

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Институт №8 «Компьютерные науки и прикладная математика»

**Лабораторная работа №2  
по курсу «Математическое моделирование»**

**Трехмерное моделирование сверхзвукового обтекания клина потоком  
совершенного газа**

Выполнил: Э.В. Андриянов  
Группа: М8О-412Б-22  
Преподаватели: Н.А. Харченко

Москва, 2026

**Условие**

### Вариант 6.

**Задание:** требуется смоделировать в Комплексной Платформе В аппаратов (КПВМ «Egorych») трехмерное (3D) обтекание клина потоком высокоскоростного (число Maxa невозмущенного потока  $M>1$ , совершенного газа (изохорная теплоемкость  $c_V=const$  с показателем адиабаты  $\kappa=1.4$ ). Клин представляет собой тело конечной длины с углом  $\beta$ , который отсчитывается от горизонтальной оси  $OX$ , вдоль которой направлен невозмущенный поток.

Вариант	$p_1, \text{ Па}$	$T_1, \text{ K}$	$M_1$	$\beta, {}^\circ$
6	165000	300	4	15

### **Результаты**

#### Вид геометрии трехмерной расчетной области:

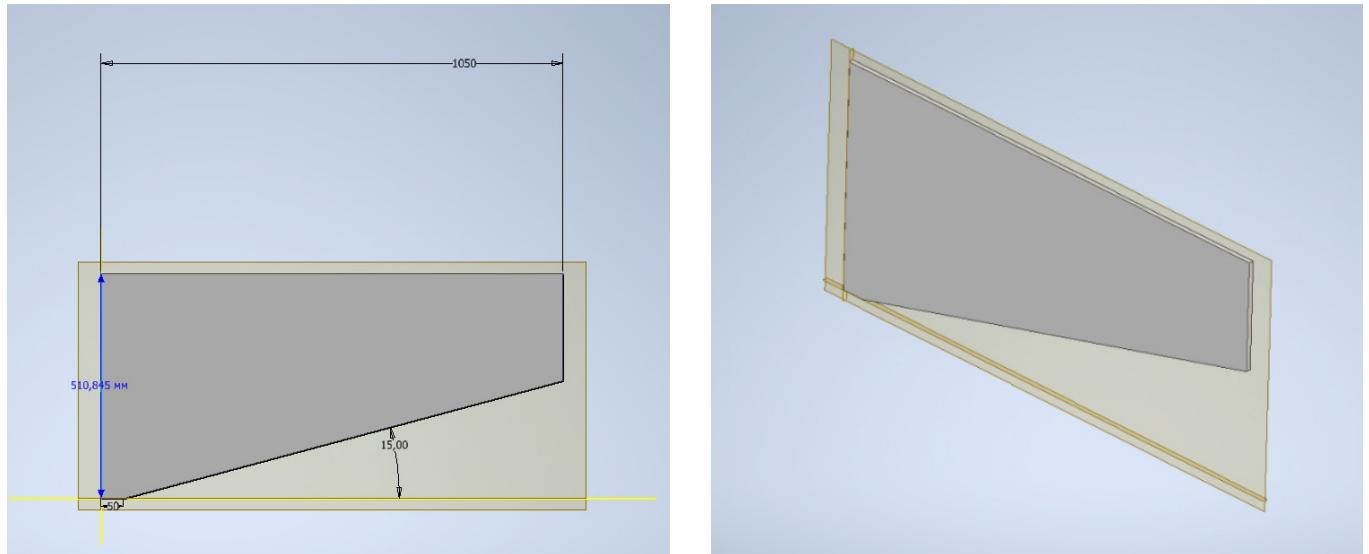


Рис. 1, 2 – Геометрия трехмерной расчетной области

#### Вид объемной сетки:

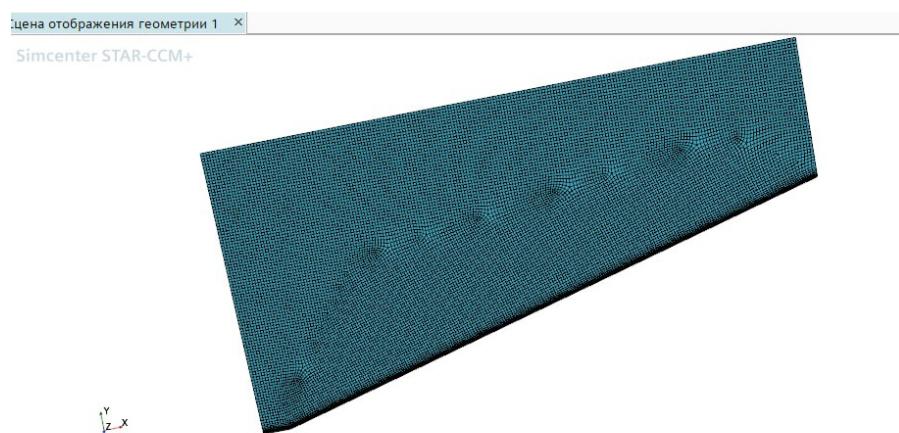


Рис. 3 – Вид объемной сетки

#### Для задания 1

Поля:

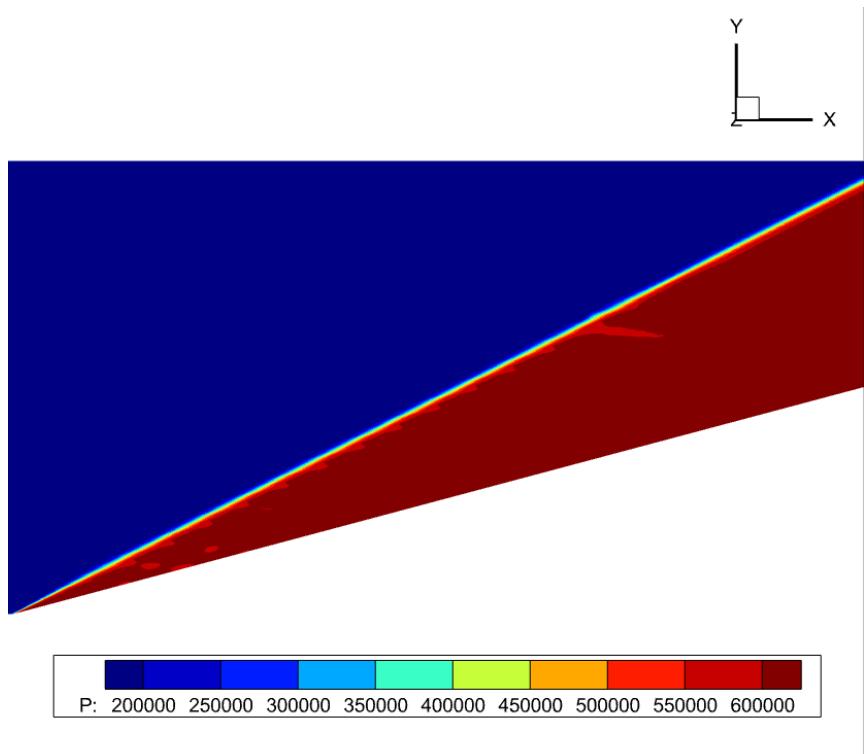


Рис. 4 – Распределение давления Р, Па

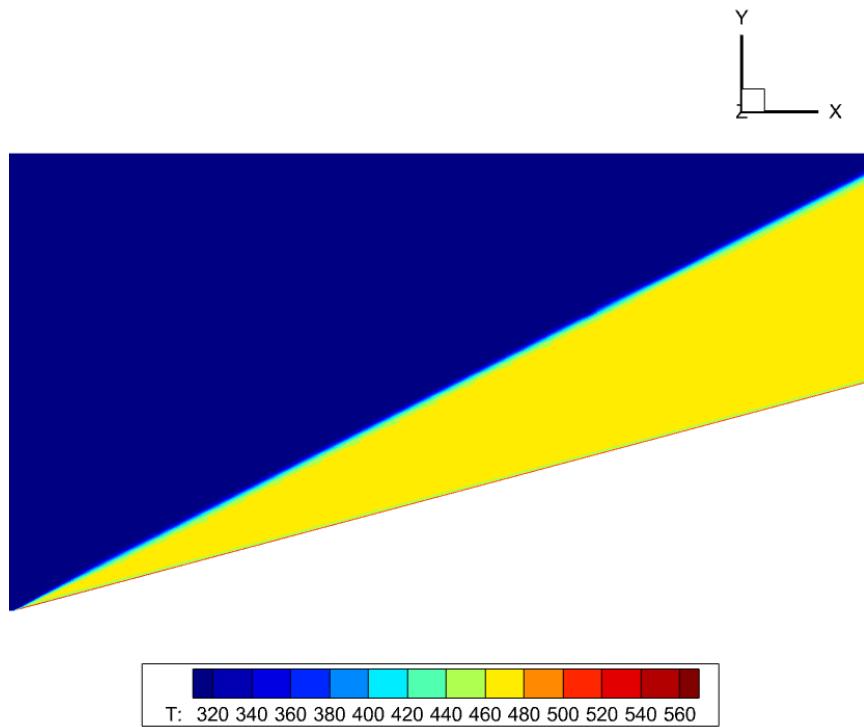


Рис. 5 – Распределение температуры Т, К

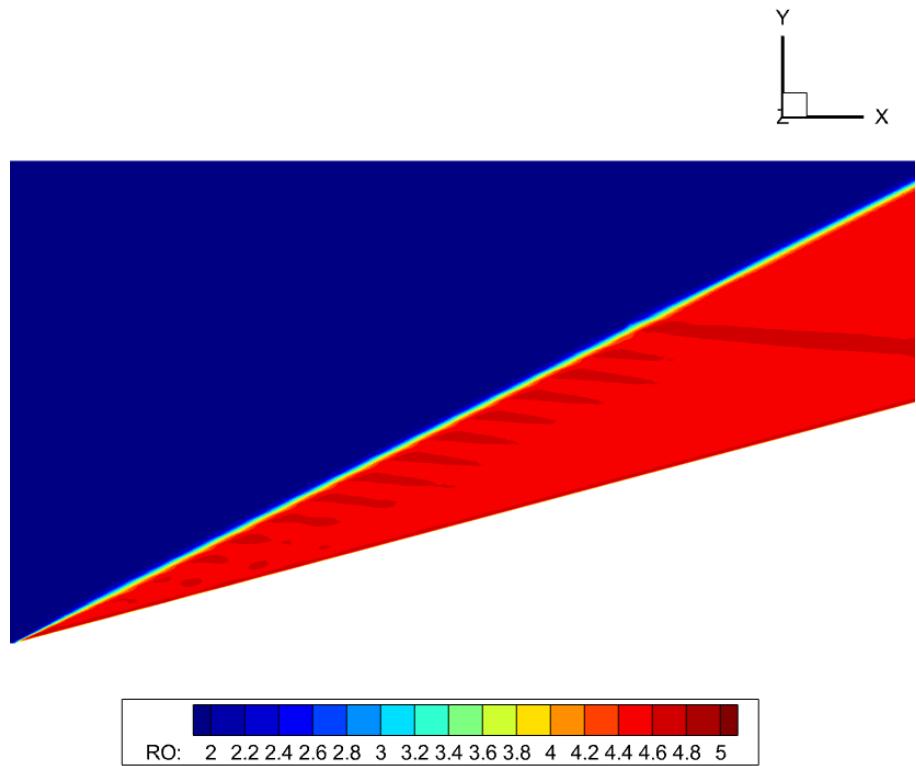


Рис. 6 – Распределение плотности RO, кг/м<sup>3</sup>

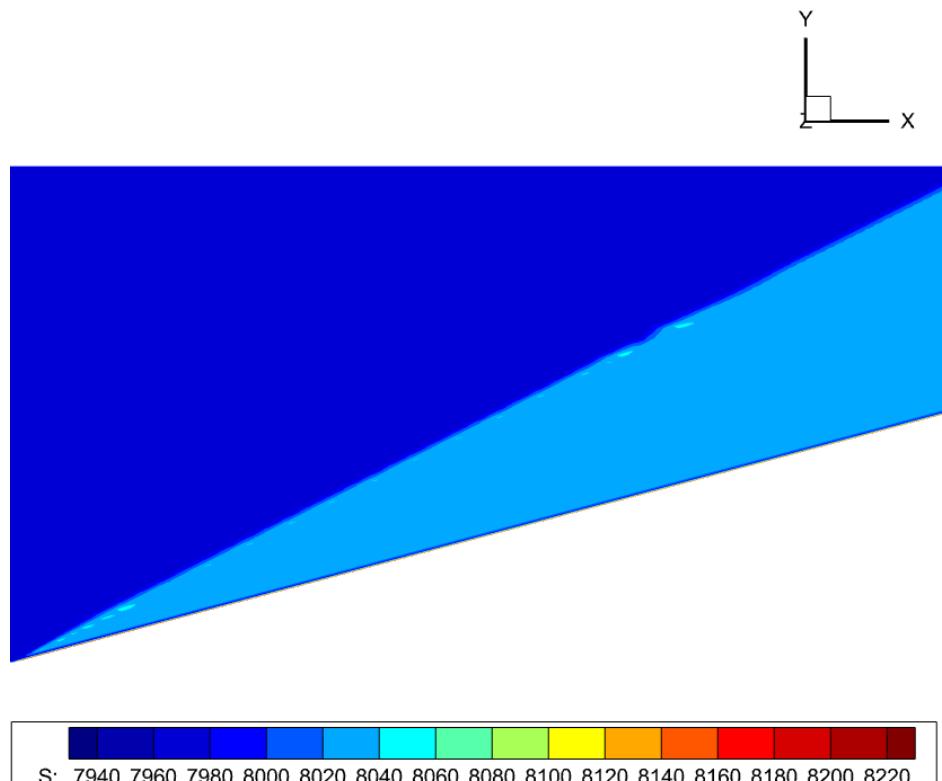


Рис. 7 – Распределение удельной энтропии S, Дж/(кг\*K)

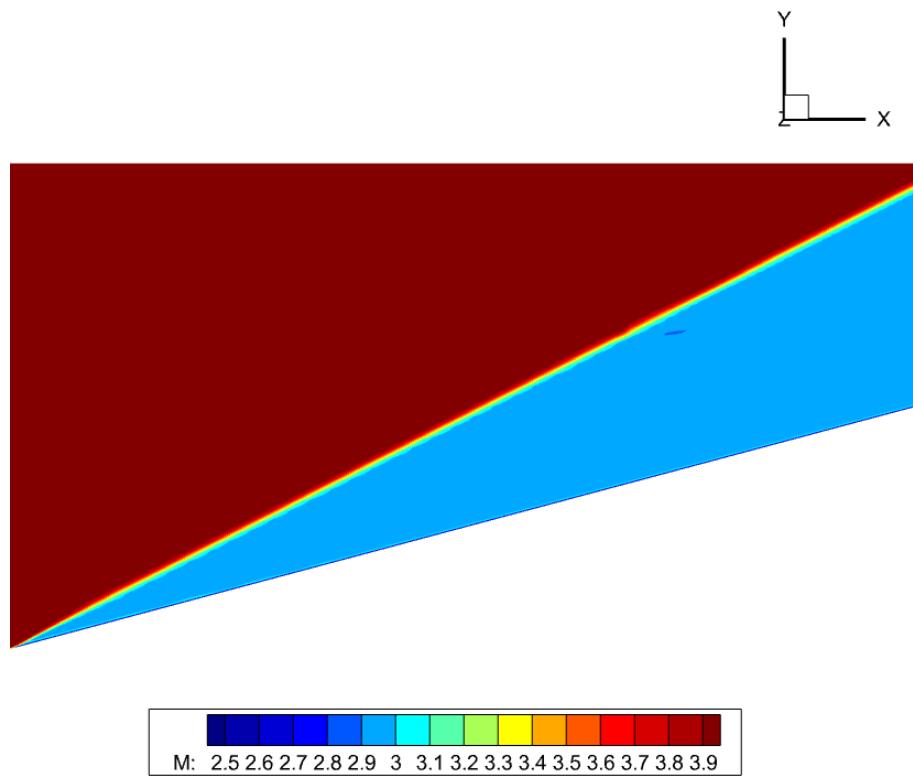


Рис. 8 – Распределение числа маха М

Для задания 2  
Вид линии тока:

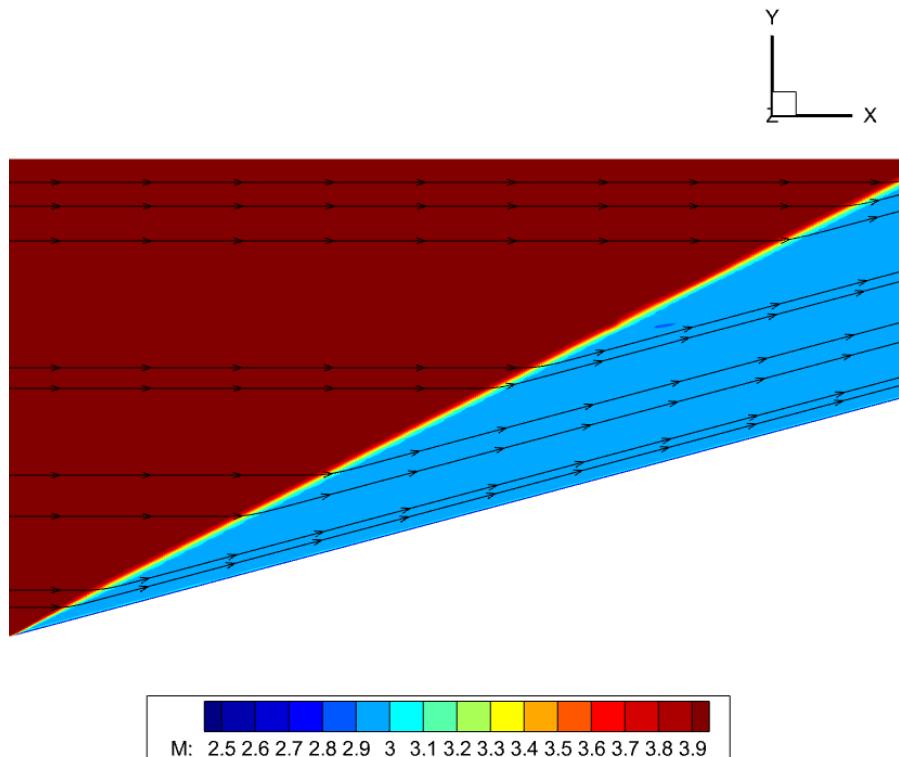


Рис. 9 – Вид линии тока

Для задания 3  
График невязки:

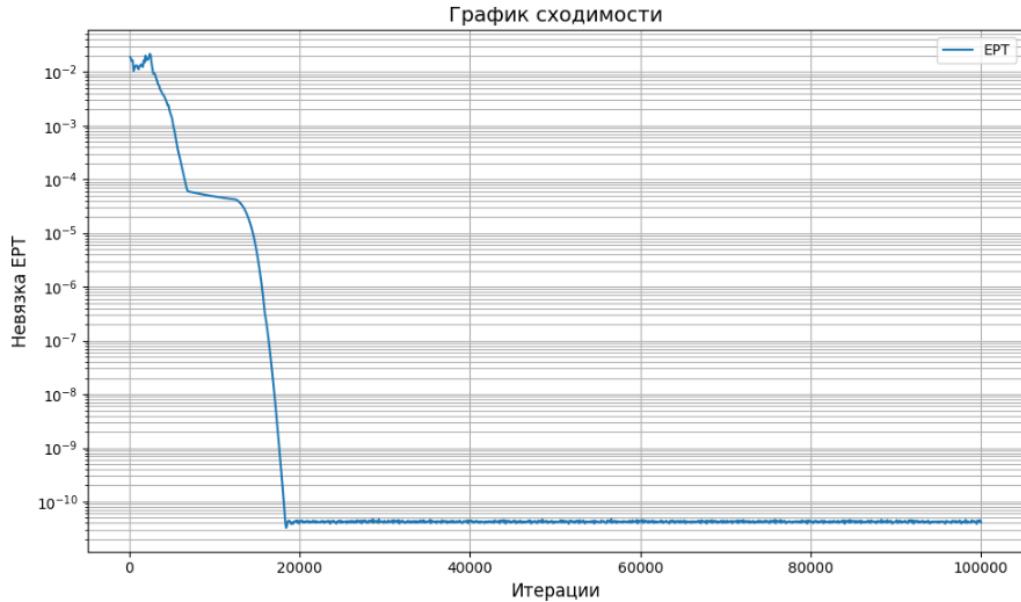


Рис. 10 – График невязки

Для задания 4  
Выбор точки за КСУ:

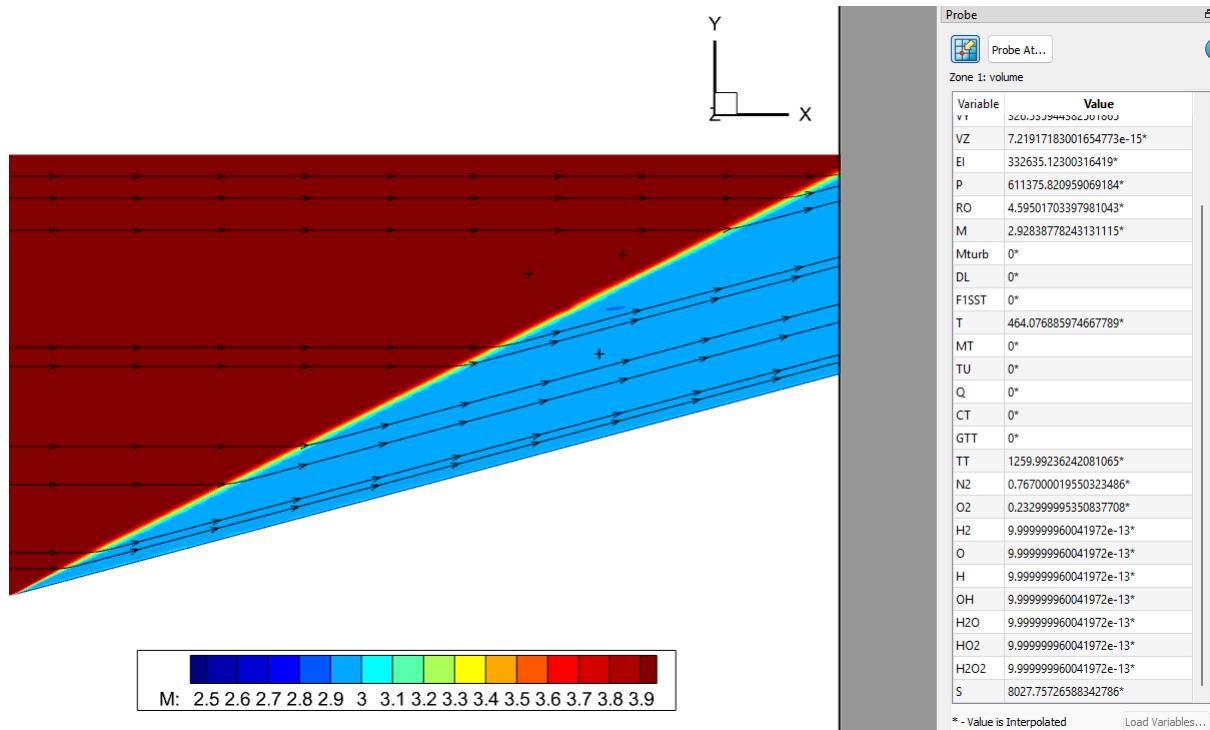


Рис. 11 – Точка за КСУ

Количество ячеек (Cells) в расчетной сетке	17400 cells
Максимально выбранное количество итераций расчета	100000
Число Куранта	0.4
Значение угла косого скачка уплотнения	27.06

Изменение удельной энтропии перед и после КСУ:

$$\Delta S = S_{\text{после}} - S_{\text{до}} = 8028.167 - 7965.441 = \underline{\underline{62,7}}$$

## Выводы

Параметры потока после КСУ с углом $\theta_c$ (аналитическое решение)	$p_2, \text{ Па}$	$T_2, \text{ K}$	$M_2$	$\rho_2, \text{ кг/м}^3$	$\theta_c, {}^\circ$
	610000	464	2.93	4.58	27.06
Параметры потока после КСУ с углом $\theta_c$ (трехмерное численное моделирование)	$p_2, \text{ Па}$	$T_2, \text{ K}$	$M_2$	$\rho_2, \text{ кг/м}^3$	$\theta_c, {}^\circ$
	610818	464	2.92	4.59	27.04
Относительная погрешность $\delta, \%$	0,134	0	0,341	0,218	0,074

В ходе численного моделирования удалось получить полную и физически корректную картину сверхзвукового обтекания клина. Как и ожидалось, на острой передней кромке сформировался четкий, прямолинейный косой скачок уплотнения (КСУ). За ним поток становится однородным и движется параллельно поверхности клина. Судя по графику невязок, решение полностью сошлось. Это говорит о том, что выбранных настроек расчета числа Куранта, количества итераций и качества сетки было достаточно для получения стабильного и точного результата. Ключевой итог работы — это отличное совпадение данных моделирования с аналитическим решением из первой лабораторной. Относительная погрешность по всем параметрам не превысила 0.4%, подтверждая высокую точность и достоверность использованной численной модели.