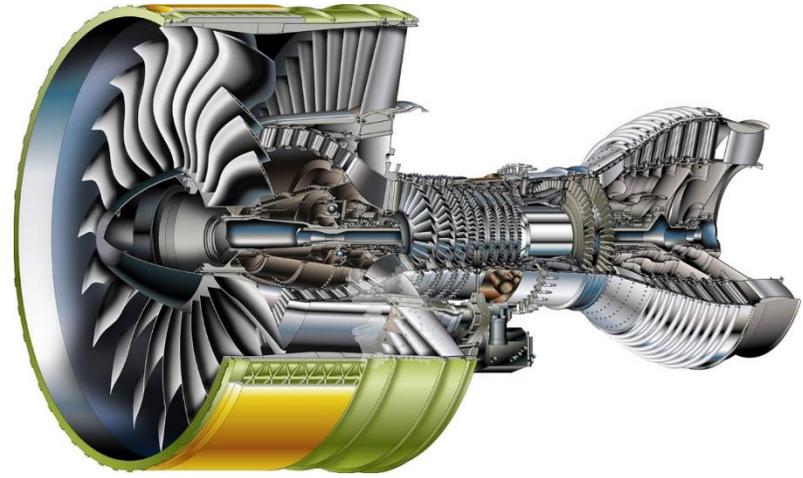


Суперкомпьютерные технологии и нестационарные процессы в турбомашинах на примере турбокомпрессоров

Ю.Я. Болдырев, Ю.В.Кожухов, А.О.Рубцов

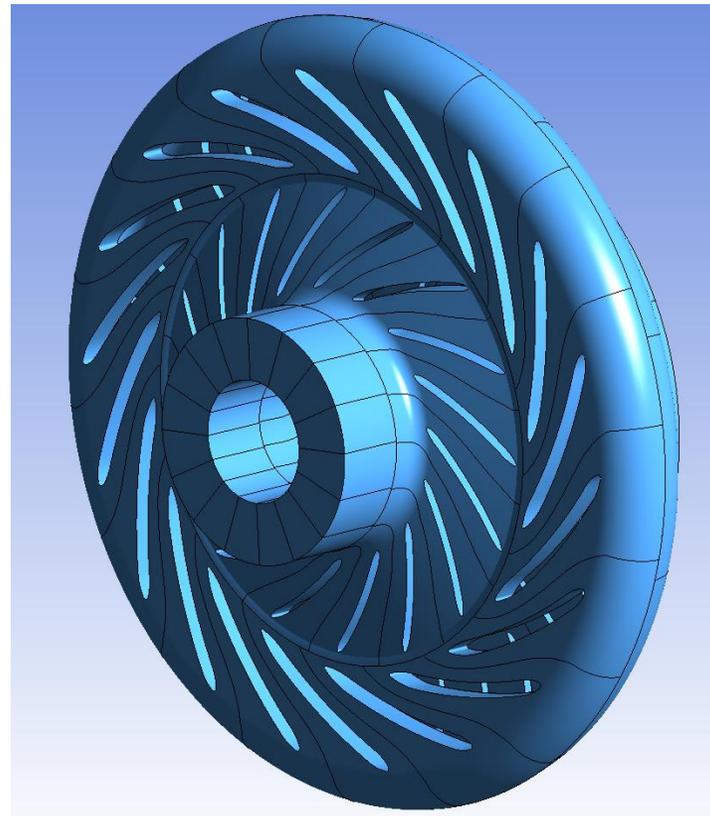
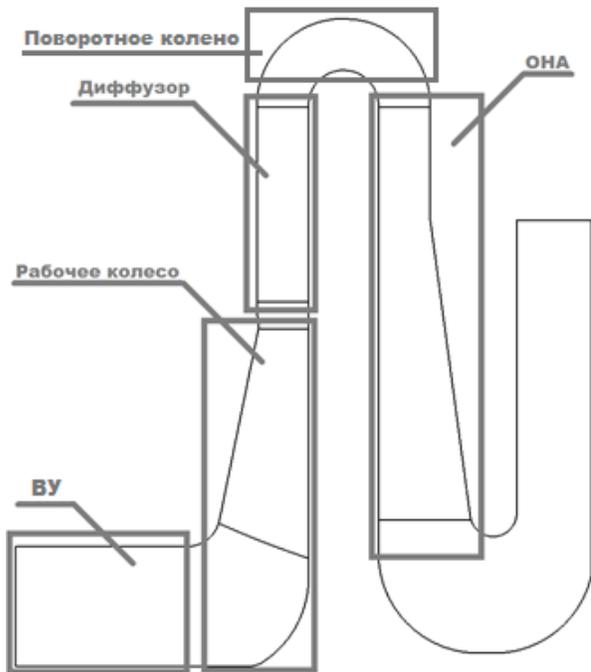
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Актуальность проблемы



Постановка задачи

Ступень центробежного компрессора



Система уравнений Навье-Стокса

Уравнение движения:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\vec{v} \cdot (\nabla \vec{v}) + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f}$$

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$

t - время, \vec{v} - векторное поле скоростей, ν - коэффициент кинематической вязкости, ρ - плотность, p - давление, \vec{f} - векторное поле массовых сил

Актуальность проблемы (2)

Метод	Необходимое число узлов сетки	Необходимое число шагов по времени	Возможность расчета в течение суток*
3D Steady RANS	10^7	10^3	1985
3D Unsteady RANS	10^7	$10^{3.5}$	1995
DES	10^8	10^4	2000
LES	$10^{11.5}$	$10^{6.7}$	2045
DNS	10^{16}	$10^{7.7}$	2080

*Подразумевается, что расчет производится на самых мощных из доступных компьютерах

Постановка задачи (2)

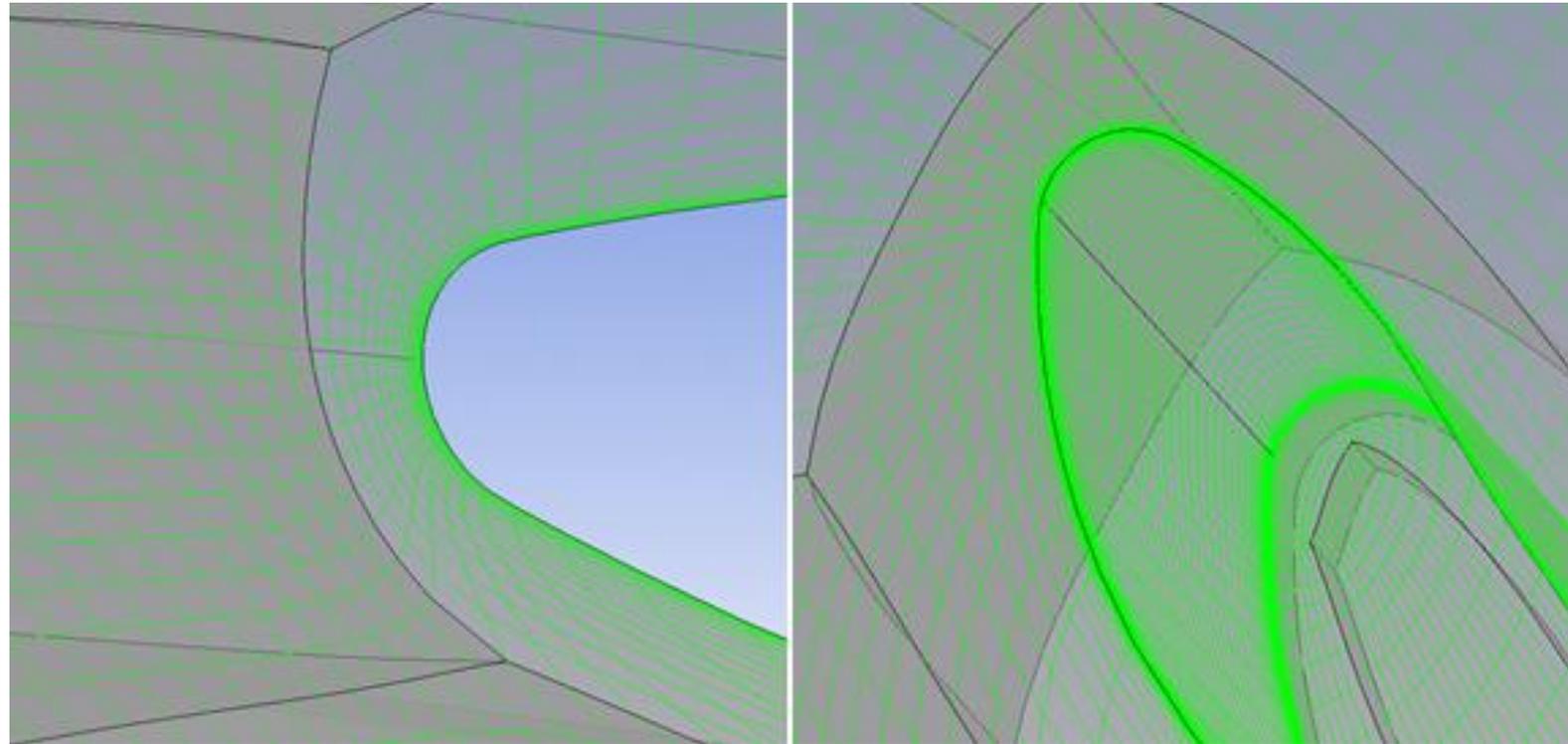
Используемая модель
турбулентности:
Shear Stress Transport
(модель Ментера)

Размер расчетной сетки (один сектор
в каждом ряду лопаток):

- **4 381 018** узлов
- **4 217 317** элементов

Высота первой ячейки
пристеночного слоя: **10^{-5} м**

Используемая расчетная сетка:



Расчетный кластер

Использовался гетерогенный кластер Суперкомпьютерного центра «Политехнический»

Всего вычислительных узлов в данном кластере: **668**

- **612** базовых вычислительных узлов
- **56** узлов с двумя ускорителями NVIDIA Tesla K40

Максимальная производительность кластера: **938 ТФ**

Кластерная архитектура: **РСК Торнадо**

Характеристики вычислительных узлов:

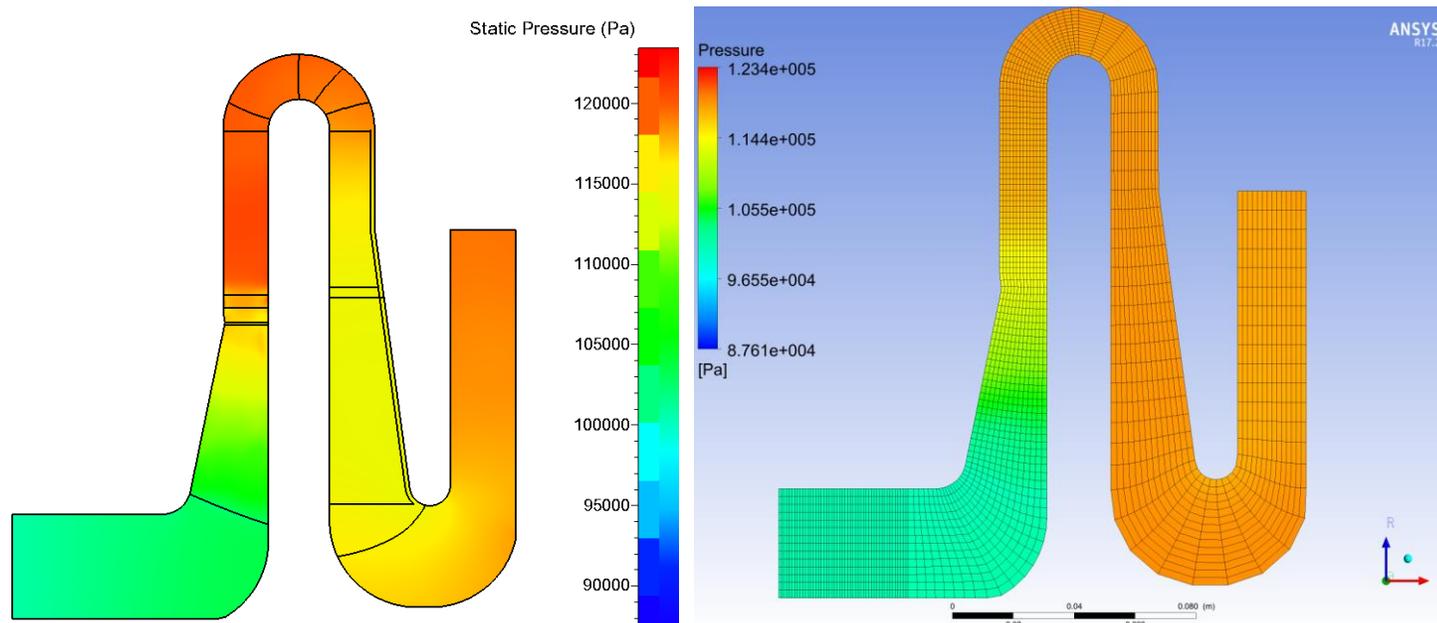
- **x2 Intel Xeon E5-2697 v3: 14 ядер, 2.6 ГГц (2.9 ГГц в турбо режиме)**
- **64 ГБ DDR4-2133**
- **Infiniband FDR 56 Гб/с**
- **NVIDIA Tesla K40: 2880 ядер CUDA, 12 ГБ памяти, 1.43 ТФ**



Результаты

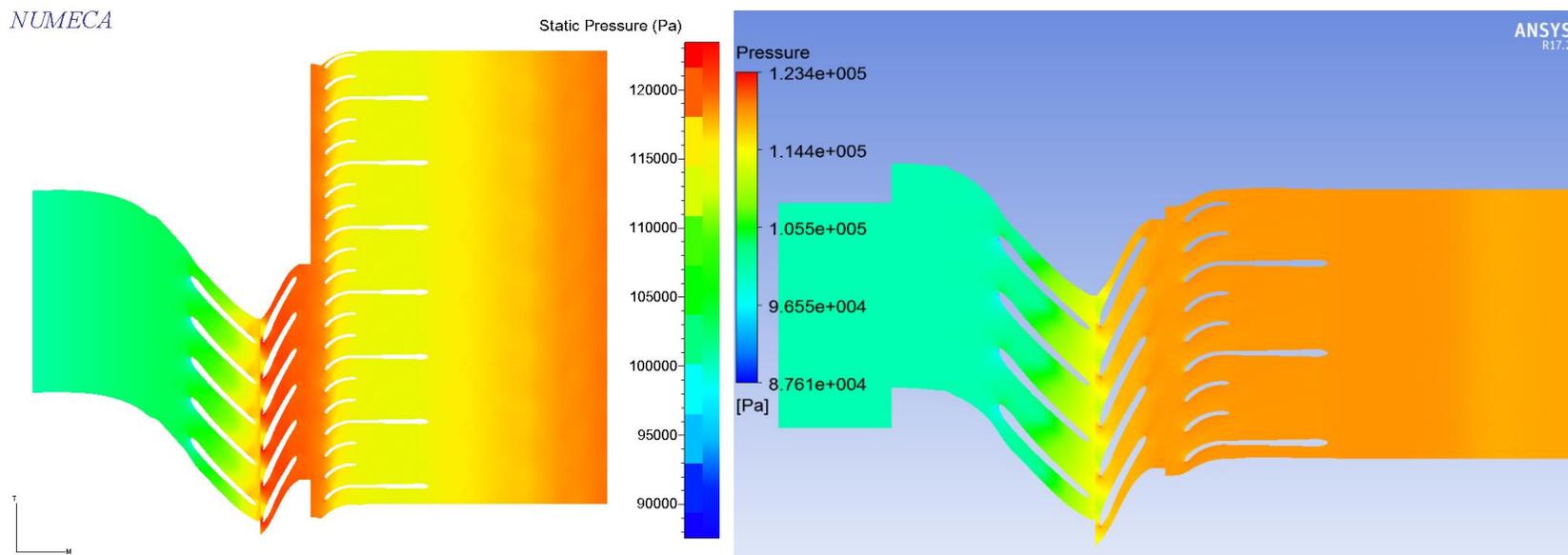
Меридиональное сечение

NUMECA



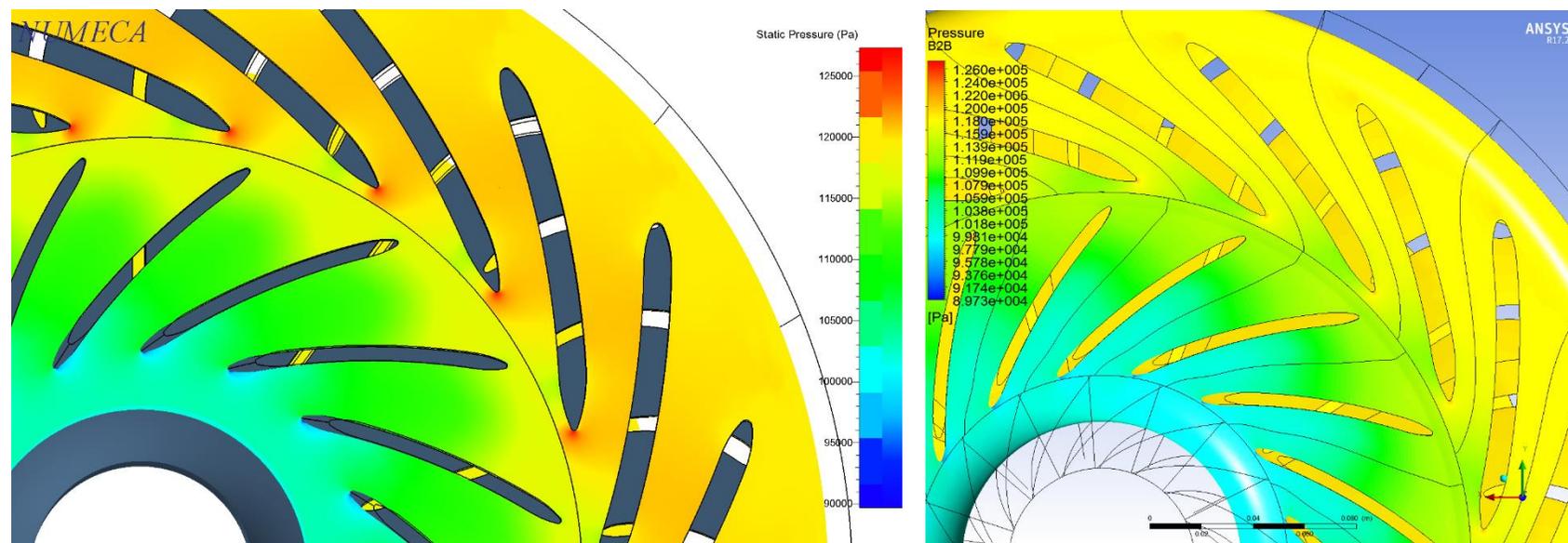
Blade-to-blade развертка

NUMECA

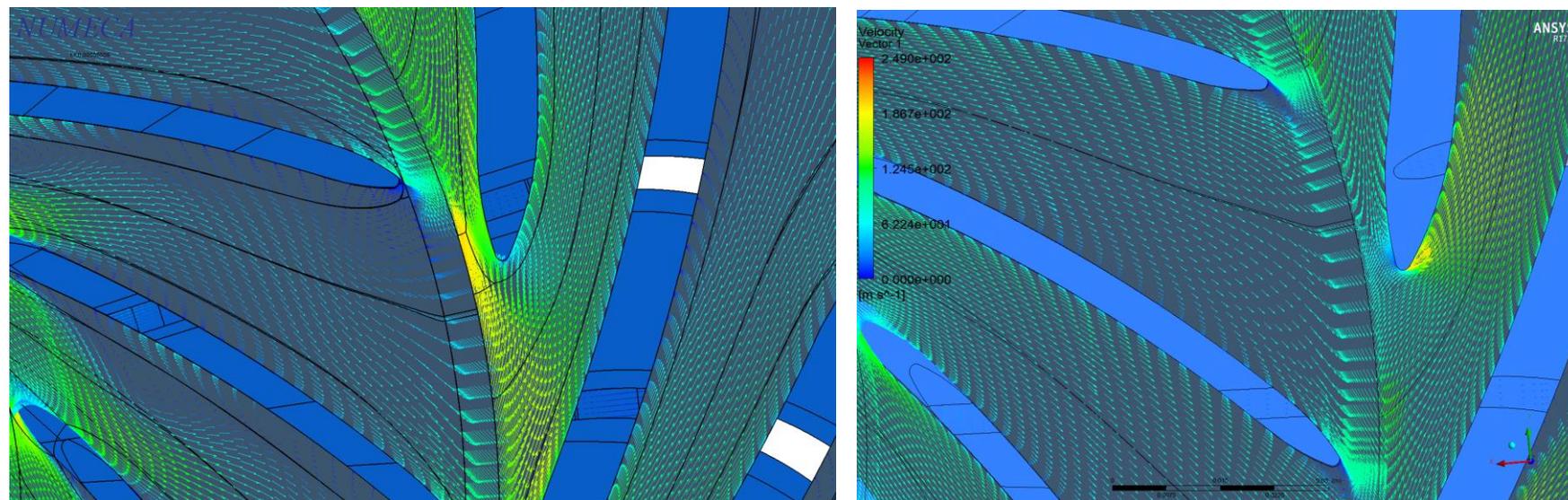


Результаты

Поле давления



Векторное поле скоростей



Сравнение производительности

Программный Комплекс	Тип постановки задачи	Размер Геометрии	Число Используемых ядер	Время расчета	Оперативная память, Мб
NUMECA	стационарная	1 сектор	28	18 минут	181
		180°	15	15 часов 15 минут	3935
	нестационарная	180°	120	51 час 9 минут	4060
ANSYS CFX	стационарная	1 сектор	28	3 часа 11 минут	9009
		1 сектор	112	45 минут	20807
		360°	56	3 часа 45 минут	26221
	нестационарная	1 сектор	224	9 часов 6 минут	38504