

# Забабахинские Научные Чтения

**Экспериментальное изучение колебаний твэла реактора НЕПТУН.**

**Верхоглядов Александр Евгеньевич**



Лаборатория Нейтронной Физики им. И.М. Франка  
Объединенный Институт Ядерных Исследований

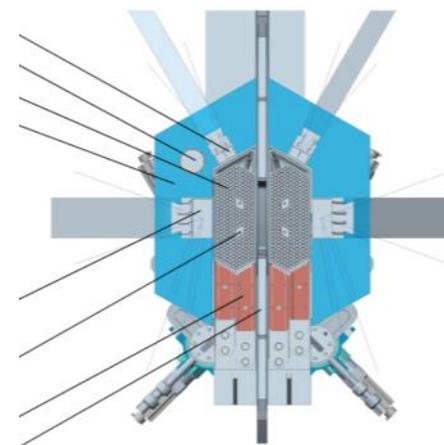
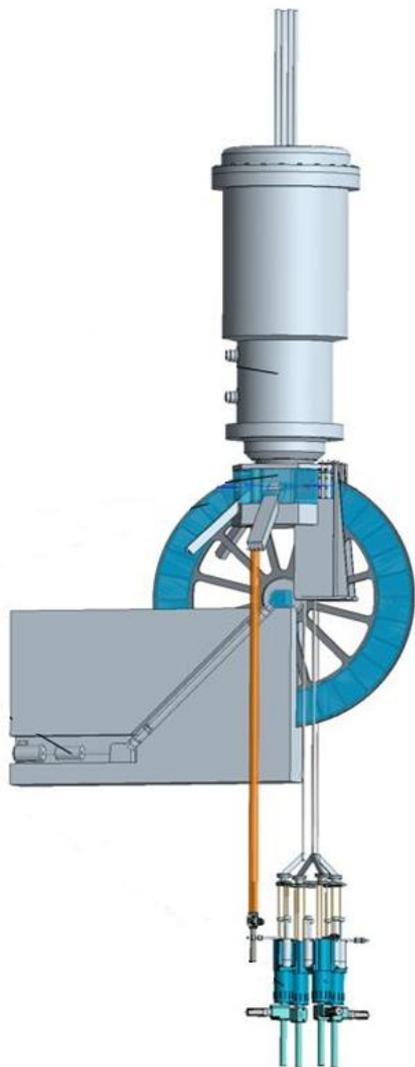
**Дубна – Снежинск 21.05.2025**

# Проект импульсного реактора НЕПТУН.

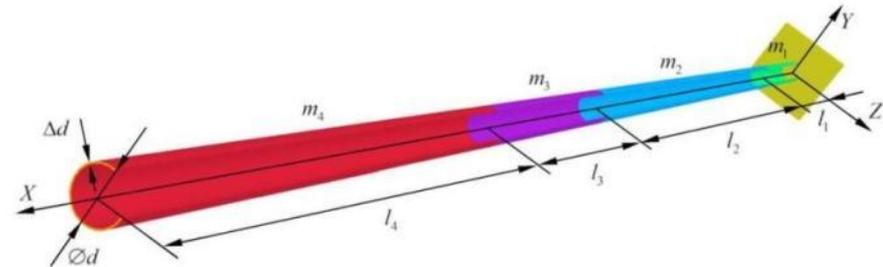
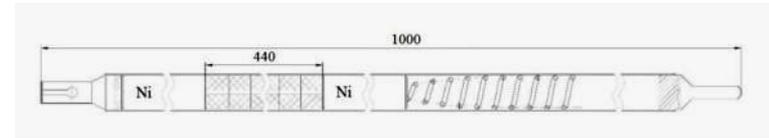
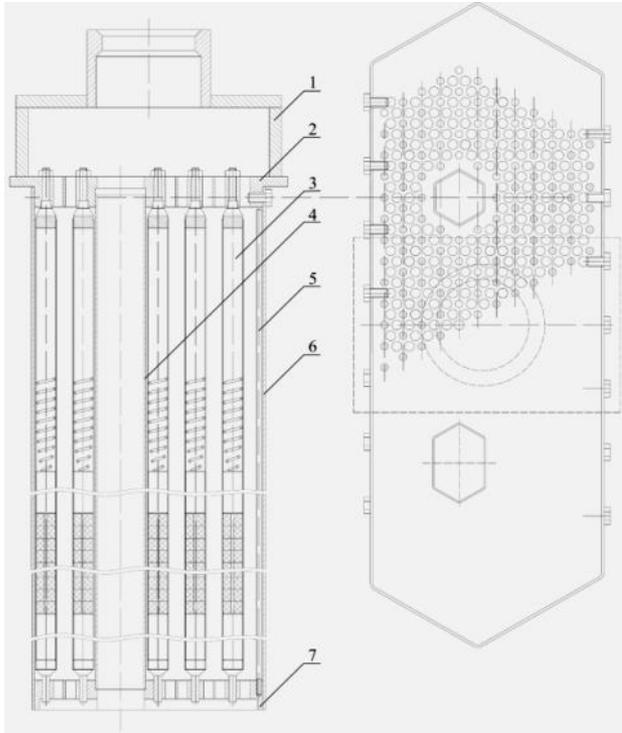


Параметры реактора НЕПТУН

Параметр	Значение
Тепловая мощность	10-15 МВт
Частота импульсов	10 имп/сек
Средняя по времени ППТН на поверхности замедлителя	$(0.8 - 1.5) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Фоновая мощность	2 -2.5 %
Длительность импульса быстрых нейтронов	~250 мкс
Топливо	NpN
Теплоноситель, температура	Натрий, 290-390 <sup>0</sup> С
Длительность кампании без перегрузки, 4% т.а.	40000 час
Ресурс реактора (по корпусу активной зоны)	20000-25000 МВт·сут
Замедлители, предзамедлители	Вода, мезитилен, бериллий

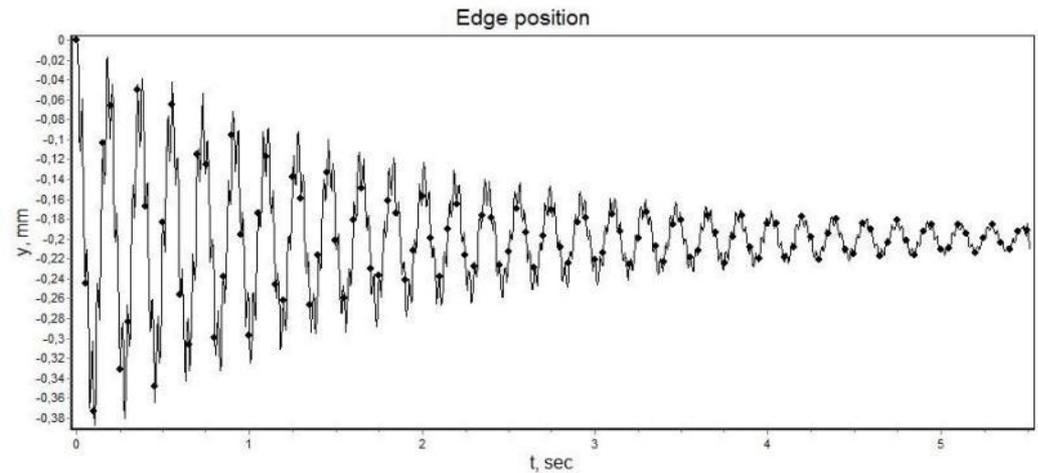


# Проблема флуктуаций мощности.

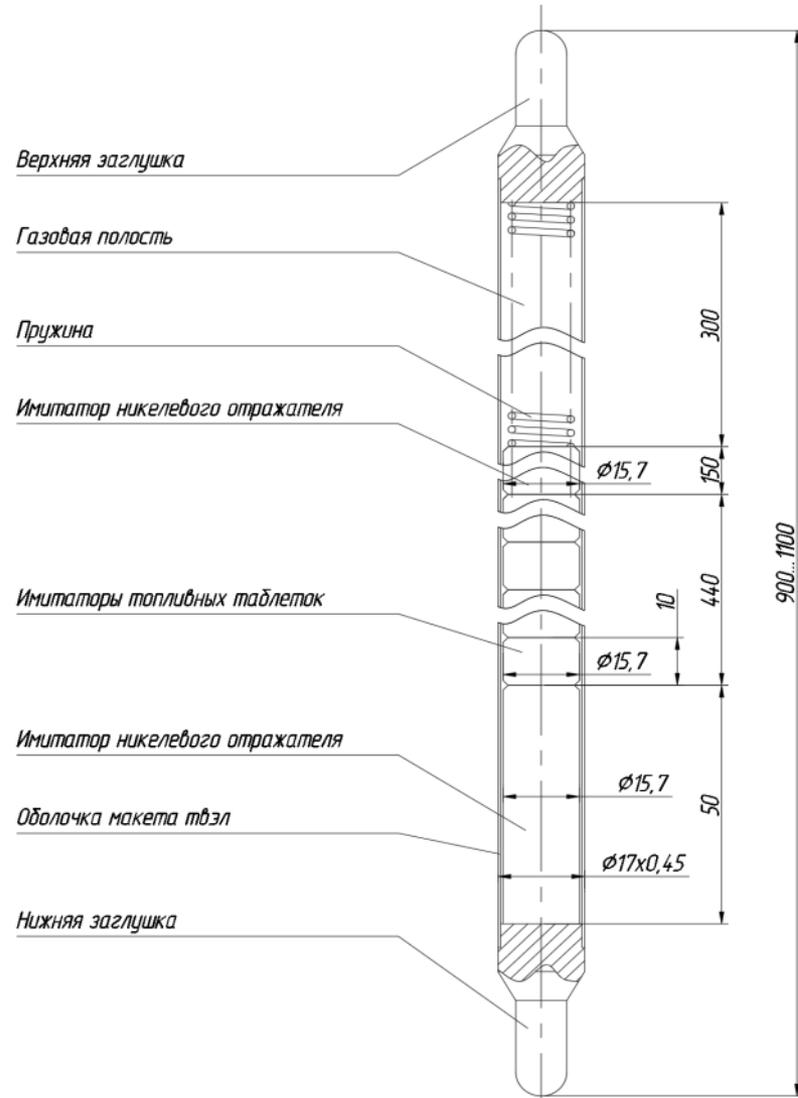
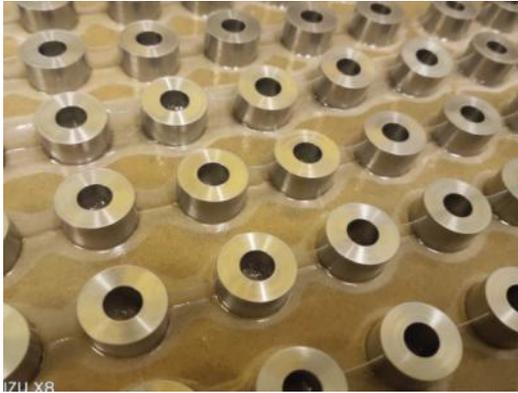


$$\mu \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + EJ\alpha \frac{\varphi T_s}{d} \right) + \xi d \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

- Термоупругие деформации твэлов
- Обратная связь → неустойчивость
- Мат. модель динамики
- Определение параметров твэла
- Влияние теплоносителя



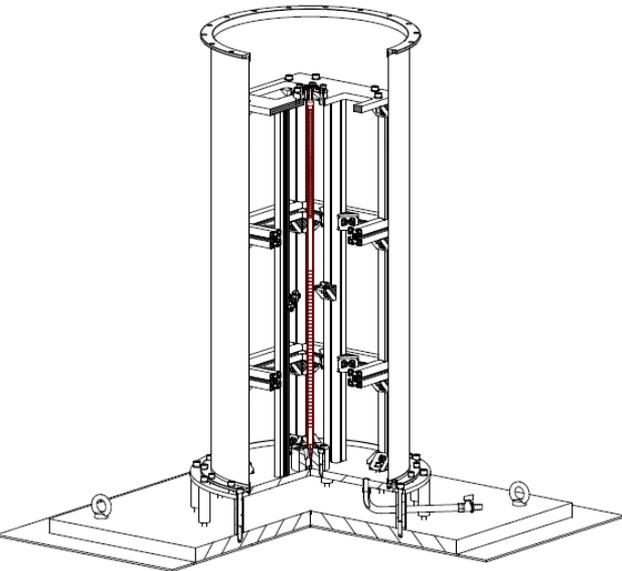
# Постановка задачи. Модельный твэл НЕПТУН.



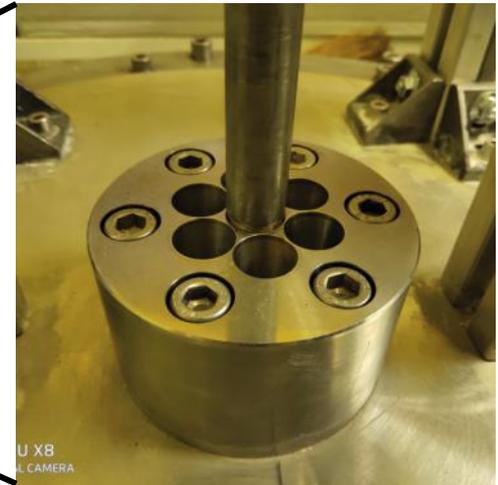
## Задачи:

- измерить частоту свободных колебаний на воздухе и в жидкости;
- измерить время затухания свободных колебаний;
- определить погрешности;
- сравнить результаты измерений с численным расчётом.

# Стенд вибродиагностики.



- ✓ разные способы закрепления твэлов
- ✓ до семи твэлов одновременно
- ✓ профили для установки датчиков
- ✓ кожух для измерений в жидкости



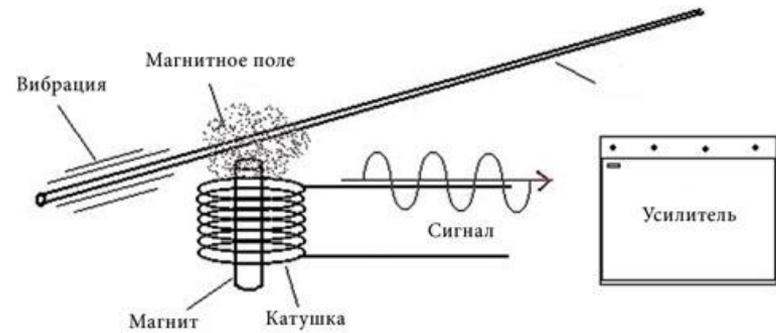
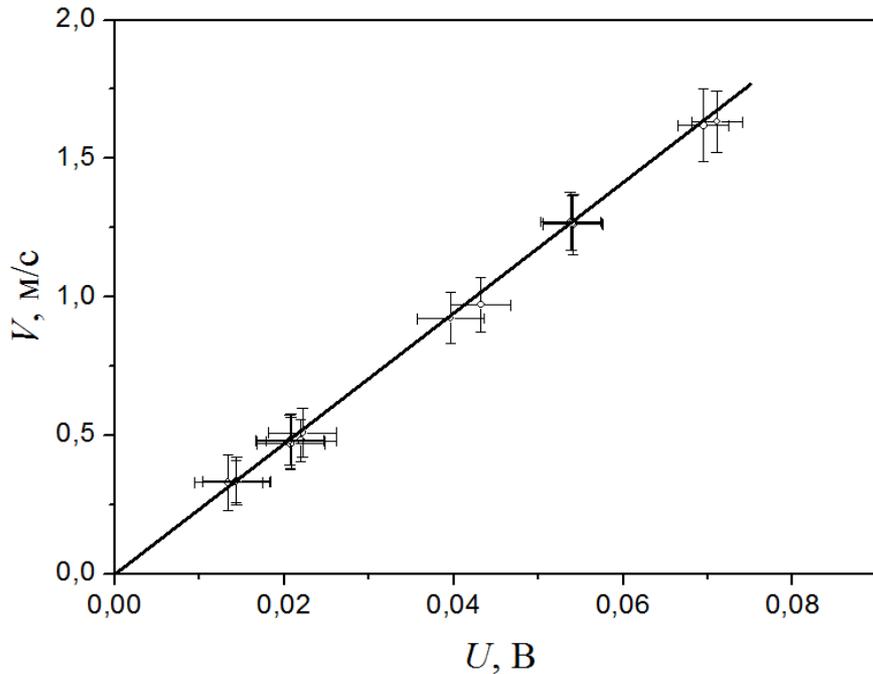
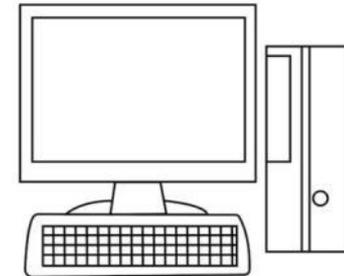
CAMERA

U X8  
CAMERA

# Измерительная аппаратура



CORONA-4SC



**Электромагнитный датчик Corona-4SC**

**Usb-осциллограф Hantek 6022BL**

**Бесконтактные измерения**

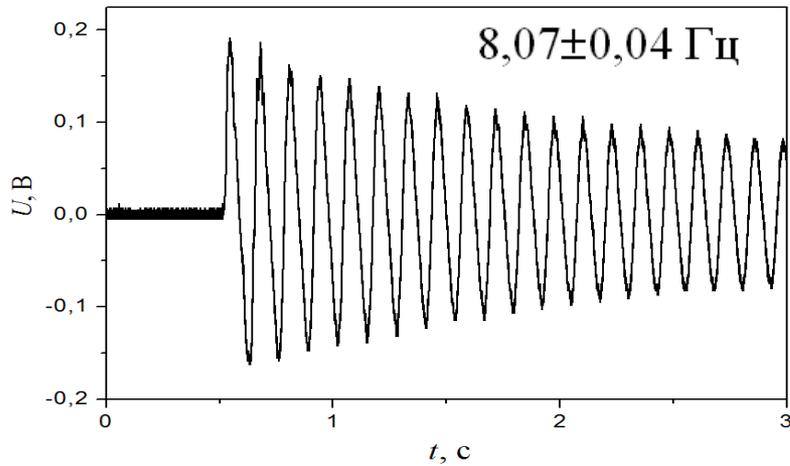
**Герметичный корпус**

**Калибровка U-V, линейный отклик**

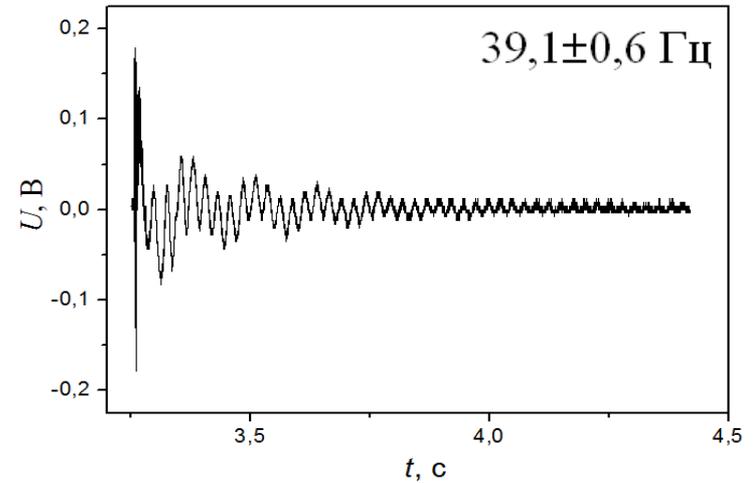
# Измерение собственных частот поперечных колебаний ТВЭЛ



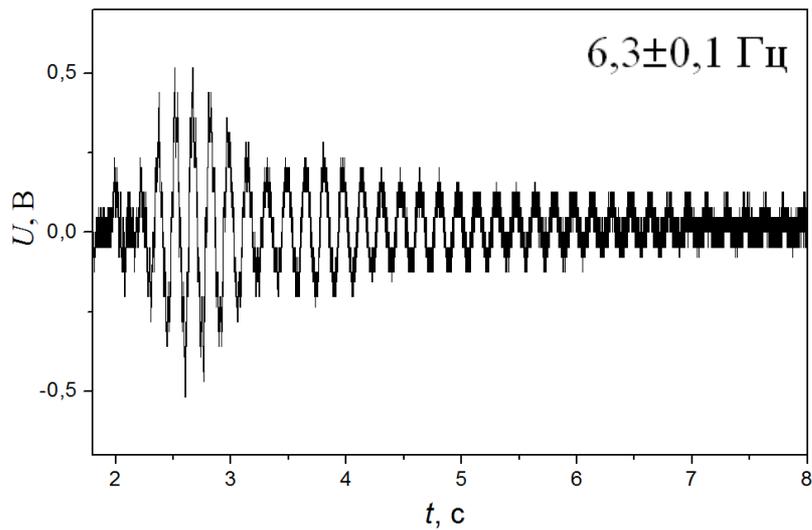
Первая гармоника на воздухе



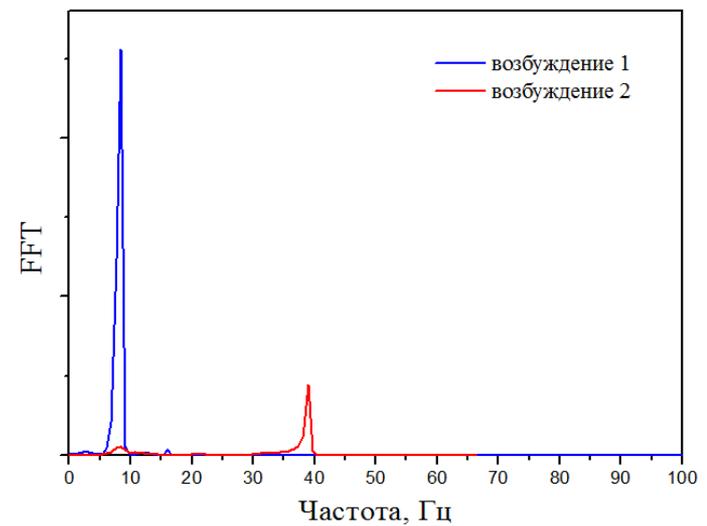
Вторая гармоника на воздухе



Первая гармоника в воде



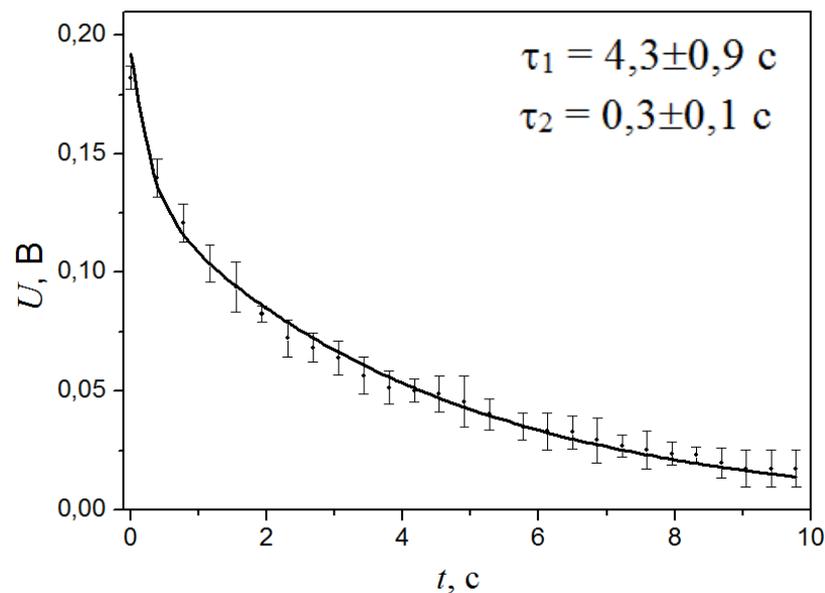
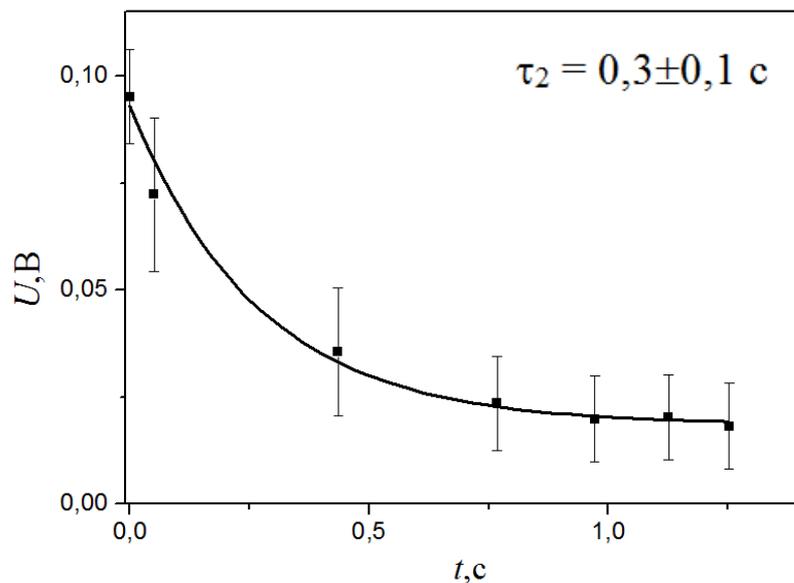
Спектр на воздухе



# Измерение времени затухания свободных колебаний.



## Амплитуда колебаний на воздухе



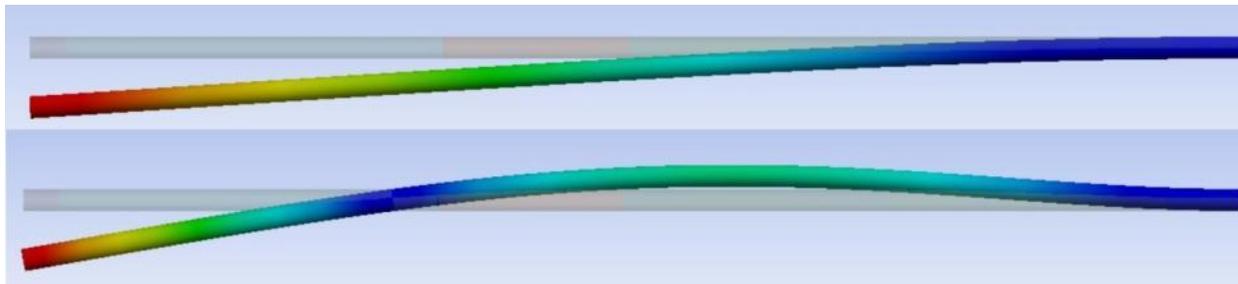
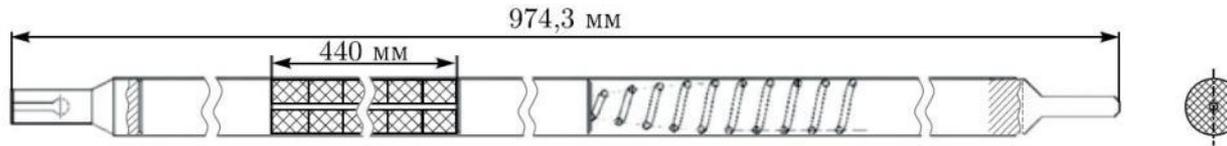
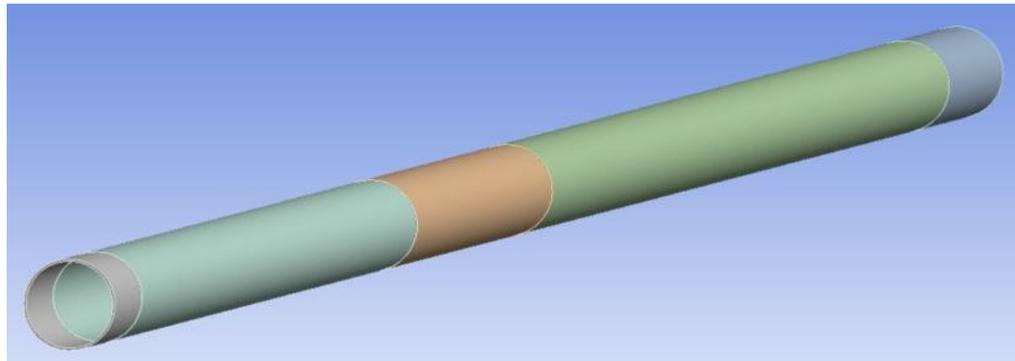
$$U(t) = A_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + A_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

В воде  $\tau \approx 2 \text{ c}$ .

Разное  $\tau$  для двух гармоник.

Вязкость воды вдвое выше вязкости натрия;

→ Оценка для натрия  $\tau \approx 2 \div 4 \text{ c}$



1 форма

2 форма

Расчёт

$$\nu_1 = 8,07 \text{ Гц}$$

$$\nu_2 = 35,87 \text{ Гц}$$



Измерение

$$\nu_1 = 8,07 \pm 0,04 \text{ Гц}$$

$$\nu_2 = 39,1 \pm 0,6 \text{ Гц}$$

Сильная зависимость от толщины стенки

# Выводы и планы



- ✓ Первые измерения на стенде дали значения параметров, необходимые для модели динамики реактора.
  - ✓ Электромагнитный датчик позволяет проводить измерения на одиночном твэле на воздухе и в жидкости.
  - ✓ Модель присоединённой массы и описание движения в жидкости требуют введения поправок.
- 
- ❑ Измерения с разным типом закрепления.
  - ❑ Измерения группы твэлов и сравнение с теорией.
  - ❑ Изготовление твэлов, поиск другого типа датчиков. Развитие приборной базы.
  - ❑ Моделирование потока жидкости.

# Литература



1. Шабалин Е.П., Аксёнов В.Л., Комышев Г.Г., Рогов А.Д. Высокопоточный импульсный исследовательский реактор на основе нептуния. — Атомная Энергия, 2018, т. 124, вып. 6, с. 309 — 314.
2. Верхоглядов А.Е., Верхоглядова В.Н., Шабалин Е.П. Математическая модель импульсного реактора периодического действия. — Атомная энергия, 2025, т. 138, вып. 1 – 2.
3. Шабалин Е.П. Три особенности динамики пульсирующего реактора. — Атомная энергия, 2022, т. 133, вып. 2, с 76 — 81.
4. Перепёлкин Е.Е., Верхоглядов А.Е., Кушнир И.В., Клименко М.В. Собственные частоты и собственные функции составного стержня. — Письма в ЭЧАЯ, 2024, т. 21, № 2 (253), с. 175 — 185.
5. Верхоглядов А.Е. Уравнение плоских вынужденных поперечных колебаний стержня под действием температуры. Численно-аналитическое решение. — Письма в ЭЧАЯ, 2023, т. 20, №4(249), с. 657 — 668.
6. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Атомиздат. Москва. 1968. 484 с.