

# **Расчетные исследования течения в ступени осевого компрессора М-1**

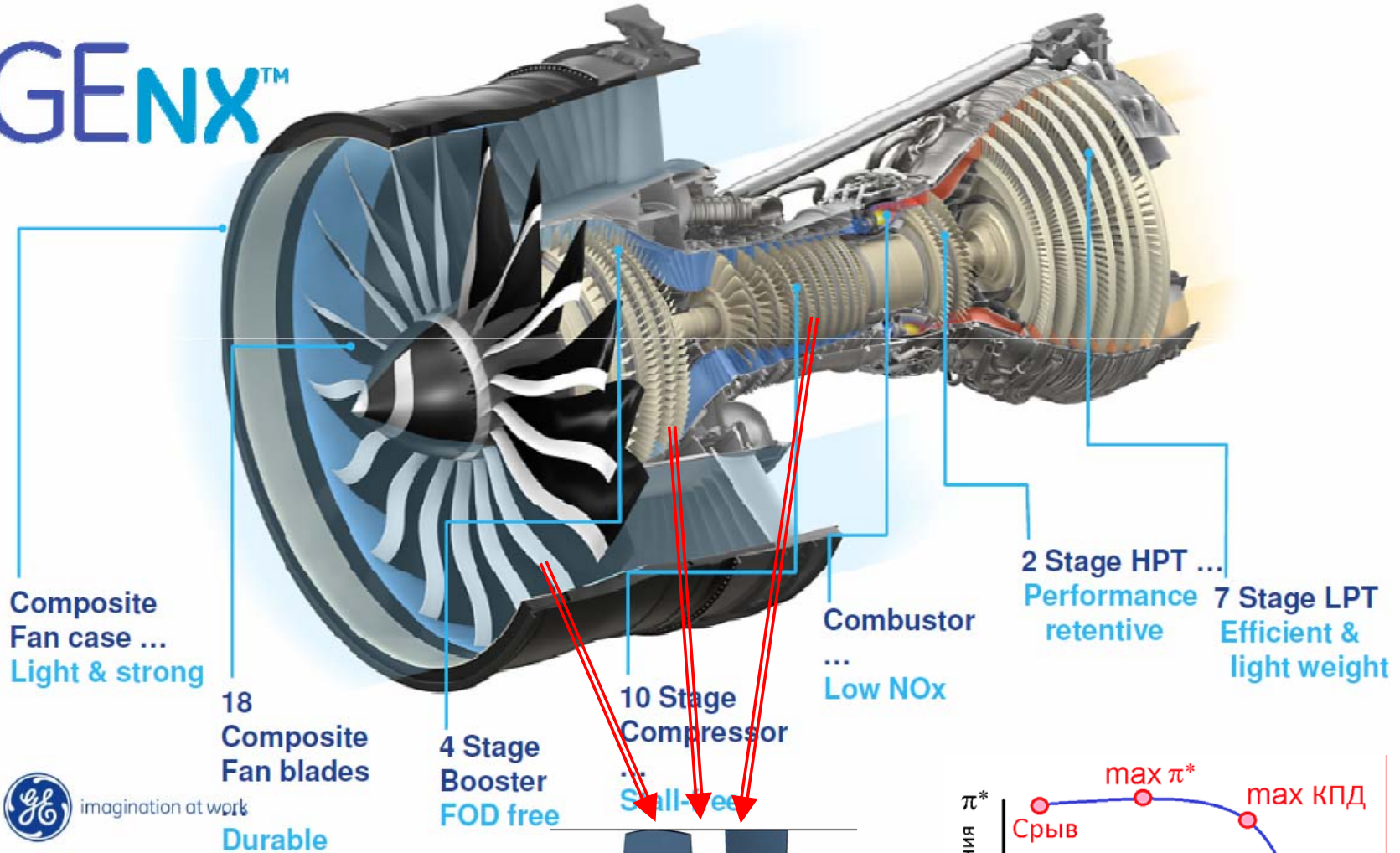
**К. Федечкин, Б. Кароник**

**ОКБ им. А. Люльки, Москва, Россия**

**2021 г.**

# Ступень компрессора – один из основных базовых элементов аэродинамики современных авиационных двигателей.

## GENX™

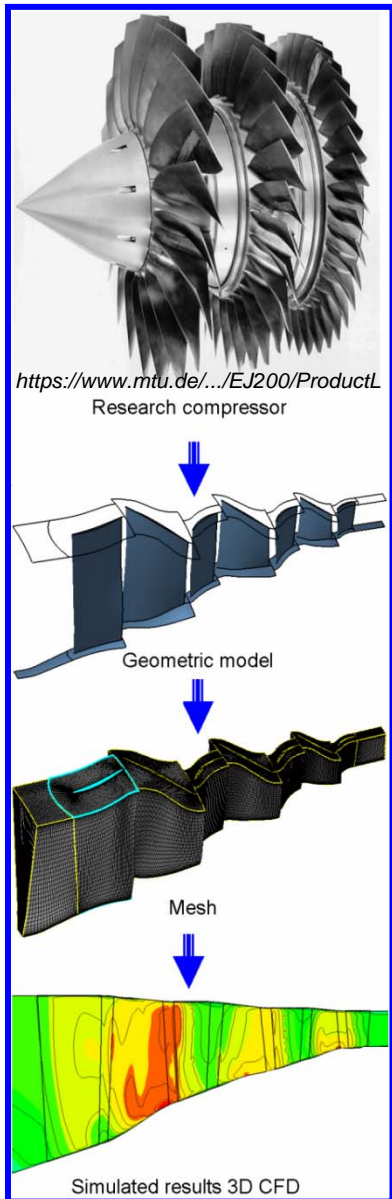


Ступень компрессора



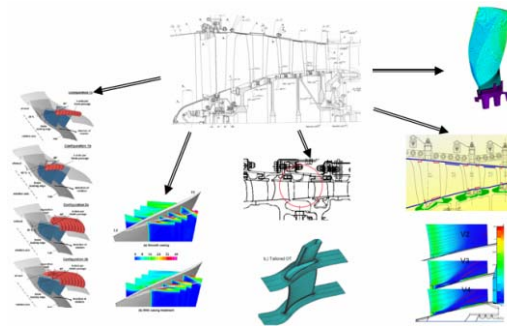
# Технология практического применения 3D CFD-код для расчета характеристик компрессора

## CFD-3D model

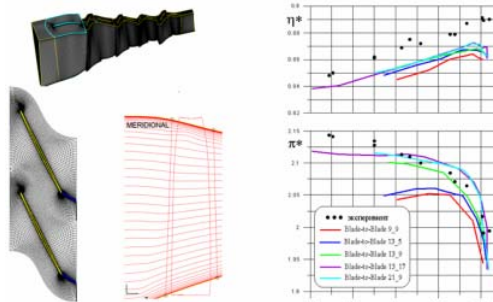


## Study specific feature affecting the calculation result

Quality and details of geometry model



Quality, topology, size and type of calculation mesh



Turbulence model, boundary and initial conditions, numerical model

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{G}}{\partial y} = 0$$

$$\frac{d}{dt} (Au_{i,j,k}) + \sum_{\alpha} \frac{\partial \bar{F}_{\alpha}}{\partial x} (F_{\alpha} \Delta y - G_{\alpha} \Delta x) = 0$$

$$u^* = u^*$$

$$u^* = u^* + \sigma_{\Delta t} \Delta t P(u^*)$$

$$u^* = u^* + \sigma_{\Delta t} \Delta t P(u^*)$$

$$u^{*n} = u^*$$

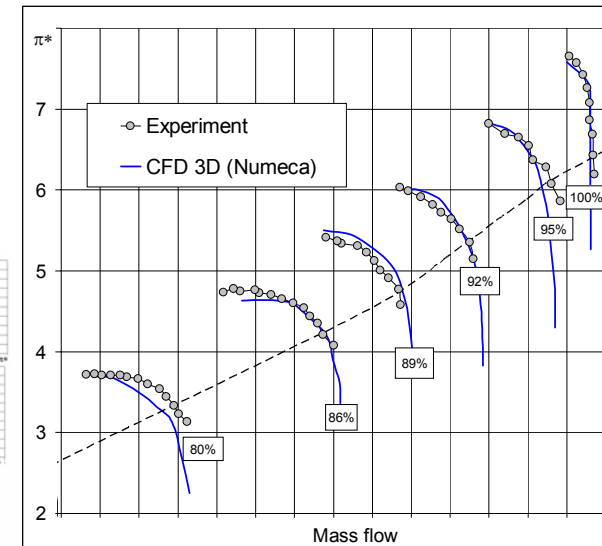
Модели турбулентности:  
- Алгебраическая  
- Боллусава - Лоуиса ( $\mu_t = \rho \kappa \epsilon$ )  
- 1 уравнение  
- Спаларта - Аллараса ( $\mu_t = \rho \kappa \epsilon$ )  
- 2 уравнения  
- нелинейных  
k-ε ( $\mu_t = f(\kappa, \epsilon, y)$ )

идентификация вычислительного алгоритма

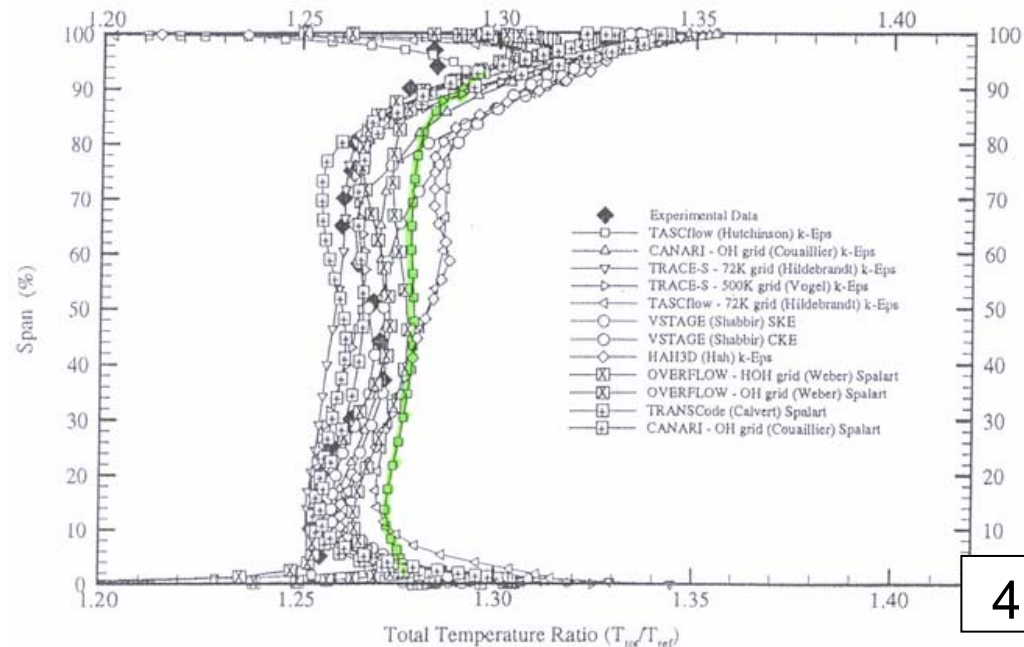
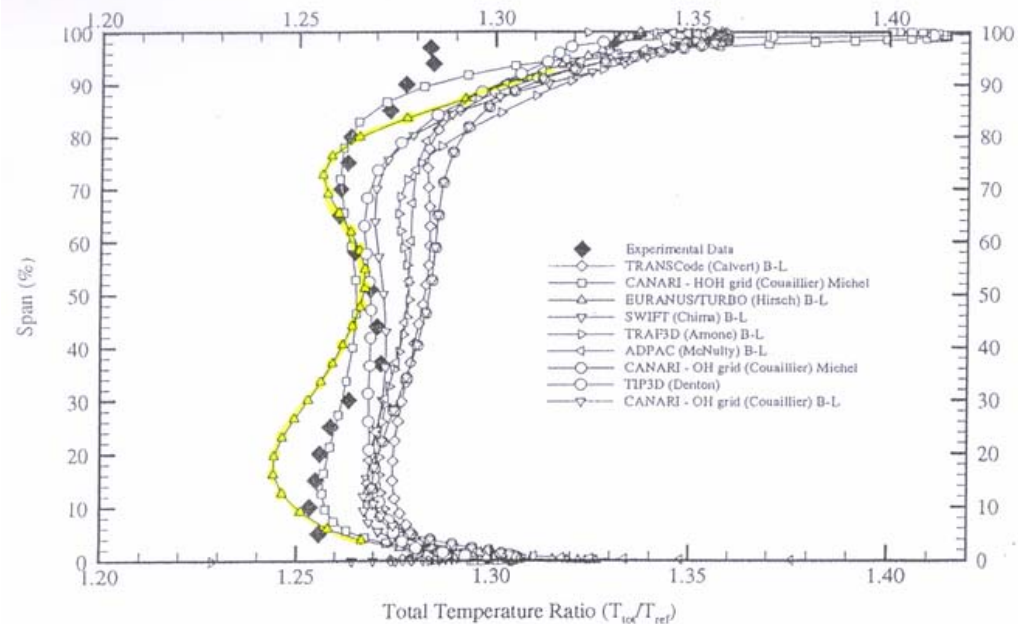
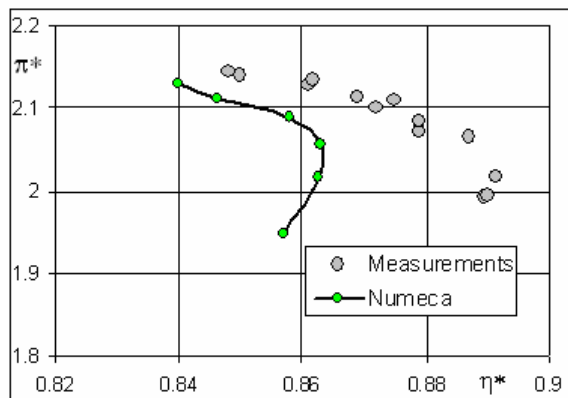
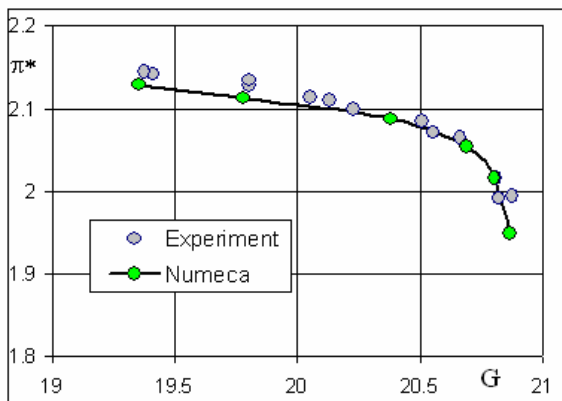
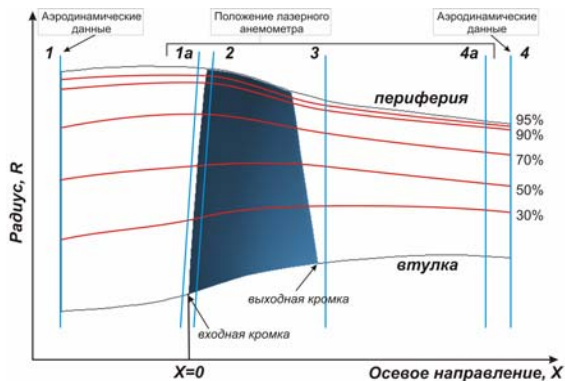
\$57,460 млн.



\$1,60 млн.

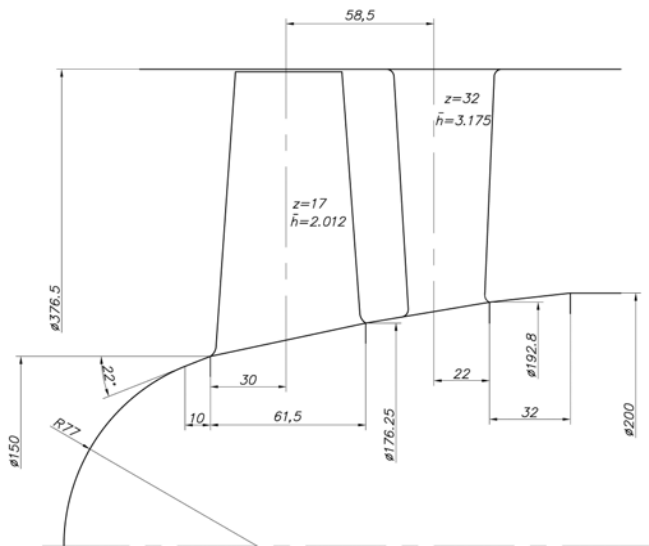
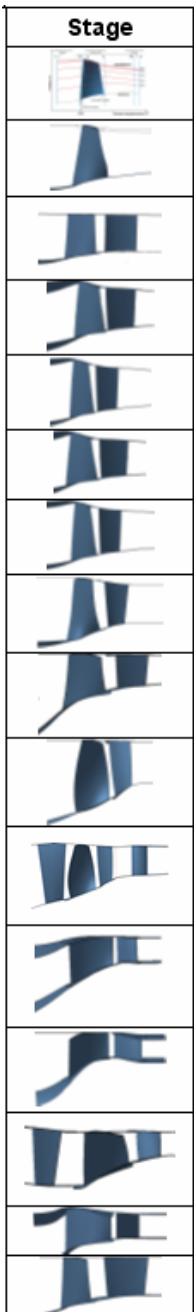


# Верификация 3D CDF - экспериментальный лопаточный венец NASA «Rotor 37»

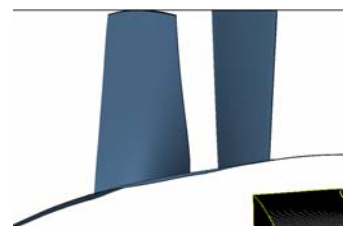
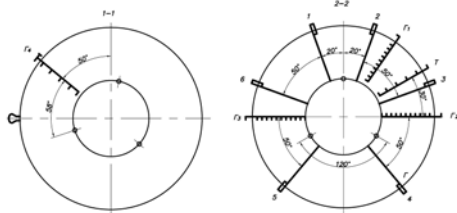
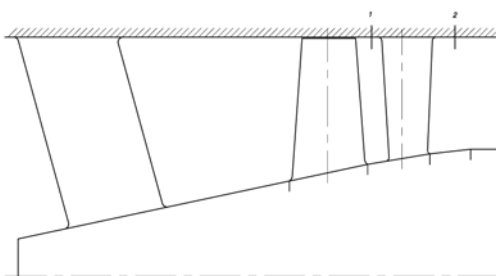




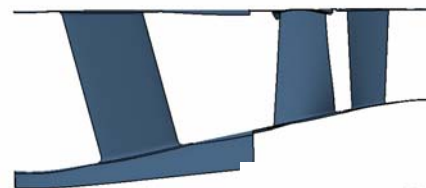
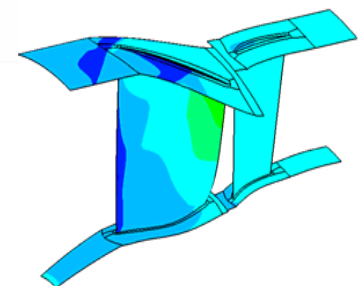
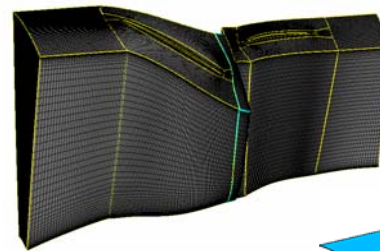
# Ступень осевого компрессора М-1



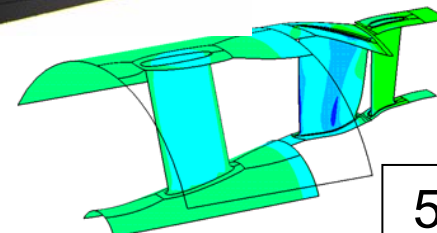
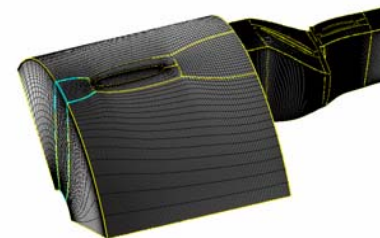
$G=20.0$  кг/с.,  $U_k=360$  м/с,  $\pi^*=1.5$ ,  $d_{BT}=0.4$ .



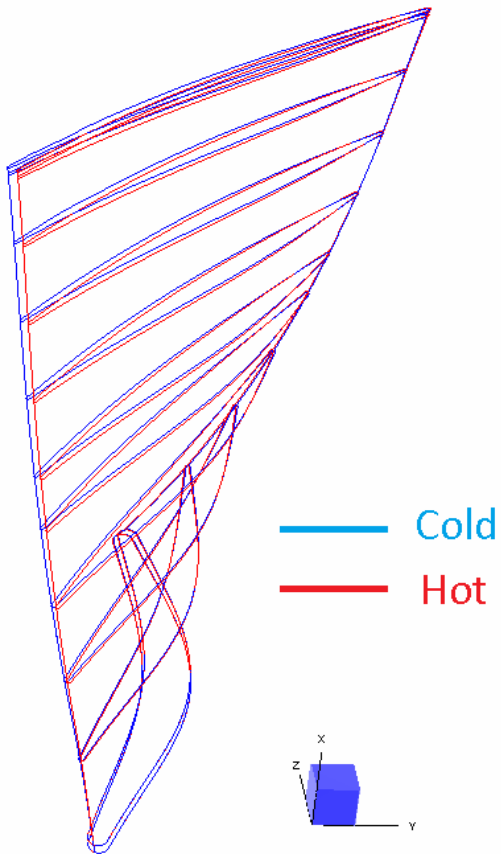
Model A



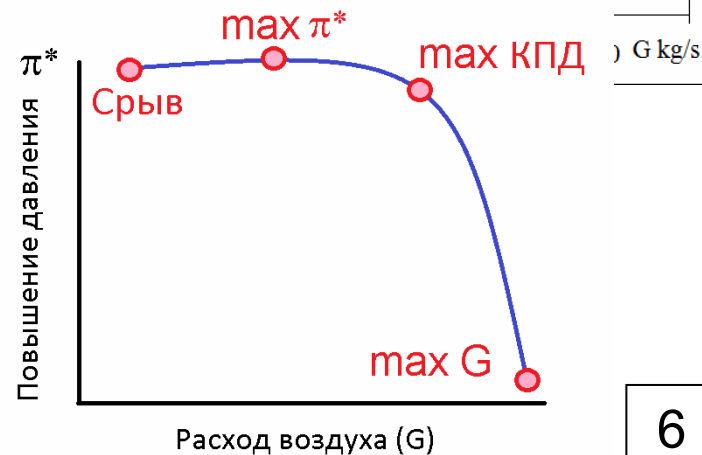
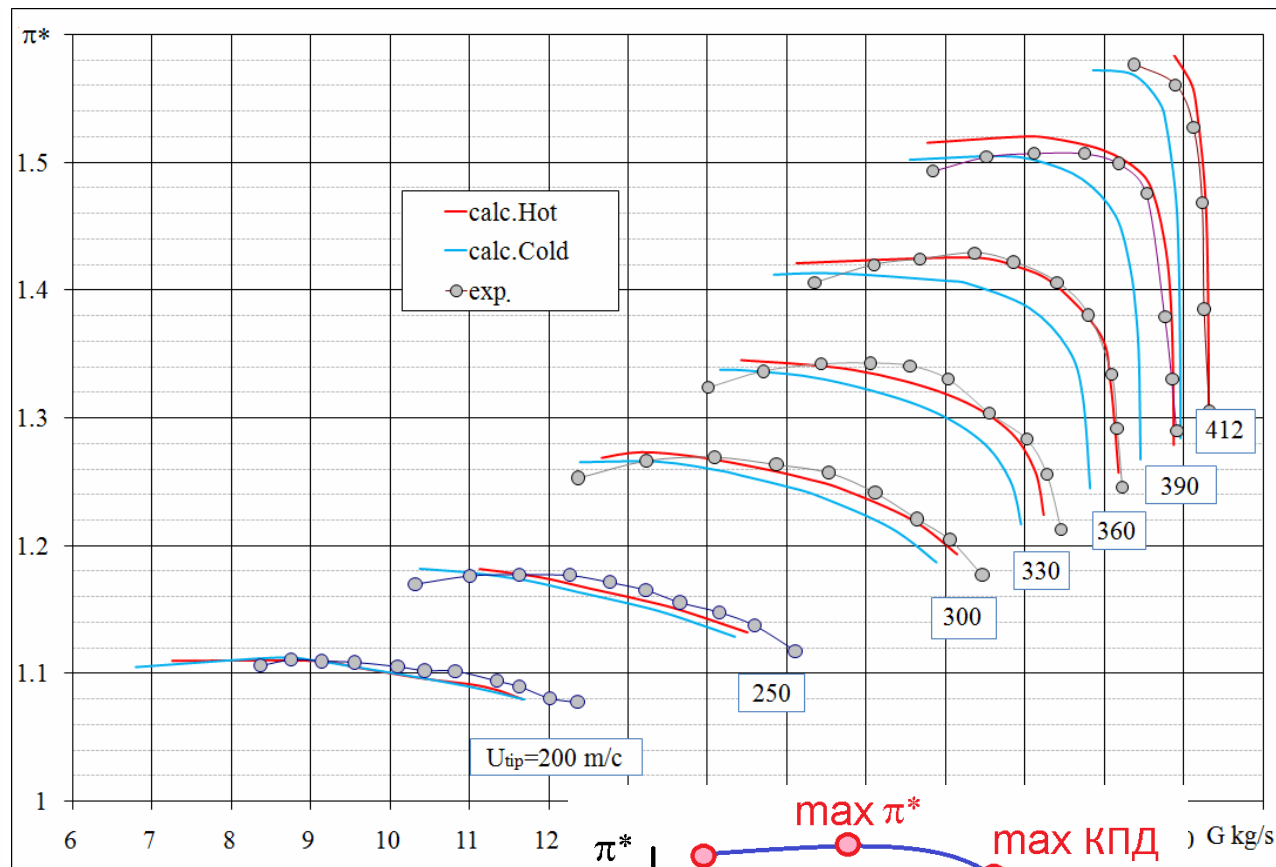
Model B



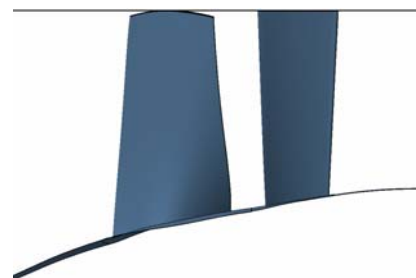
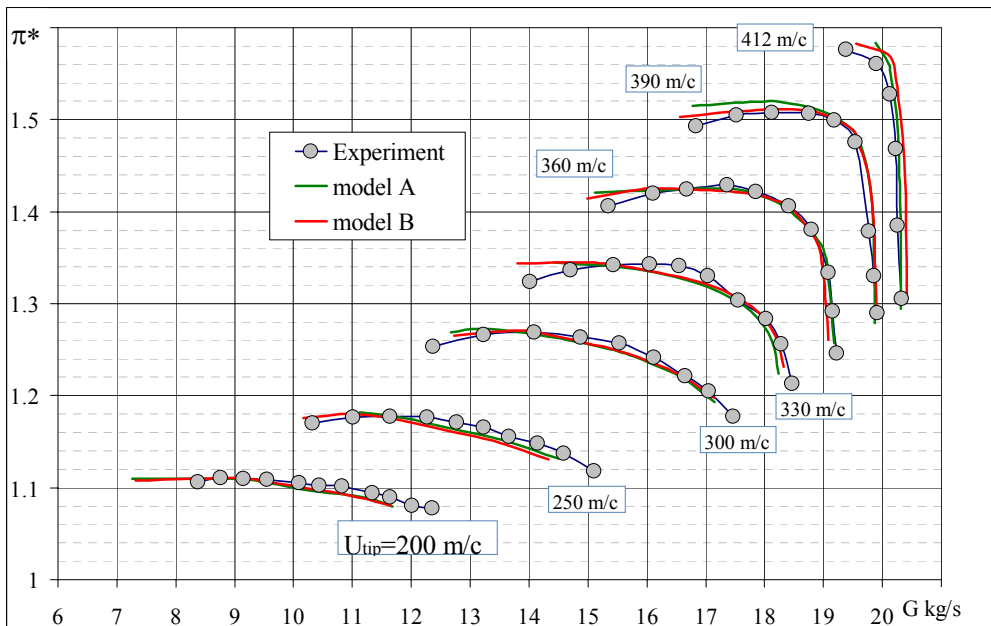
# Влияние напряженно-деформированного состояния рабочего колеса на характеристику ступени.



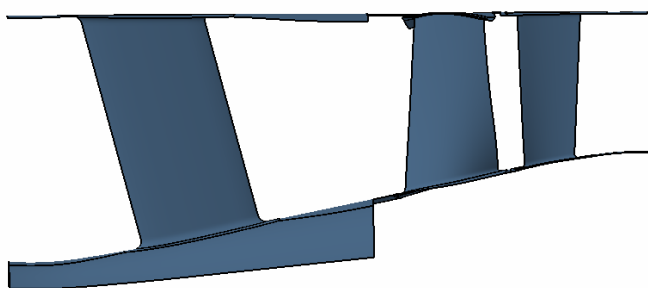
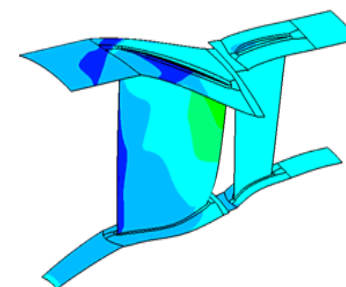
Геометрическая модель рабочего колеса в монтажном и напряженно-деформированном состоянии для  $n=18261$  об/мин ( $U=360$  м/с).



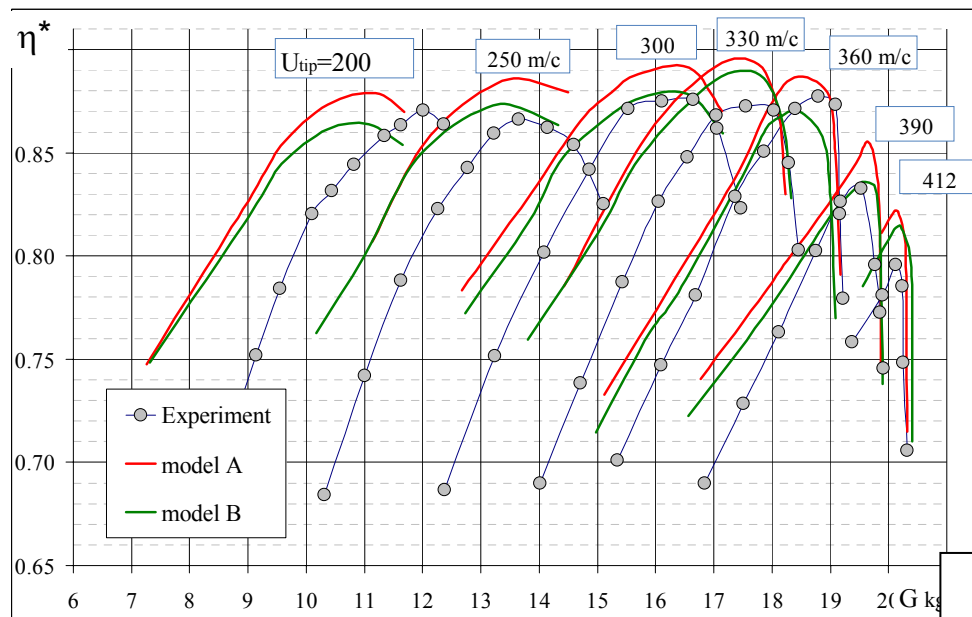
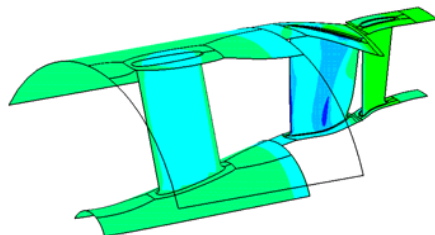
# Влияние конфигурации расчетной модели (условий на входе в рабочее колесо) на характеристику ступени.



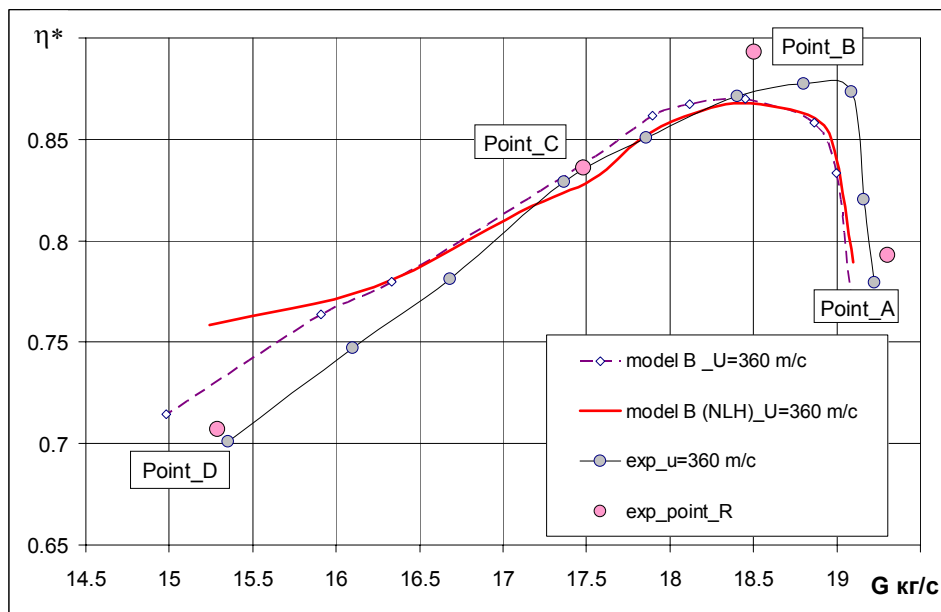
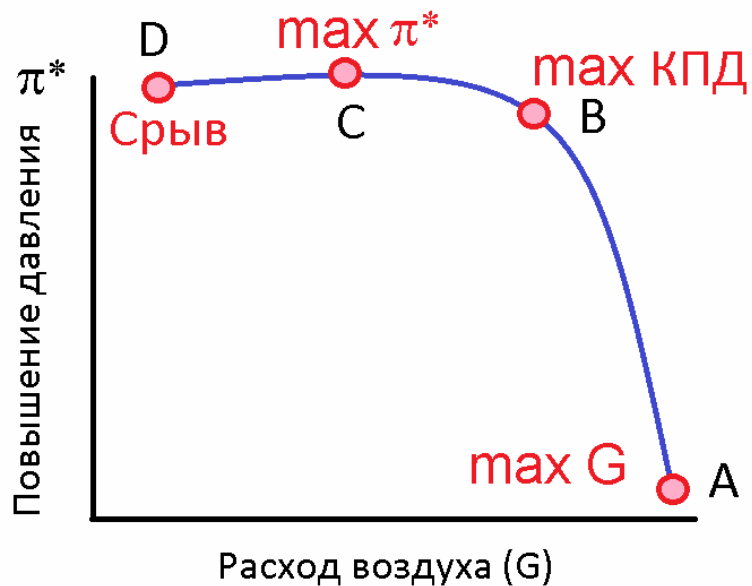
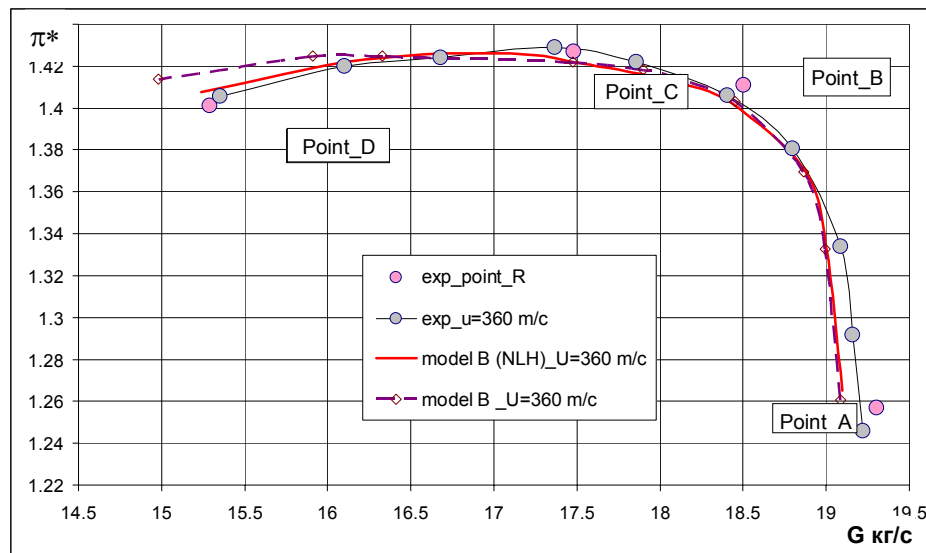
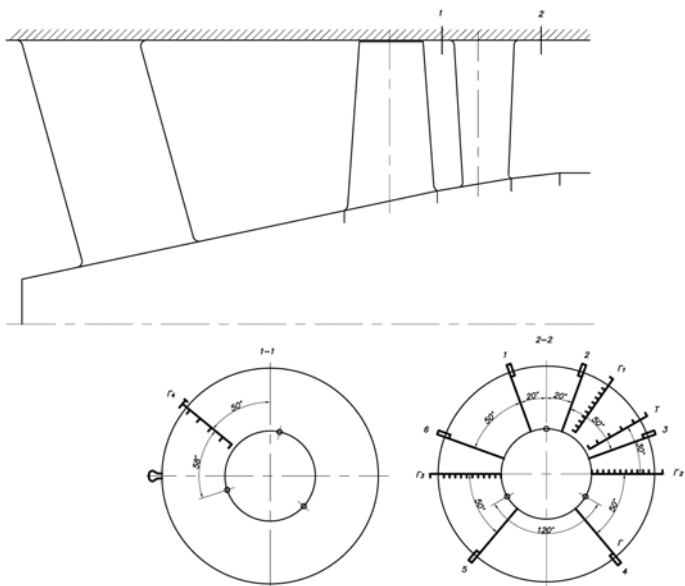
Model A



Model B

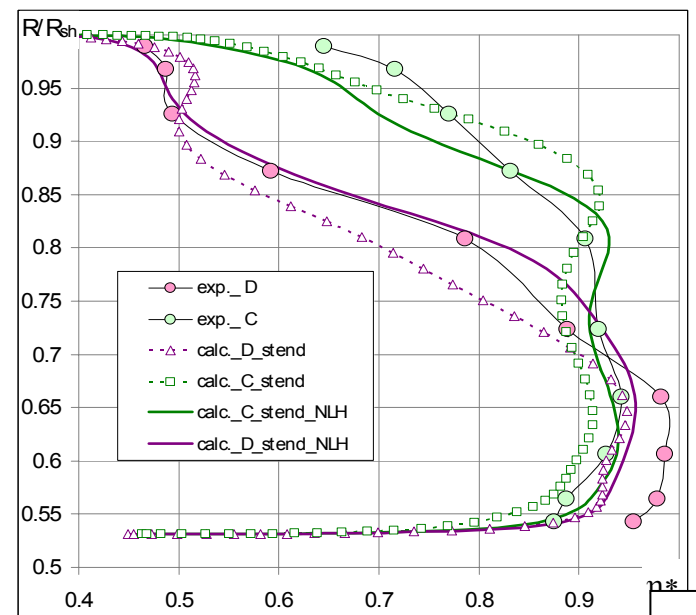
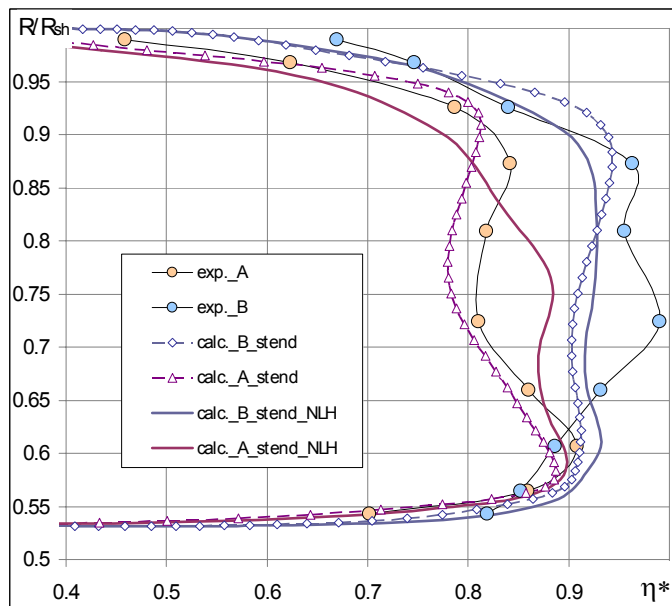
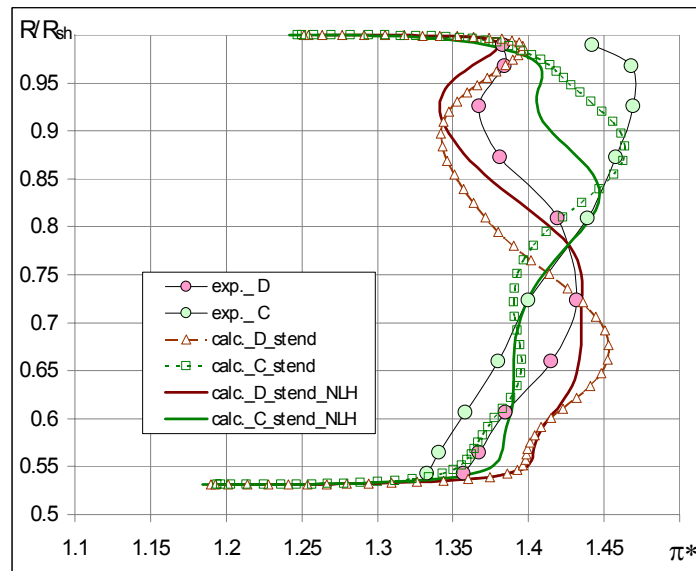
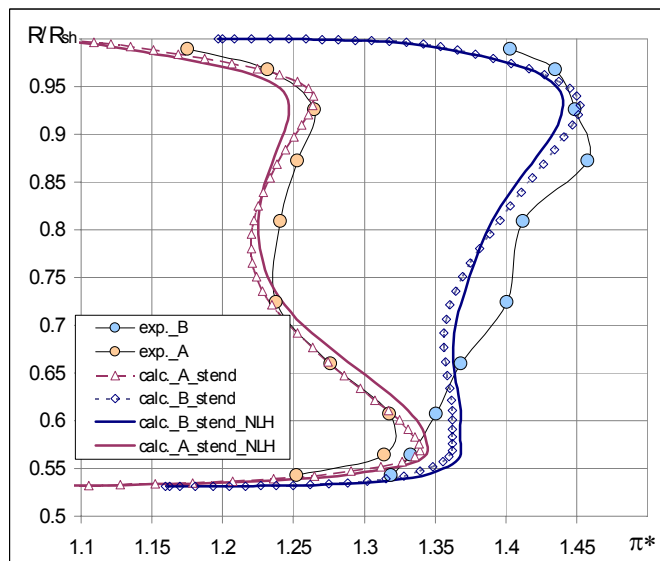
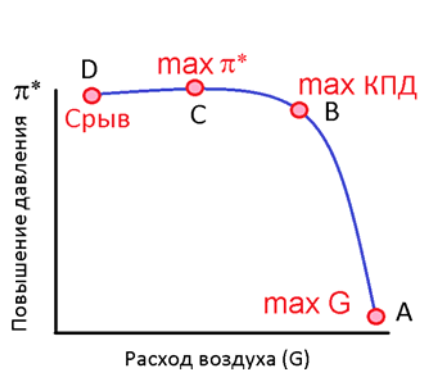


# Анализ изменения характера течения в ступени при её дросселировании

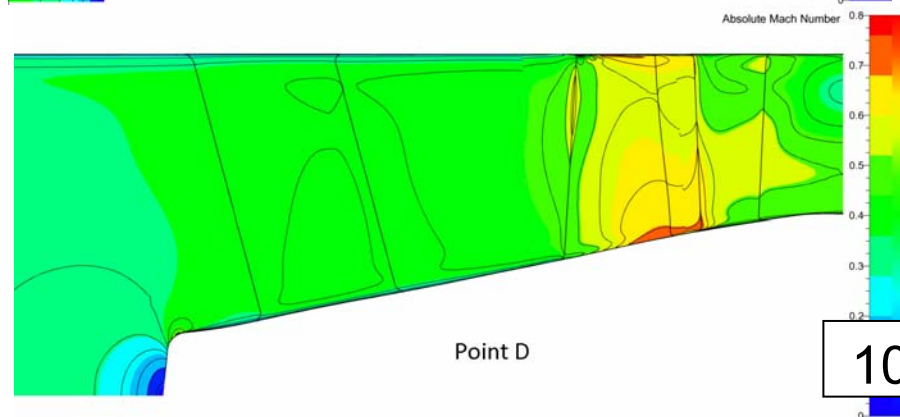
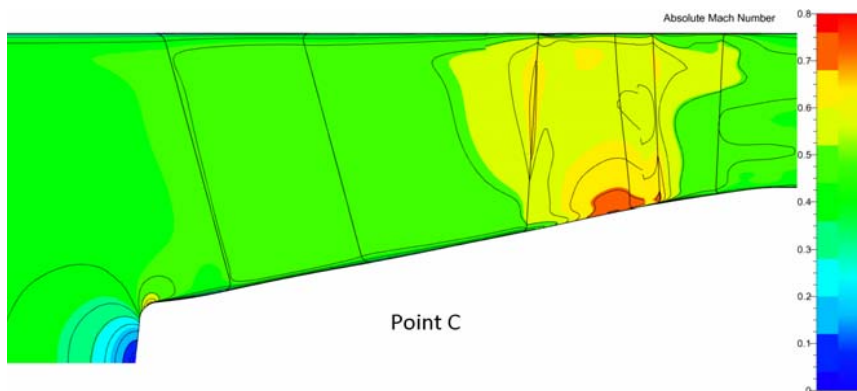
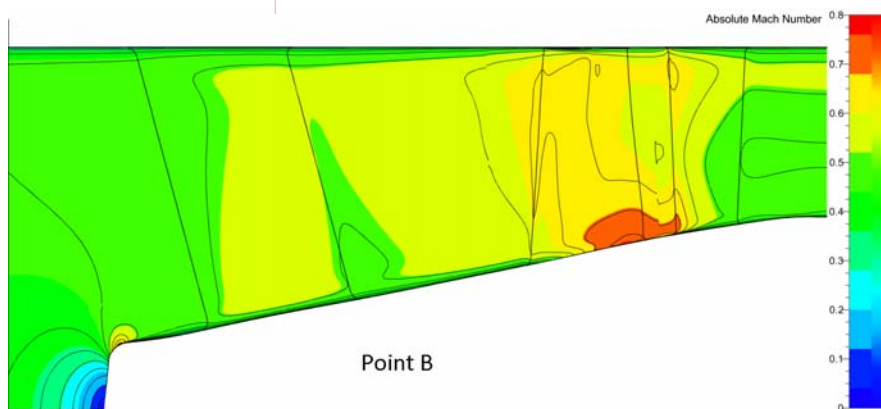
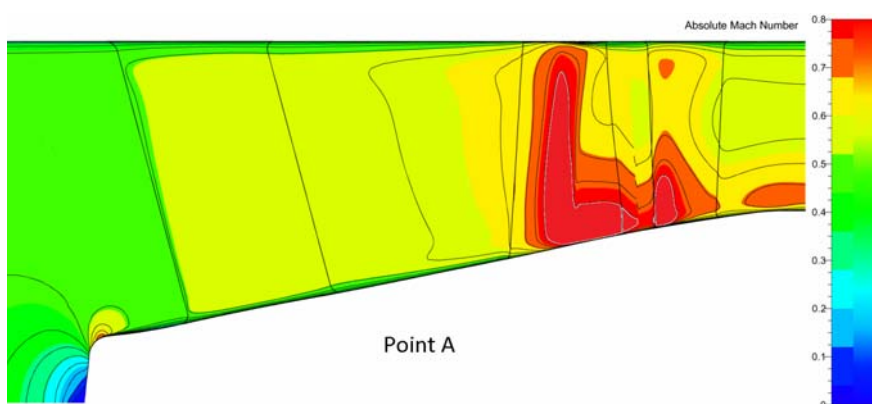
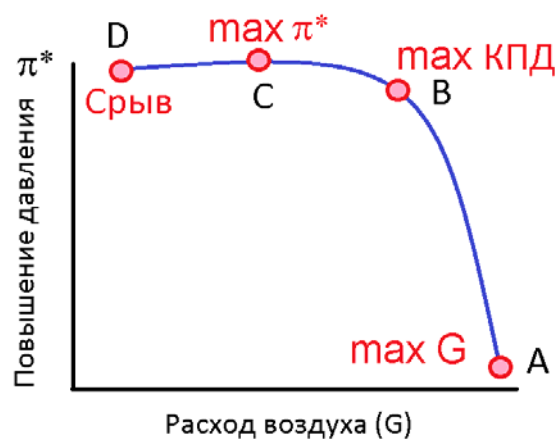




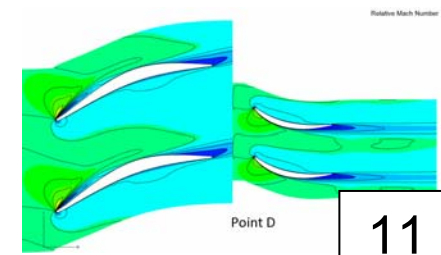
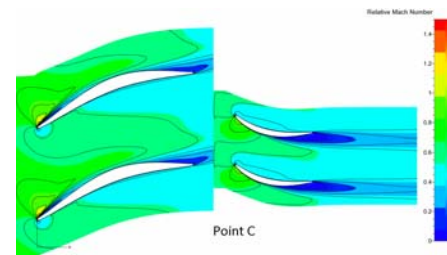
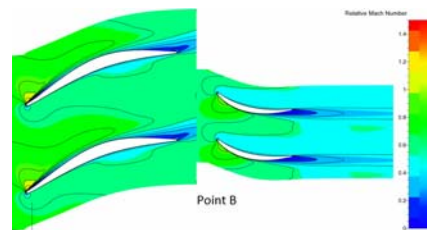
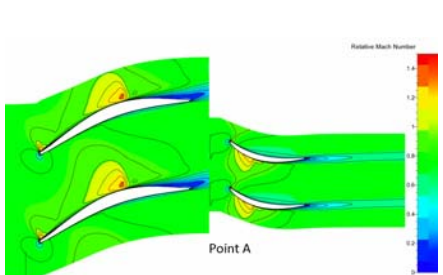
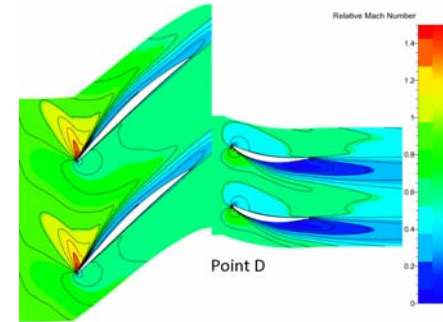
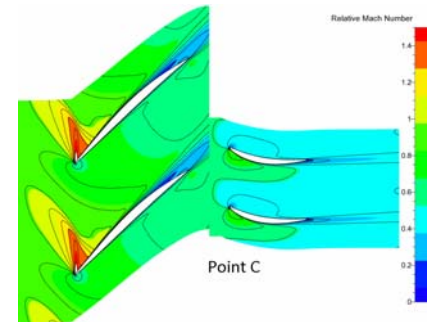
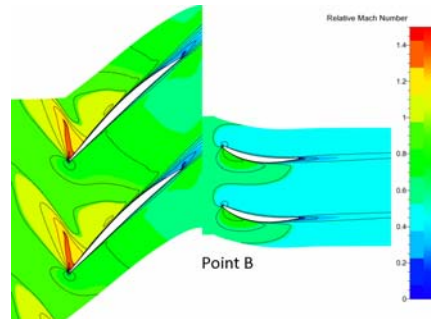
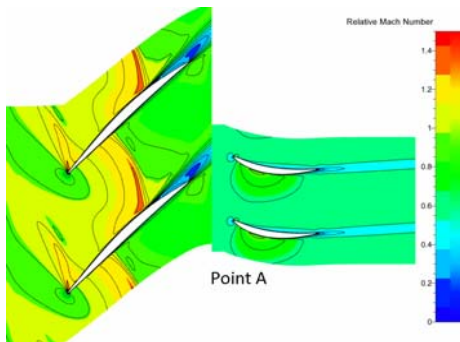
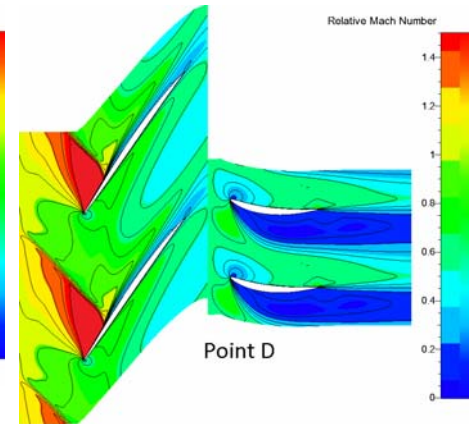
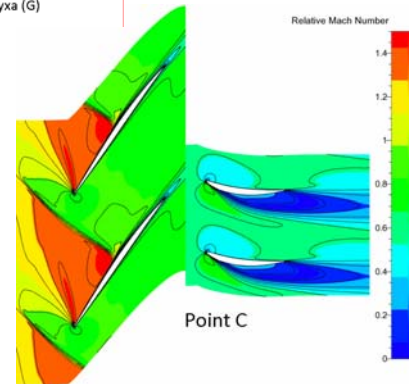
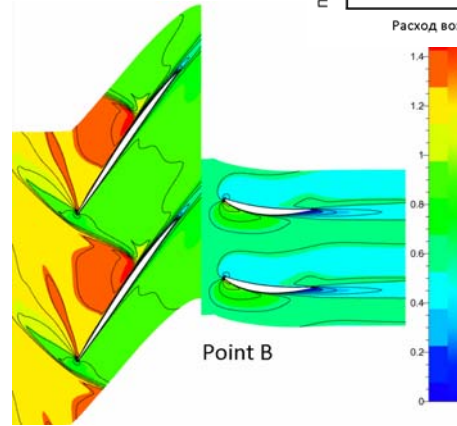
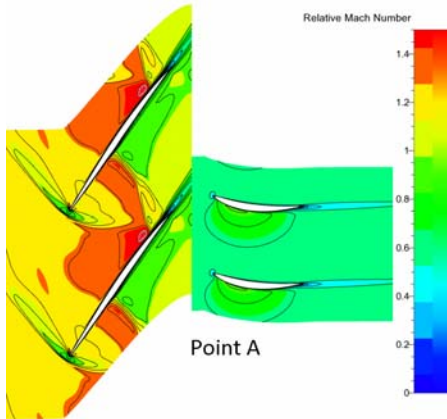
# Распределение степени повышения давления и КПД по высоте проточной части за ступенью в различных точках напорной ветки



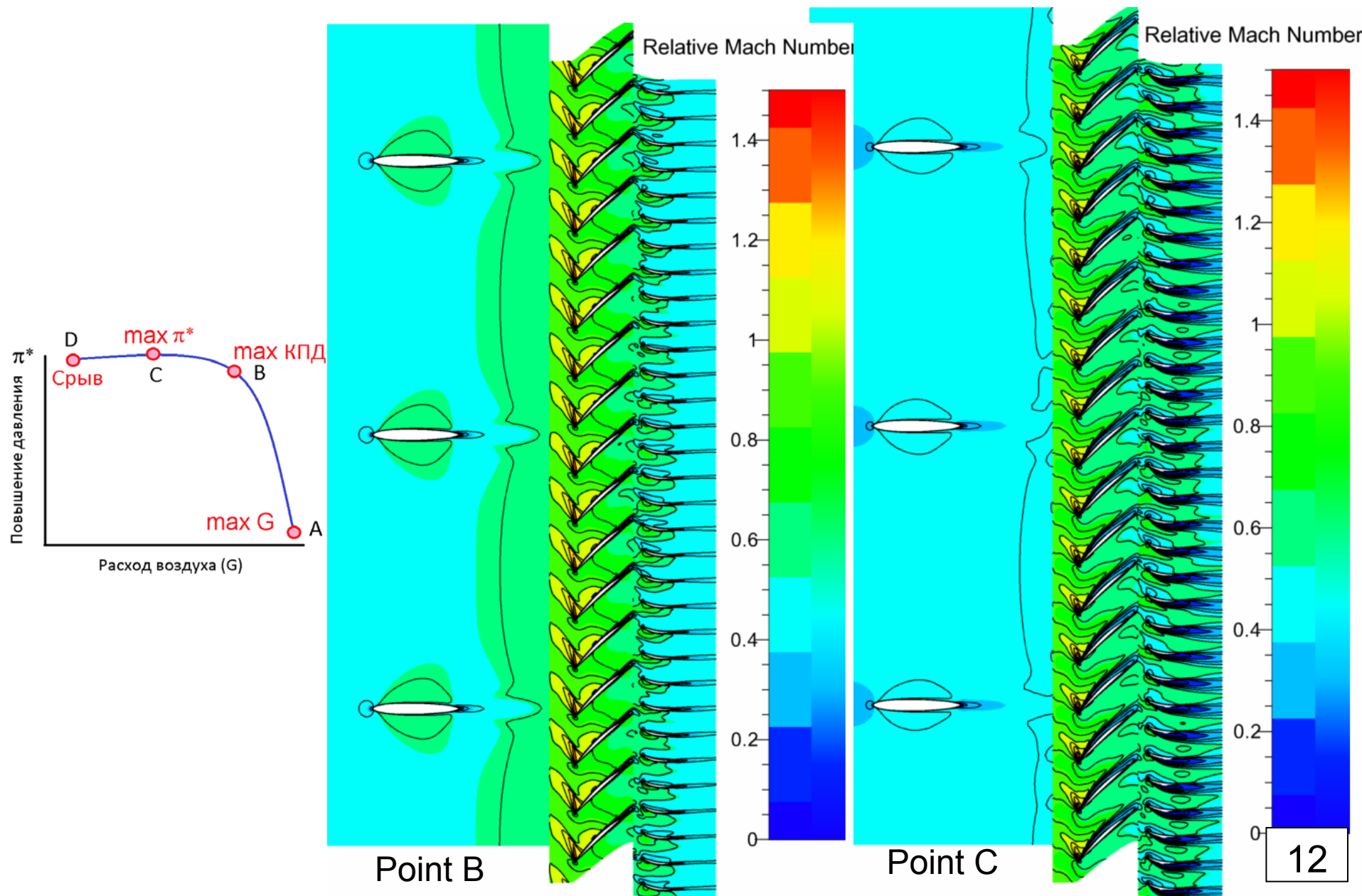
# Распределение числа М в абсолютном движении в меридиональной плоскости в различных точках напорной ветки



# Характерная картина течения в плоскости решеток для 90,50,10% высоты проточной части в различных точках напорной ветки



# Характерная картина течения в плоскости решеток для 50% высоты проточной части в различных точках напорной ветки (нестационарный расчет)



## **Выводы:**

- Созданная расчетная CFD–модель ступени осевого компрессора на базе численного метода реализованного NUMECA Fine/Turbo описывает все геометрические особенности реальной ступени и позволяет получать расчетные характеристики ступени близкие к экспериментальным данным.
- При оценке расчетным способом расхода воздуха через ступень осевого компрессора необходимо учитывать напряженно-деформированное состояние лопатки рабочего колеса.
- Использование при моделировании ротор-статор взаимодействия NLH-метода позволяет получить наиболее достоверную картину течения в срывной области работы ступени осевого компрессора.