

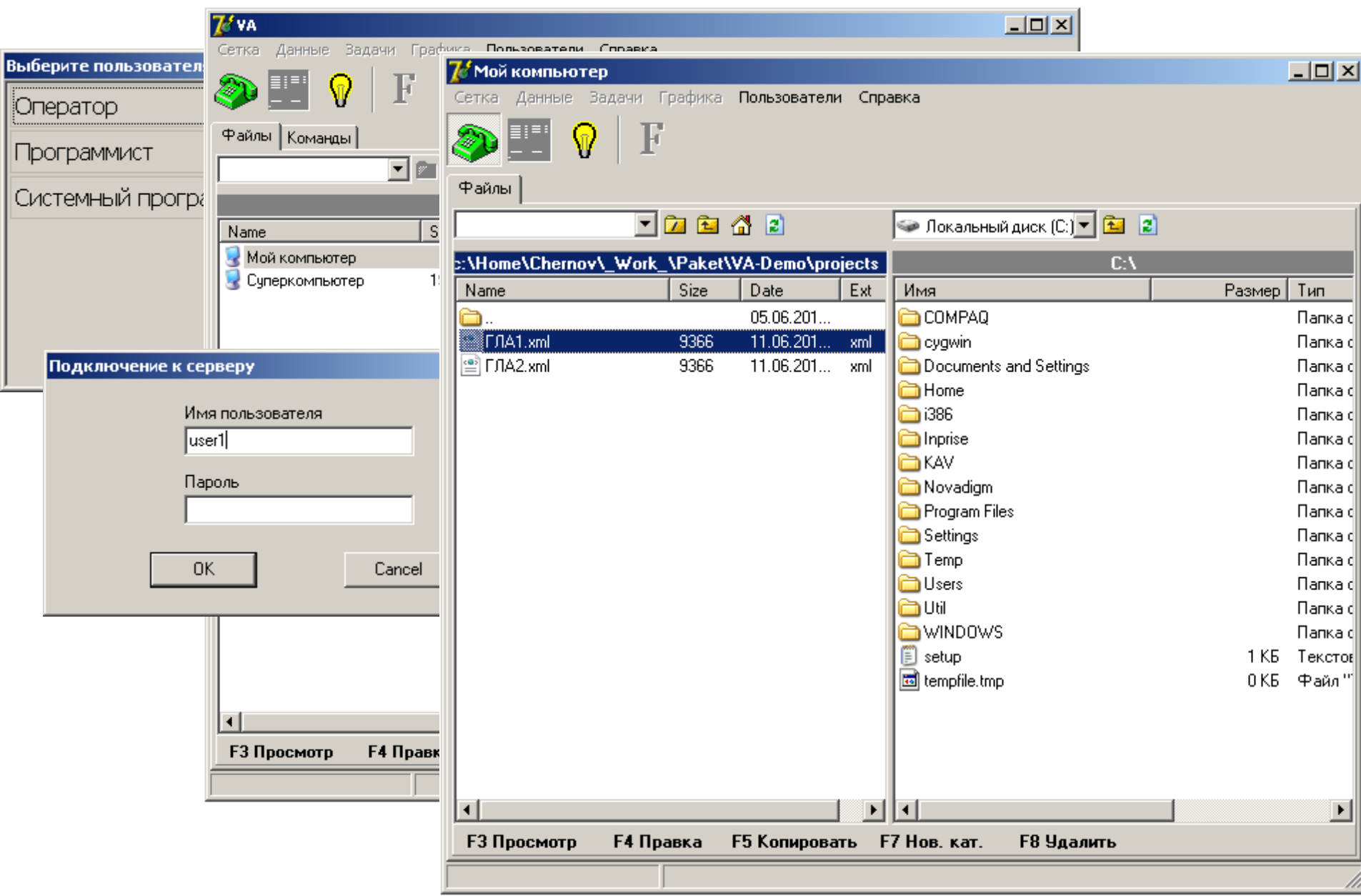
Код VA. Виртуальная аэрогазодинамика

Е.Ю. Карцева, А.В. Панасенко, В.В. Чернов

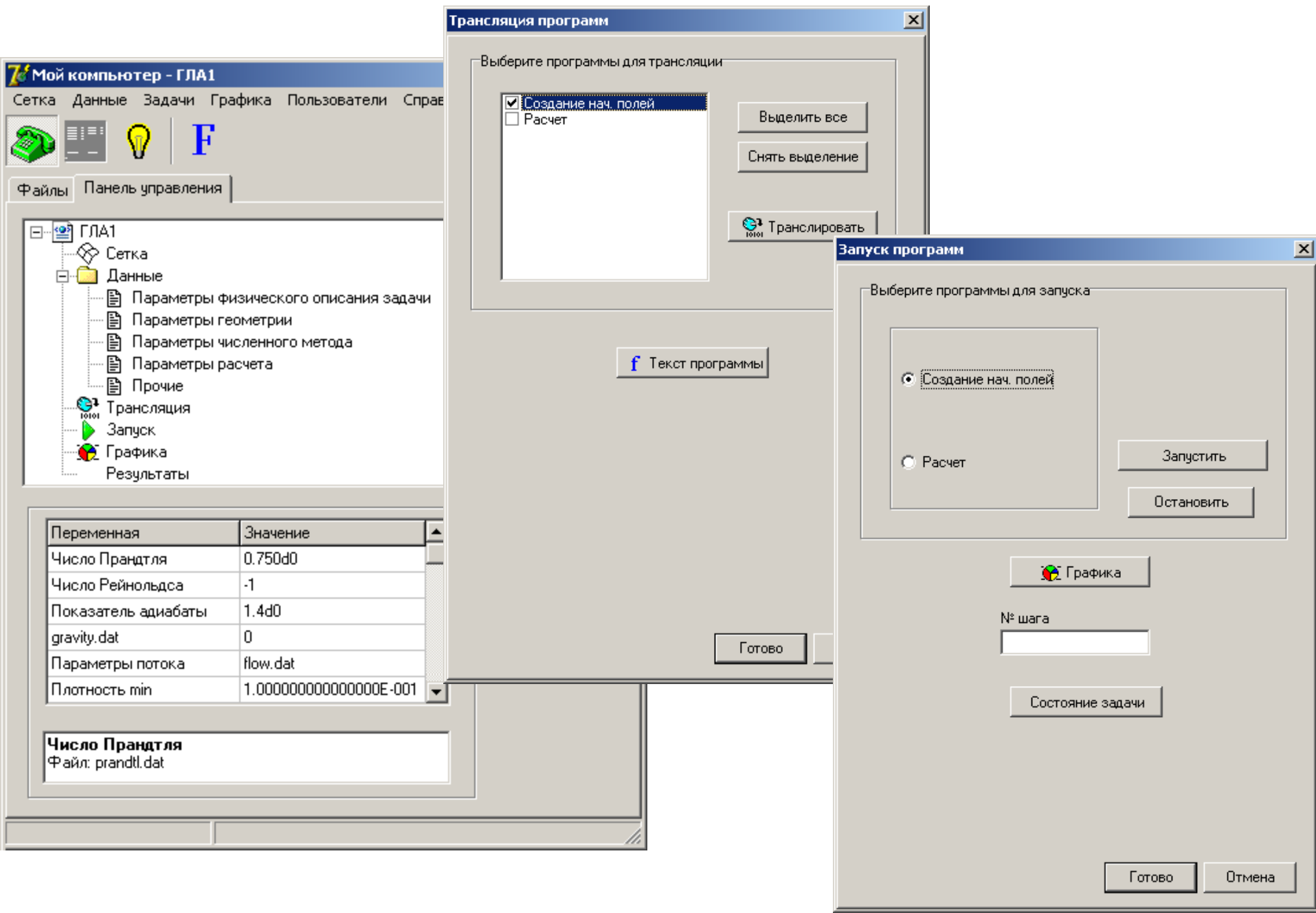
**Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения, Королев, Московская обл., Россия**

- Создание изделий РКТ требует проведения имитационного моделирования их поведения в реальных условиях.
- Такие вычисления требуют использования высокопроизводительных вычислительных систем значительно мощнее чем, например, рабочие станции.
- Один из самых недорогих и эффективных путей решения проблемы – создание кластерных вычислительных систем с гибридной архитектурой на основе использования графических ускорителей.
- Наиболее распространены в настоящее время графические ускорители компании NVIDIA.

Подключение к МВС и выбор проекта

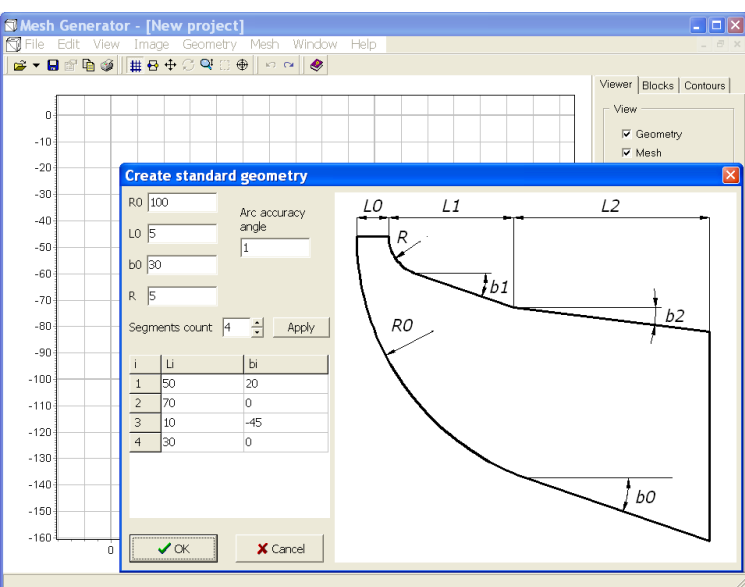


Панель управления

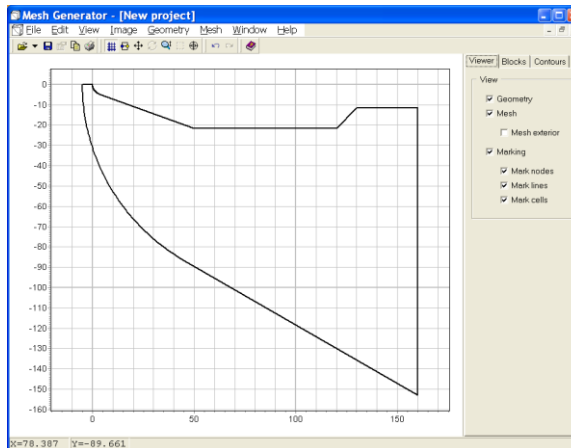


Построение расчетных сеток и визуализация результатов

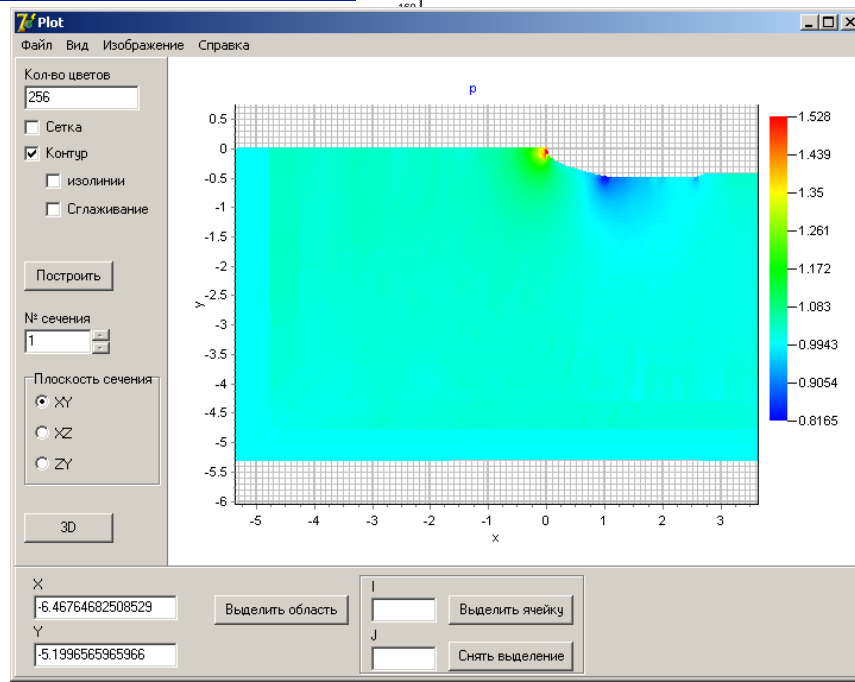
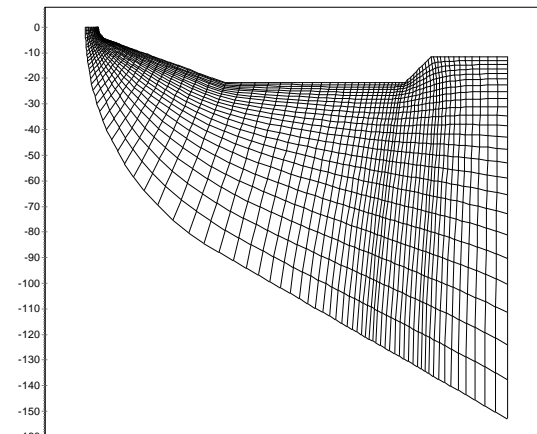
создание геометрии расчетной области



Геометрия расчетной области



расчетная сетка



Система уравнений газовой динамики при наличии химического источника массы и энергии

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_j}{\partial x_j} &= 0; \\ \frac{\partial \rho c_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_j c_i}{\partial x_j} &= \rho_{ci} - \frac{\partial J_{ij}}{\partial x_j}; \\ \frac{\partial \rho v_k}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_j v_k}{\partial x_j} &= - \frac{\partial \delta_{jk} P}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial x_j}; \\ \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial [(E + P)v_j]}{\partial x_j} &= - \frac{\partial q_j}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{jk} v_k}{\partial x_j} + E_c. \end{aligned} \right\}$$

Marinov N., Westbrook C.K., Pitz W.J.

Detailed and global chemical kinetic model for hydrogen //
Transport phenomena in combustion. 1996. vol. 1.

Разностные схемы:

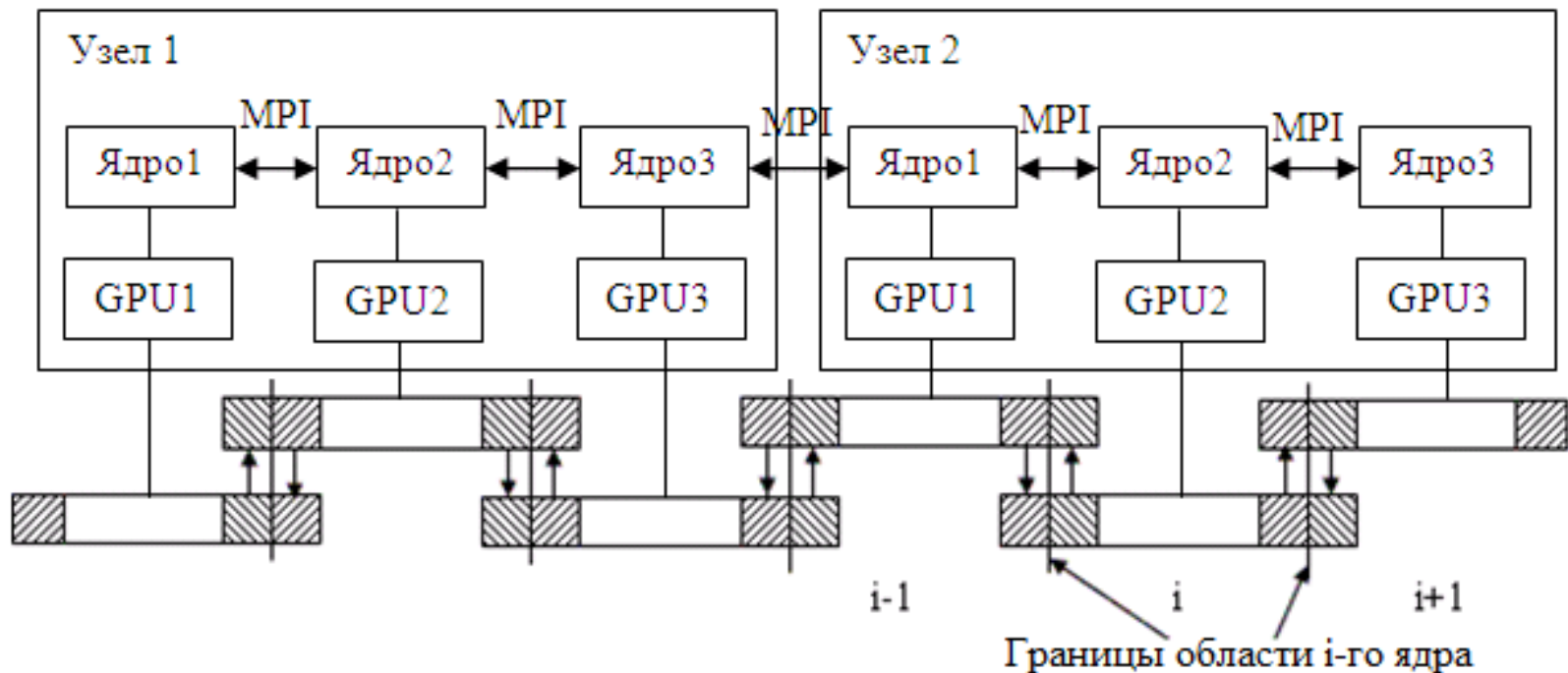
- 1 Сафронов А.В. Разностная схема для нестационарных уравнений газодинамики на основе соотношений на разрывах в консервативных переменных
// Вычислительные методы и программирование. 2007, Т. 8. С. 69 – 76.
- 2 Войнович П.А., Жмакин А.И., Киселев А.С., Панасенко А.В., Фурсенко А.А.
О расчете распространения профилированных ударных волн.
Препринт №1426. Ленинград.: ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР. 1990. 49 с.
- 3 Демьянов А.Ю., Орехов А.М., Панасенко А.В. Об одной неявной разностной схеме расчета нестационарных вязких течений с областями сильных неоднородностей // Ж. вычислит. матем. и матем. физ. 1985. Т. 25. №3.
С. 471 – 473.

Схема распараллеливания

1 Универсальные процессоры

2 Графические ускорители (NVIDIA)

3 **Intel MIC** (Intel Many Integrated Core Architecture) — архитектура многоядерной процессорной системы, разработанная **Intel**



Расчеты с использованием нескольких GPU

N	Время расчета, час:мин:сек		Ускорение относительно N ядер CPU	Ускорение относитель но 1 ядра CPU	Ускорение относительно 1 GPU	Эффективность в сравнении с 1 GPU
	N ядер CPU	N GPU				
1	56:04:46	0:58:51	57.18	57.18	1,00	1,00
2	28:50:11	0:31:04	55.70	108.31	1,89	0,95
3	19:15:44	0:22:07	52.26	152.14	2,66	0,89
6	9:46:35	0:13:04	44.91	257.60	4,50	0,75
12	5:04:13	0:09:01	33.71	372.88	6,52	0,54

Расчет формирования течения газа в поршневой газодинамической установке

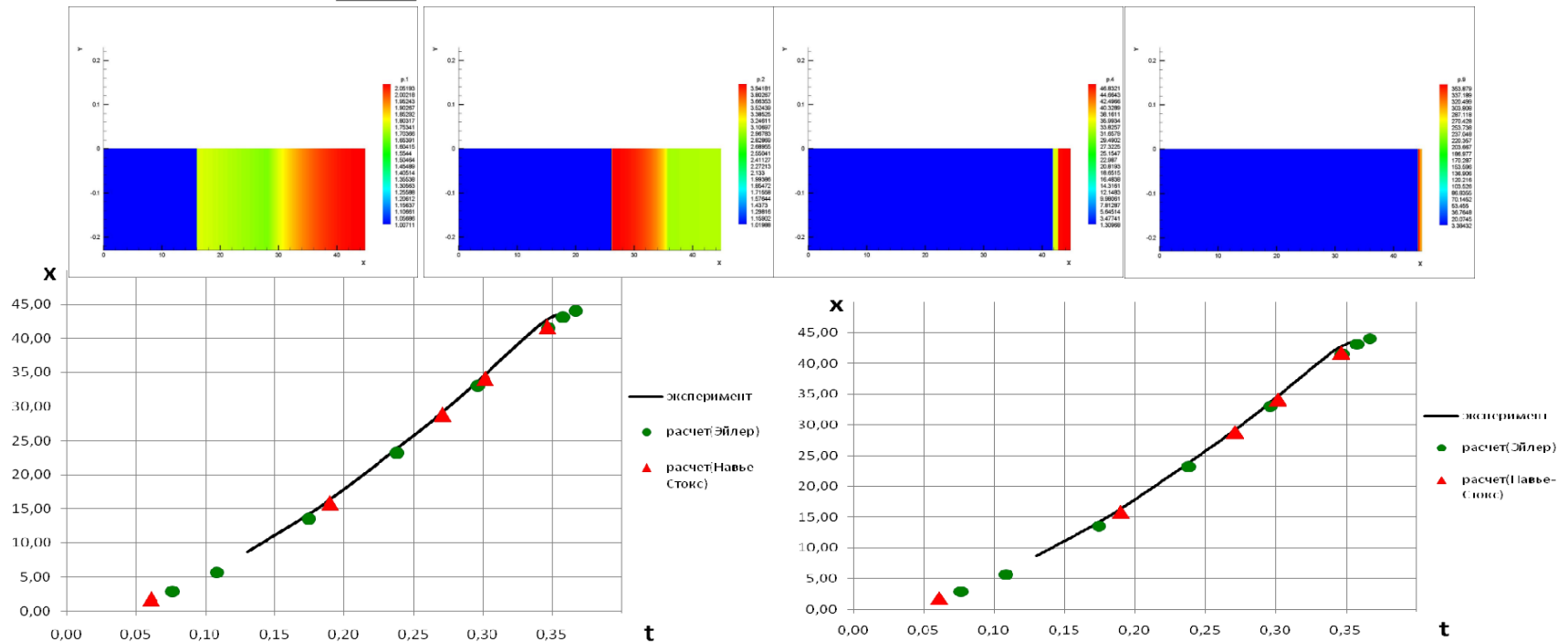
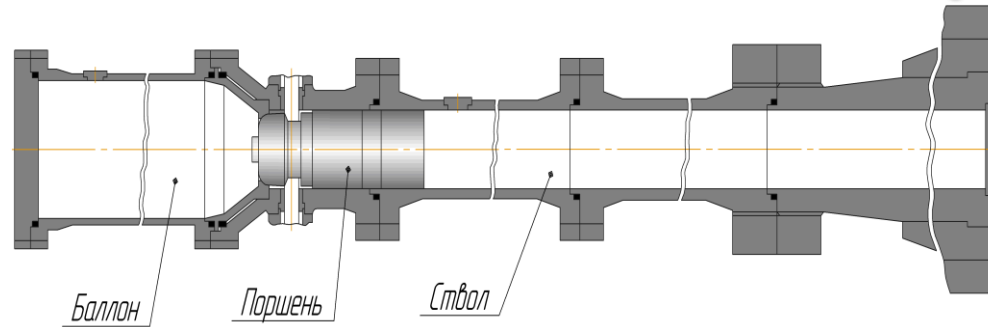
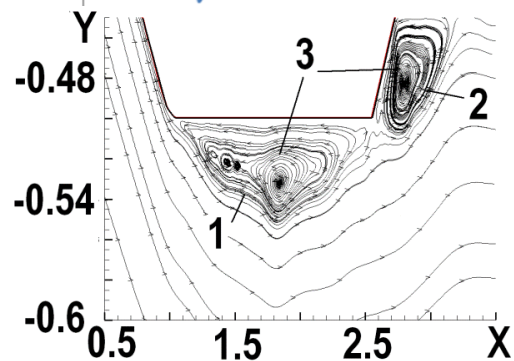
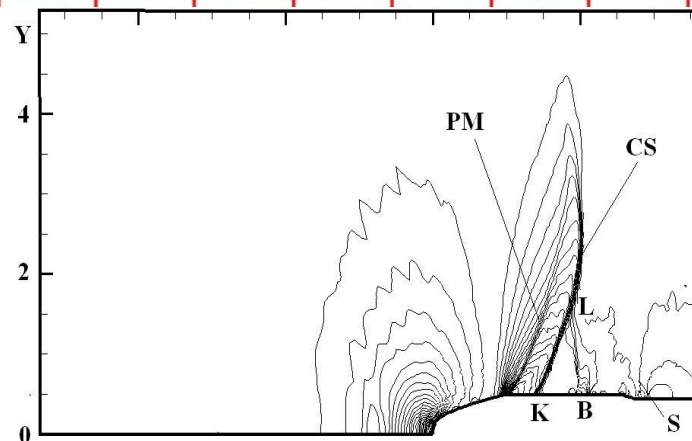
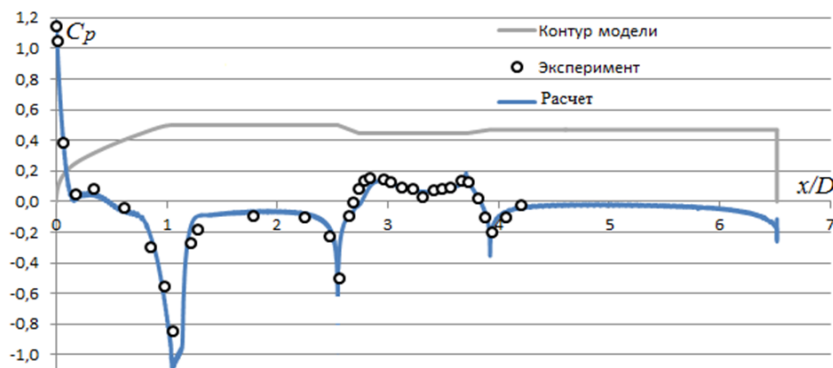
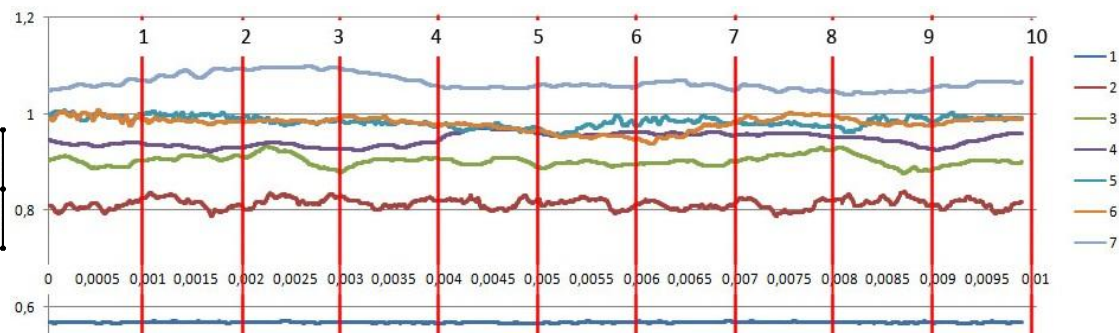
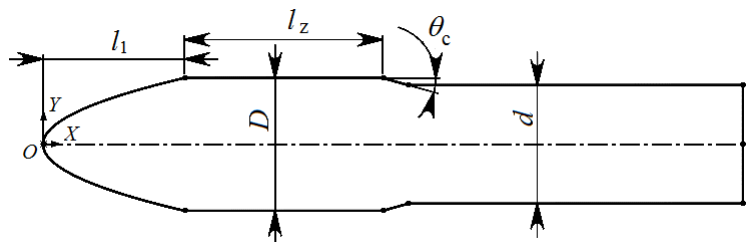


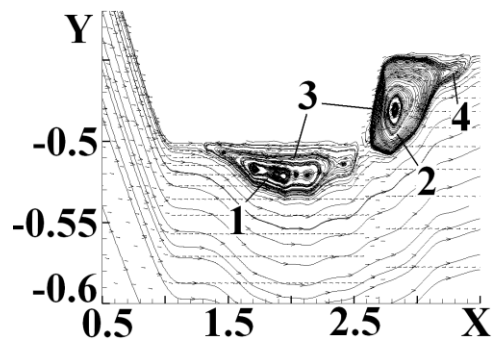
Рисунок - Положение поршня в зависимости от времени.

Рисунок - Давление газа на поверхности поршня в зависимости от времени.

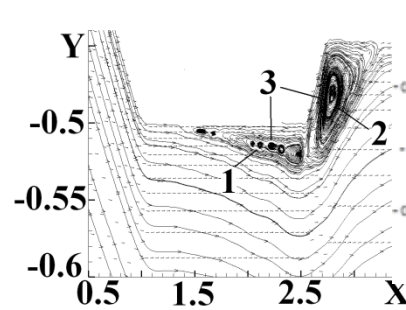
Трансзвуковое обтекание НКО РН



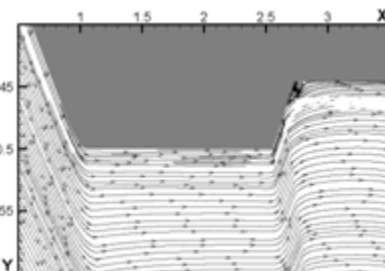
$M_\infty = 0.9$



$M_\infty = 0.95$



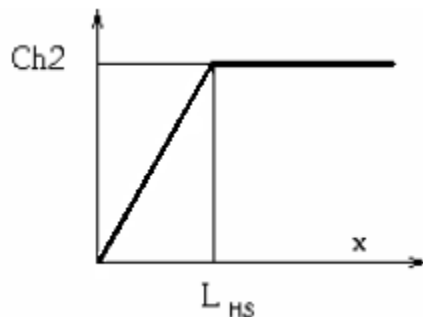
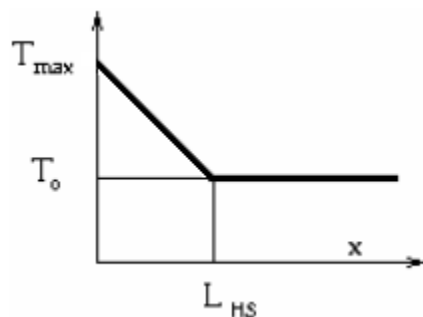
$M_\infty = 0.98$



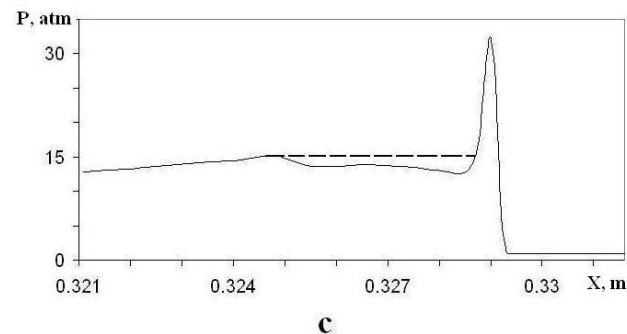
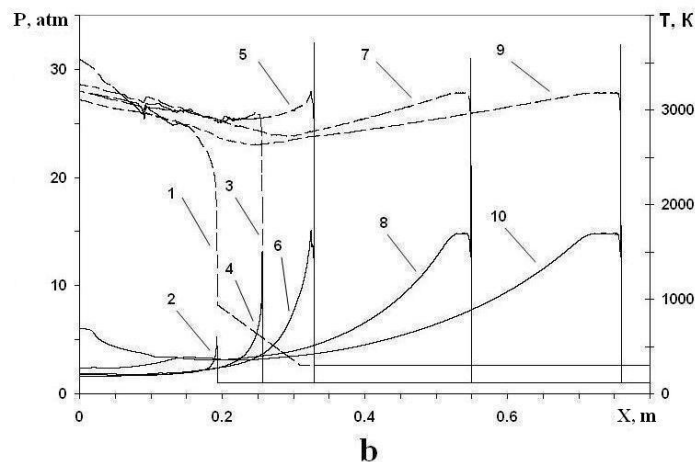
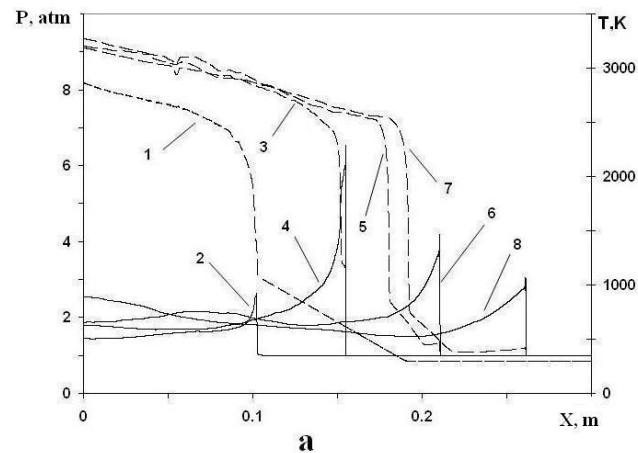
$M_\infty = 1.06$

**Распределения
газодинамических параметров
в смеси при различных
начальных условиях,
приводящих к возникновению
или отсутствию детонации в
различные моменты времени.**

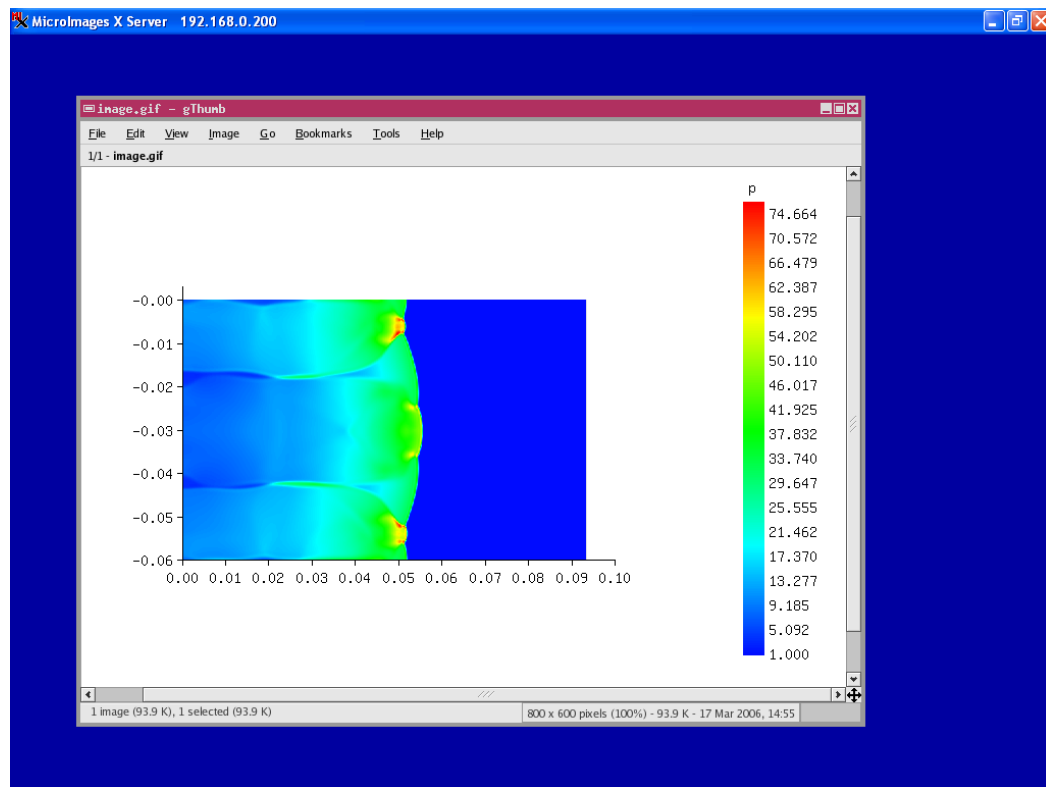
$H_2 - 0.029$, $O_2 - 0.226$, $N_2 - 0.745$,



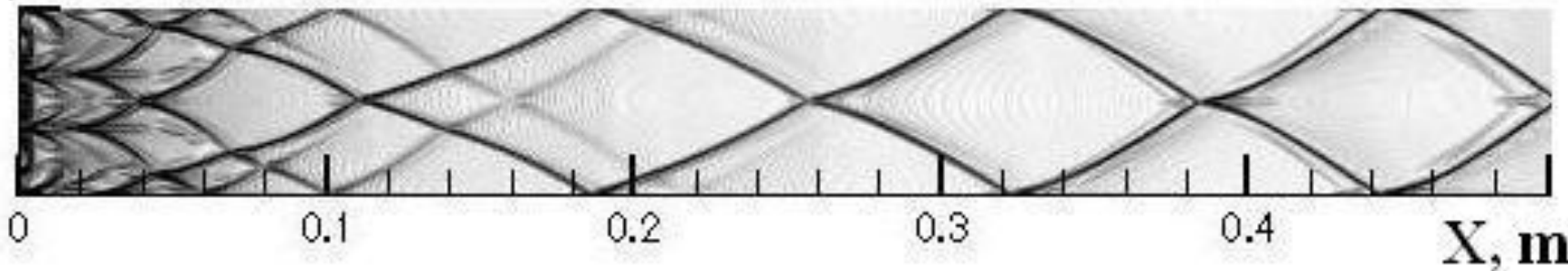
Зельдович Я.Б. и др.
Acta Astronautica, 1970. V. 2. P. 93.



Формирование детонационной структуры УВ



Y, m



Спасибо за внимание