

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В ТРАКТЕ КАНАЛЬНОГО ЗАРЯДА РДТТ

Сабирзянов А.Н., Хаматнурова Ч.Б., Кузьмин В.В.
КНИТУ – КАИ, г. Казань, ANSabirzyanov@kai.ru

Ключевые слова: заряд твёрдого топлива, газодинамические потери, неизэнтропность, вычислительная гидродинамика, моделирование.

Перепад давления по длине заряда ракетного двигателя твёрдого топлива (РДТТ) может достигать до 15% давления в камере сгорания [1], что обусловлено постоянным подводом массы с поверхности заряда. Газодинамические функции [2], определяющие потери по тракту осесимметричного канала для адиабатного неизэнтропного потока с подводом массы, получены в одномерном приближении. В связи с этим, газодинамические функции корректно не определяют потери, связанные с поворотом потока продуктов газификации и их смешением с основным потоком продуктов сгорания. В свою очередь, оценка внутрибаллистических характеристик РДТТ в одномерной постановке остается актуальной [3] и позволяет сэкономить временной ресурс на этапе эскизного проектирования. В этом аспекте целесообразна задача выделения погрешности определения газодинамических потерь по длине заряда по сравнению с одномерным приближением.

Проведён анализ изменения внутри баллистических характеристик по тракту трубчатого заряда в классической и бессопловой схемах РДТТ (рис. 1). Расчетная схема, помимо КС и сопла, включала дополнительный объем для моделирования истечения струи в свободное пространство, что исключало необходимость определения граничных условий на выходе из сопла. Исследования проведены средствами программного продукта ANSYS Fluent в идеальной газовой адиабатной постановке квазистационарного осесимметричного приближения. Использовался подход, основанный на решении осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса, для замыкания которых применялись модели турбулентности SST $k-\omega$ и Transition SST с типовым набором модельных констант.

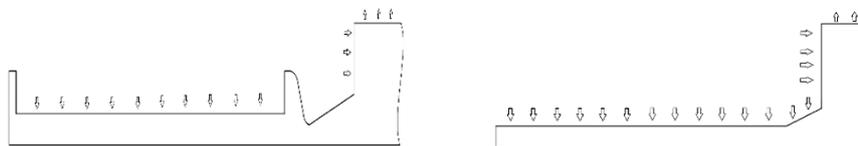


Рис.1 – Расчетные схемы модельных исследований

Используемые допущения: состав и температура продуктов газификации, поступающих с поверхности заряда, соответствовали параметрам основного потока продуктов сгорания; поверхность «горения» заряда предполагалась гладкой и сухой.

Граничные условия моделирования: с поверхности заряда задавался как равномерно распределённый газоприход, так и газоприход, учитывающий изменения давления и скорости потока по длине заряда; для классической схемы РДТТ – стенки днища и сопла гладкие, с условиями прилипания и непротекания рабочего тела (для бессопловой схемы расширяющий участок сопла является поверхностью заряда); на выходе и входе дополнительного объёма задавалось постоянство атмосферного давления.

Изменение массоприхода с поверхности заряда описывалось степенным законом горения выбранного топлива [4] и эрозионной составляющей скорости горения, выраженной обобщенной аппроксимационной зависимостью [5].

Проведен анализ результатов расчета газодинамических потерь параметров потока, характерного изменения профиля скорости потока по длине канала для рассматриваемых схем двигателей в зависимости от исходных данных, сеточных моделей и методов расчета. Следует отметить, что изменения потерь по тракту канала, полученное по газодинамическим функциям [2] и в одномерном приближении полностью соответствуют между собой. В качестве примера

на рис. 2 приведена погрешность газодинамических потерь полного давления ($\Delta p = (p_{0oc} - p_0) / p_0 \cdot 100\%$, где p_{0oc} и p_0 – полное давление, рассчитанное в осесимметричном приближении и по газодинамическим функциям [2], соответственно) в моделируемом тракте заряда с применением модели Transition SST, по сравнению с одномерным приближением. Отчётливо показано влияние эрозионной составляющей скорости горения на выходе канала бессопловой схемы РДТТ, отражающей уменьшение погрешности.

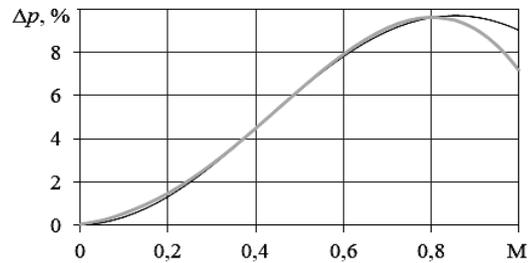


Рис. 2 – Погрешность газодинамических потерь полного давления: — — $u = 0,03 \bar{p}^v$; - - - $u = 0,1 \bar{p}^v$

Список литературы

1. Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива: Учебник для машиностроительных вузов. М.: Машиностроение, 1987. 329 с.
2. Газодинамические функции / Ю.Д. Иров, Э.В. Кейль, Б.Н. Маслов и др. М.: Машиностроение, 1965. 400 с.
3. Милёхин Ю.М., Гусев С.А., Эйхенвальд В.Н., Гордиенко Н.П. Совершенствование метода прогнозирования внутрибаллистических параметров РДТТ // Восьмая всероссийская конференция «Внутрикамерные процессы и горение в установках на твёрдом топливе и ствольных системах (ICOC'2014)». Москва, 24-26 сентября 2014 г. Издательство: Институт механики Уральского отделения РАН (Ижевск), с. 237-239.
4. Соколов Б.И., Черенков А.С., Соломыков А.И. Термодинамические и теплофизические свойства твёрдых ракетных топлив и их продуктов сгорания. Мин-во обороны СССР, 1977. 316 с.
5. Интегральные прямоточные воздушно-реактивные двигатели на твёрдых топливах (Основы теории и расчета) / В.Н. Александров, В.М. Быцкевич, В.К. Верховоломов и др. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 343 с.

Сведения об авторах

Сабирзянов Андрей Наилевич, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: рабочие процессы в тепловых двигателях.

Хаматнурова Чулпан Булатовна, аспирант. Область научных интересов: внутрибаллистические характеристики РДТТ.

Кузьмин Валентин Витальевич, студент. Область научных интересов: рабочие процессы в РДТТ.

GAS-DYNAMIC LOSSES IN THE CHANNEL CHARGE TRACT OF THE SPRE

Sabirzyanov A.N., Khamatnurova Ch.B., Kuzmin V.V.
KNRTU-KAI, Kazan, Russia, ANSabirzyanov@kai.ru

Keywords: solid propellant charge, gas-dynamic losses, non-entropy, computational fluid dynamics, modeling.

The gas-dynamic functions are obtained in a one-dimensional approximation and do not correctly determine losses along the axisymmetric tract for an adiabatic non-entropic flow with a mass supply. The error along the length of the charge is evaluated in comparison with the two-dimensional approximation.