

Методика обоснования квазиодномерного подхода к расчёту газодинамики бессоплового энергетического устройства

Научный руководитель – Шилин Павел Дмитриевич

Кыржэу Денис Анатольевич

Студент (специалист)

Тульский государственный университет, Тула, Россия

E-mail: KyrzheuDenis71@yandex.ru

Бессопловые энергетические устройства, в которых рабочее тело генерируется при горении поверхности канала и истекает без формирующего сопла, представляют интерес благодаря простоте конструкции [1]. Критическое сечение формируется непосредственно в канале заряда, а геометрия проточного тракта непрерывно изменяется в процессе работы, создавая сложную нелинейную связь между конструктивными параметрами и выходными характеристиками [2].

Определение газодинамических параметров потока в канале переменного сечения с горящими стенками может выполняться методами вычислительной газодинамики. Такой подход требует построения расчётной области, генерации сетки и применения технологии подвижных сеток из-за изменения геометрии канала, что существенно увеличивает вычислительные затраты. На этапе начального проектирования многократные CFD-расчёты нецелесообразны.

Альтернативой является квазиодномерный подход, основанный на аппарате газодинамических функций приведённой скорости [2]. Течение рассматривается как одномерное, скорость горения описывается степенной зависимостью от давления с учётом эрозийной составляющей. Расчёт ведётся пошагово по времени с обновлением геометрии канала. Вычислительные затраты минимальны, однако допущением является пренебрежение радиальной неравномерностью параметров потока [1].

Для количественной оценки точности модели проведён полный квазиодномерный расчёт цикла работы с определением временных зависимостей давления, тяги и профилей канала. Затем для нескольких фиксированных геометрий, соответствующих различным стадиям выгорания заряда, выполнены стационарные CFD-расчёты с моделированием истечения газовой струи в атмосферу. Горение поверхности реализовано пользовательскими функциями, задающими массовый поток и температуру газа на границе с учётом локального давления и эрозийной составляющей [1, 2].

Сопоставление результатов по распределению давления вдоль оси канала, среднему давлению и интегральному массовому расходу показало расхождения, не превышающие 5–10%. Квазиодномерный подход является достаточно точным инструментом для определения основных газодинамических характеристик бессопловых устройств. Преимущество в скорости вычислений при приемлемой погрешности делает его предпочтительным на начальных стадиях проектирования [1].

Источники и литература

- 1) Воропаева И.Г., Козулин А.А., Миньков Л.Л., Шрагер Э.Р. Нестационарное поведение заряда ТТ бессоплового РДТТ под действием газодинамической нагрузки // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2021. № 72. С. 48–59.

- 2) Özyörük Y., Özer A.C. Application of the Universal Expression for Erosive Burning to Nozzleless Solid Propellant Rocket Motors // 53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Atlanta, GA, July 10–12, 2017. AIAA Paper 2017-5084. DOI: 10.2514/6.2017-5084.