. 2016. Т.8, No.7. С. 292-296.
7. Замураев В.П., Калинин А.П. Формирование устойчивой околосвуковой области в сверхзвуковом потоке в осесимметричном канале при воздействии струи и источников энергии // Вестник НГУ. Сер. Физика. 2016. Т. 11, No. 4. С. 45-51.