



## Численное исследование нестационарного потока и источника пульсаций давления в центробежном насосе с многоярусным центробежным колесом

Клименко Д.В., Кондратов А.В., Тимушев С.Ф. -- МАИ (НИУ)

Ли Дж. -- ПАКУ

## Основные уравнения 2D (Harmony)

$$\mathbf{V} = \mathbf{U} + \nabla \varphi = \mathbf{U} + \mathbf{V}_a$$

$$\frac{1}{a^2} \frac{d^2 i}{d t^2} - \Delta i = S$$

$$\tilde{\mathbf{x}} = \frac{\mathbf{x}}{R_2}; \quad \tilde{\mathbf{U}} = \frac{\mathbf{U}}{u_2}; \quad \tilde{t} = \frac{t}{\frac{(2\pi R_2)}{(z_1 u_2)}} = t f_{b1}; \quad \tilde{i} = \frac{i}{u_2^2}$$

$$\Lambda^2 \frac{d^2 \tilde{i}}{d \tilde{t}^2} - \tilde{\Delta} \tilde{i} = \tilde{S}$$

$$S = \nabla(\nabla(\frac{1}{2}U^2) - \mathbf{U} \times (\nabla \times \mathbf{U}))$$

$$\tilde{i} - \tilde{i}_0 \approx \frac{(P - P_0)}{\rho_0 u_2^2} = \frac{P'}{\rho_0 u_2^2}$$

$$\frac{(P_v - P_0)}{\rho_0 u_2^2} = \frac{P'_v}{\rho_0 u_2^2}$$

$$\Lambda = \frac{u_2 z_1}{2\pi a} = \frac{f_{b1} R_2}{a} = \frac{u_2}{a} \frac{f_{b1} R_2}{u_2} = M \cdot St = \frac{R_2}{\lambda}$$

## Основные уравнения 3D (Flowvision 2.54 beta)

- Декомпозиция

$$\mathbf{V} = \mathbf{U} + \nabla\phi = \mathbf{U} + \mathbf{V}_a$$

$$di = \frac{dP}{\rho}, \quad dP = a^2 d\rho$$

- Волновое уравнение

$$\frac{1}{a^2} \frac{d^2 i}{dt^2} - \Delta i = -\Delta j$$

$$-\Delta j = \nabla(\nabla(\frac{1}{2}U^2) - \mathbf{U} \times (\nabla \times \mathbf{U}))$$

- Вихревая мода

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \nabla(\mathbf{U} \otimes \mathbf{U}) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \mu_t)(\nabla \mathbf{U} + (\nabla \mathbf{U})^T))$$

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0$$

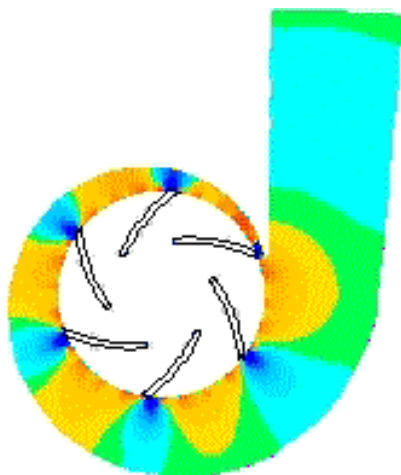
$$k - \varepsilon \quad \mu_t = 0.09 \cdot \rho \cdot \frac{k^2}{\varepsilon}$$



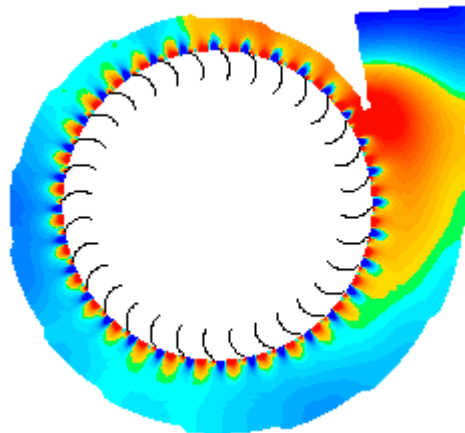
## Акустическое и псевдозвуковое поле давления

$$\Lambda = \frac{u_2 z_1}{2\pi a} = \frac{f_{b1} R_2}{a} = \frac{R_2}{\lambda}$$

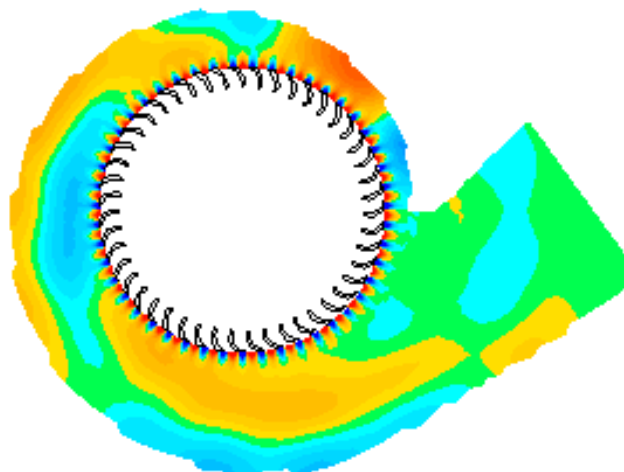
0.04



0.3



0.5

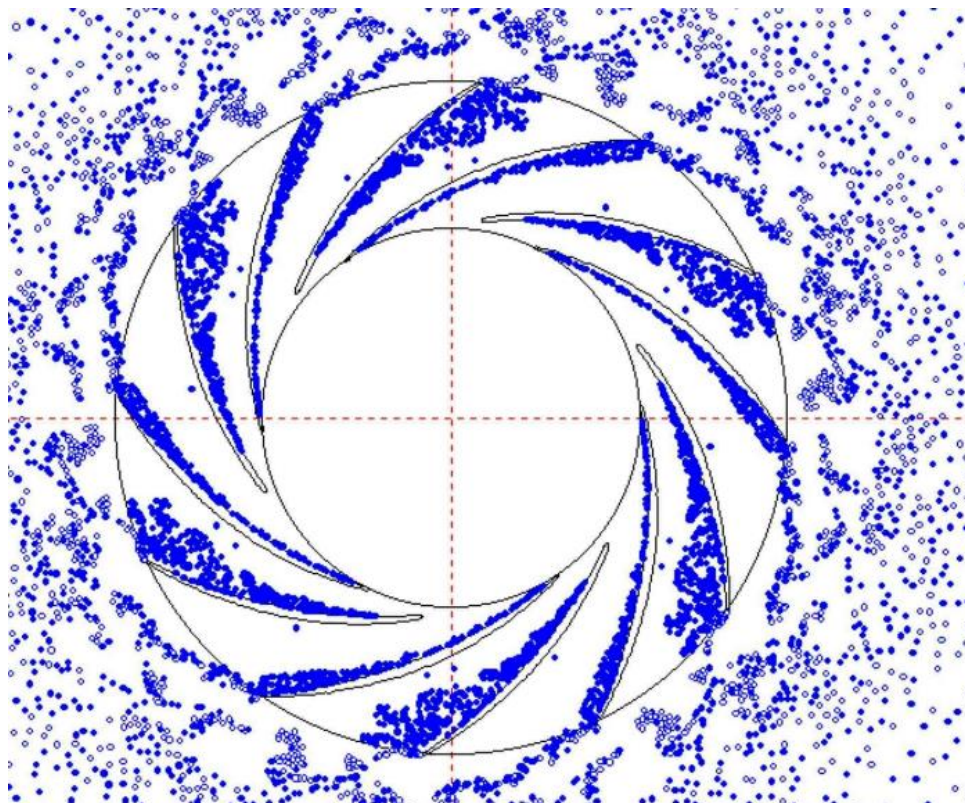


0.2

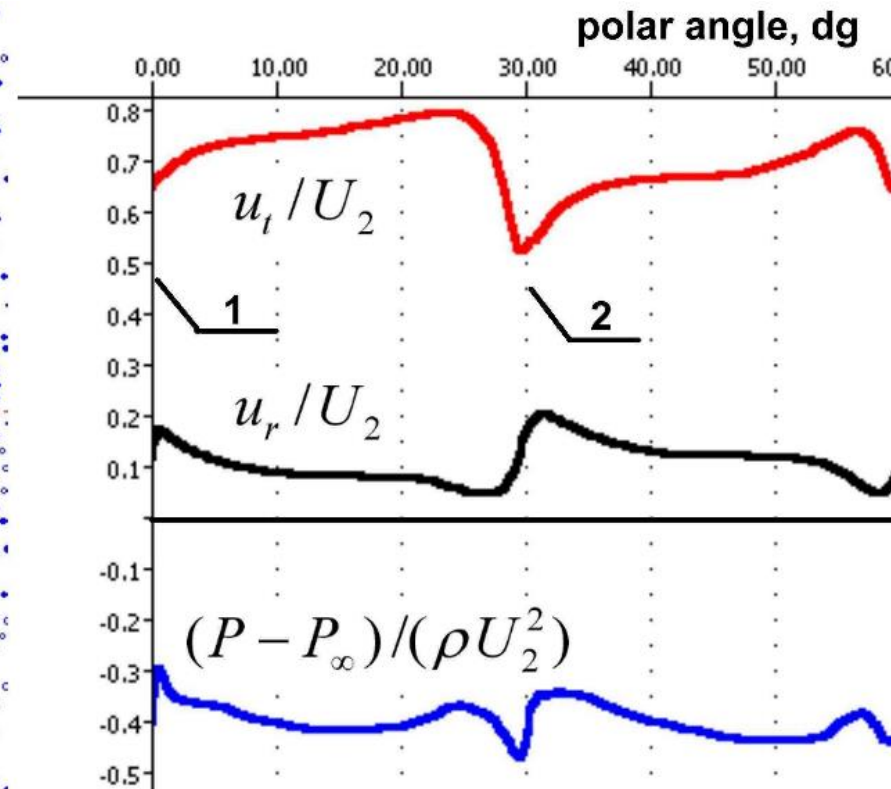




## Шаговая неоднородность потока на выходе ЦБК



Вихревая пелена в межлопаточных каналах



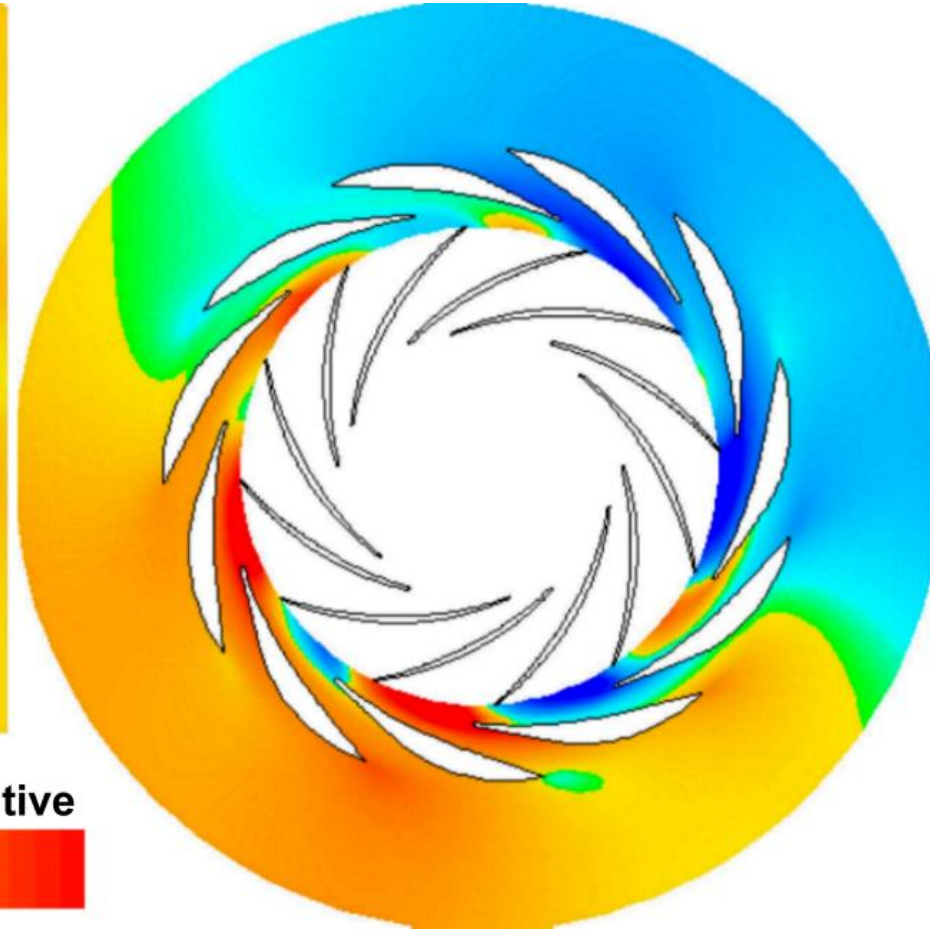
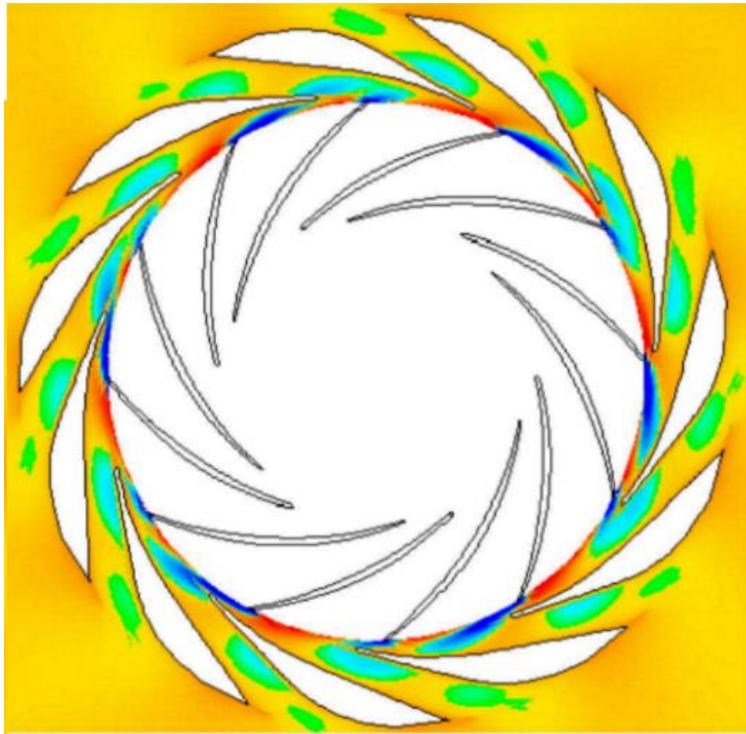
Распределение параметров на выходе по шагу лопаточной решетки



# Вихревая мода и акустические волны

Мгновенное распределение завихренности

Поле пульсаций давления

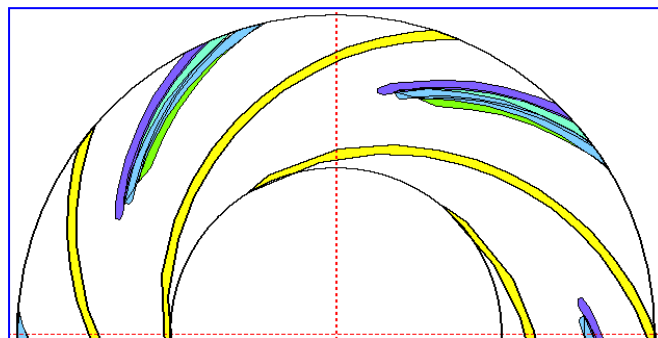


## Параметры центробежного насоса

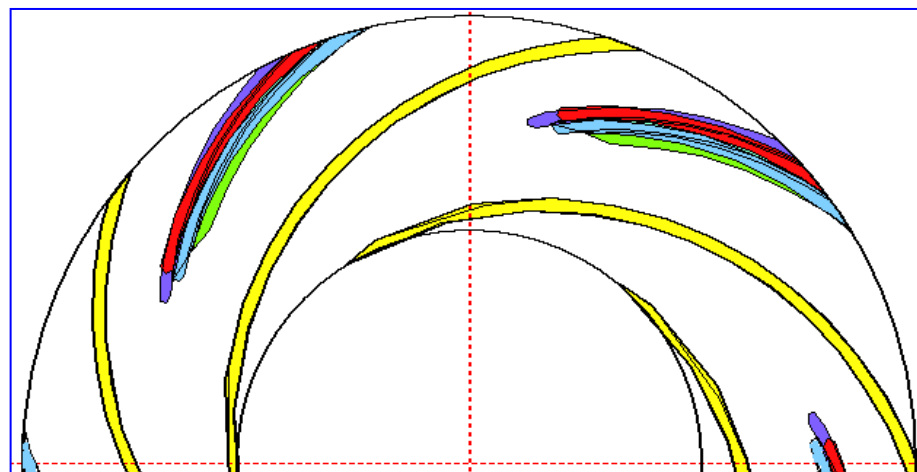
параметр	значение	Единицы измерения
n	1370	Об/мин
расход	34.7	л/с
Диаметр РК	265	мм
Простая улитка	-	-
Радиальный зазор	29.7	%
жидкость	вода	-



# Blade Profiles



$$3+4+5+6+8$$

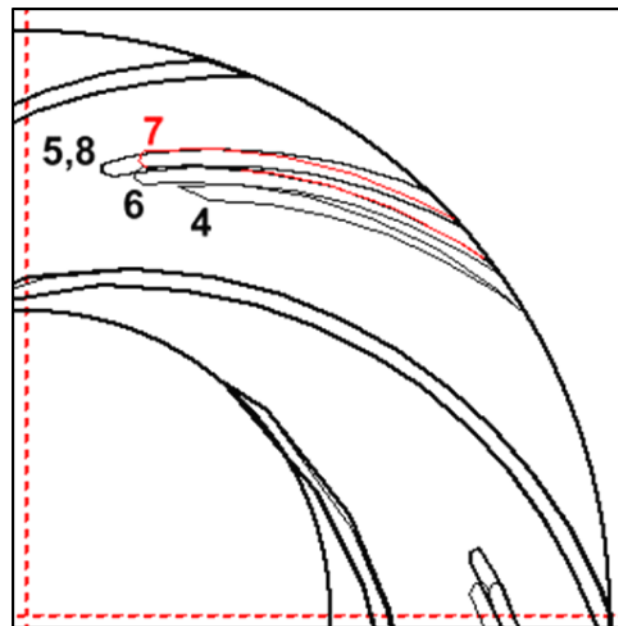


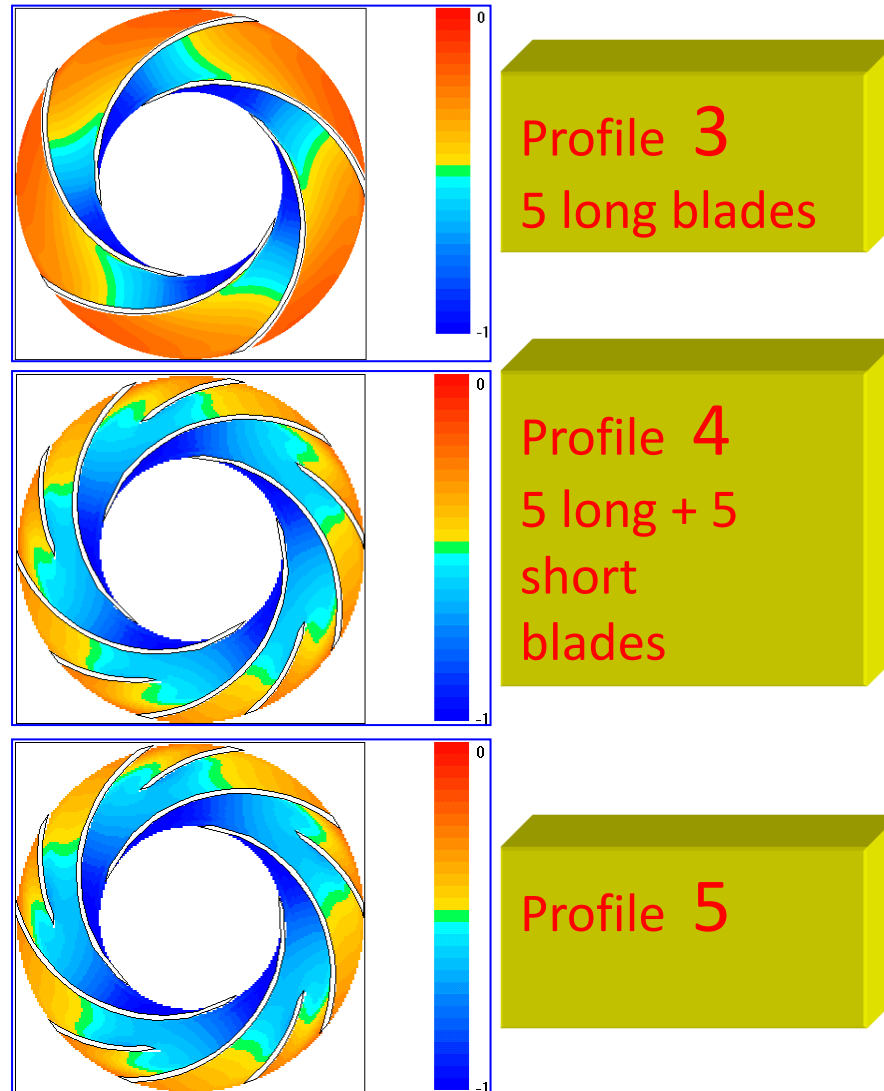
$$3+4+5+6+7+8$$





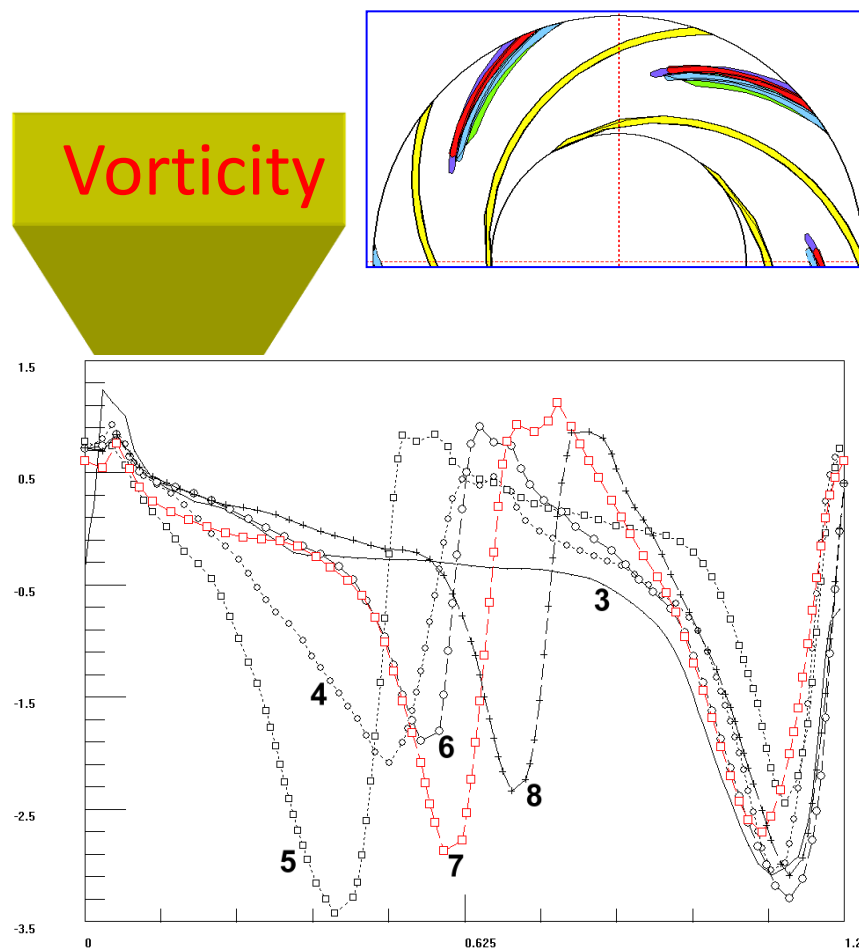
## Изменения геометрии рабочего колеса





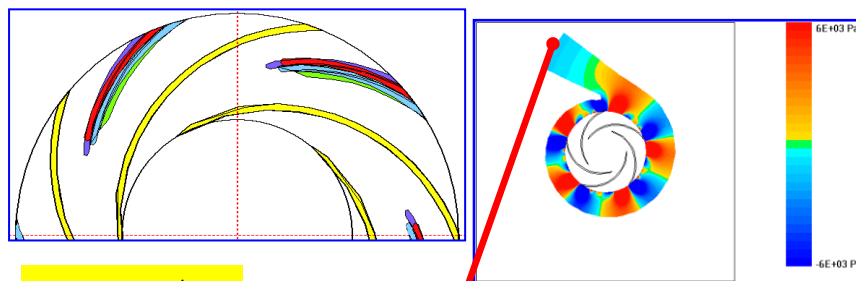


# Распределение завихренности на выходе ЦБК

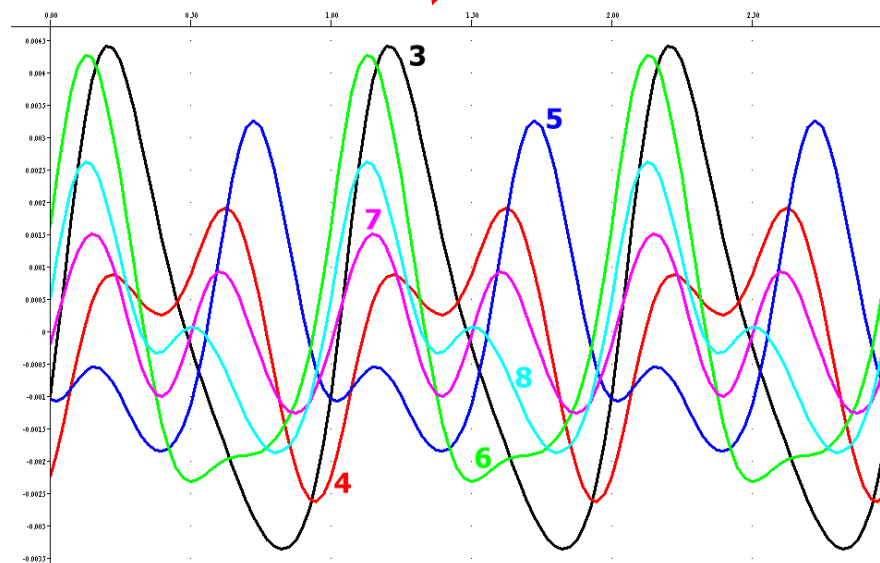




## Пульсации давления на выходе насоса

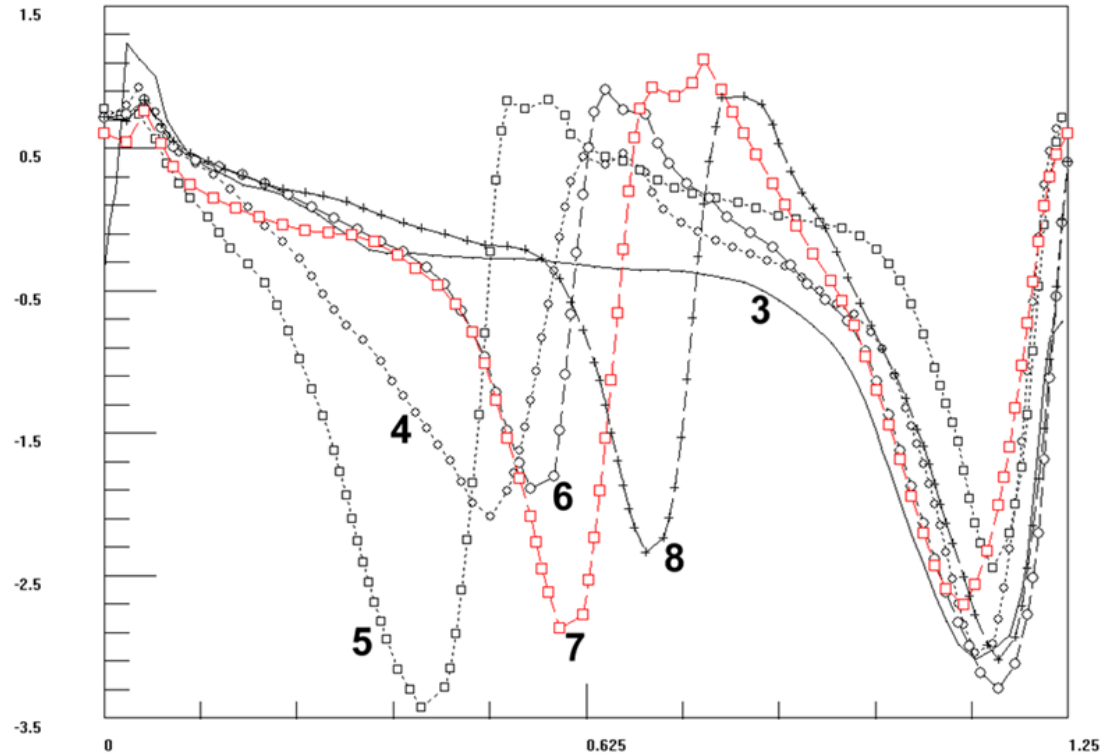
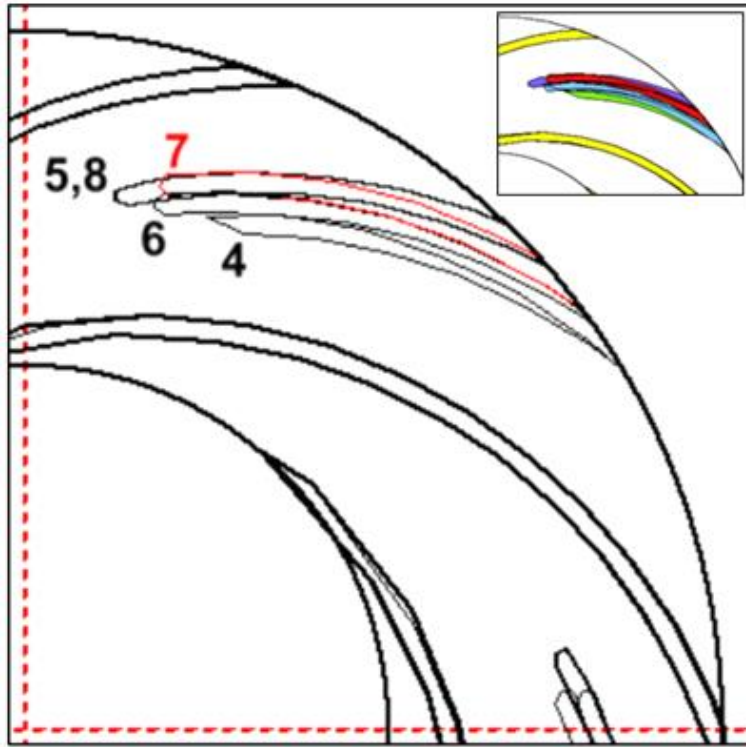


$$\tilde{A} = \frac{A}{\rho U_2^2}$$



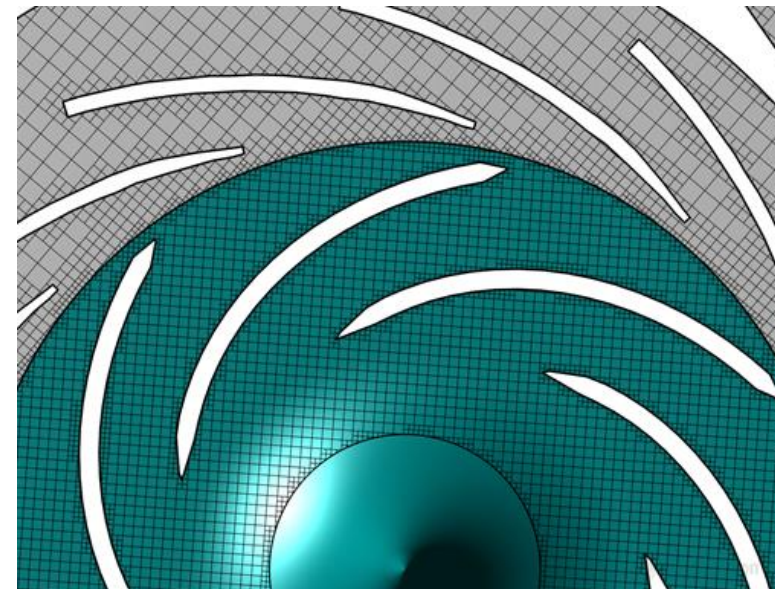
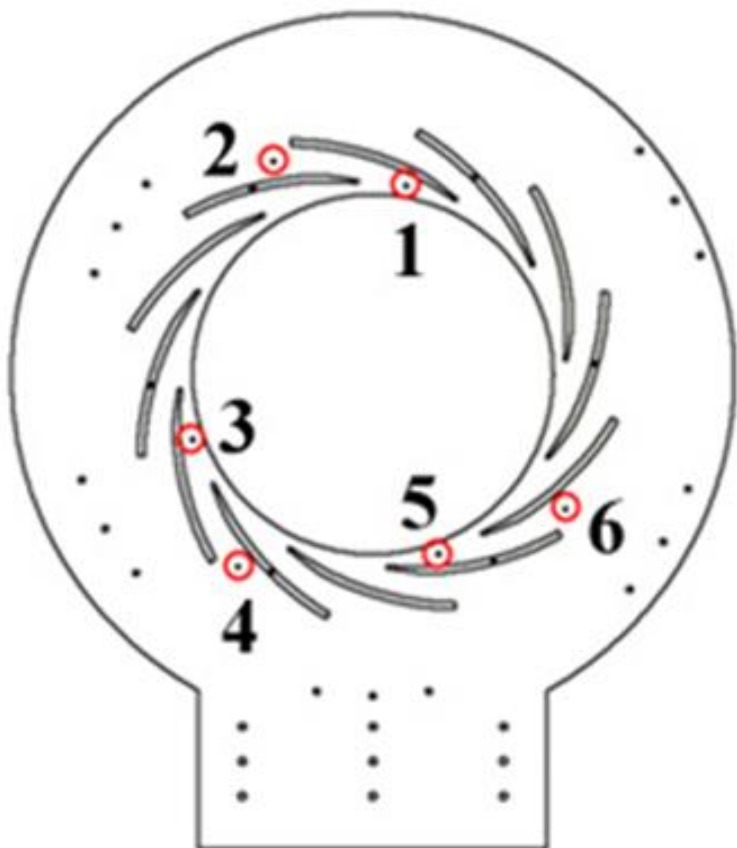


# BLADE STEP VORTICITY DISTRIBUTION





## Модельный воздушный насос



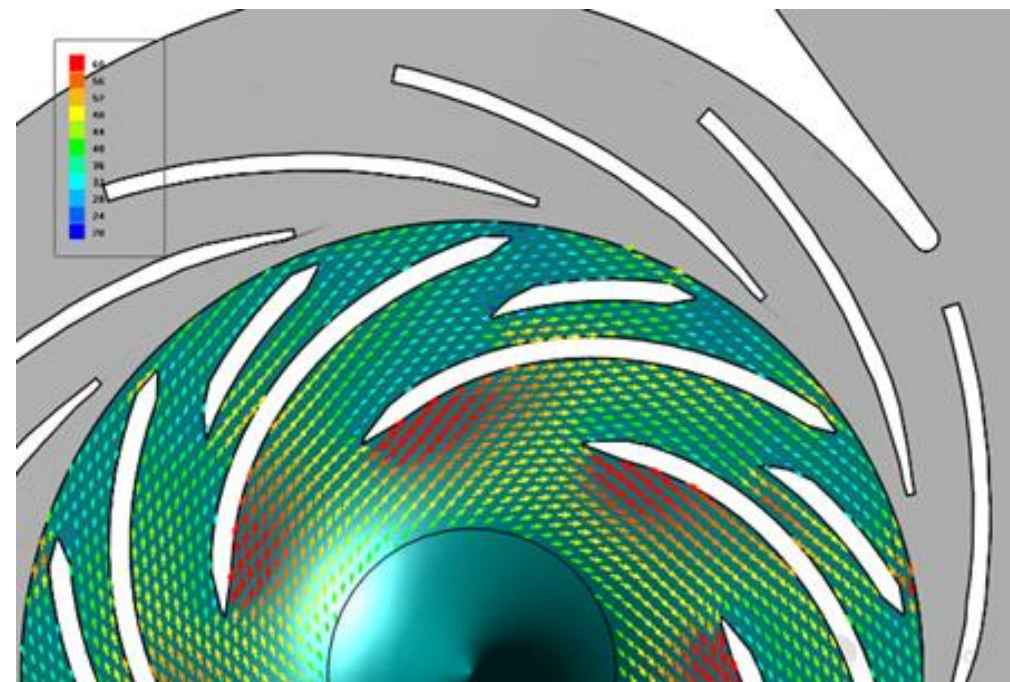
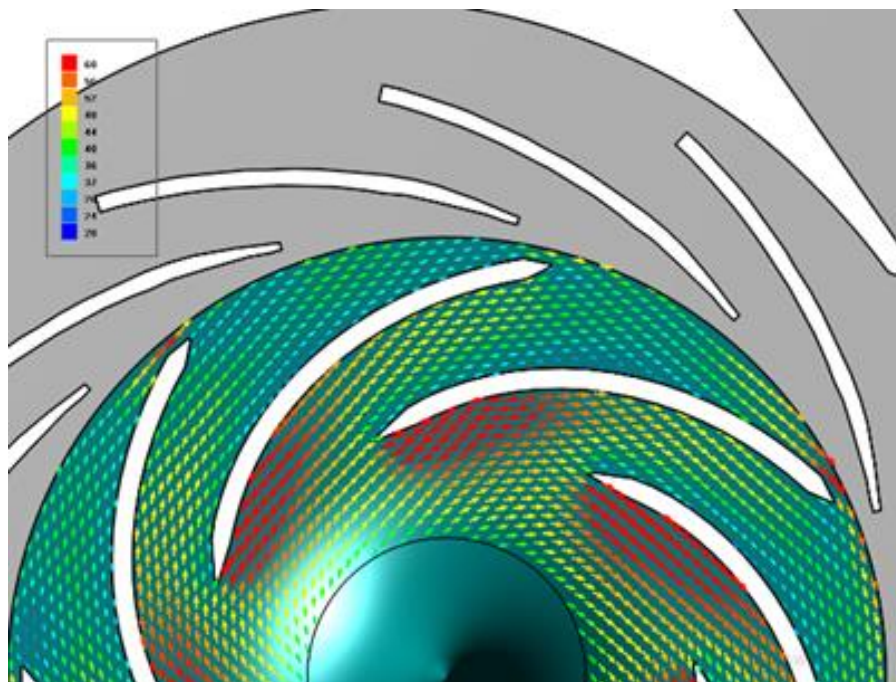
Адаптированная сетка

## Параметры установки ПАКУ

параметр	значение	е.и.
Скорость вращения	500	Рад/с
Массовый расход	0.3	Кг/с
Основных лопаток	7	--
Радиальный зазор	6.5	%
Лопаток диффузора	12	--



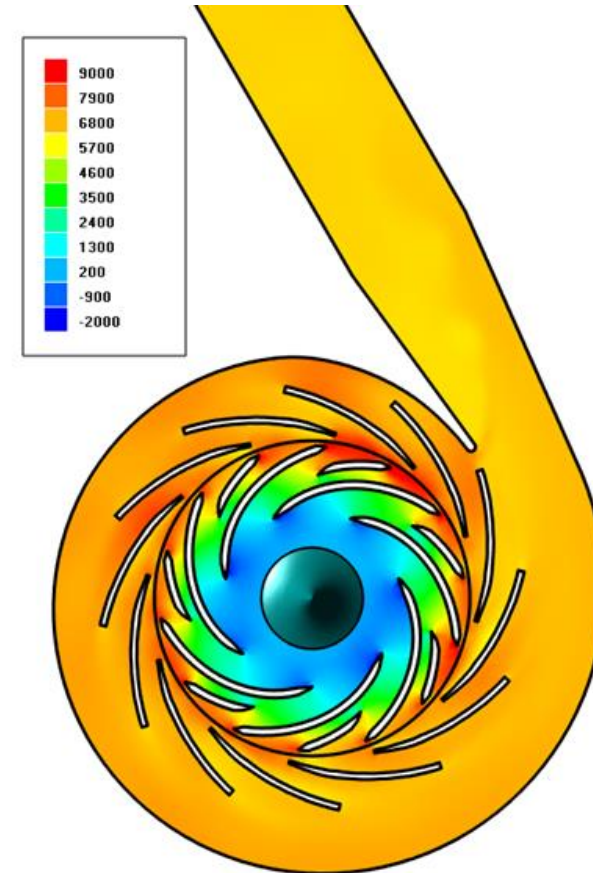
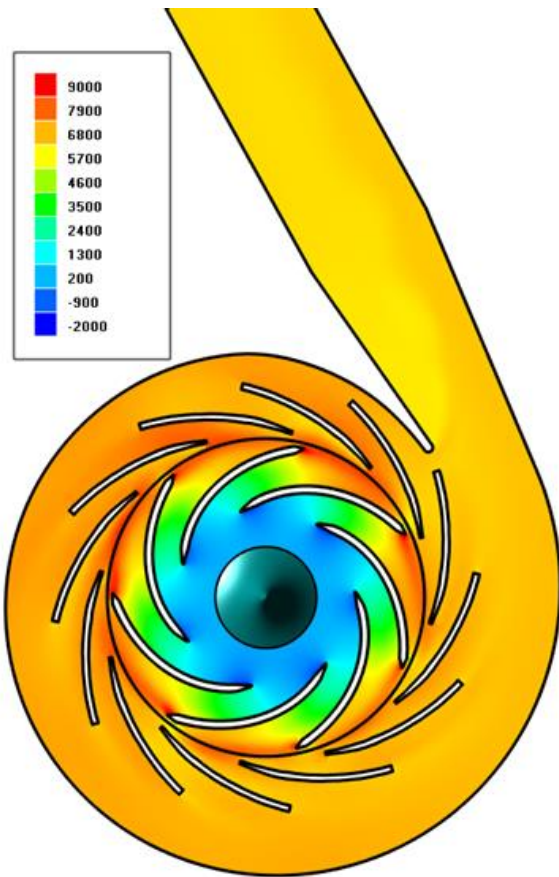
# Нестационарное поле относительной скорости без и с доп. лопатками, м/с





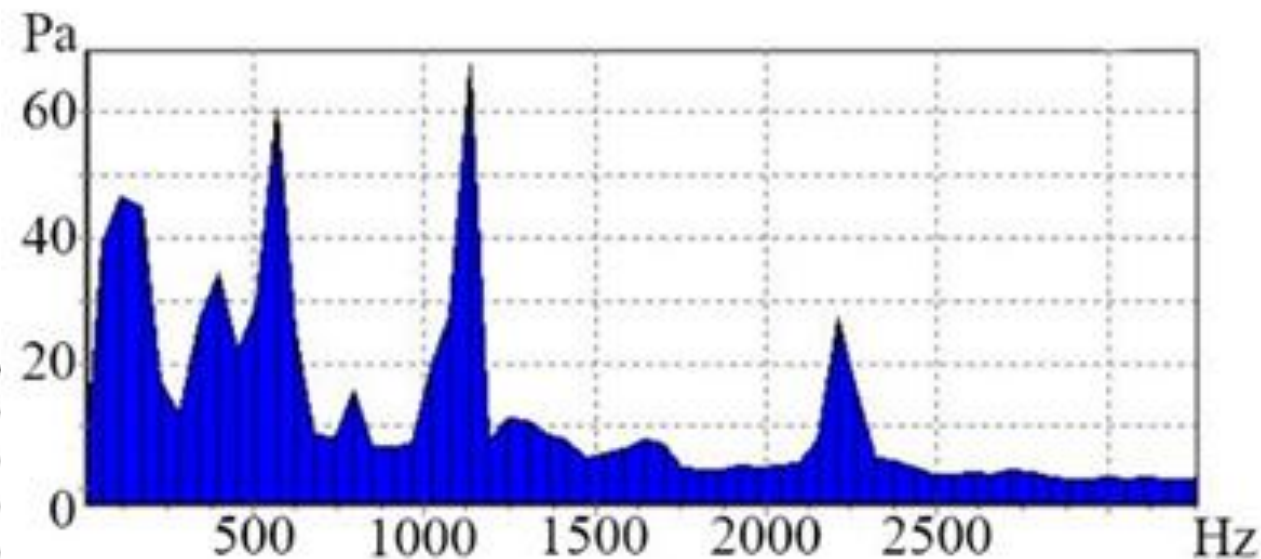
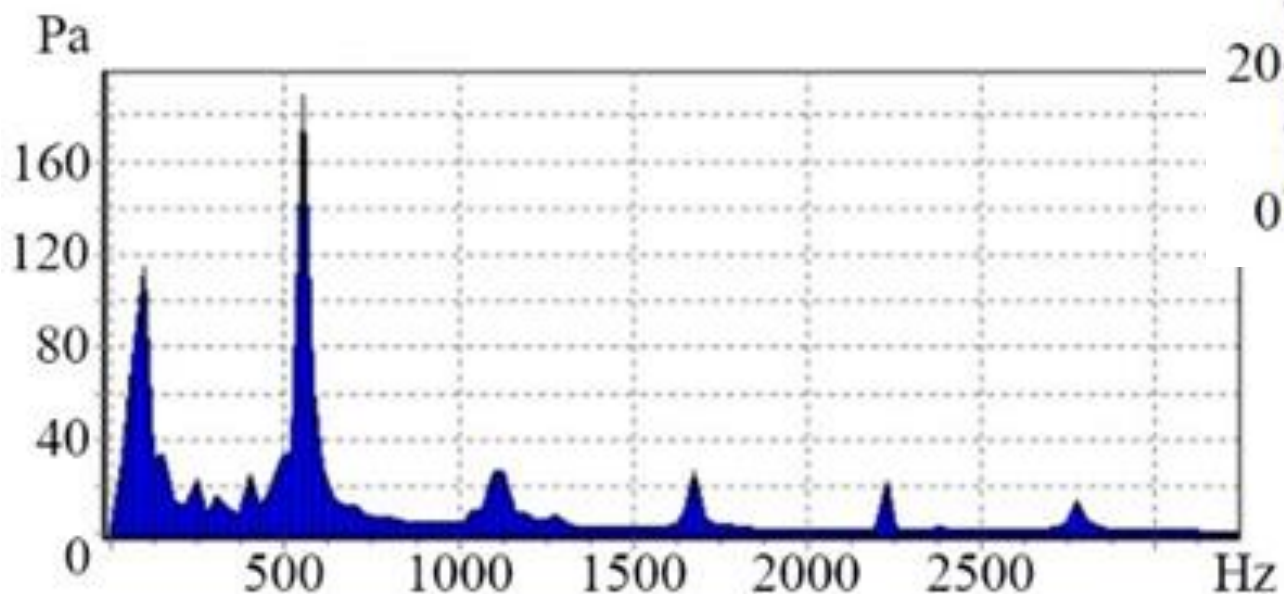


# Нестационарное поле давления без и с доп. лопатками, Па





Спектры пульсаций давления без (слева) и с дополнительными лопатками (справа) в точке P1



## ВЫВОДЫ

- Для обоих рассмотренных центробежных насосов применение сплиттеров снижает неравномерность параметров потока на выходном диаметре рабочего колеса. Предпочтительным можно считать вариант со сбалансированным распределением завихренности вдоль выходного шага лопаточной решетки.
- Амплитуда пульсаций давления ЧСЛ снижается в три раза.