

# *ЭНТехМаш*

Нестационарное взаимодействие входных  
камер и рабочих колёс  
в стационарных центробежных  
компрессорах

Любимов А.Н.  
Докладчик - Чеглаков И.В.

# НПФ «ЭНТЕХМАШ»

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ  
ФИРМА

**ЭнТехМаш**

Научно-производственная фирма  
«ЭНТЕХМАШ»

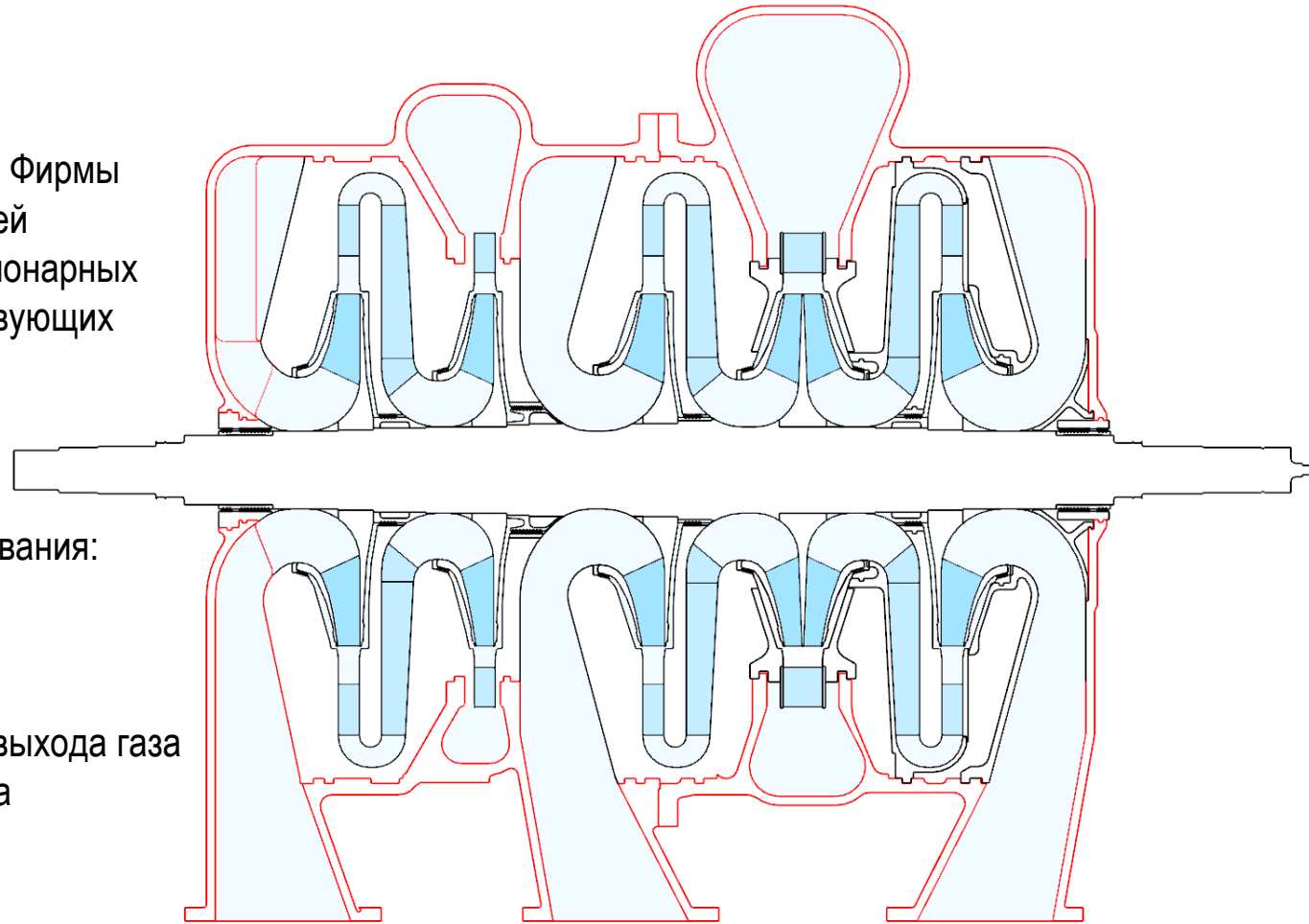
- основана в 1991 году.
- производство и модернизация центробежных компрессорных машин.
- более 170 сотрудников.
- производственная площадь – 5600 м<sup>2</sup>.

# Стационарный компрессор

Основная деятельность Фирмы связана с модернизацией проточных частей стационарных компрессоров в существующих корпусах.

Ограничения проектирования:

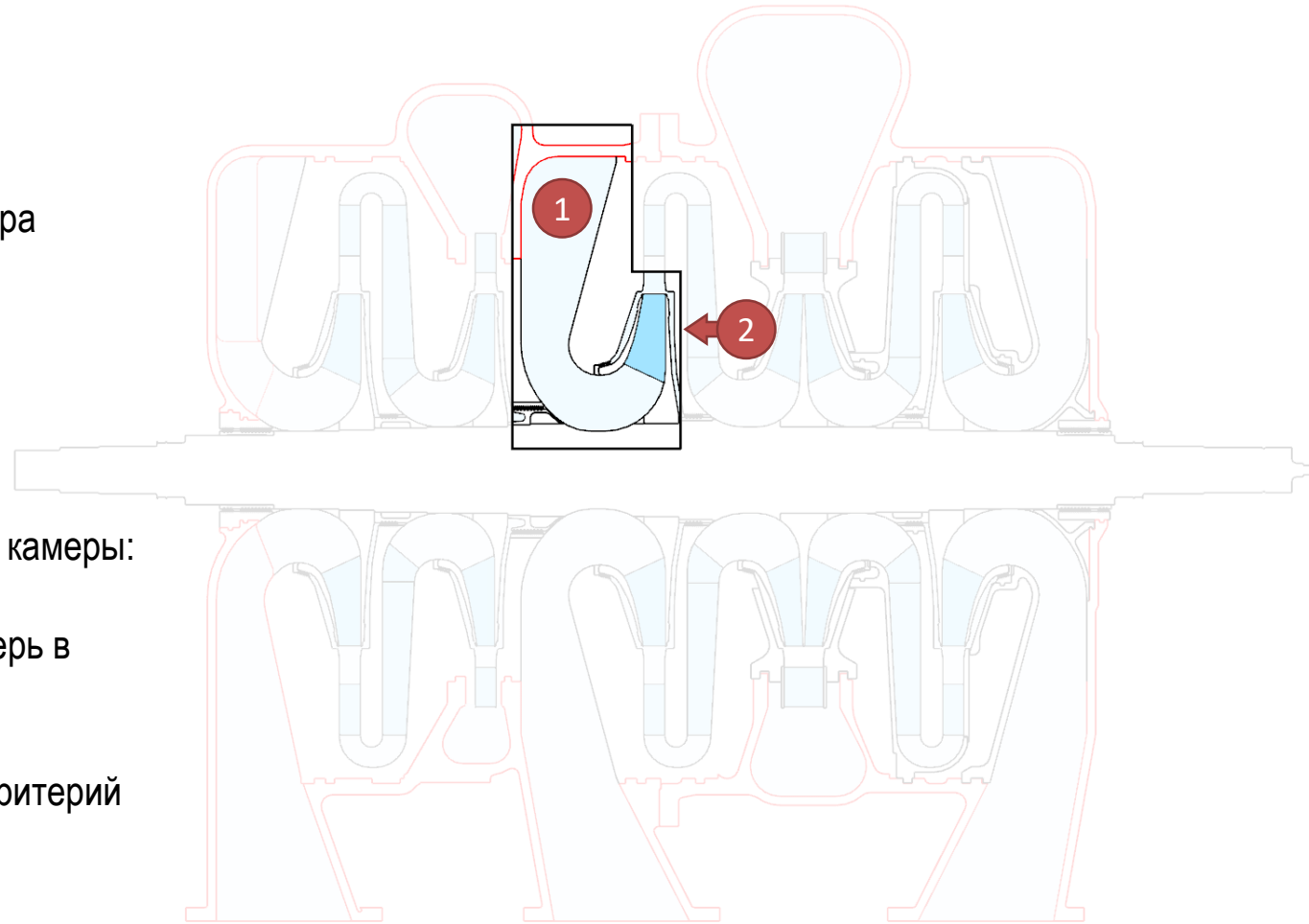
- сроки поставки
- цена
- габариты корпуса
- положение входа и выхода газа
- число оборотов вала



# Задача

Объект исследования:

1. всасывающая камера
2. рабочее колесо



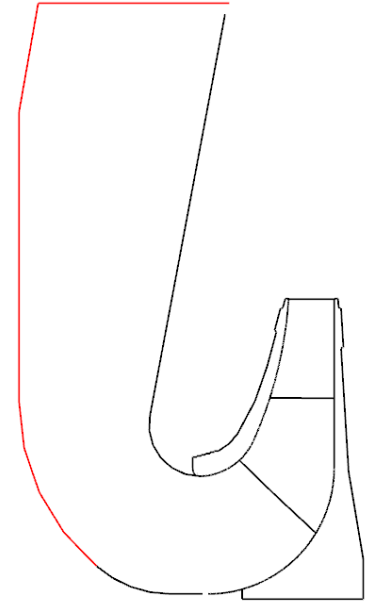
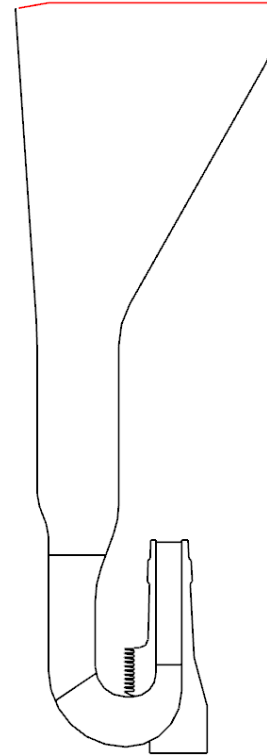
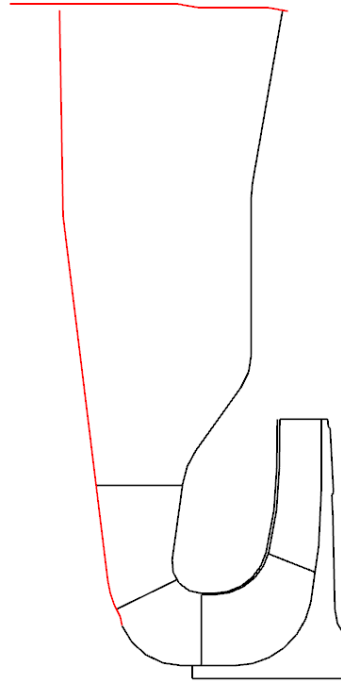
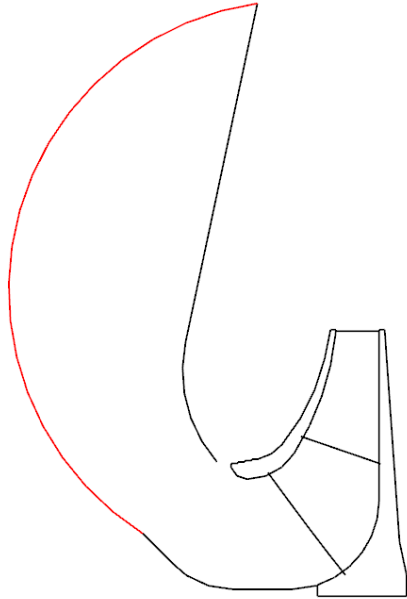
Задачи проектирования камеры:

- Технологичность
- Низкий уровень потерь в камере

Существует ещё один критерий

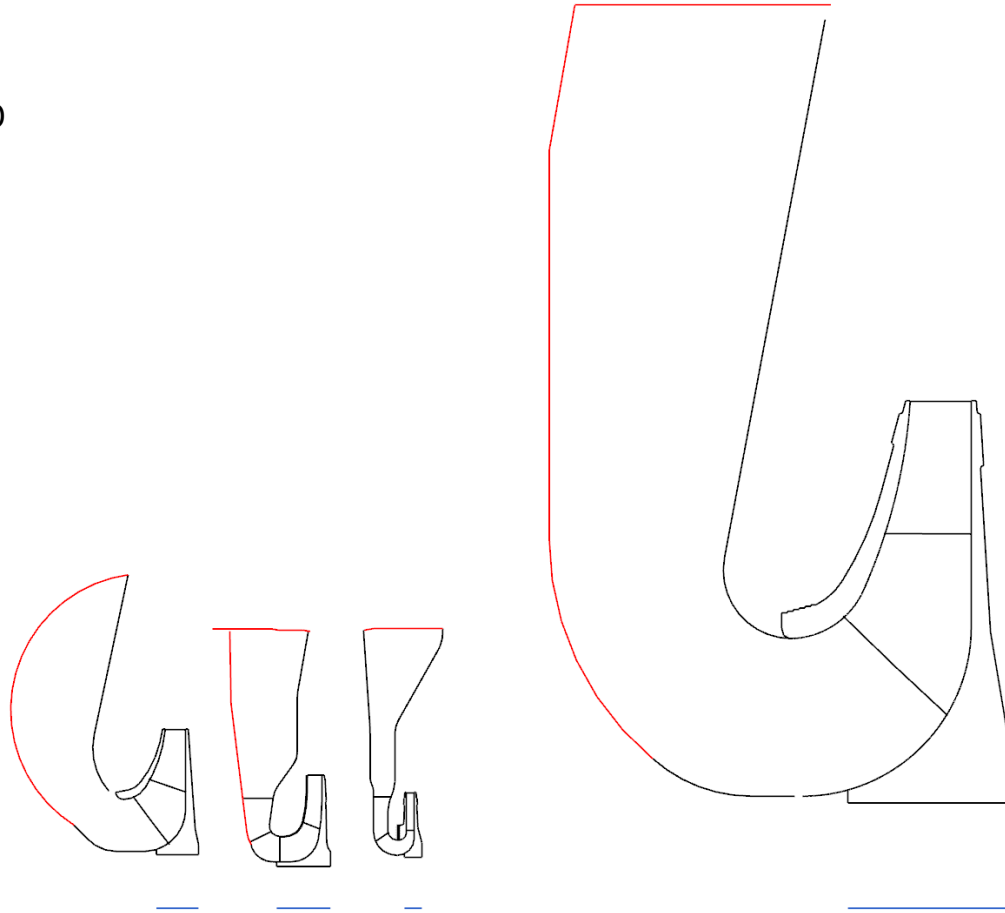
# Исследуемые камеры с колёсами

Колёса приведены к одному диаметру  $D_2$



# Исследуемые камеры с колёсами

Реальный размер

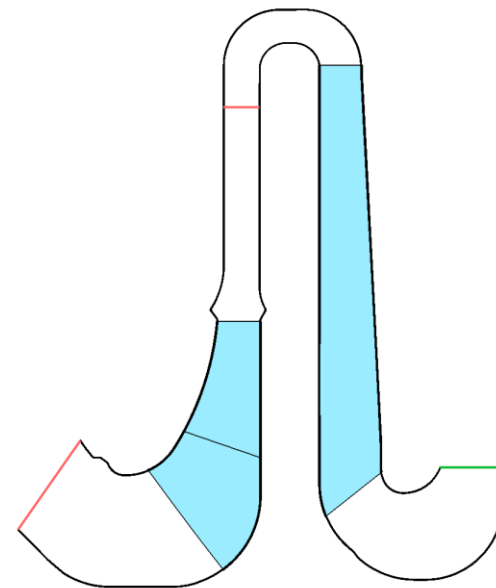
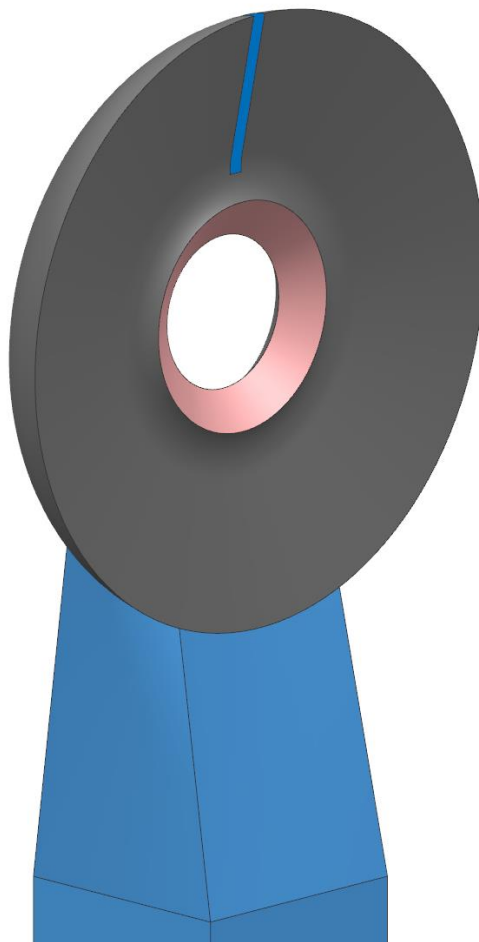
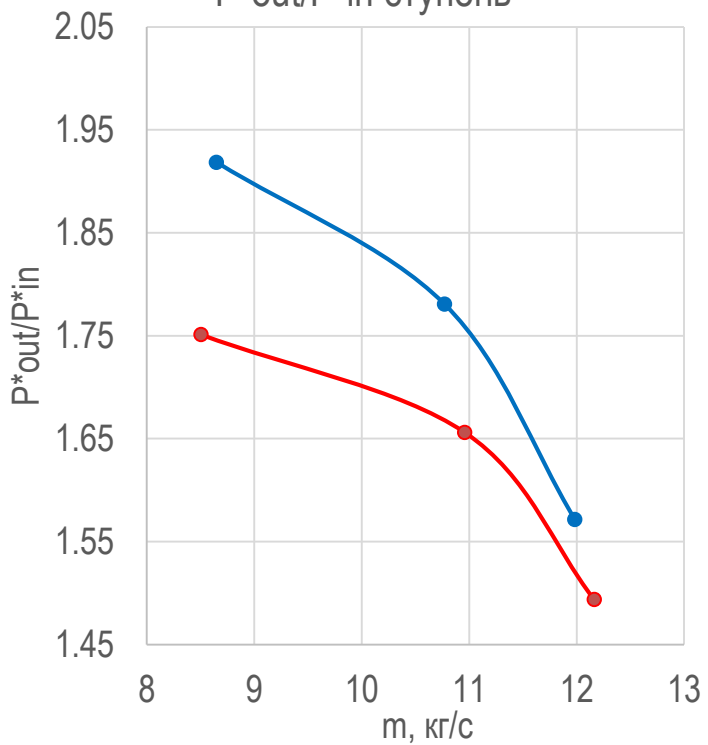


# Компрессор углекислого газа

23 ступени сжатия

Рабочее тело – углекислый газ

$P^*_{out}/P^*_{in}$  ступень

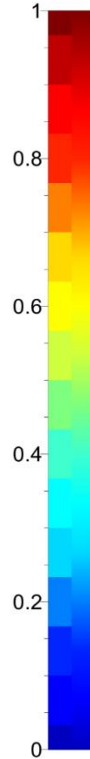
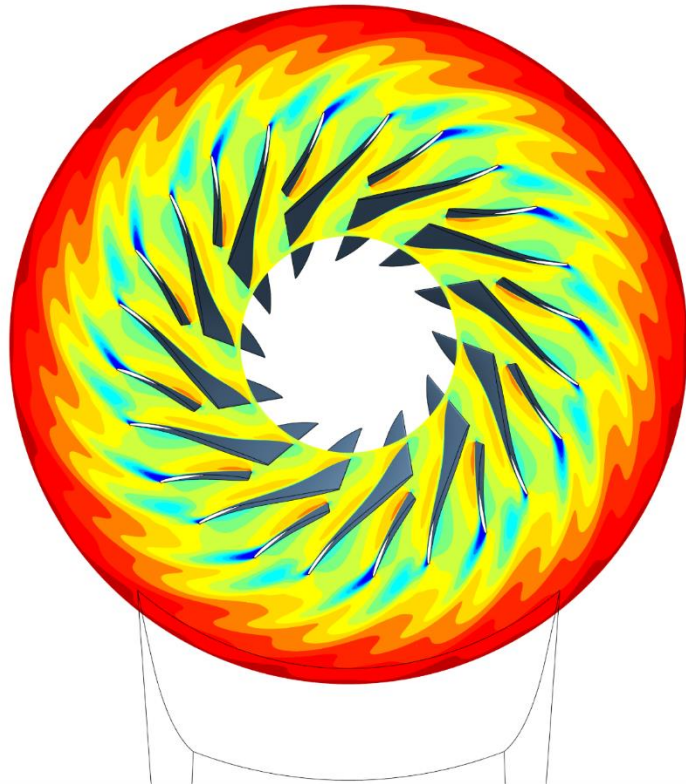


-7% отн. отношение давлений  
-8% абс. КПД\* политропный  
Тот же уровень потерь в камере  
+16% к-т потерь в ОНА

# Относительная скорость в рабочем колесе

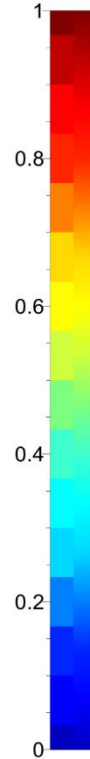
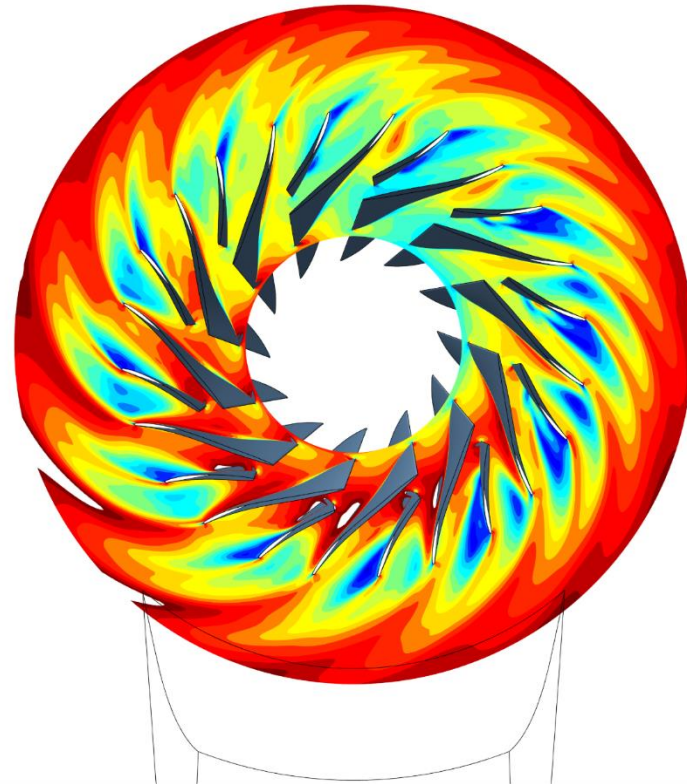
NUMECA

Relative Mach Number



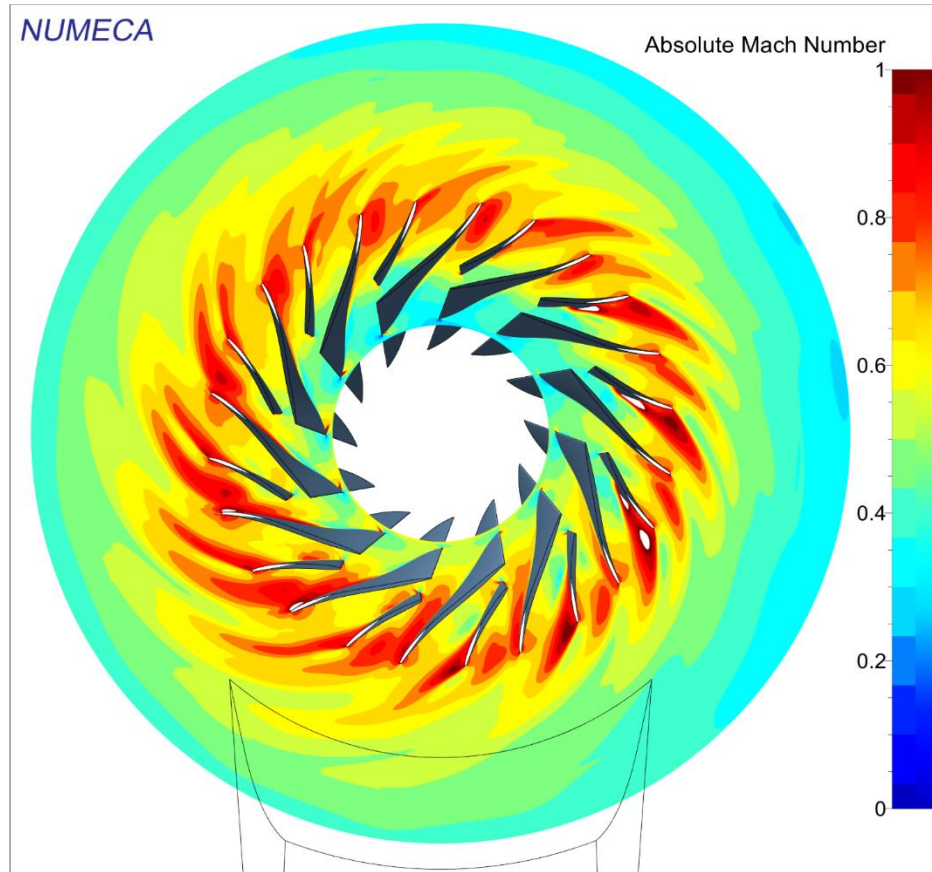
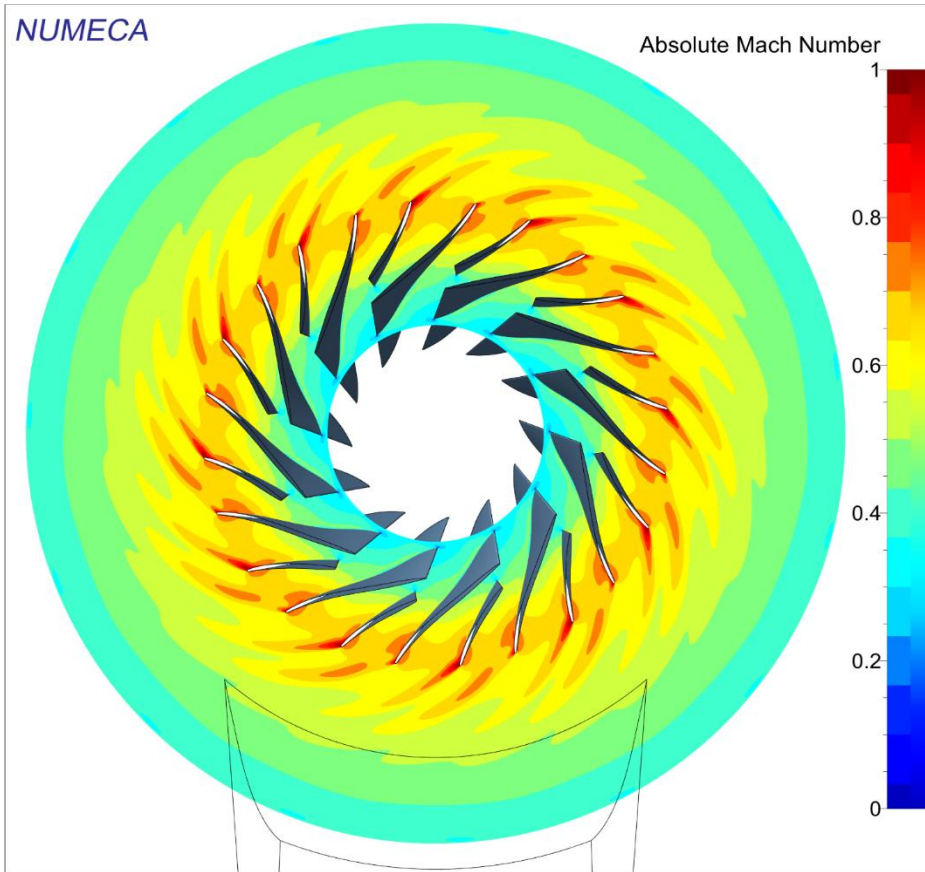
NUMECA

Relative Mach Number

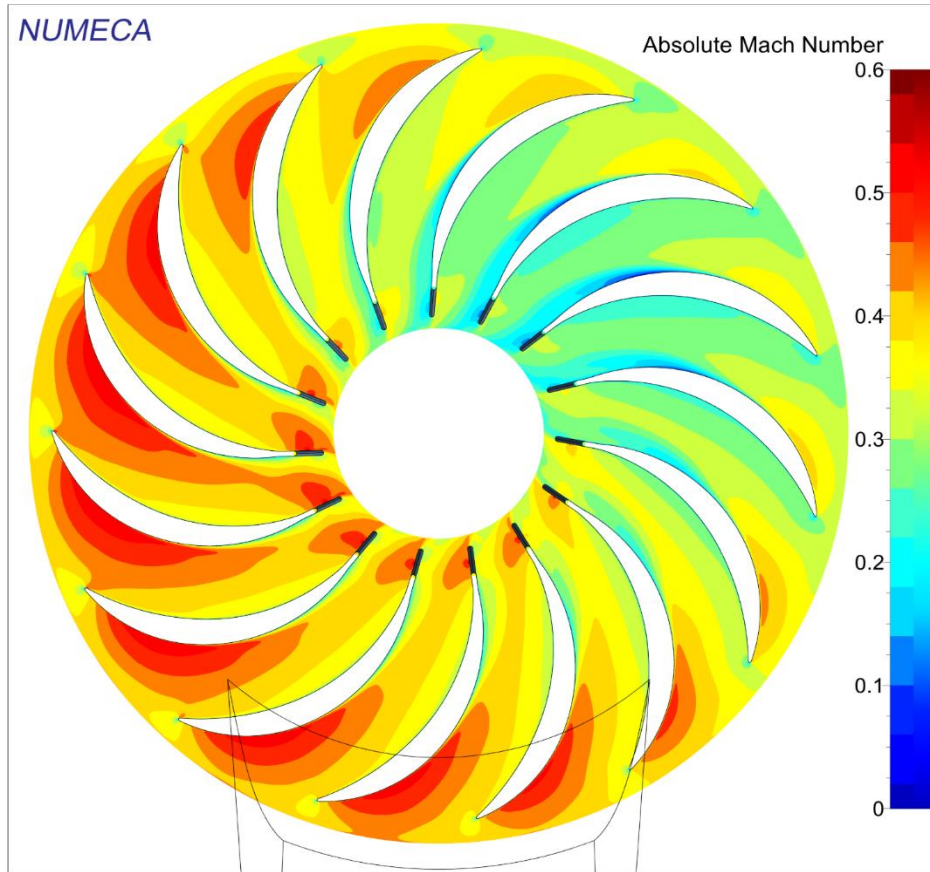
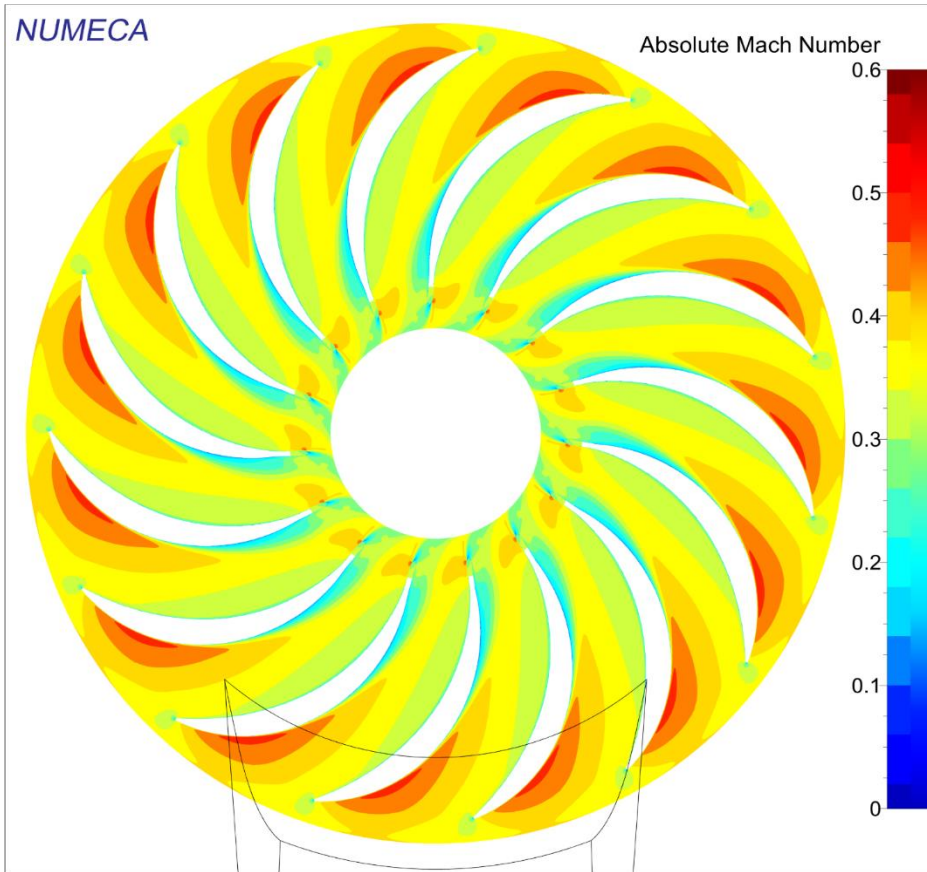




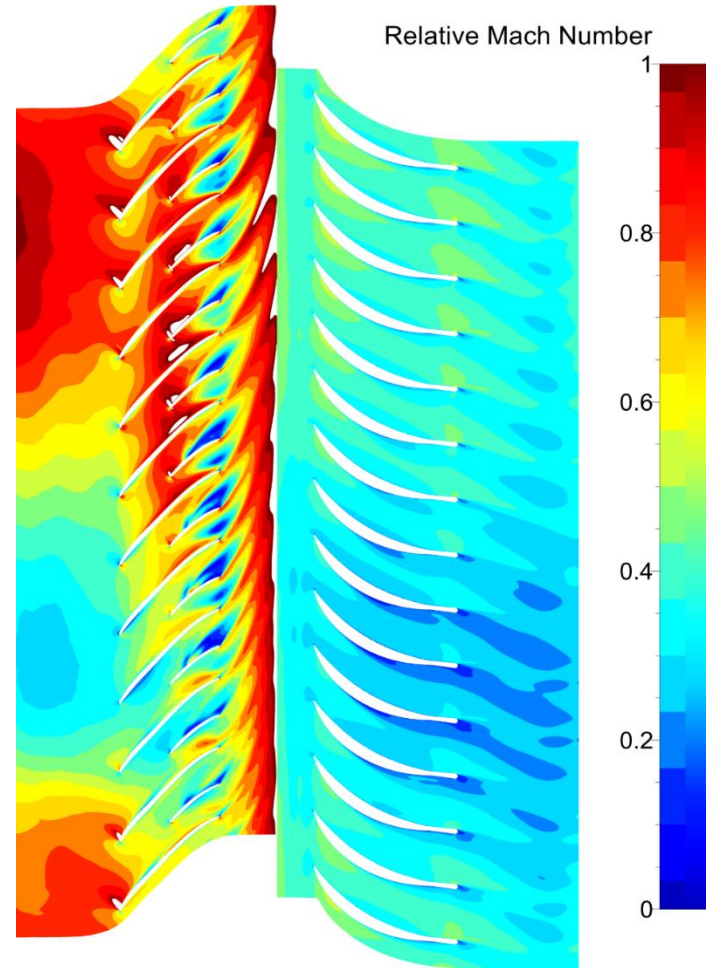
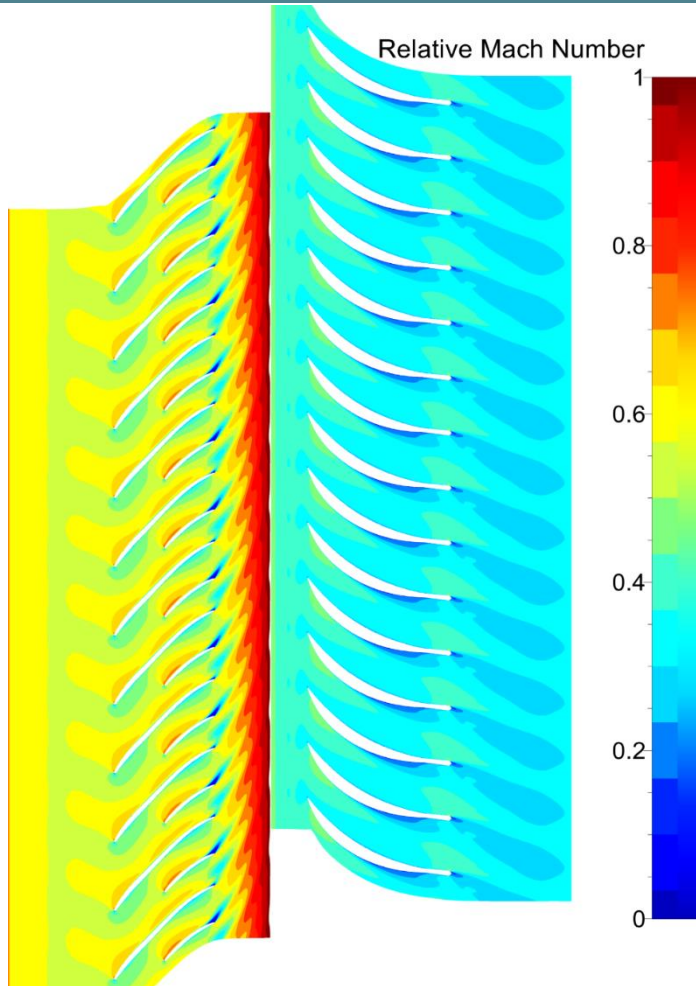
# Абсолютная скорость в рабочем колесе



# Скорость в обратно-направляющем аппарате

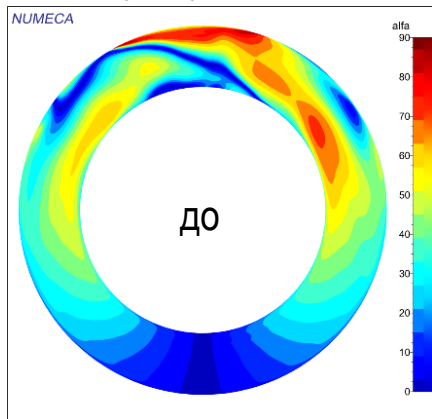


# Относительная скорость в развёртке ступени

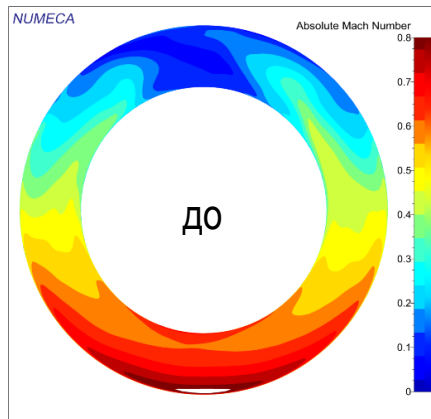


# Скорость и угол потока на интерфейсе

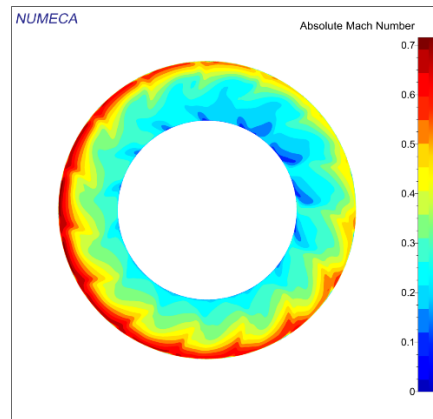
Модуль угла потока



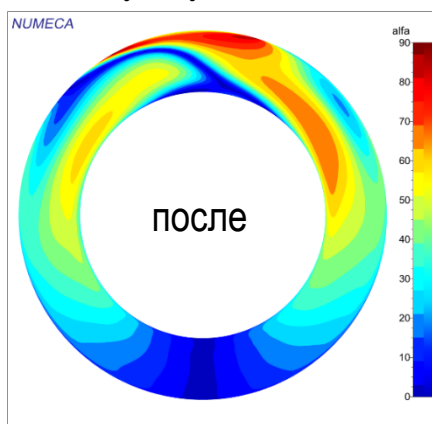
Скорость M



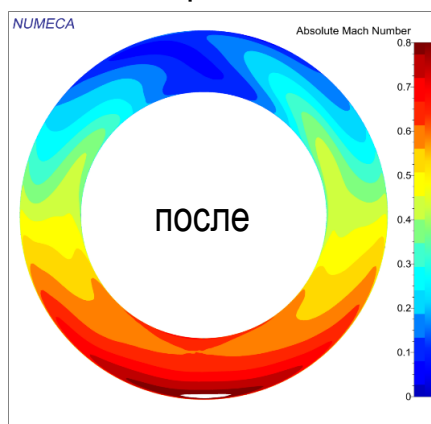
Скорость M после ОНА перед второй ступенью



Модуль угла потока



Скорость M



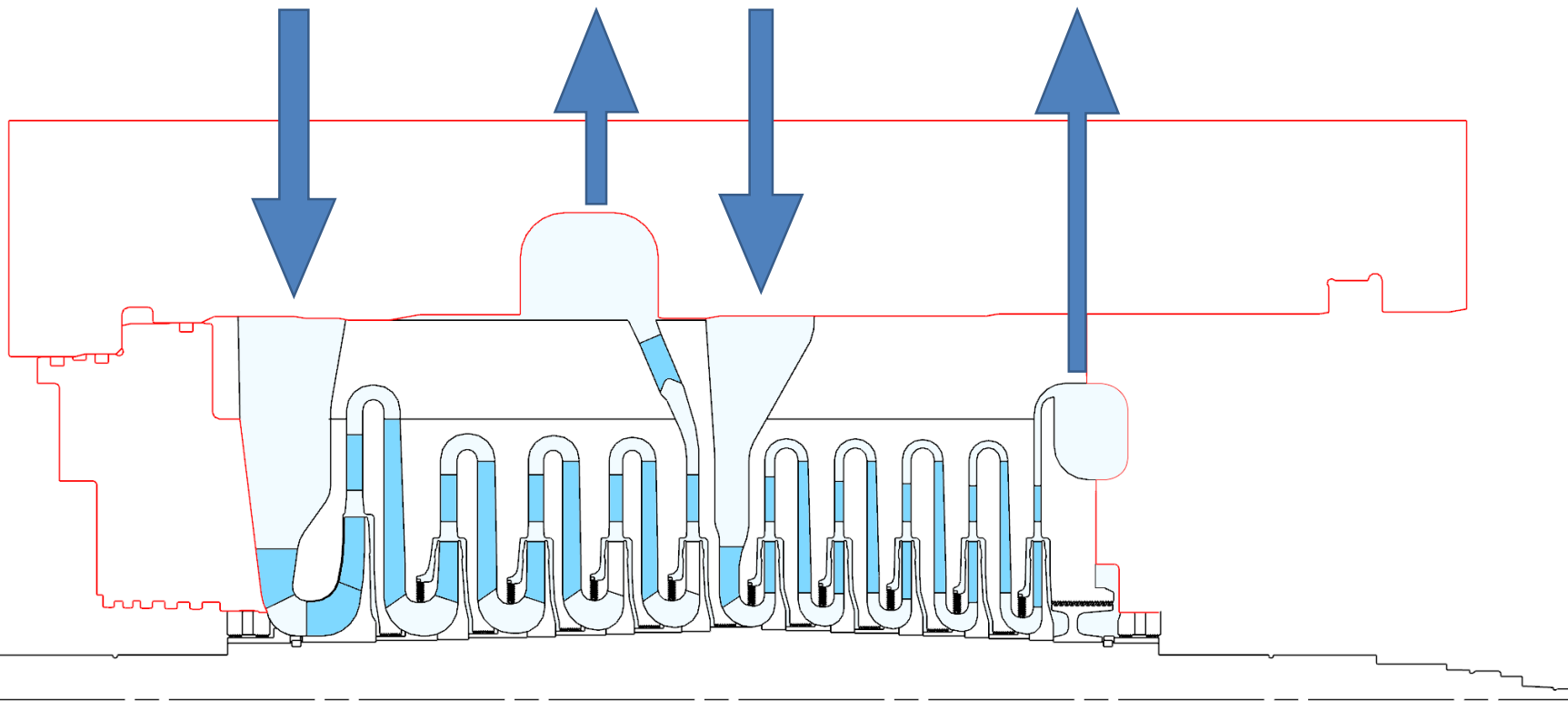
Скриптом на интерфейсе измеряется:

- стандартное отклонение угла потока ( $\sigma_A$ )
- окружная составляющая стандартного отклонения скорости ( $\sigma_V$ )

Достаточность выбранного числа гармоник можно оценить по различию полей на обеих сторонах Ротор-Статор интерфейса.

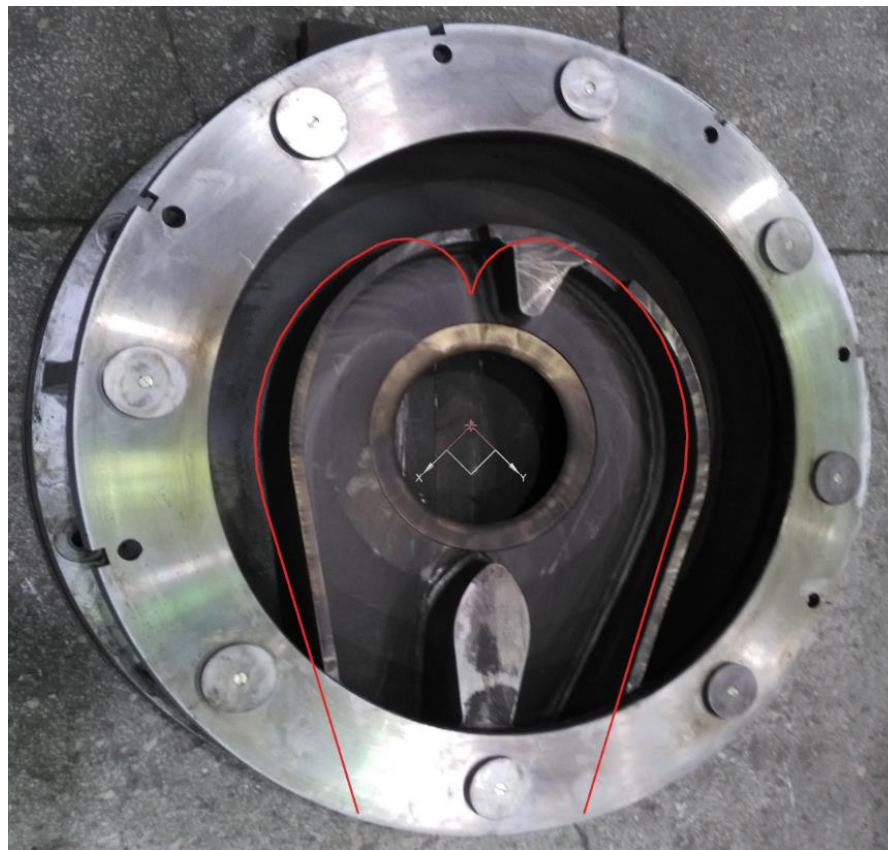
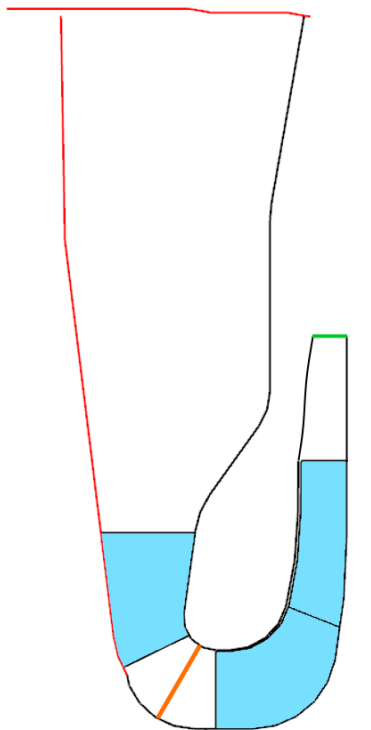
$\sigma_A = 19,6^\circ / 18,7^\circ$ ;  $\sigma_V = 59 / 52$  м/с;

# Газовый компрессор

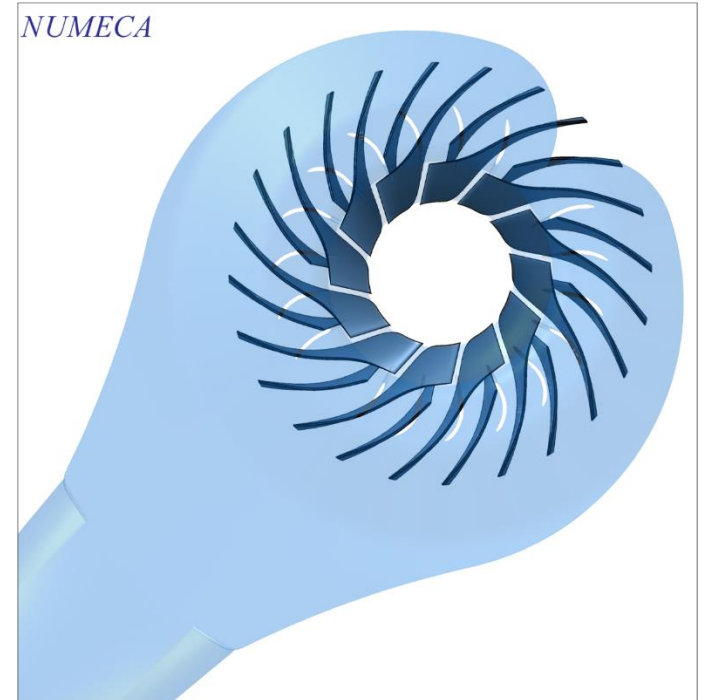
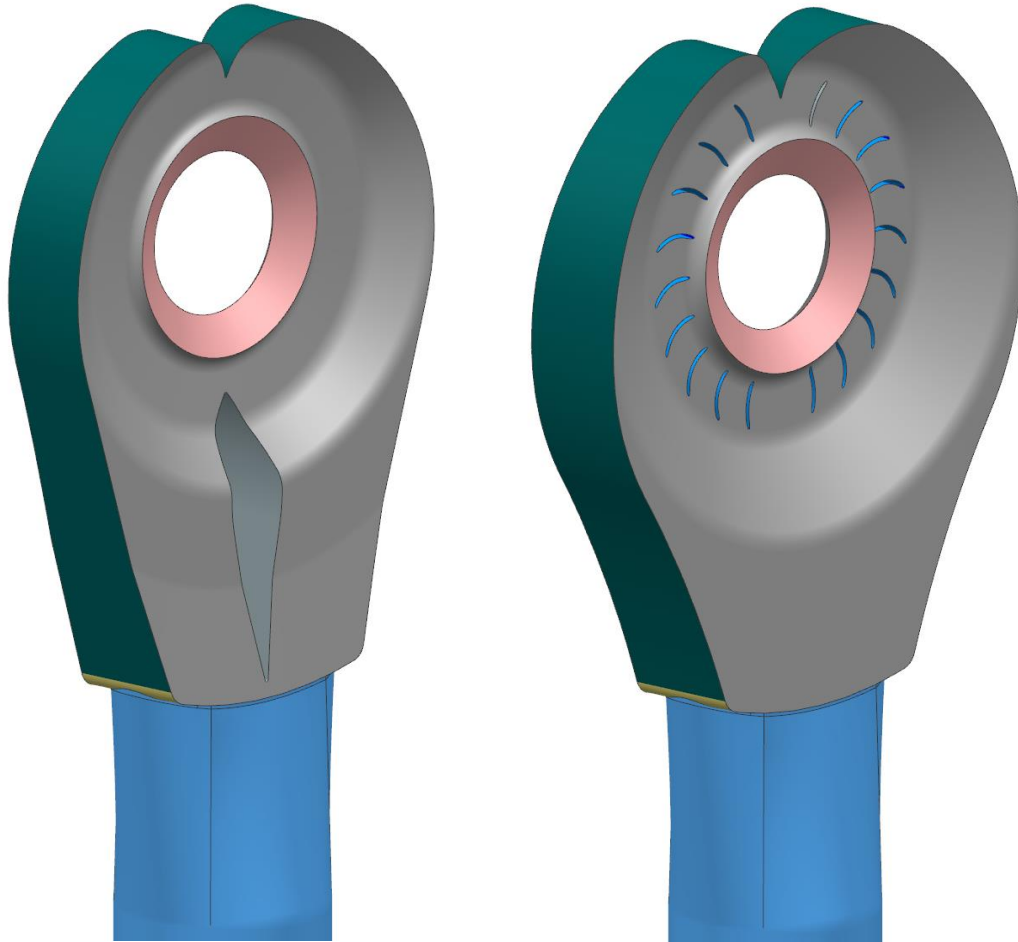


Для компрессора проектировались две входные камеры для каждой секции

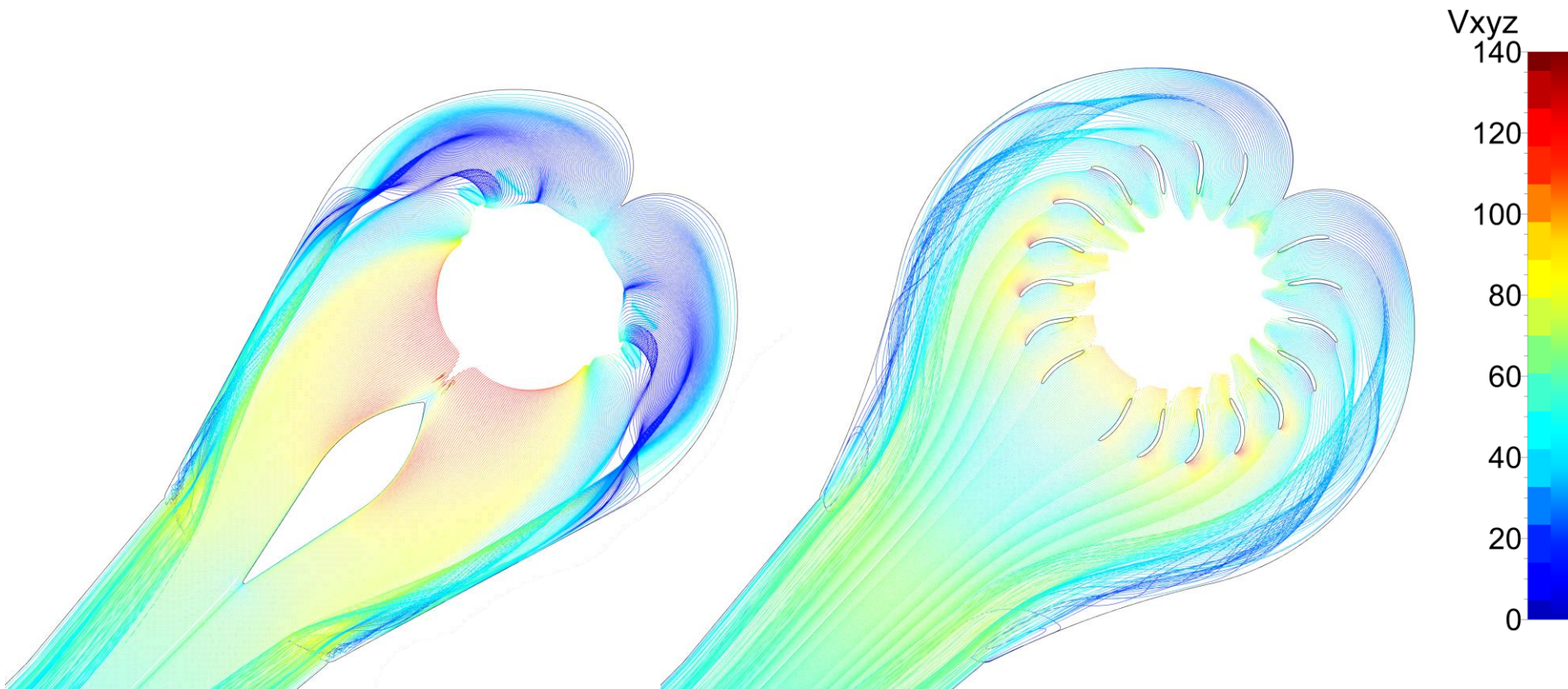
# Газовый компрессор, 1 секция



# Общий вид камер

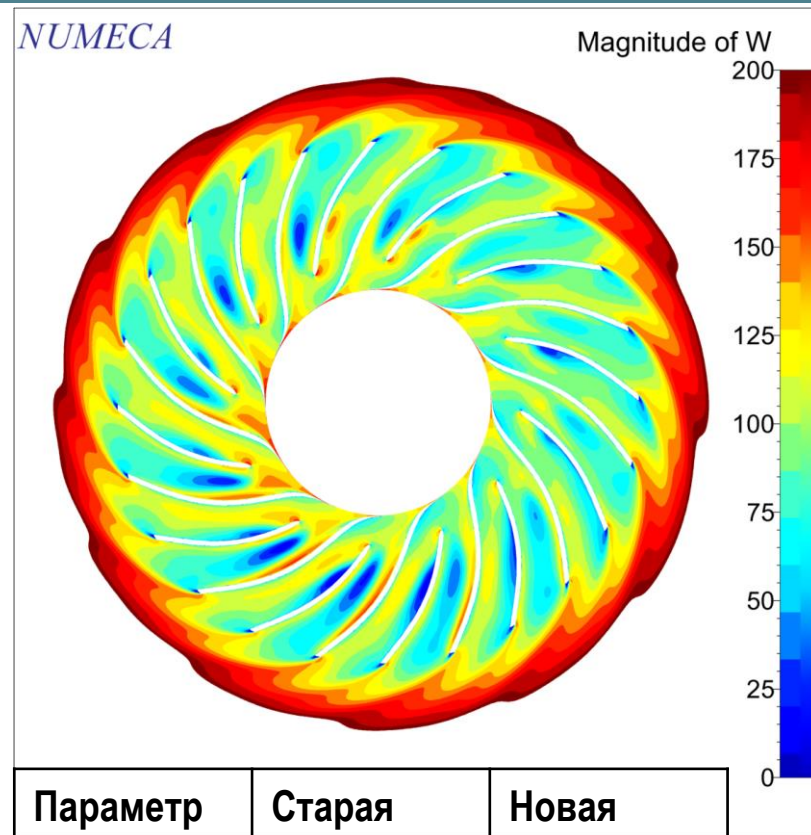
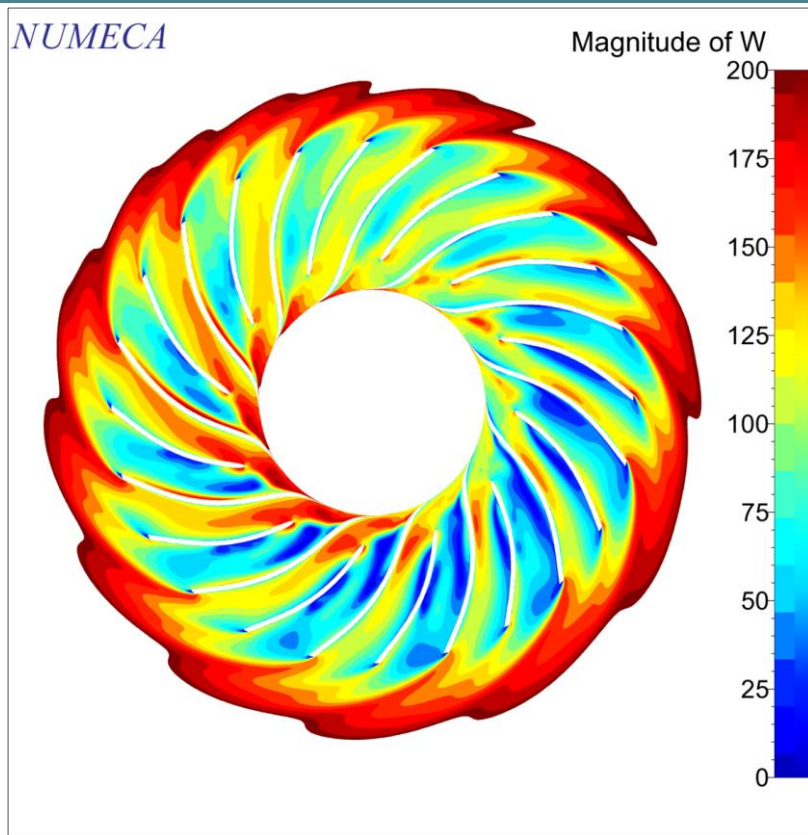


# Течение газа в камерах

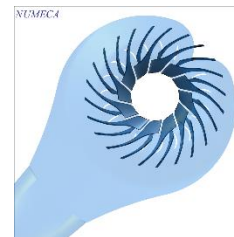




# Относительная скорость в рабочем колесе

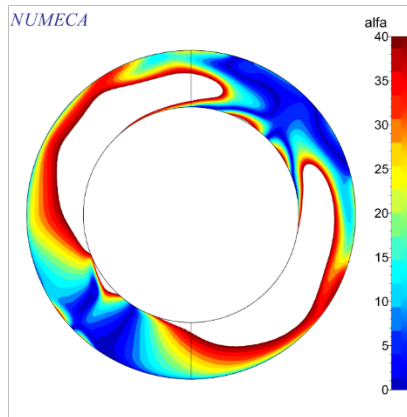


Параметр	Старая	Новая
КПД* РК	- 3.1 % абс.	- 0.2 % абс.
ПИ* РК	- 1.8 % отн.	- 0.3 % отн.



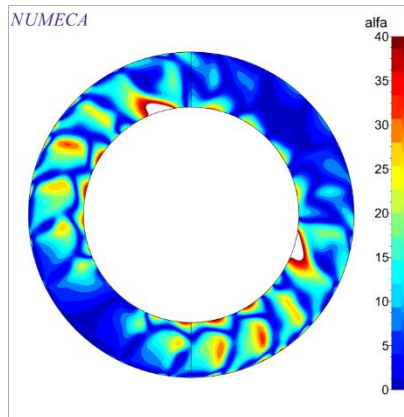
# Скорость и угол потока на интерфейсе

Исходная



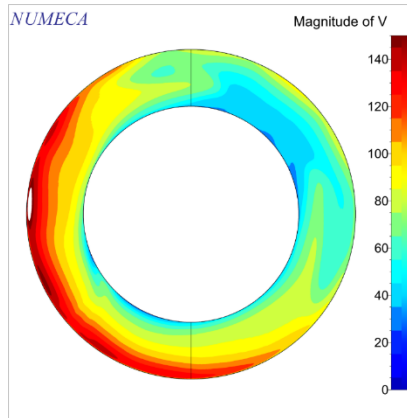
Модуль  
угла  
потока

Новая

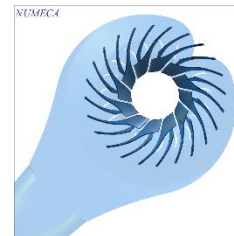
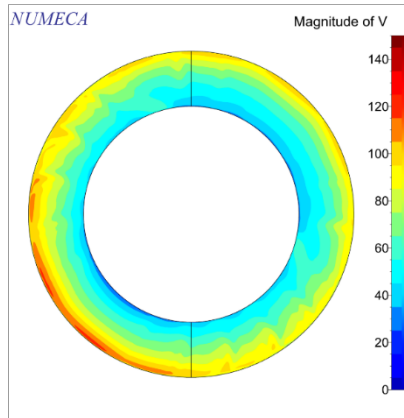


$\text{Alfa} = 26,5^\circ \rightarrow 9^\circ;$   
 $V = 91 \text{ м/с} \rightarrow 75 \text{ м/с};$

$\text{SigmaA} = 19,5^\circ \rightarrow 8^\circ;$   
 $\text{SigmaV} = 21 \text{ м/с} \rightarrow 6.5 \text{ м/с};$

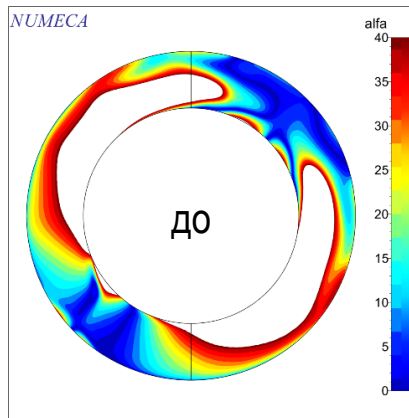


Скорость



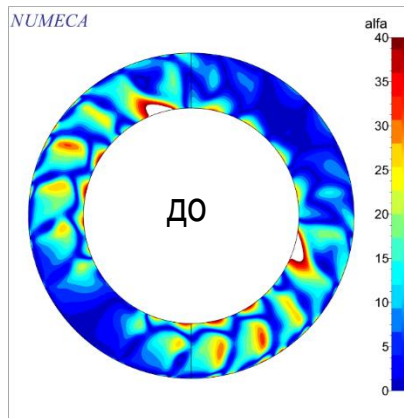
# Угол потока на интерфейсе

Исходная



Модуль  
угла  
потока

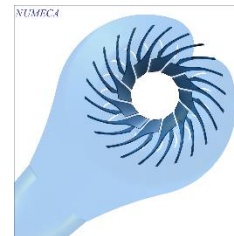
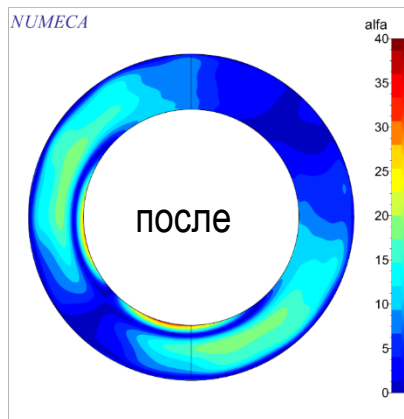
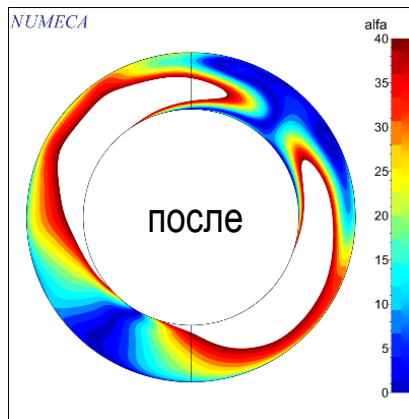
Новая



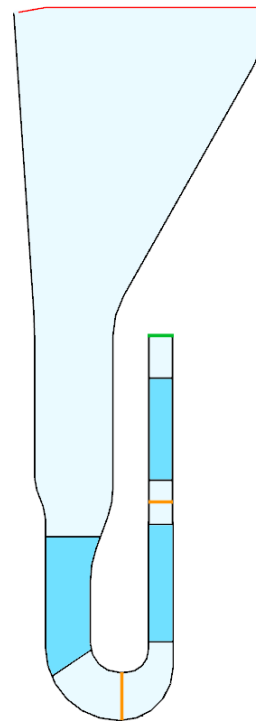
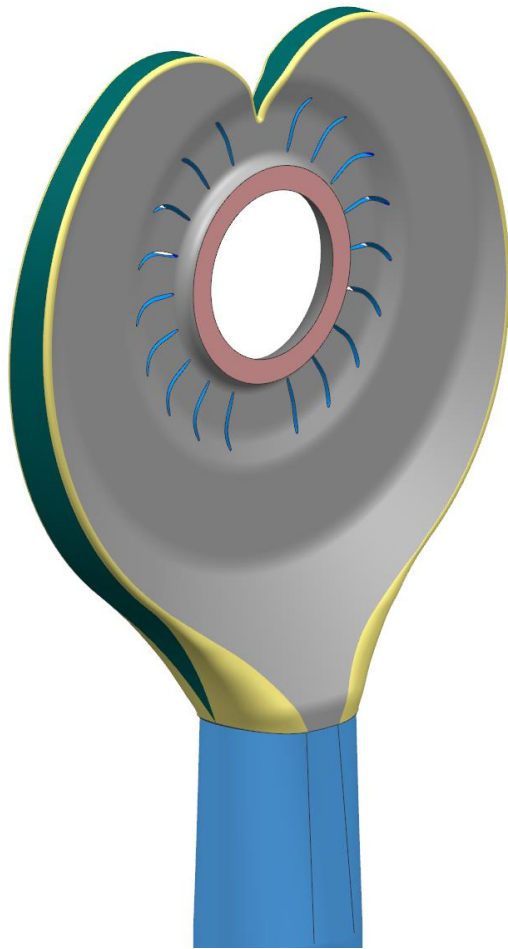
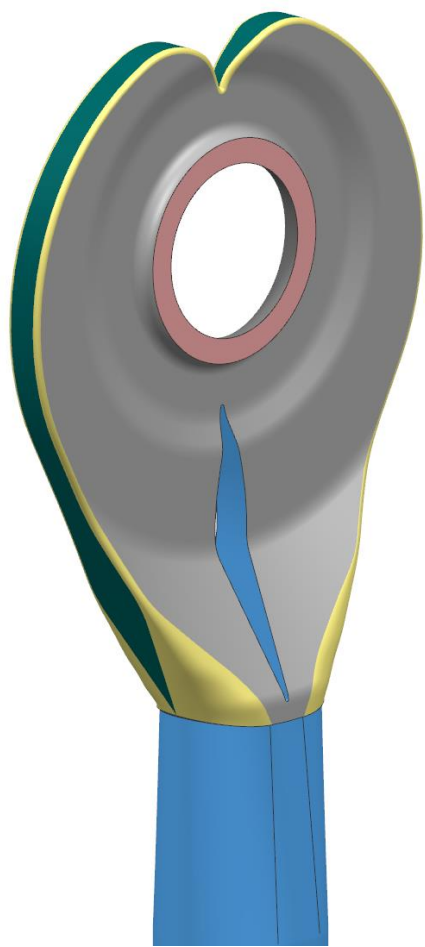
$\text{SigmaA old} = 19,5^\circ \rightarrow 19,5^\circ;$

$\text{SigmaA new} = 8^\circ \rightarrow 5,5^\circ;$

Модуль  
угла  
потока

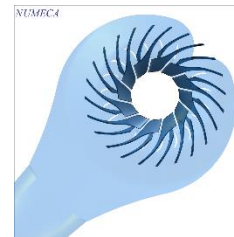


# Газовый компрессор, 2 секция

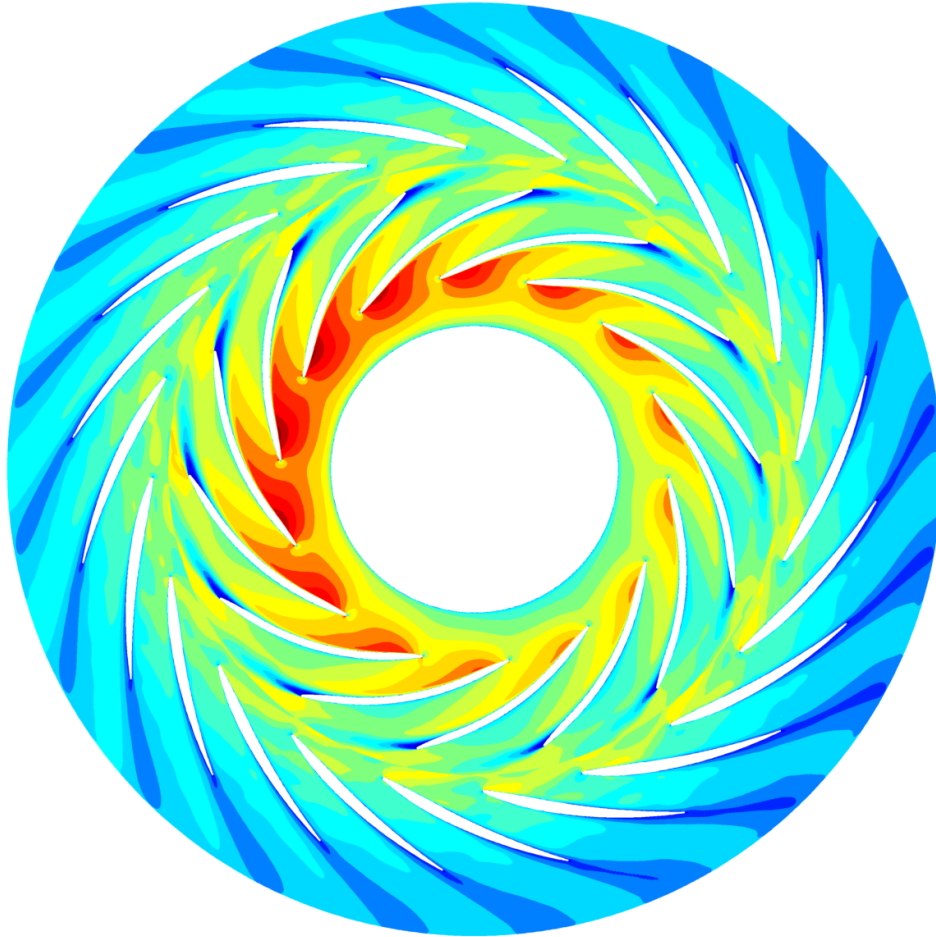
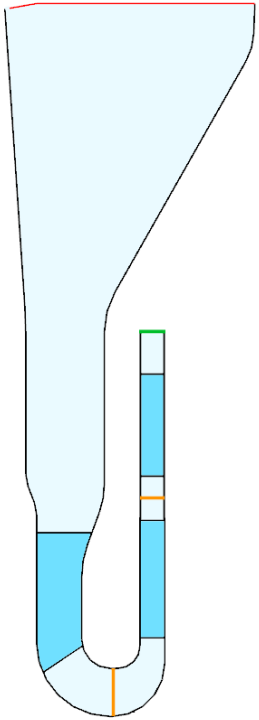


$\text{Alfa} = 25^\circ \rightarrow 8^\circ;$   
 $V = 51 \text{ м/с} \rightarrow 43 \text{ м/с};$

$\text{SigmaA} = 15^\circ \rightarrow 7^\circ;$   
 $\text{SigmaV} = 10 \text{ м/с} \rightarrow 3 \text{ м/с};$

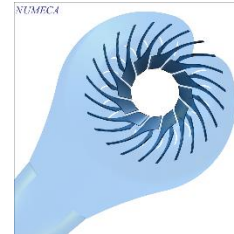


# Относительная скорость в рабочем колесе

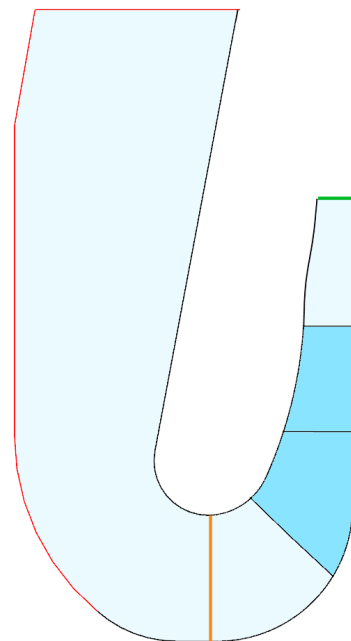
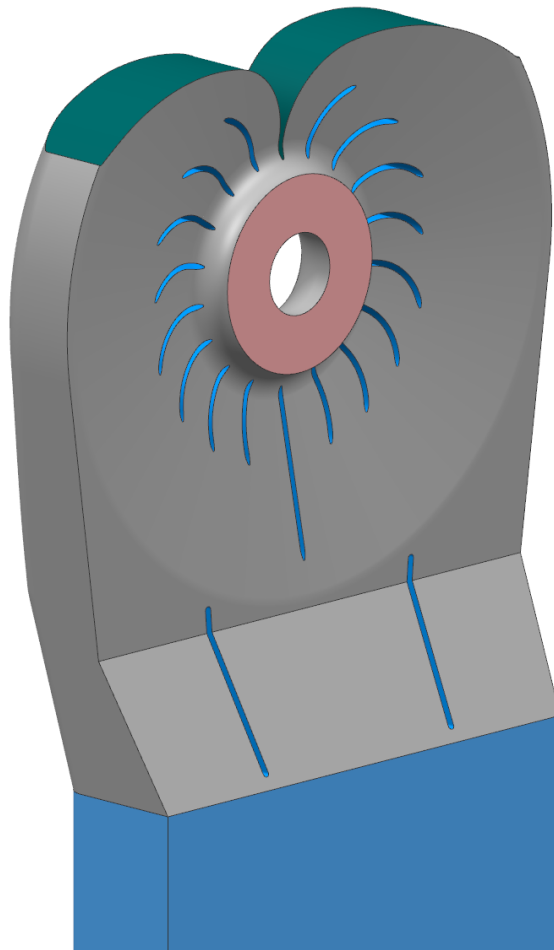
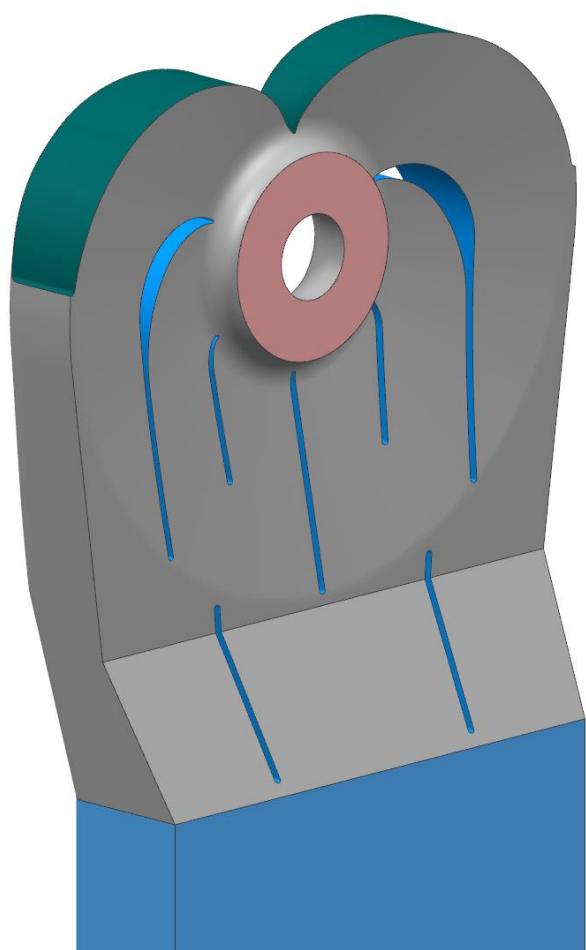


$\text{Alfa} = 25^\circ \rightarrow 8^\circ;$   
 $V = 51 \text{ м/с} \rightarrow 43 \text{ м/с};$

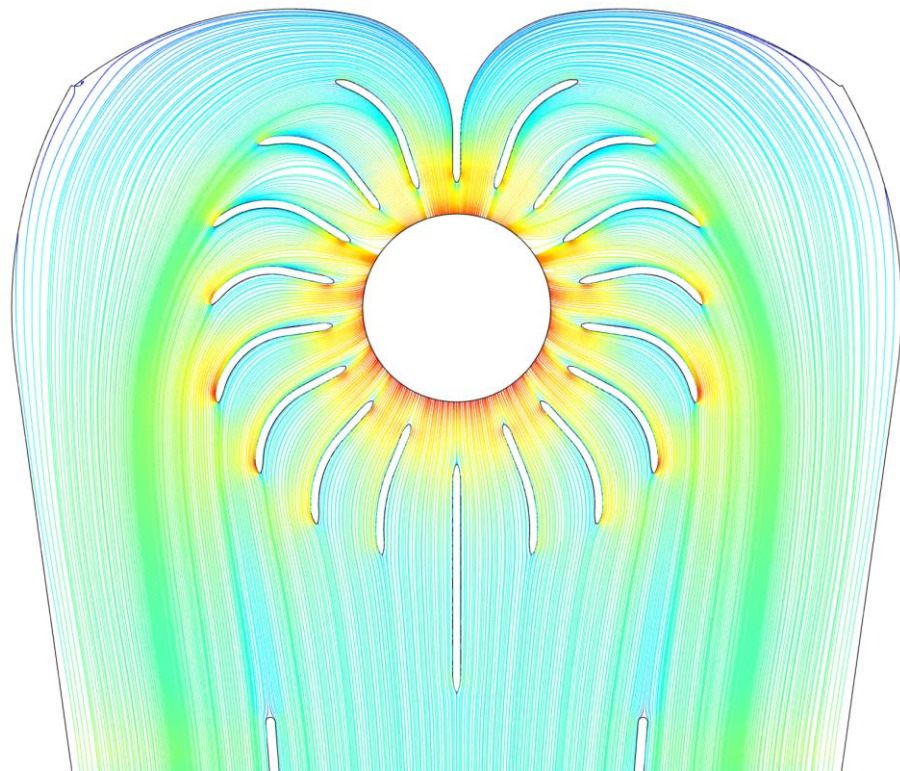
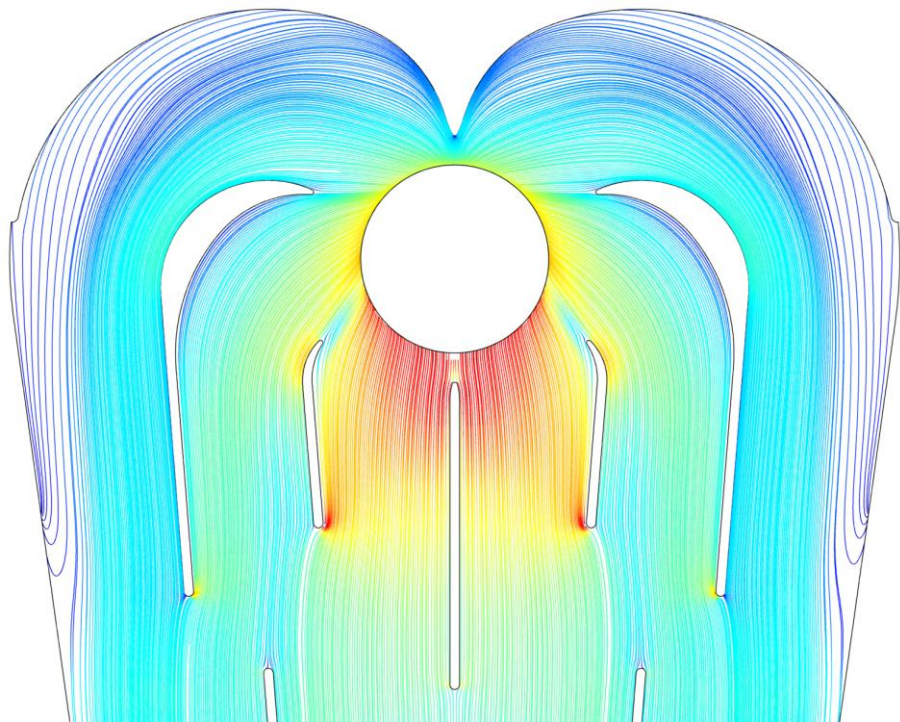
$\text{SigmaA} = 15^\circ \rightarrow 7^\circ;$   
 $\text{SigmaV} = 10 \text{ м/с} \rightarrow 3 \text{ м/с};$



# Воздушный компрессор K5500



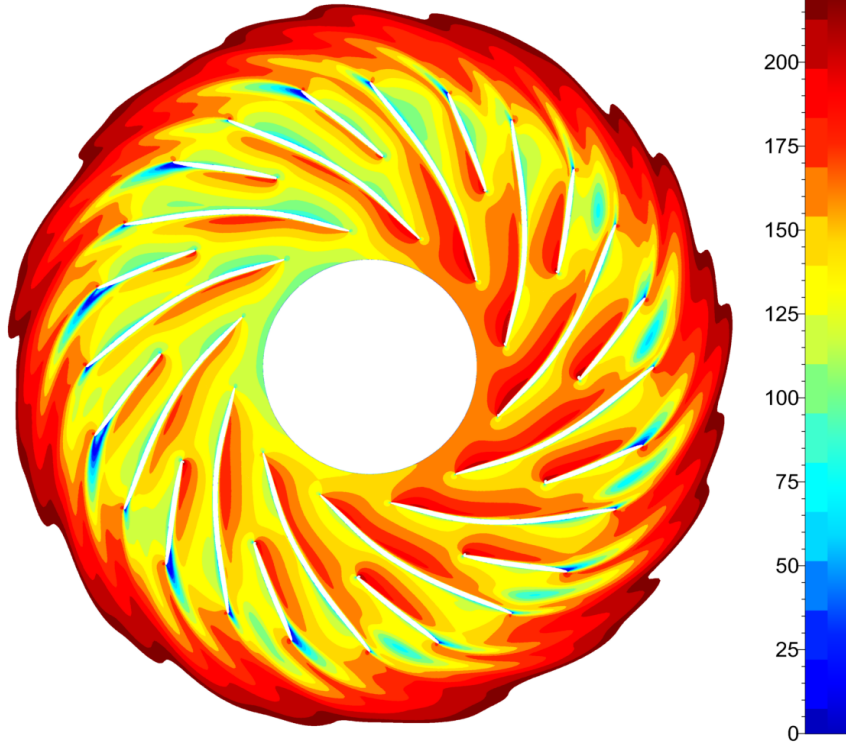
# Течение газа в камерах



# Относительная скорость в рабочем колесе

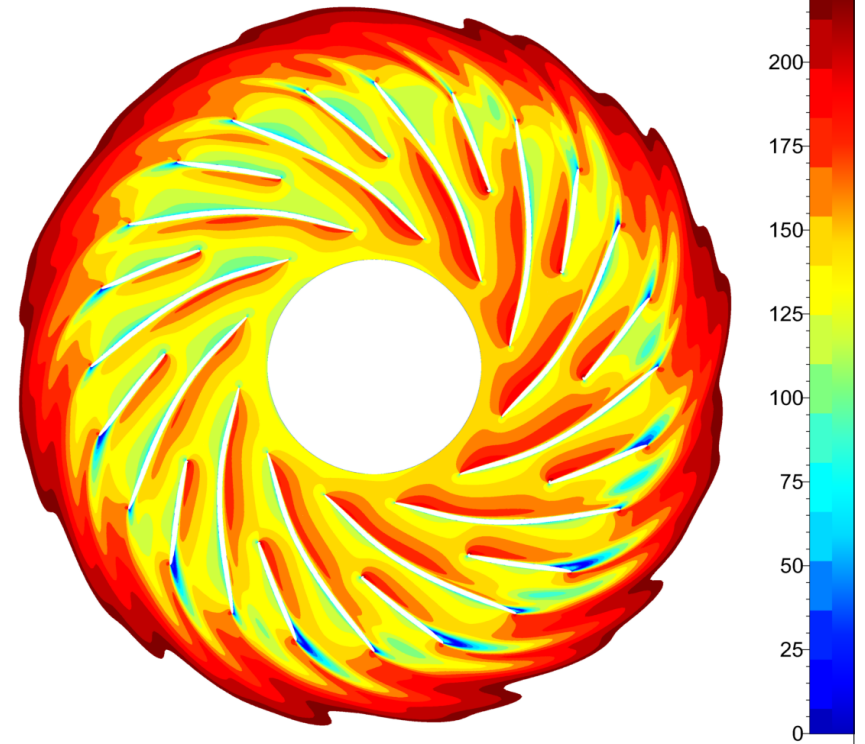
NUMECA

Magnitude of W



NUMECA

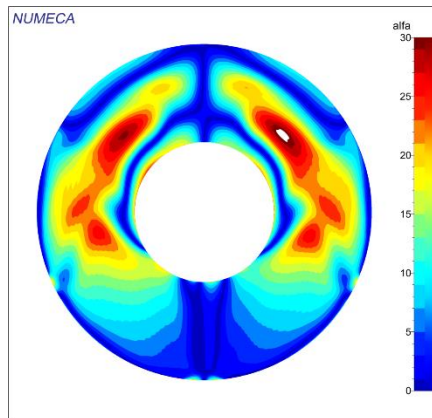
Magnitude of W (m/s)



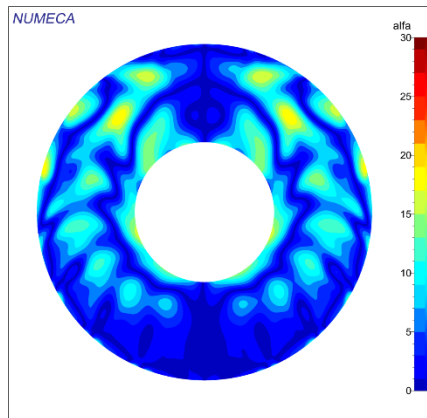


# Скорость и угол потока на интерфейсе

Исходная



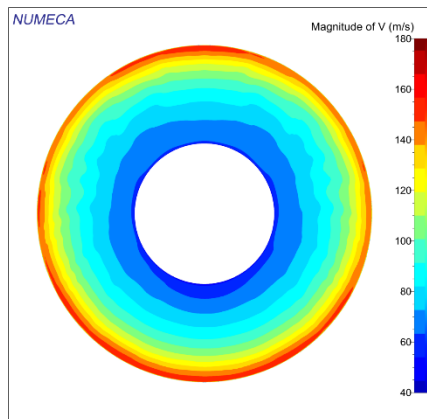
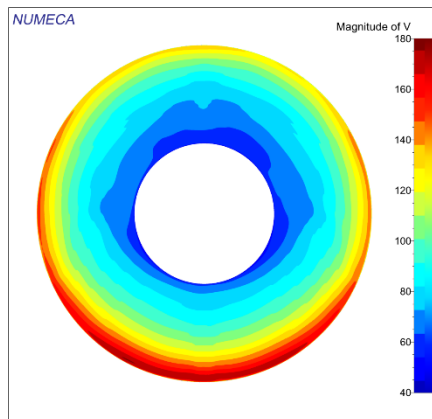
Новая



Модуль  
угла  
потока

Alfa =  $10,7^\circ \rightarrow 5^\circ$ ;  
 $V = 107 \text{ м/с} \rightarrow 104 \text{ м/с}$ ;

SigmaA =  $7,5^\circ \rightarrow 4^\circ$ ;  
SigmaV =  $10 \text{ м/с} \rightarrow 4 \text{ м/с}$ ;



Скорость

Спасибо за внимание

Любимов А.Н.  
докладчик - Чеглаков И.В.  
[cheglakov@entechmach.com](mailto:cheglakov@entechmach.com)