МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ОБЛАСТИ ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ ИЗ ПОД СКАЧКА УПЛОТНЕНИЯ НА ПЛОСКОЙ ОСТРОЙ ПЛАСТИНЕ С УСТАНОВЛЕННЫМ НА НЕЙ ВЕРТИКАЛЬНЫМ КЛИНОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСЧЕТНОГО МОДУЛЯ ZFLARE

Д.А. Афанасьев[1,2], **С. Бахнэ[2]**, В.В. Власенко[2]
[1]*МФТИ, Долгопрудный, afanasev.da@phystech.edu*
[2]*ФАУ «ЦАГИ», Жуковский, bakhne@phystech.edu, vlasenko.vv@yandex.ru*

Представлены результаты валидации расчетного модуля zFlare [1] (ЦАГИ) при решении тестовой задачи теплообмена, предоставленной Оргкомитетом Конференции. Геометрия задачи показана на рис. 1-2. Рассмотрено три подхода к описанию течения:

1) моделирование на базе стационарных уравнений Рейнольдса (RANS) с использованием базовой модели SST [2] без учёта эффектов сжимаемости турбулентности;

2) для оценки возможного вклада эффектов сжимаемости турбулентности – стационарный RANS-расчет на базе модели SST с использованием поправки на сжимаемость из книги [3];

3) вихреразрешающий расчет с помощью подхода SST-IDDES [4].

В работе были использованы три структурированные сетки: предложенная авторами тестового случая (размер первой пристенной ячейки $y^+ \sim 1$), более подробная (размер первой пристенной ячейки $y^+ \sim 0.1$) и сетка, отвечающая требованиям вихреразрешающего расчета.

SST-RANS без поправок на сжимаемость считался на первых двух сетках, SST-RANS с поправкой [3] – только на второй сетке ($y^+ \sim 0.1$), SST-IDDES – на третьей.

Использовался метод конечного объёма, обладающий номинально вторым порядком точности по пространству и по времени. Для реконструкции примитивных величин на грань

использовалась схема WENO5 [5] с монотонизацией MP [6], использовалось точное решение задачи Римана. Для аппроксимации диффузионных потоков применялась центрально-разностная схема. Интегрирование по времени осуществлялось с помощью неявного метода Эйлера с пересчетом.

В результате расчетов с использованием модели SST были получены следующие картины течений (см. рис.1,2).

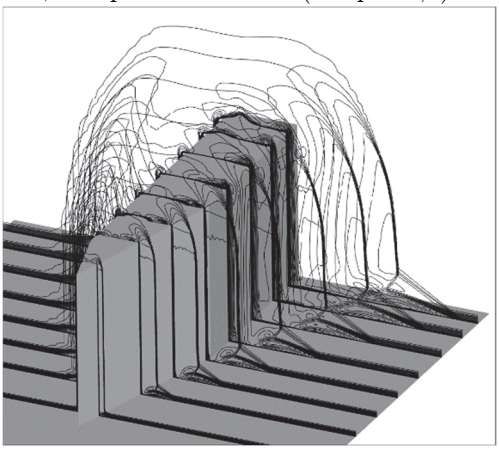

Рис. 1. Структура течения (изолинии числа Маха)

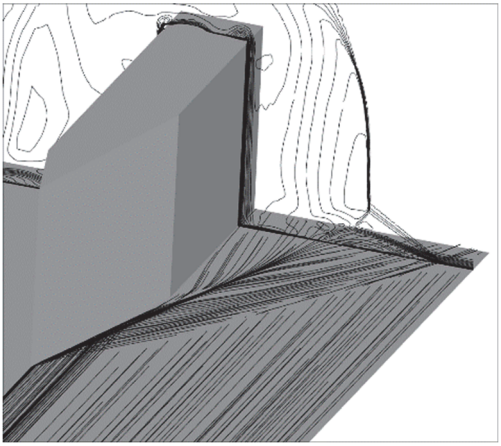

Рис. 2. Структура течения (линии тока)

Сравнение с экспериментом характерных линий, полученных после обработки результатов RANS-расчета по модели SST на первой сетке, приведено в таблице 1.

Таблица 1

	Эксперимент	Расчет SST (исходная сетка)
U – скачок уплотнения	x/L_{ref}=1.414z/L_{ref} +1.35767	x/L_{ref} =1.429z/L_{ref} +1.35346
S1 – линия отрыва	x/L_{ref} =1.556z/L_{ref} +1.402267	x/L_{ref} =1.529z/L_{ref} +1.3716
S2 – линия отрыва	x/L_{ref} =1.9488z/L_{ref} +1.530933	Не определено
R1 – линия присоединения	x/L_{ref} =2.7957z/L_{ref} +1.825533	x/L_{ref} =2.7945z/L_{ref} +1.861333

Также было проведено сравнение полей числа Стантона, полученных в ходе расчета, с экспериментальными данными и произведена оценка точности.

Литература

1. Трошин А.И., Молев С.С., Власенко В.В., Михайлов С.В., Бахнэ С., Матяш С.В. Моделирование турбулентных течений на основе подхода IDDES с помощью программы zFlare, Выч. мех. сплош. сред, т.16(2), 2023, с. 203–218.
2. F. Menter, M. Kuntz, R.B. Langtry. Ten years of industrial experience with the SST turbulence model Heat and Mass Transfer, v.4, 2003, pp.625–632.
3. D.C. Wilcox. Turbulence modeling for CFD. –La Canada, California DCW industries, 2006, pp.239–297.
4. Гарбарук А.В. Современные подходы к моделированию турбулентности, учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016, с. 139–173.

5. R. Zhang, M. Zhang, C. W. Shu. On the order of accuracy and numerical performance of two classes of finite volume WENO schemes. Commun. Comput. Phys., v.9, 2011, pp.807–827.
6. A. Suresh, H. Huynh. Accurate Monotonicity-Preserving Schemes with Runge–Kutta Time Stepping. J. Comput. Phys., v.136,1997, pp.83–99.