

	inlet	Условия справа
ρ	328800.0 Па	160.0 Па
\mathbf{u}	0.0 м/сек	0.0 м/сек
T	295.4 К	295.4 К

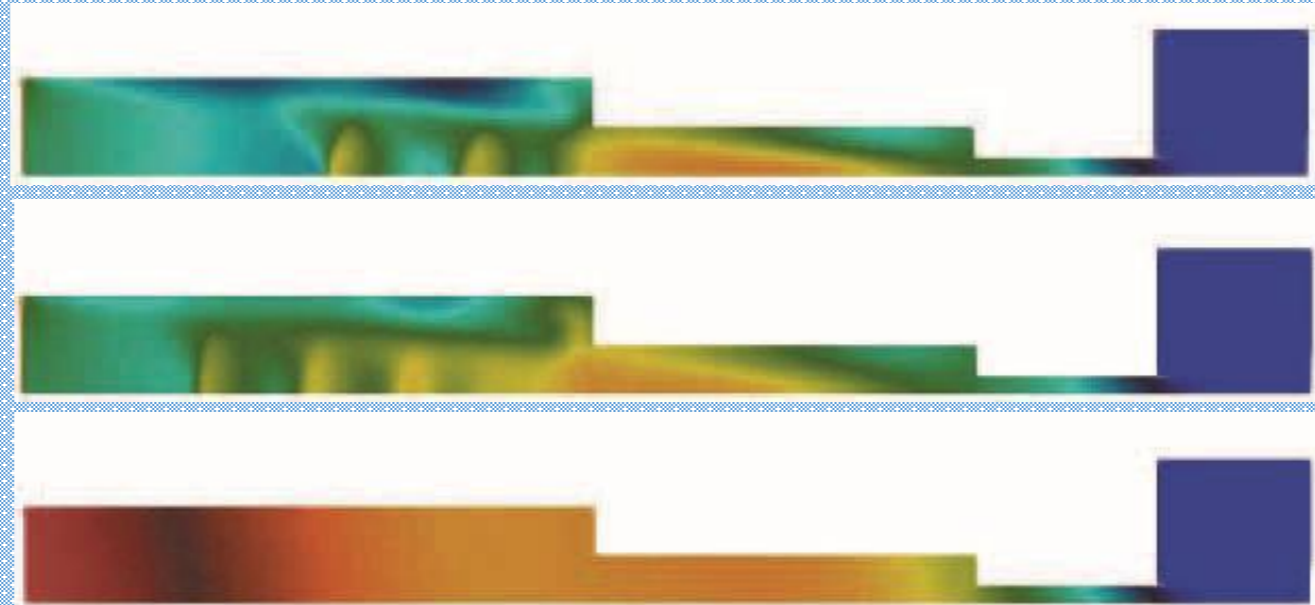
Моделирование процесса запуска сопла и истечения струи в область низкого давления

Simulation of nozzle start-up process together with jet issue to low pressure area

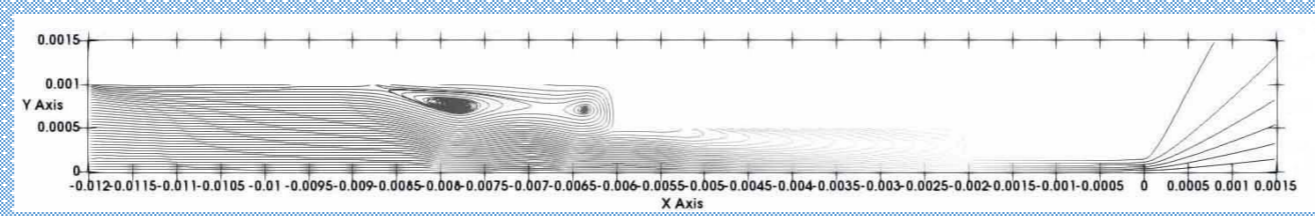
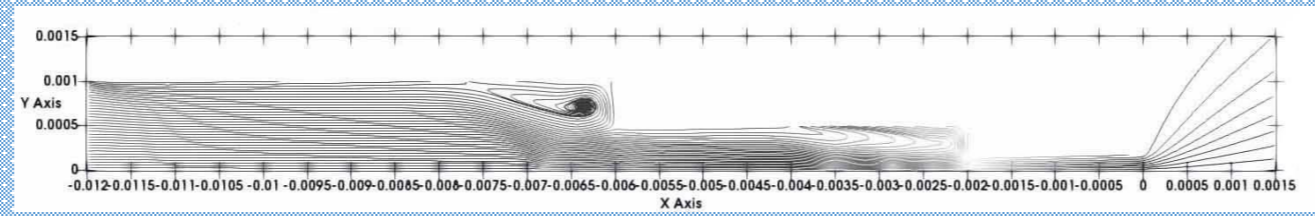
М.А. Кирюшина, m_ist@mail.ru, Т.Г. Елизарова, telizar@mail.ru, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Система уравнений Навье-Стокса

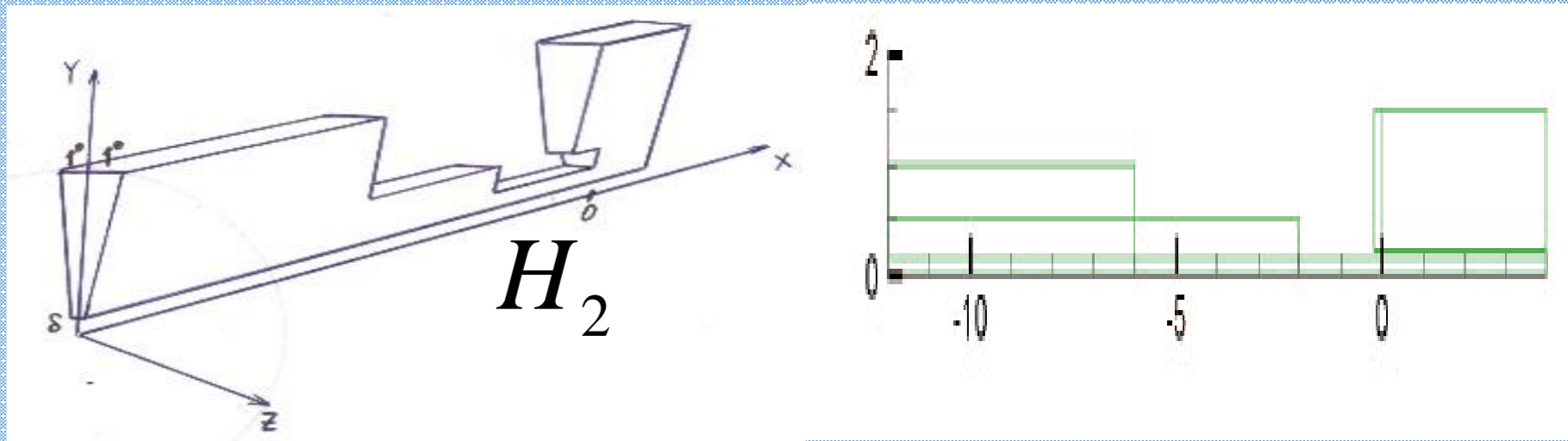
$$\begin{aligned} \partial_t \rho + \text{div}(\rho \mathbf{u}) &= 0, \\ \partial_t(\rho \mathbf{u}) + \text{div}(\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) + \nabla p &= \text{div} \hat{\Pi}, \\ \partial_t E + \text{div}(H \rho \mathbf{u}) + \text{div}(\mathbf{q}) &= \text{div}(\hat{\Pi} \cdot \mathbf{u}), \\ \hat{\Pi} &= \hat{\Pi}_{NS} = \mu \left((\nabla \otimes \mathbf{u}) + (\nabla \otimes \mathbf{u})^T - \hat{\mathbf{I}} \frac{2}{3} (\nabla \otimes \mathbf{u}) \right) + \xi \hat{\mathbf{I}} \text{div} \mathbf{u}, \\ \mathbf{q} &= \mathbf{q}_{NS} = -\kappa \nabla T, \\ p &= \rho RT, \quad H = \frac{E+p}{\rho}, \quad E = \frac{1}{2} \rho |\mathbf{u}|^2 + \rho u_\epsilon, \\ \xi &\text{ — объемная вязкость.} \end{aligned}$$



Развитие течения в сопле: плотность ρ на последовательные моменты времени.



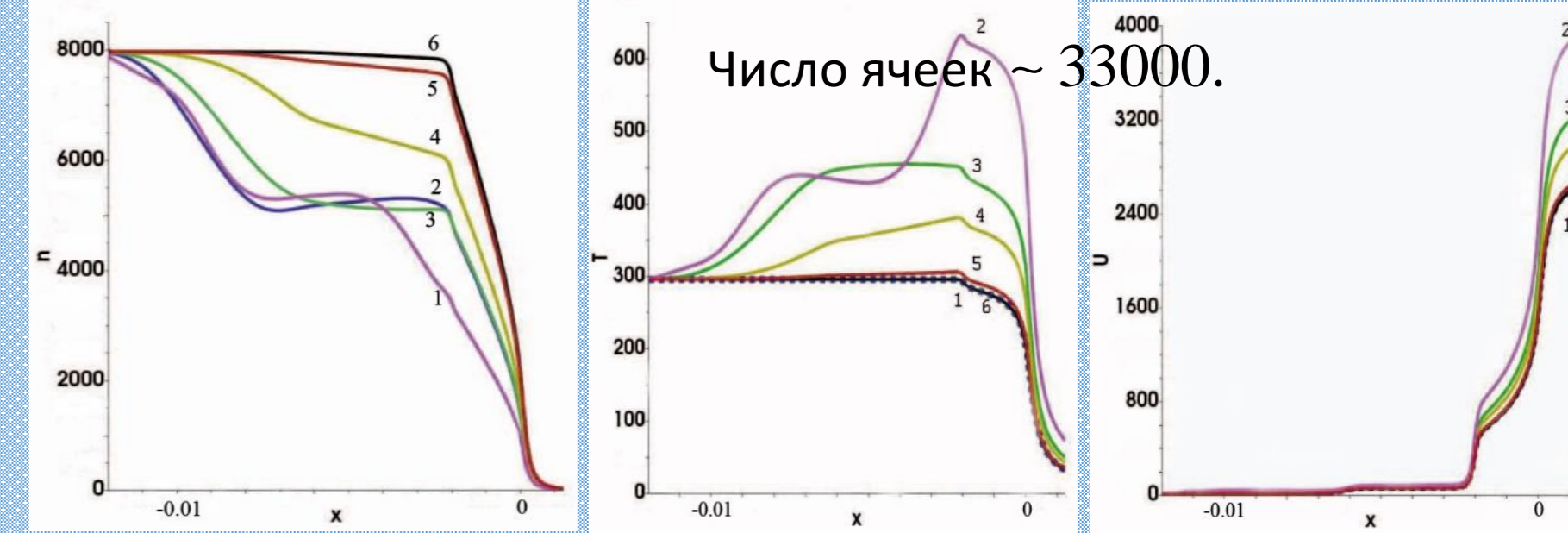
Формирование вихря вблизи уступа $t \sim 10^{-6}$.
 $\alpha^{QGD} = 0.3, 0.5$



Геометрия сопла и расчетная область в мм.

Параметры расчета в OpenFOAM:
 $\tau = \alpha^{QGD} \frac{\Delta x}{c} + \frac{\mu}{pSc}$, $Sc = 1.0$.
 $\Delta t = 10^{-12} \rightarrow 10^{-10}$.

Граничные условия:
 Inlet – заданные условия,
 Outlet – снос,
 Wall – прилипание, $\frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}} = 0$.
 Ахе - условие симметрии.



Одномерные распределения числовой плотности, температуры и скорости на оси течения: развитие плотности ρ , температуры T и скорости U_x вдоль оси x от $4 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-3}$.

[1]. S. Montero, G. Tejada, and J.M. Fernandez **Laboratory study of rate coefficients for H2:H2 inelastic collisions between 295 and 20 K**, The astrophysical journal supplement series, 247:14 (14pp), 2020 March.
 [2]. Елизарова Т.Г. **Квазигазодинамические уравнения и методы расчета вязких течений**. М.: Научный мир, 2007.
 [3]. Kraposhin M.V., Smirnova E.V., Elizarova T.G., Istomina M.A., **Development of a new OpenFOAM solver using regularized gas dynamic equations**. Comput. Fluids, v. 166, p. 163-175, 2018.