

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ ГАЗОВОЗДУШНОГО ТРАКТА ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Осипов С.К.¹, Брызгунов П.А.¹, Теньков А.Н.¹

¹Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, BryzgunovPA@mpei.ru

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, численное моделирование, настройка сетки, сеточная сходимость.

Сокращение сроков и стоимости разработки авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) является одним из направлений повышения их конкурентоспособности на внутреннем и мировом рынке. При проектировании и оптимизации узлов и элементов газозвдушного тракта помимо традиционных аналитических методик газодинамических расчетов широко используется численное моделирование (*CFD*-моделирование) термогазодинамических процессов, к которым относятся как квазиадиабатические течения, так и течения с теплообменом. Учитывая большой объем проводимых расчетов, является актуальным повышение точности *CFD*-моделирования и снижение трудозатрат при его проведении. Решить отмеченную задачу, в частности, возможно за счет разработки рекомендаций к выбору параметров численной модели процесса, при которых достигается необходимая точность при минимальных вычислительных и трудозатратах.

К настоящему времени решены задачи определения рекомендаций по выбору моделей турбулентности для большинства типовых течений, выбору методов численного моделирования термогазодинамических процессов. С позиции рекомендаций по построению расчетной сетки решены задачи по априорному (до моделирования) и апостериорному (после моделирования) определению размеров ячеек в пристеночной области [1], а также разработаны методы апостериорной оценки размера элементов в основной зоне потока, который обеспечивает сеточную сходимость решения. При этом не решены задачи по разработке универсальных методик и расчетных соотношений для априорной оценки размера элемента сетки в основной зоне потока.

Необходимую точность при приемлемых вычислительных затратах обеспечивает размер элемента, обеспечивающий сеточную сходимость (Ge_{cx}), так как после достижения сходимости по сетке ее дальнейшее сгущение не влияет на результат. Для связи между Ge_{cx} и параметрами канала (режимными, геометрическими) был введен критерий Ko [2], равный отношению Ge_{cx} к характерной толщине логарифмического погранслоя. Характерная толщина пограничного слоя определяется исходя соответствующего выбранному типу каналов значения y_+ и коэффициента сопротивления C_f , который может быть рассчитан как по эмпирическим данным, так и посредством анализа сеточно-независимого решения.

При построении критериальных зависимостей в первую очередь проводятся исследования на сеточную сходимость в интересующем диапазоне чисел Рейнольдса и Маха (для течений с учетом сжимаемости), результатом которых является массив Ge_{cx} в зависимости от Re и других параметров. Критерием сходимости является допустимая погрешность в сравнении с эталонным значением, которое берется из литературных данных, а в случае отсутствия таковых за него принимается сеточно-независимое решение.

Далее проводится обезразмеривание величины Ge_{cx} по соотношениям 1-2:

$$Ko = \frac{Ge_{cx}}{h_{п.с}}, \quad (1)$$

где $h_{п.с}$ – толщина пограничного слоя рассматриваемого канала, м (в качестве первого приближения может рассчитываться толщина пограничного слоя эквивалентного прямого канала).

$$h_{п.с} = \frac{(y_+ - k_+)D}{Re' \sqrt{\frac{1}{2} C_f}} \quad (2)$$

где y_+ – характерная безразмерная толщина логарифмического пограничного слоя;
 D – характерный размер, м;
 k_+ – характерная безразмерная шероховатость поверхности;
 Re' – число Рейнольдса в характерном сечении;
 C_f – коэффициент трения.

Примеры разработанных соотношений приведены в табл. 1. В качестве типовых геометрий рассматривались диффузоры и конфузоры, соотношения для которых могут быть использованы в качестве рекомендаций при моделировании течений в частях газоздушного тракта ГТД, имеющих схожую топологию. Для валидации соотношений были проведены исследования на сеточную сходимость проточной части радиального компрессора, имеющего сложную конфузорно-диффузорную форму при различных значениях диаметра крыльчатки (d) и шероховатости поверхности (k) (рис. 1).

Табл. 1. Примеры разработанных соотношений

Геометрия	Соотношение (модель k- ω SST)
Диффузор	$Ko = 10^{-5} \cdot Re'^{0,864}$
Конфузор	$Ko = 2 \cdot 10^{-5} \cdot Re'^{0,7441}$

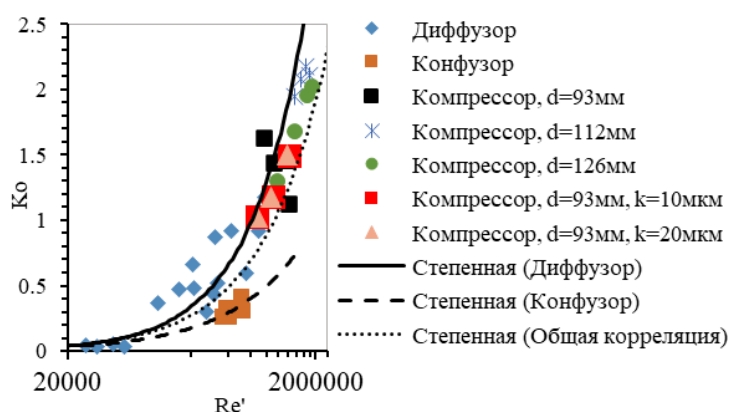


Рис. 1. Результаты валидации разработанных соотношений

По результатам валидации установлено, что предложенные соотношения позволяют с приемлемой для априорных оценок точностью 20-30% рассчитать размер элемента сетки, обеспечивающий сеточную сходимость, при этом за счет учета масштаба длины и шероховатости в критерии Ko , данные факторы практически не влияют на отклонение точек от кривой.

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Минобрнауки России (государственное задание № FSWF-2023-0014, соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.).

Список литературы

- Osipov S., Shcherbatov I., Vegera A., Bryzgunov P., Makhmutov B. Computer Flow Simulation and Verification for Turbine Blade Channel Formed by the C. 90-22. A Profile. Inventions, 2022. No. 7.
- Bryzgunov P., Osipov S., Komarov I., Rogalev A., Rogalev N. Research and Development of Criterial Correlations for the Optimal Grid Element Size Used for RANS Flow Simulation in Single and Compound Channels. Inventions, 2023. No. 8.

Сведения об авторах

Осипов Сергей Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ИТНО НИУ «МЭИ». Область научных интересов – турбомшины и камеры сгорания ГТУ и ГТД.

Брызгунов Павел Александрович, аспирант кафедры ИТНО НИУ «МЭИ». Область научных интересов – численное моделирования процессов гидрогазодинамики.

Теньков Артем Николаевич, аспирант кафедры ИТНО НИУ «МЭИ». Область научных интересов – промышленная теплоэнергетика, высокотемпературные установки.

IMPROVEMENT OF METHODS FOR SIMULATING THERMOGAS-DYNAMIC PROCESSES IN ELEMENTS OF THE GAS-AIR PATH OF JET ENGINES

Osipov S.K.¹, Bryzgunov P.A.¹, Tenkov A.N.¹

¹National Research University “MPEI”, Moscow

The results of the development of an improved method for numerical modeling of thermogasdynamic processes in gas turbine engines with an a priori estimate of the sizes of grid elements are presented. The method is based on decomposition and criterial correlations building and ensures accuracy of grid parameters estimating around 20-30%.