

0.1. Тукмакова Н.А., Тукмаков А.Л., Харьков В.В., Ахунов А.А. Модель формирования защитной плёнки в окрестности щелевого канала при конвективно-плёночном охлаждении пластины

Коэффициент полезного действия газотурбинных двигателей зависит от температуры газа на входе в турбину, и чем выше температура газа, тем выше эффективность работы газотурбинного двигателя. С увеличением температуры газа на входе в турбину повышается необходимость защиты элементов турбины от высокотемпературных потоков. В современных конструкциях турбин высокого давления широко применяется способ плёночного охлаждения рабочих поверхностей, при котором охлаждающий воздух, поступая через отверстия в стенке лопатки на внешнюю поверхность, обтекает её на некотором участке, пока не будет размыт основным потоком газа. При этом вдув охладителя, производимый через отверстия, создаёт теплозащитный слой на внешней поверхности лопатки, который защищает её от перегрева потоком горячего газа.

В работе рассматривается модель конвективно-плёночного охлаждения плоской пластины, моделирующей лопатку турбины. Актуальность работы связана с разработкой расчётных моделей конвективно-плёночного охлаждения поверхности и возможностью сравнения численных и физических экспериментов.

Динамика газа описывалась с помощью осреднённой по Рейнольдсу системы уравнений движения вязкого сжимаемого теплопроводного газа [1]. Система уравнений решалась явным методом Мак-Кормака с расщеплением пространственного оператора по направлениям и со схемой нелинейной коррекции, сглаживающей нефизические высокочастотные осцилляции решения. Модель турбулентности Спаларта — Аллмараса [2] применялась совместно со скоростной пристеночной функцией. Для моделирования теплового пограничного слоя и определения температуры поверхности пластины применялись скоростная и тепловая пристеночные функции [3], [4], позволяющие разместить первый пристеночный узел газодинамической сетки в логарифмической зоне скоростного пограничного слоя при безразмерном параметре $y^+ > 11.7$ (y^+ — расстояние между пристеночным узлом и стенкой). Блочноструктурированная конечно-разностная сетка строилась путём объединения сеточных блоков области течения газа. Внутри каждого блока для построения сетки применялся метод Томпсона. Сетки смежных блоков, в том числе твердотельные, предназначенные для решения задачи теплопроводности, строились конформные, с совпадающими на границах блоков узлами.

Таким образом, была построена модель конвективно-плёночного охлаждения плоской

пластины, позволяющая произвести расчёты тепловых и скоростных полей газа, а также других термо- и газодинамических функций потока при формировании конвективно-плёночной защиты плоской пластины.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 22-19-00207).

Список литературы

- [1] Тукмаков А. Л., Харьков В. В., Ахунов А. А. и др. Модель формирования защитной пленки в окрестности щелевого канала при конвективно-плёночном охлаждении пластины // Математическое моделирование. 2023. Т. 35. № 7. С. 3–18.
- [2] СОЛОМАТИН Р. С., СЕМЕНОВ И. В., МЕНЬШОВ И. С. К расчету турбулентных течений на основе модели Спаларта — Аллмараса с применением LU — SGS — GMRES алгоритма // Препринты ИПМ им.М.В. Келдыша. 2018. № 119. С. 1–30.
- [3] SPALDING D. A single formula for the “Law of the Wall” // J. of Applied Mechanics. 1961. Vol. 28. N. 3. P. 455–458.
- [4] ЕФРЕМОВ В. Р., КУРУЛИН В. В., КОЗЕЛКОВ А. С. и др. Использование пристеночных функций для моделирования турбулентного теплового пограничного слоя // ЖВМ и МФ. 2019. Т. 59. № 6. С. 1037–1046.