

# Численные исследования динамики совершенного газа в кольцевых соплах с применением высокопроизводительных вычислений

А.Л. Карташев, М.А. Карташева

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южно–Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)

Кольцевое сопло, как и любое другое сопло, представляет собой газодинамическое устройство, предназначенное для создания осевой тяги и управляющих усилий либо для создания на выходе из сопла газового потока с заданными свойствами. Тяговые характеристики сопла при заданных параметрах рабочего тела на входе и параметрах внешней среды полностью определяются его геометрической конфигурацией. Поэтому при заданной геометрической конфигурации кольцевого сопла задача определения тяговых характеристик сводится в основном к определению газодинамических характеристик потока в рассматриваемом сопле, то есть к решению «прямой» задачи теории сопла (расчету поля течения в сопле с последующим определением его тяговых характеристик).

Решение поставленной выше задачи находится с помощью математического моделирования течения газа [1], для проведения которого целесообразно использовать численные методы, не связанные с выделением особенностей в поле течения и обеспечивающие проведение «сквозного» расчета.

Алгоритм расчета смешанных течений идеального газа в кольцевых соплах построен на основе общего подхода к численному решению задач газовой динамики, предложенного в работе С.К. Годунова, А.В. Забродина, М.Я. Иванова, А.Н. Крайко, Г.П. Прокопова «Численное решение многомерных задач газовой динамики» [2], с модификацией В.П. Колгана.

Для расчета параметров сверхзвукового течения в кольцевых соплах в случаях, когда заранее известен характер течения, используется обобщенная разностная схема М.Я. Иванова – А.Н. Крайко – Н.В. Михайлова.

На основе указанных расчетных методов разработаны вычислительные алгоритмы, позволяющие проводить расчеты течений в кольцевых соплах без предварительного выделения особенностей и определить газодинамические параметры потока и тяговые характеристики кольцевого сопла. Основное отличие представляемых вычислительных алгоритмов от применяемых ранее – их модификация в части построения разностной сетки и постановки граничных условий. Такие различия обусловлены особой геометрией расчетной области кольцевого сопла: наличием двух обтекаемых поверхностей и ее сложной искривленной.

В соответствии с целью настоящего исследования проведено математическое моделирование кольцевых сопел внешнего расширения. По результатам численного моделирования определены картины течения в кольцевых соплах различных конфигураций [1]. Полученные результаты математического моделирования могут быть использованы при определении газодинамической структуры потока в кольцевых соплах летательных аппаратов различного назначения и их тяговой эффективности.

Результаты математического моделирования получены с применением высокопроизводительных вычислений на суперкомпьютере «СКИФ-Аврора ЮУрГУ» ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) с производительностью до 117 TFlops.

## Литература

1. Карташев, А.Л. Математическое моделирование течений в кольцевых соплах: монография / А.Л. Карташев, М.А. Карташева. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 158 с.
2. Численное решение многомерных задач газовой динамики / С.К. Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов и др. – М.: Наука, 1976. – 400 с.