

**Решение упруго гидродинамических задач (FSI) с использованием свободно распространяемого программного обеспечения «OpenFOAM», «Calculix» и «MCF».**

**В.А. Васильев, М.В. Крапошин, Д.А. Терешин, А.Ю. Ницкий**

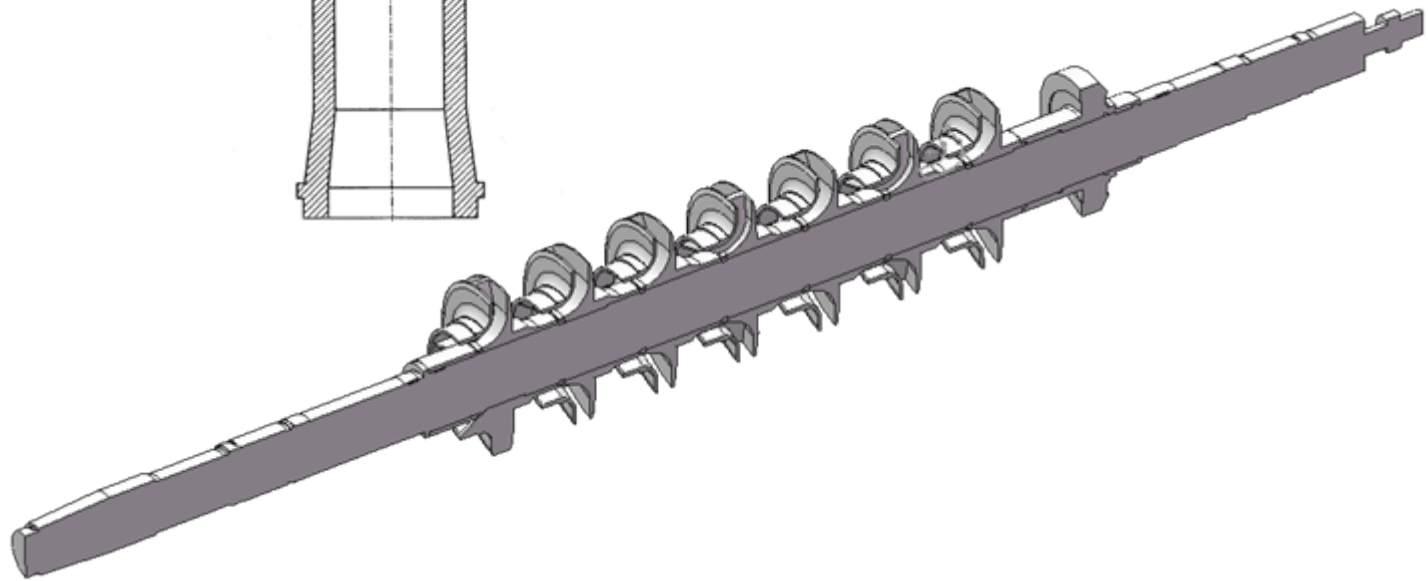
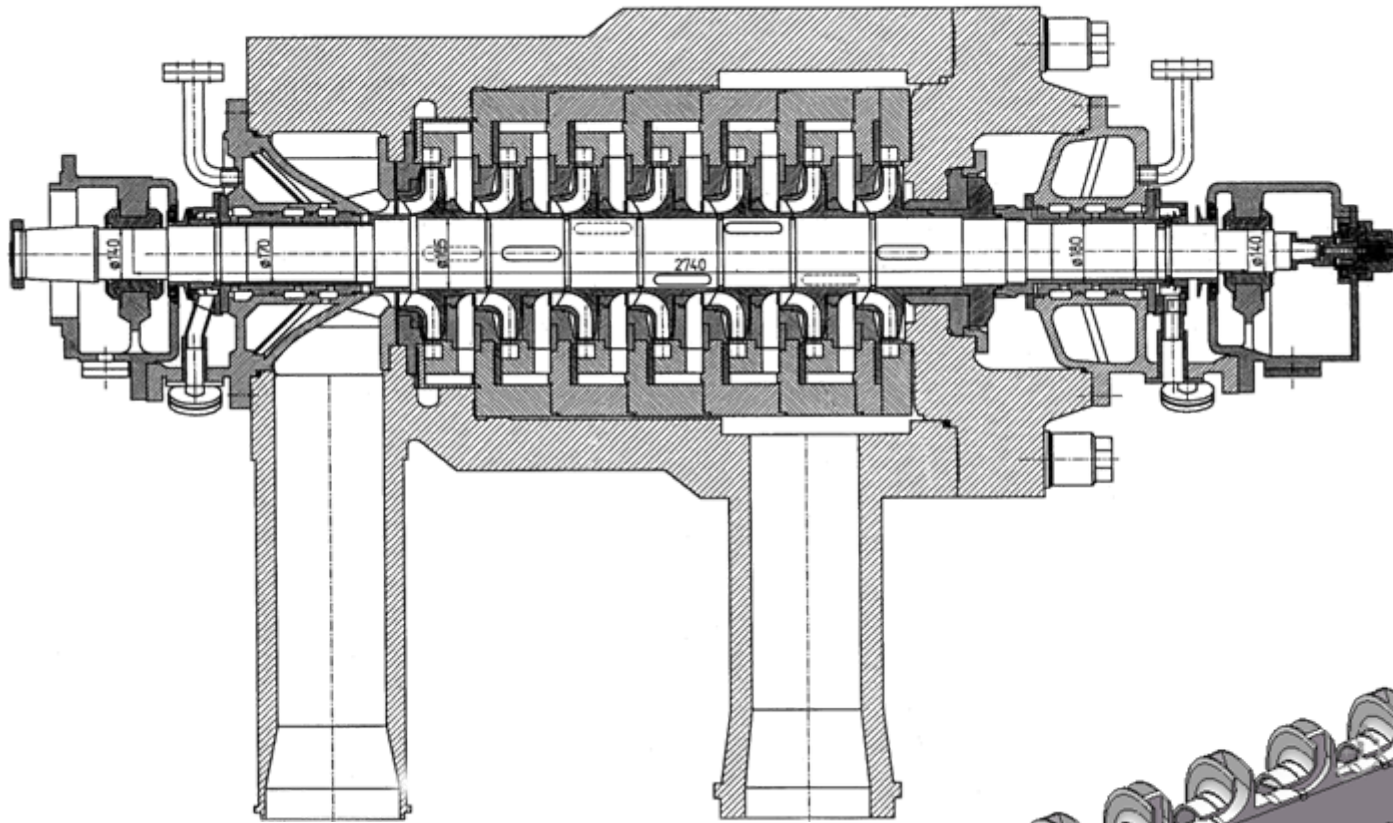
**Челябинский государственный университет  
НИЦ им. Курчатова  
Южно уральский государственный университет**



# Турбопитательная установка блока 800 МВт. Нижневартовская ГРЭС



# Центробежный насос





**Рабочее колесо**



**и Вал «ЛОПЗ»**



**Ротор и упорное кольцо разгрузки КСБ**



# Вал насоса ПН 1500-350-4 Пролетарский завод





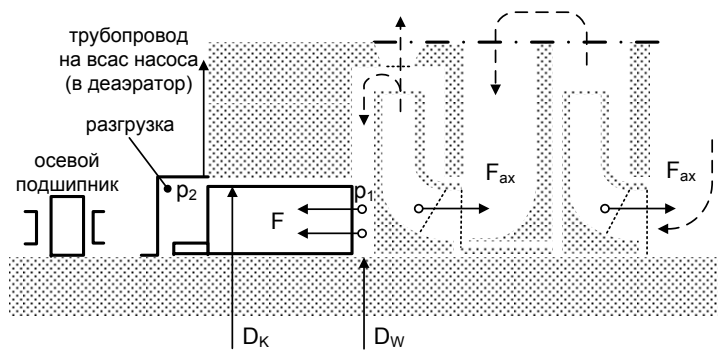


# Сырдарьинская ГРЭС KSB

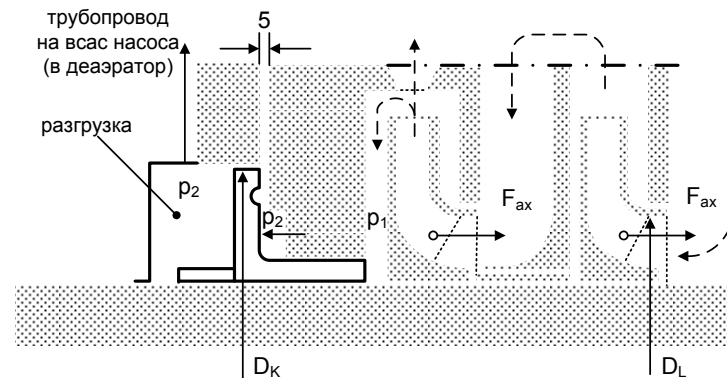


# Типы уравнивающих устройств

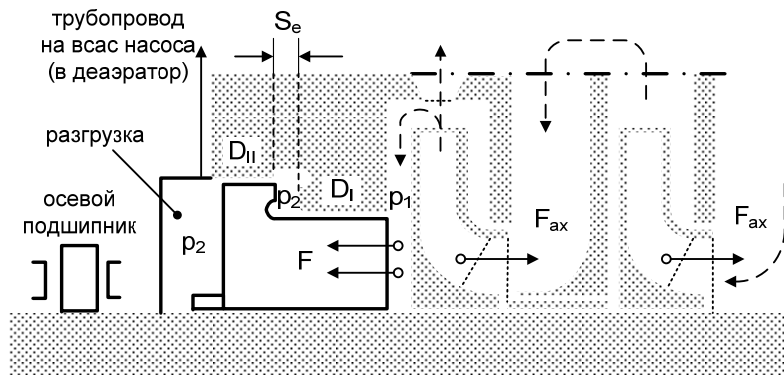
Sulzer



Пролетарский завод

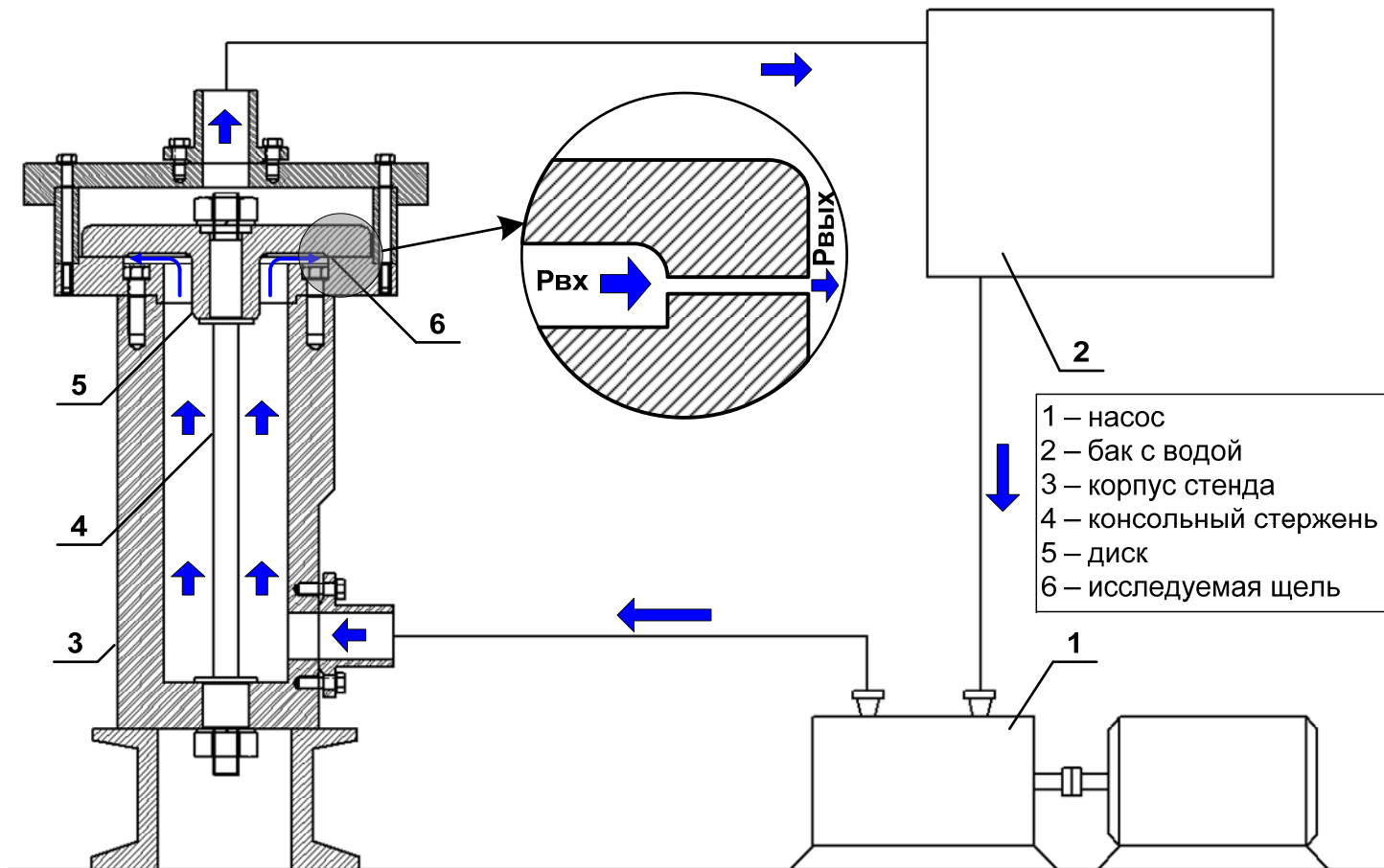


KSB

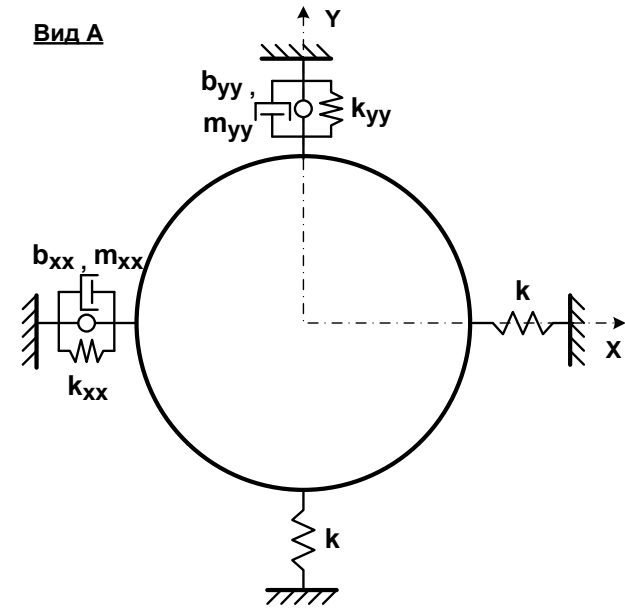
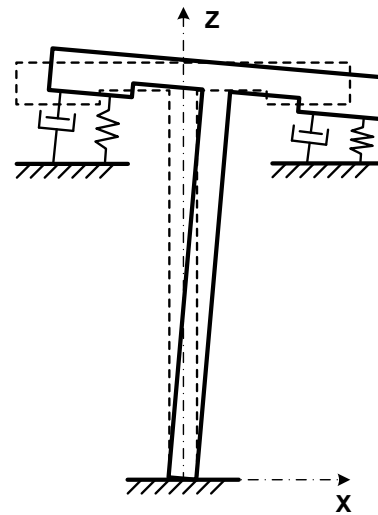
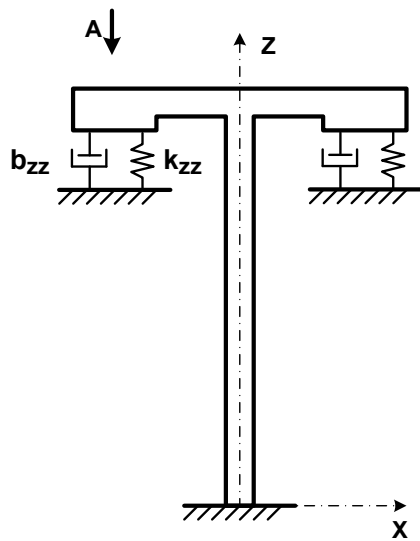




# Стенд гидропята



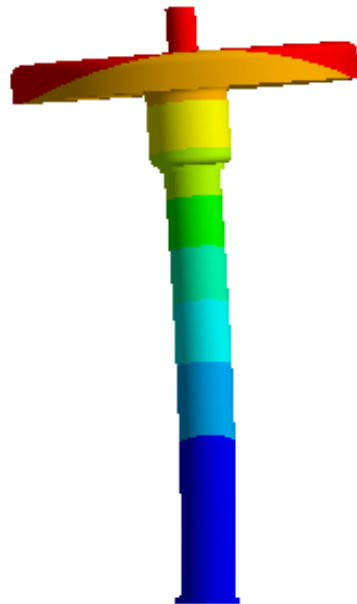
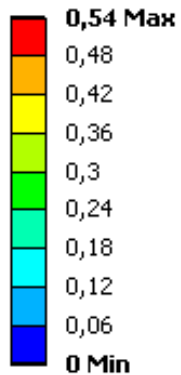
# Схема колебательной установки



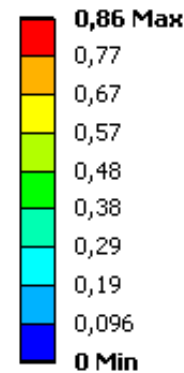


# Модальный анализ – первая и вторая формы колебаний («Calculix»)

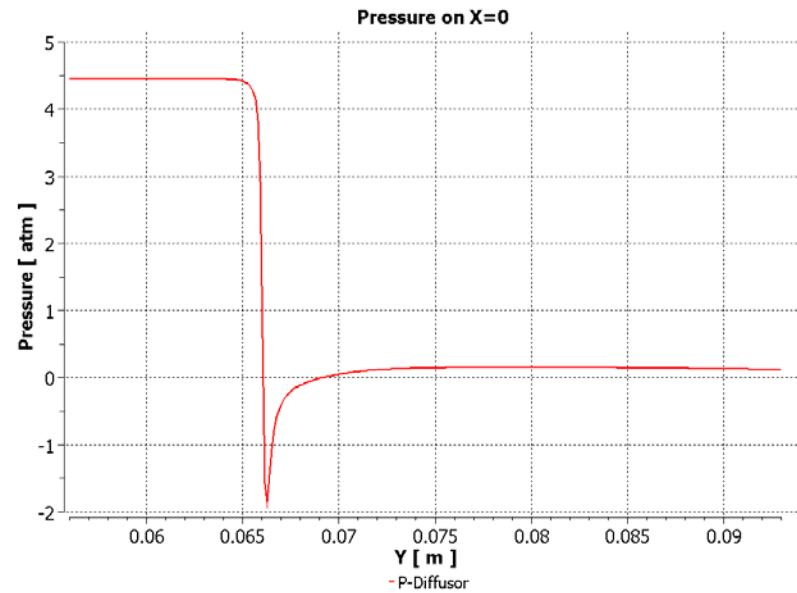
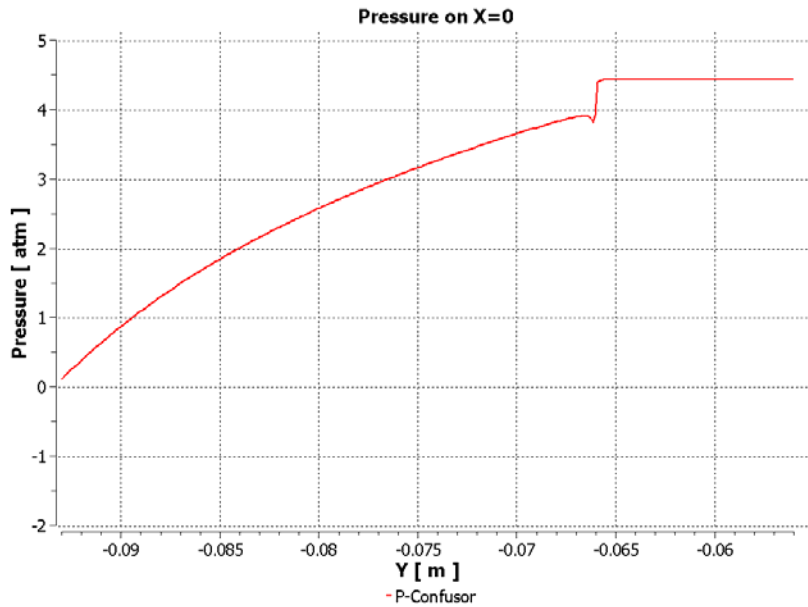
**Total Deformation**  
Type: Total Deformation  
Frequency: 73,989 Hz  
Unit: m



**Total Deformation 2**  
Type: Total Deformation  
Frequency: 605,85 Hz  
Unit: m

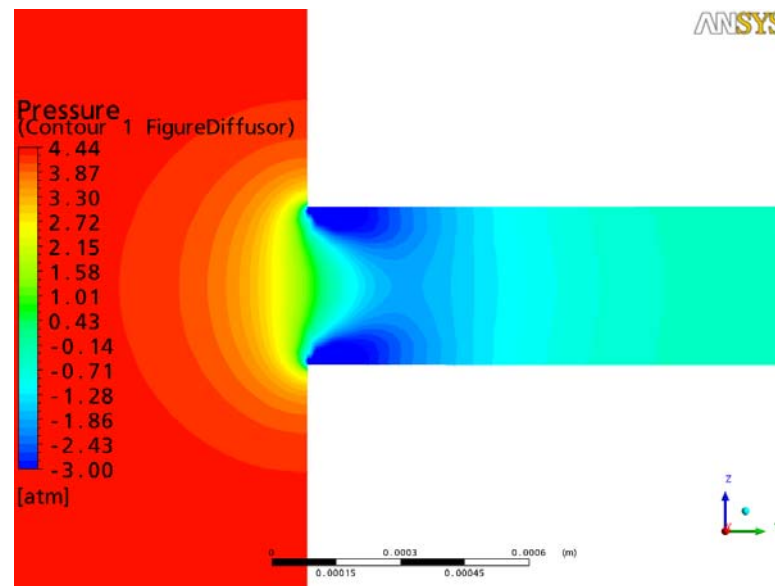
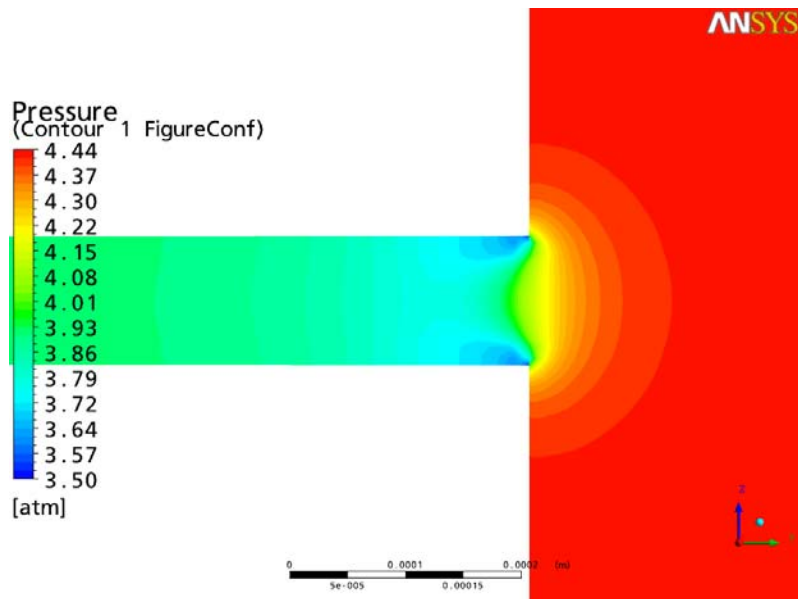


# Распределение давления по длине уплотнения.



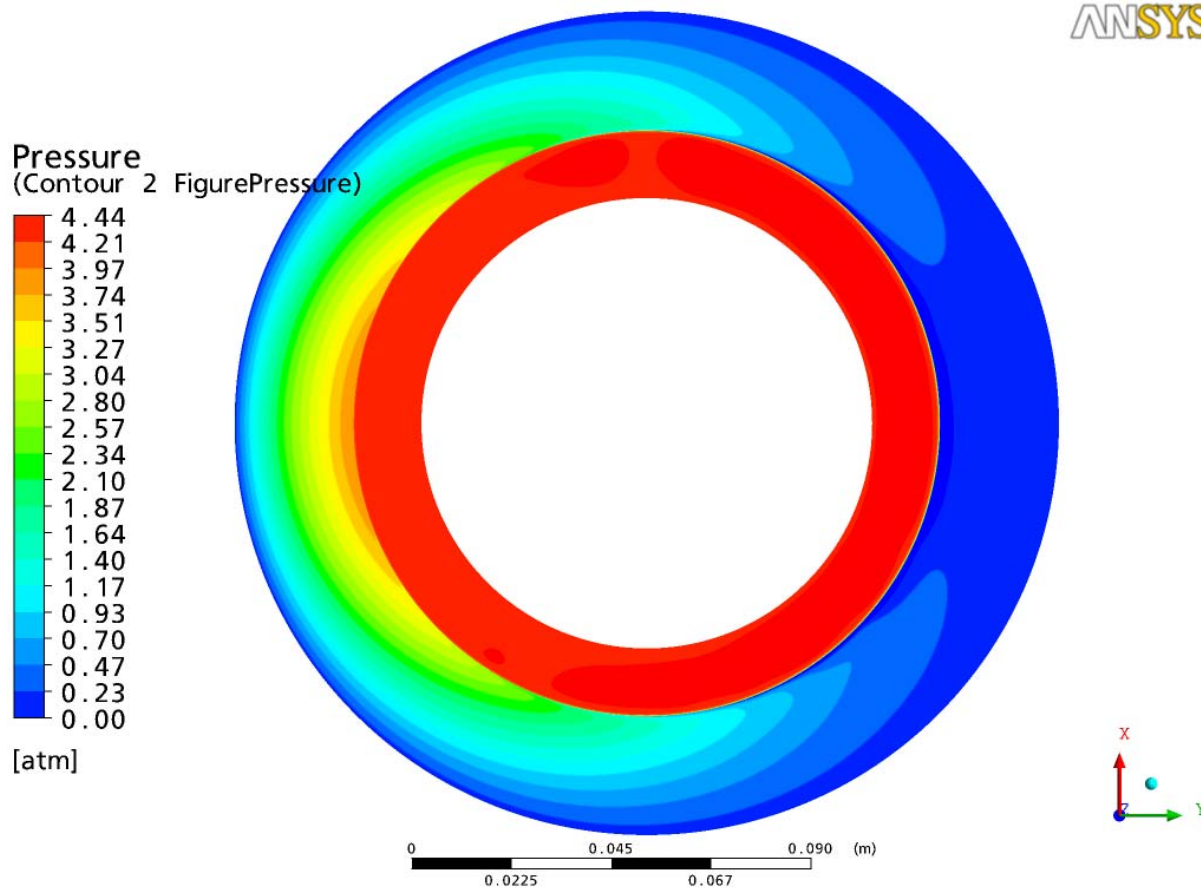


# Распределение давления по толщине зазора



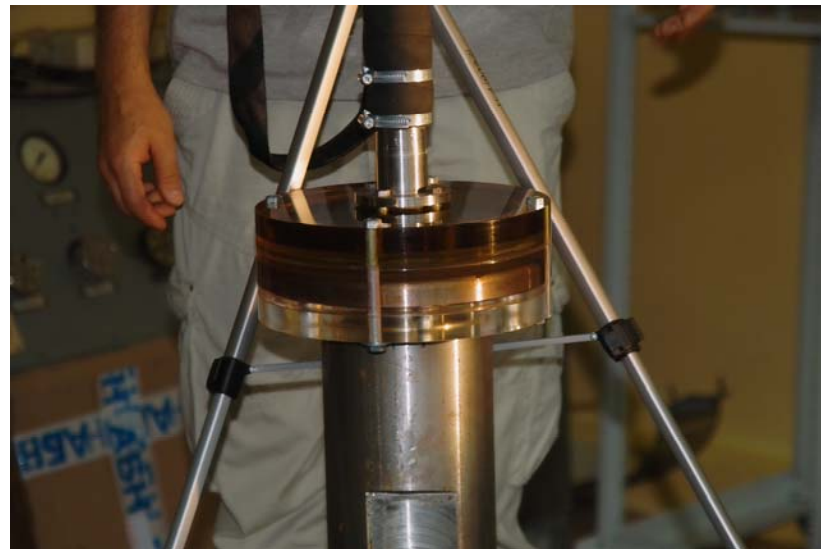
# Поле давления в радиальной щели уплотнения

ANSYS

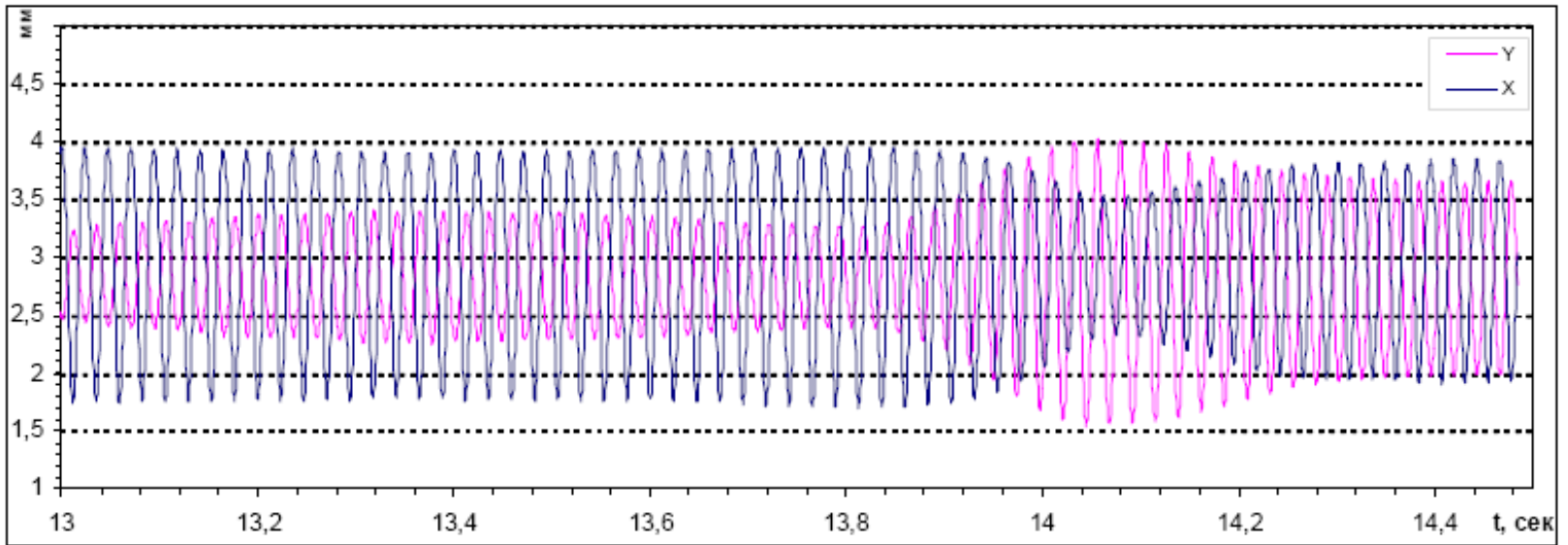




# Стендовые установки «Верификация»



# Временная форма колебаний центра диска



# Зависимость частоты автоколебаний консольного диска от давления на входе стендовой установки

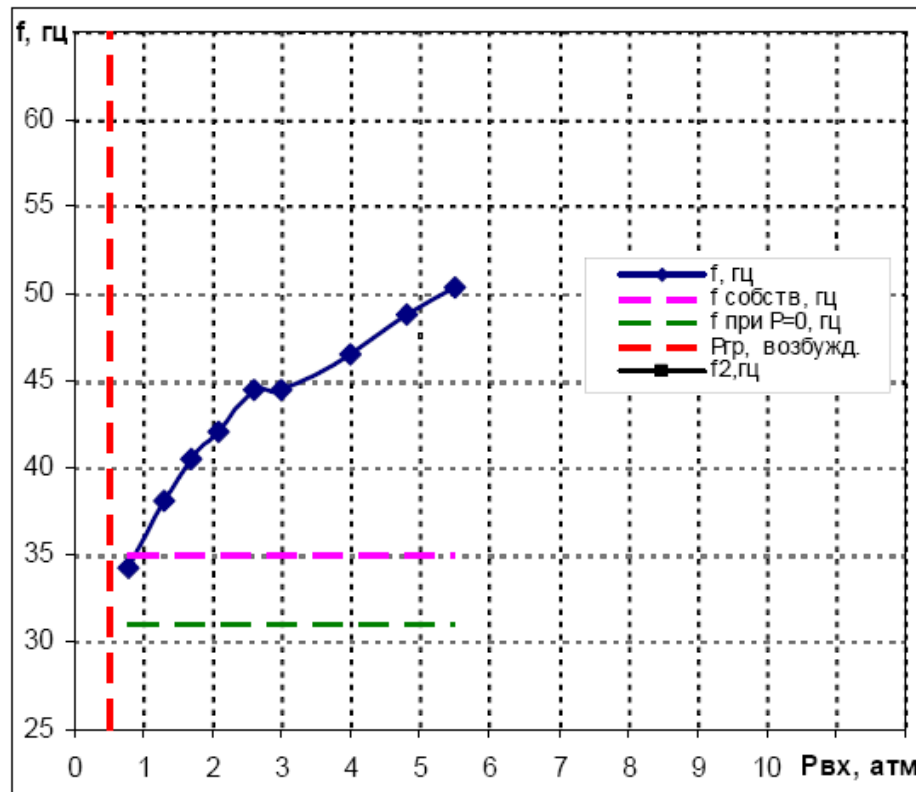
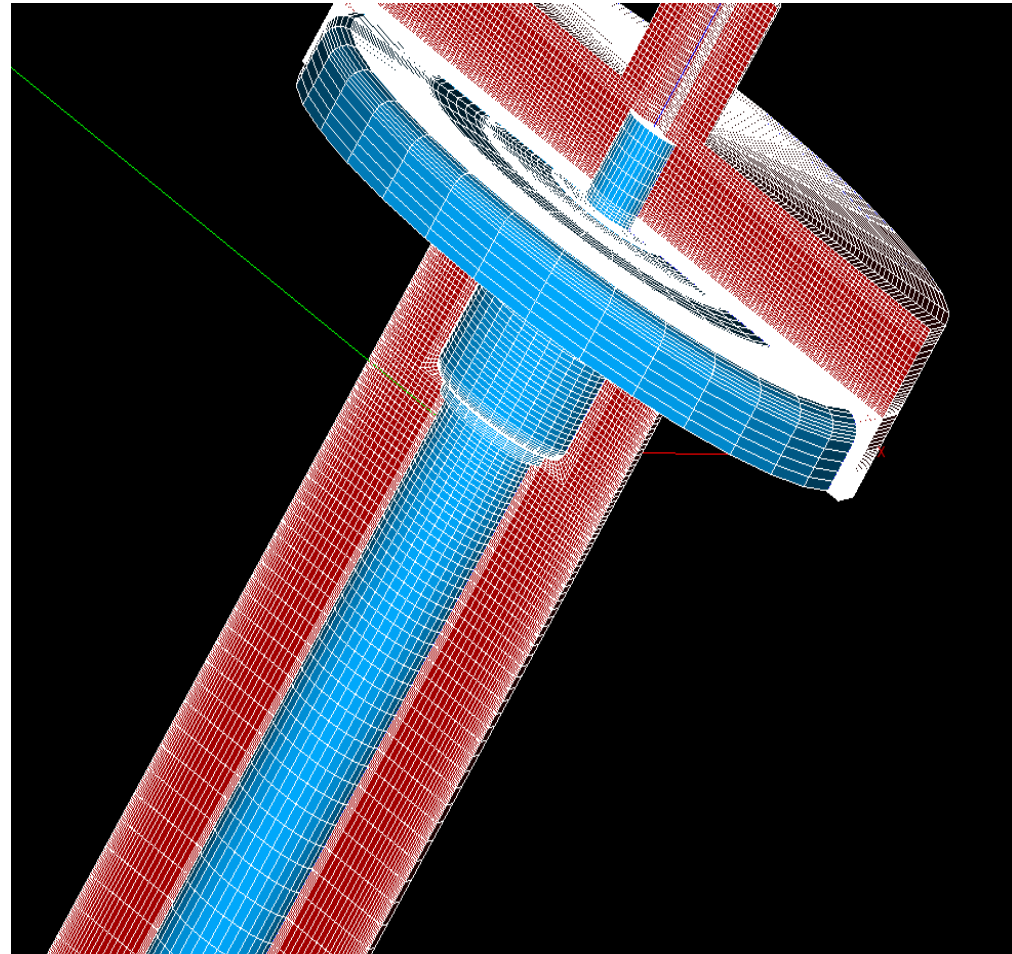
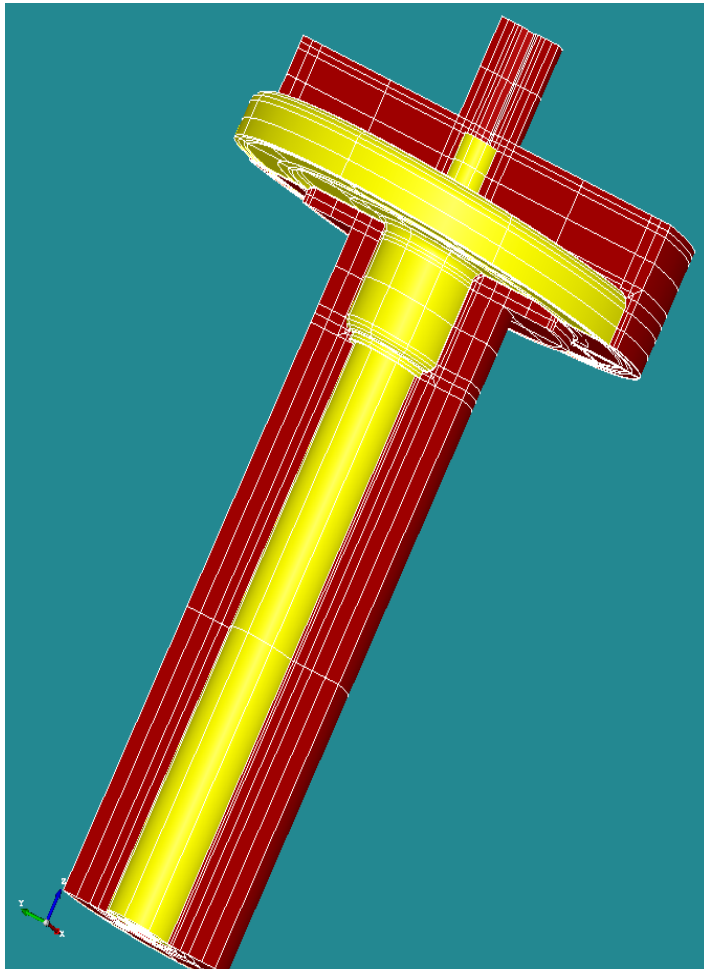


Рис. Зависимость частоты колебаний от входного давления и перепада давлений

# «OpenFOAM» «Calculix»





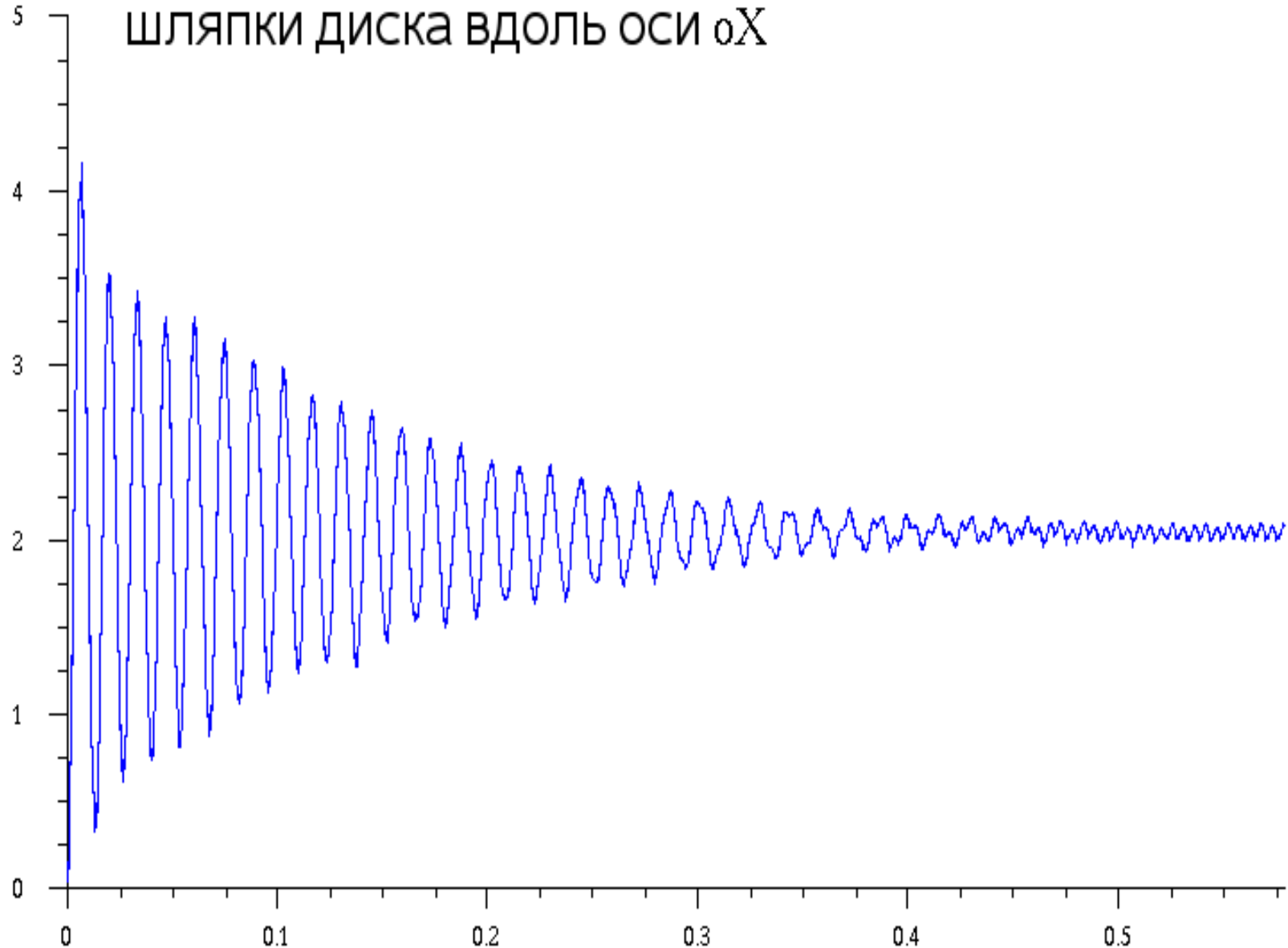
	Расчеты по модели OpenFOAM-UZOR
1	Базовая тестовая задача. Выбраны три точки для отбора полей давления и перемещений: а) на нижней плоскости диска до зазора; б) на нижней плоскости диска и на максимальном радиусе; в) на ножке станда. Грубая расчетная сетка включала в себя 90 тысяч контрольных объёмов для проточной части и 150 тысяч контрольных объёмов для механической части. Использовалась LES-модель турбулентности в проточной части задачи. Были получены автоколебания с частотой 100Гц, перемещениями, соответствующими собственной форме №1 и амплитудой порядка 50мкм. Давление перед зазором 6.1бар, после — 0.1бар.
2	Аналогично №1, но с давлением перед зазором 1.5бар. Получены затухающие колебания конструкции по первой собственной форме с частотой 75Гц.
3	Аналогично №1, но с давлением на входе в щель 20бар. Обнаружены автоколебания конструкции по первой собственной форме с частотой 134Гц и амплитудой 415мкм.
4	Как и в №1, но с заниженным критерием поиска соответствий между узлами гидродинамической и механической частей на смоченной границе (для установления полной связи). Результат количественно и качественно полностью идентичен случаю №1.
5	Как и в №2, но с заниженным критерием поиска соответствий между узлами гидродинамической и механической частей на смоченной границе (для установления полной связи). Результат количественно и качественно полностью идентичен случаю №2.
6	Как в №1, но с $k - \omega SST$ моделью турбулентности (вместо LES). В результате получены затухающие колебания.
7	Как в №6, но с $k - \varepsilon$ моделью турбулентности. Для данной расчетной сетки не удалось получить устойчивое решение — численная схема после нескольких десятков итераций расходилась.

# Эволюция перемещений

— Dx, мкм (Серия 8: Давление 1.5атм)

## шляпки диска вдоль оси oX

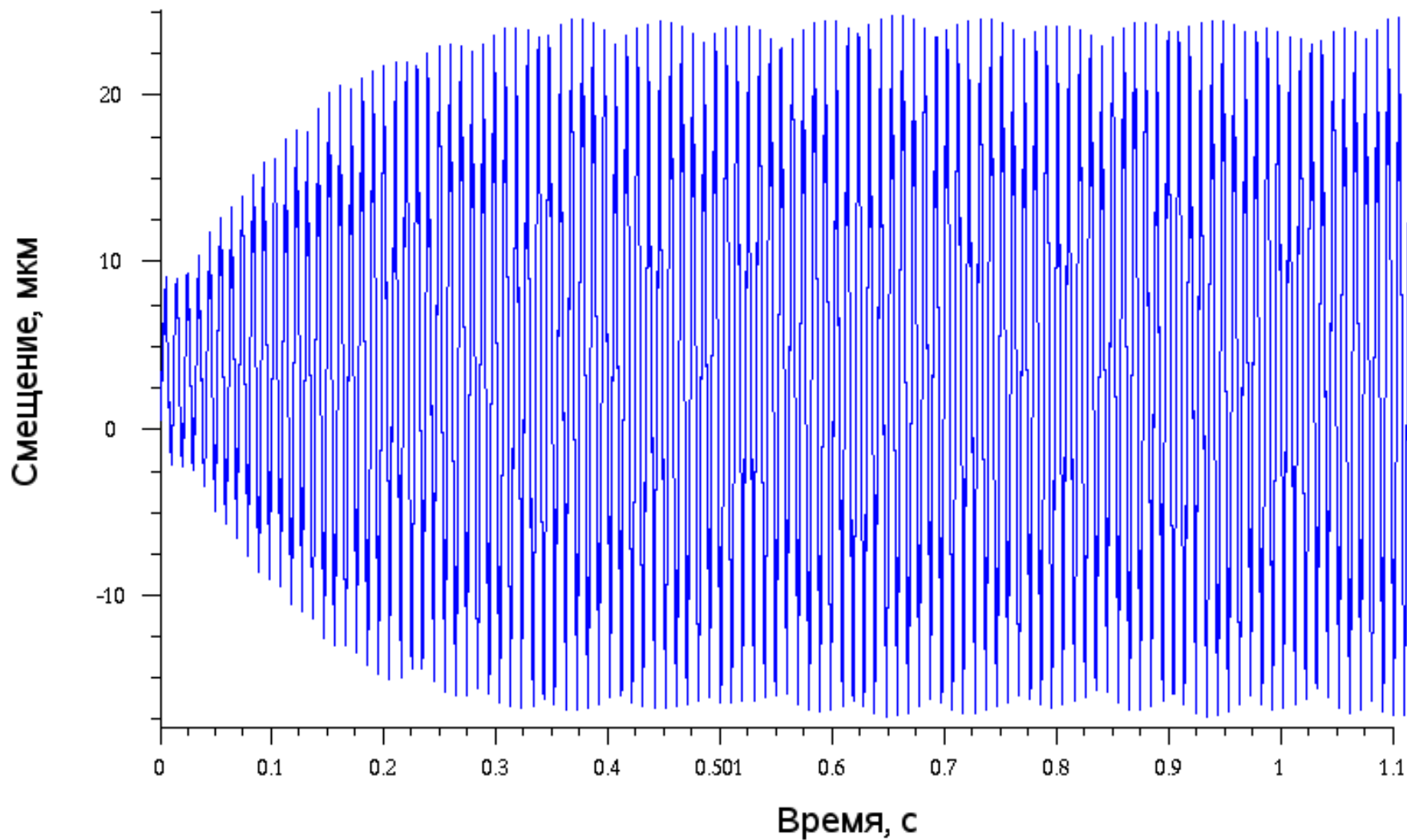
Смещение, мкм



# Эволюция перемещений

## шляпки диска вдоль оси $OX$

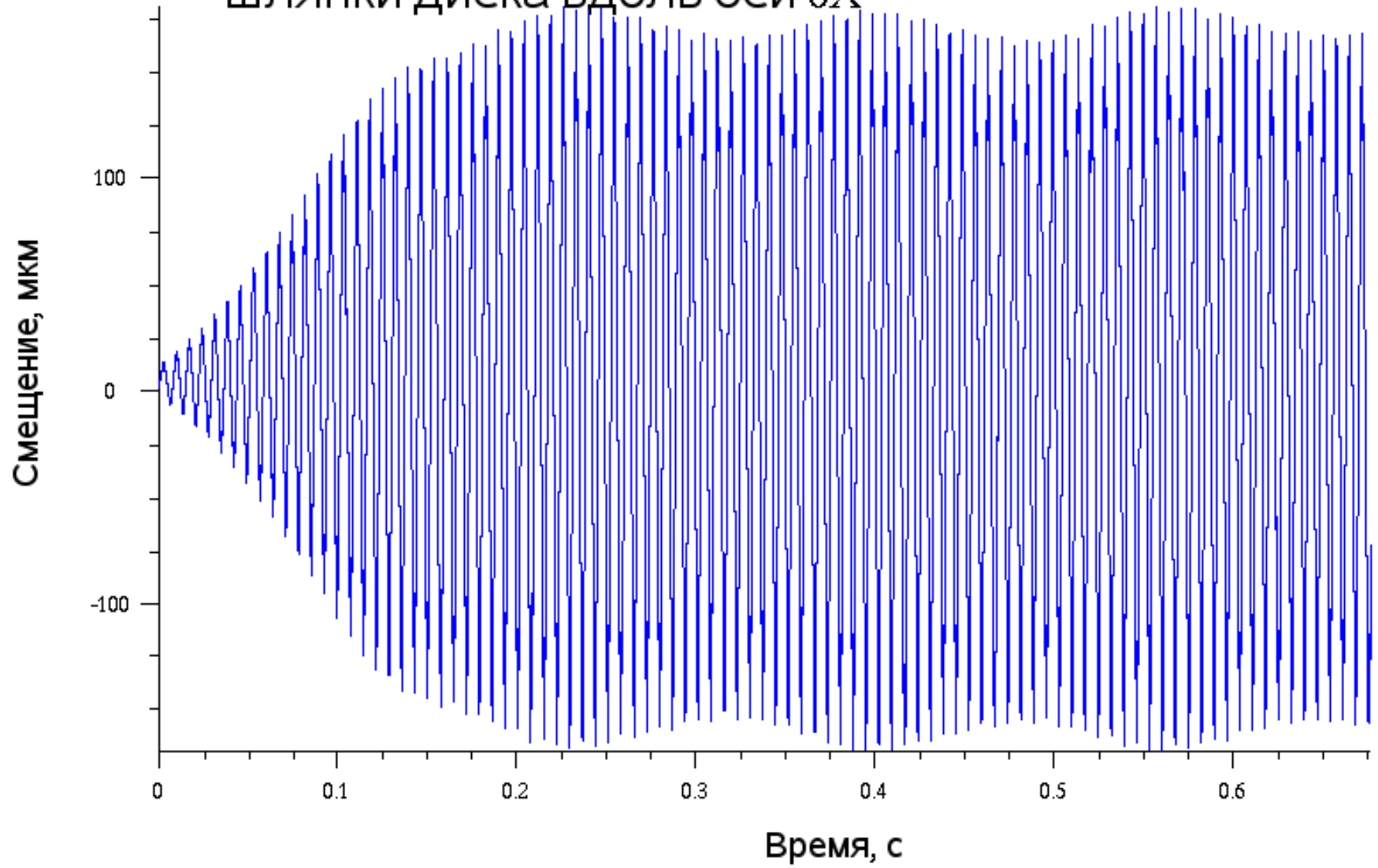
—  $Dx$ , мкм (Серия 7: Давление батм)



# Эволюция перемещений

— Dx, мкм (Серия 6: Давление 20атм)

## Шляпки диска вдоль оси OX





# Сравнение спектров частот трех исследуемых режимов

