

# Разработка способа и системы ускоренного охлаждения вакуумных печей

с теплоизоляцией на основе  
углерод-углеродного композиционного  
материала

Студент: Шагеев Э.Р.

Научный руководитель: Погребисский М.Я.

# Материалы

Теплоизоляция  
высокотемпературных  
вакуумных печей

Футеровка

Низкоплотные  
углерод-углеродные  
композиционные  
материалы

Тепловые экраны

Тепловые экраны  
с высокими отражающими  
свойствами

Преимущества:

✓ низкое значение  
коэффициента  
теплопроводности

✓ низкое значение  
степени черноты

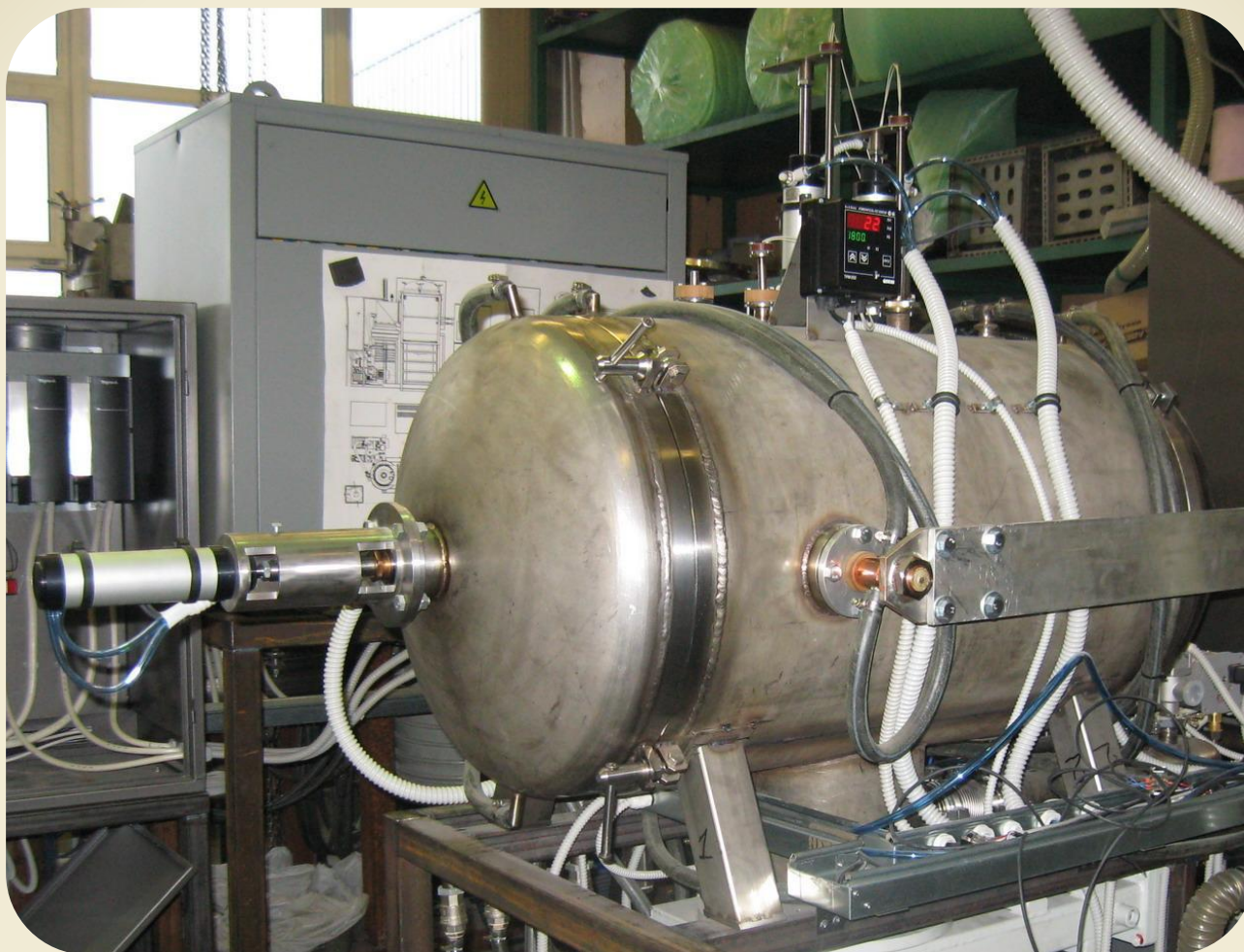
# Свойства НПУУКМ



- Открытая пористость от 60 до 80%.,
- плотность в пределах  $0,23 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup>,
- теплопроводность 0,25 Вт/м·К.

# Применение

Использование в качестве теплоизоляции углерод-углеродного композиционного материала позволяет сократить потребление энергии (до 40%) и обеспечивает более высокую и стабильную равномерность температурного поля. [1]



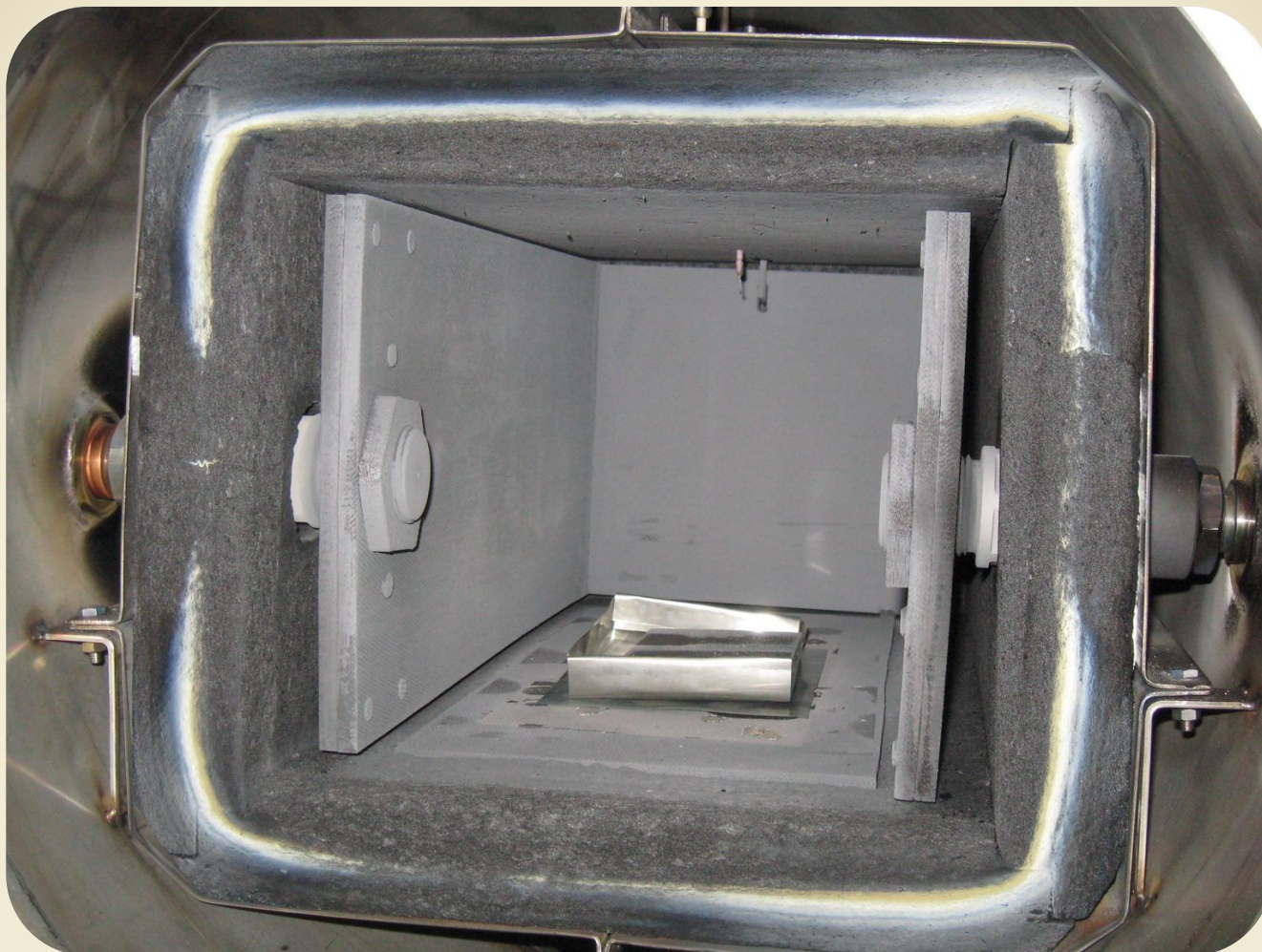
**Рис. 1 BC-16-18-U**

Печь предназначена для спекания пористых фильтрующих элементов



**Рис.2 Рабочая камера**

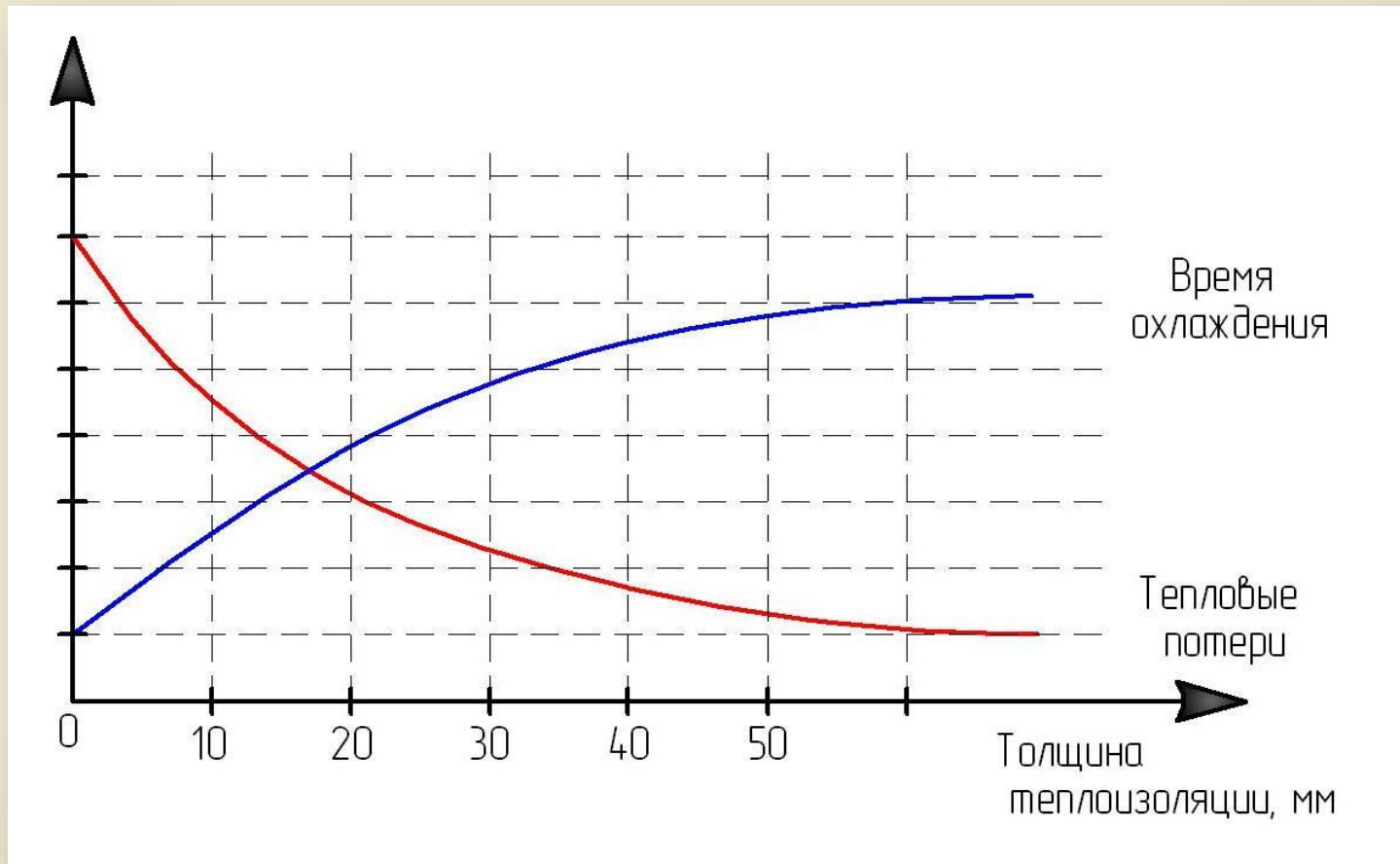
- Размеры рабочего пространства: 200x400x200 мм
- Рабочая камера с возможностью ускоренного охлаждения



**Рис. 3 Нагреватель**

- Максимальная температура рабочей зоны: 1800°C
- Расчетная мощность нагревателя: 40 кВт

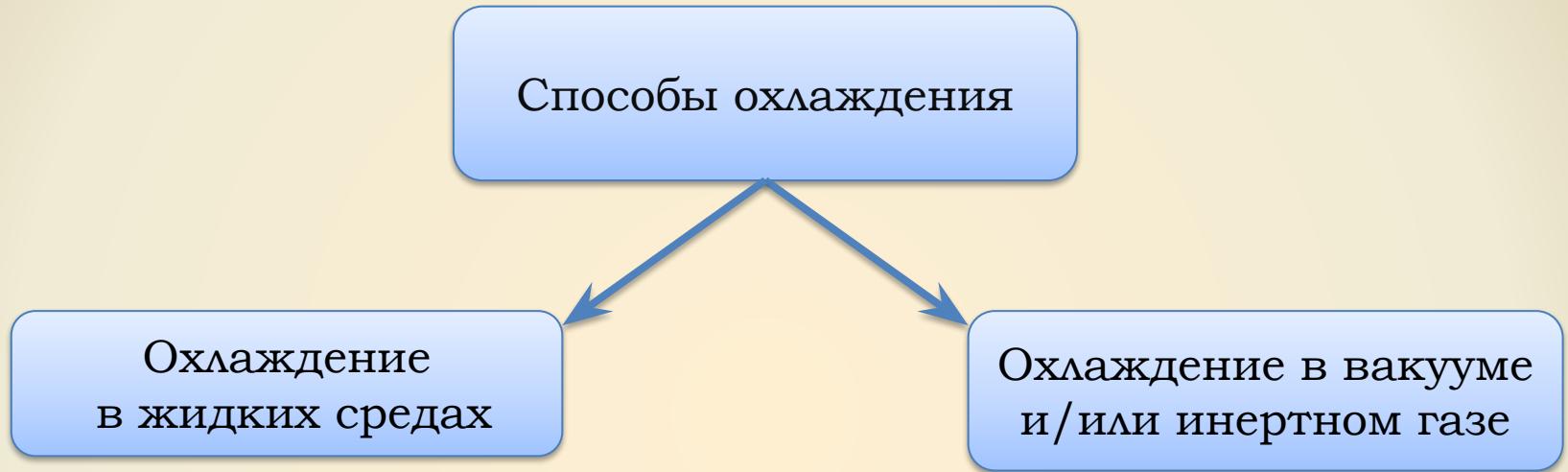
# Техническое противоречие



**Рис.4 Зависимость показателей технологического процесса от толщины теплоизоляции**

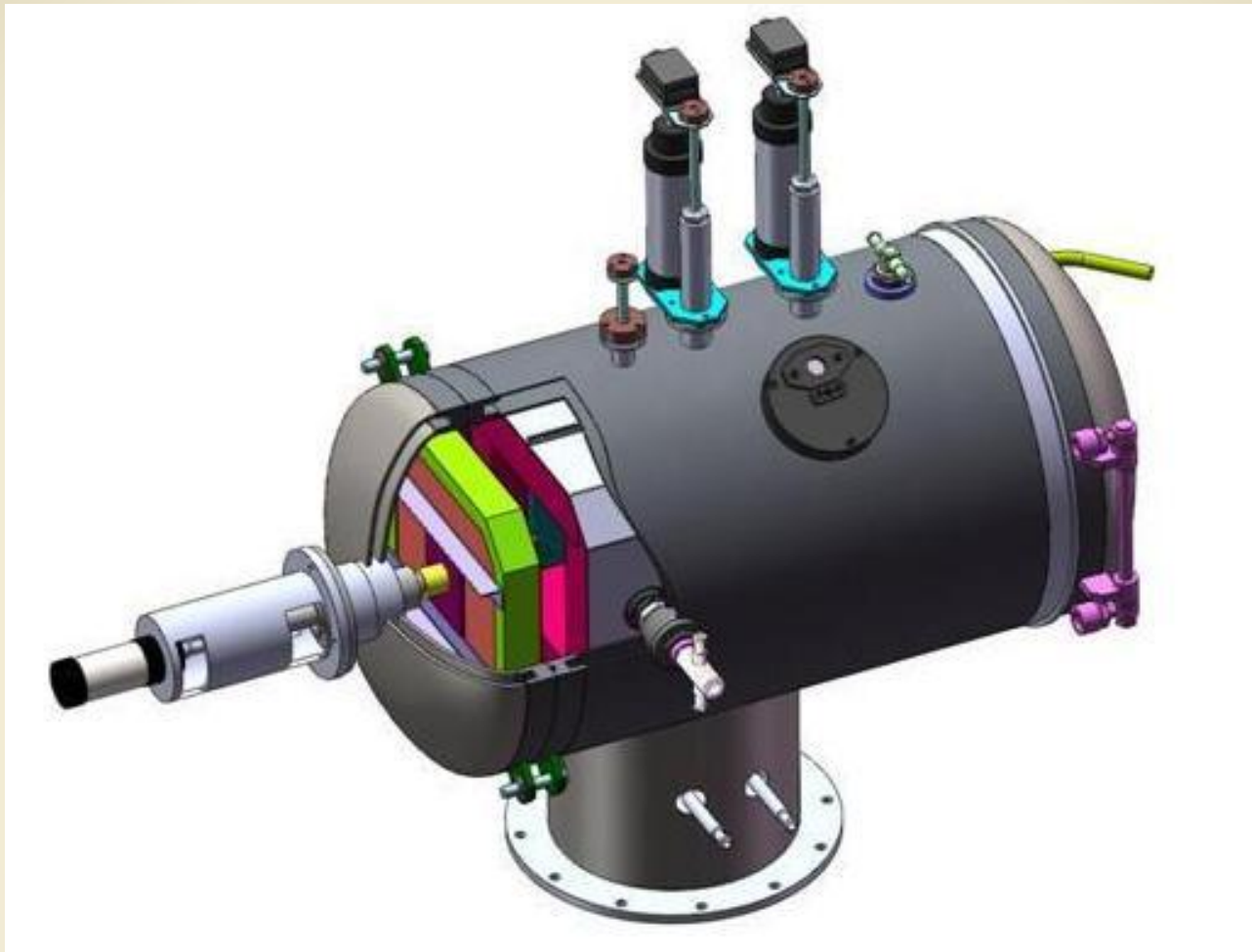


# Охлаждение



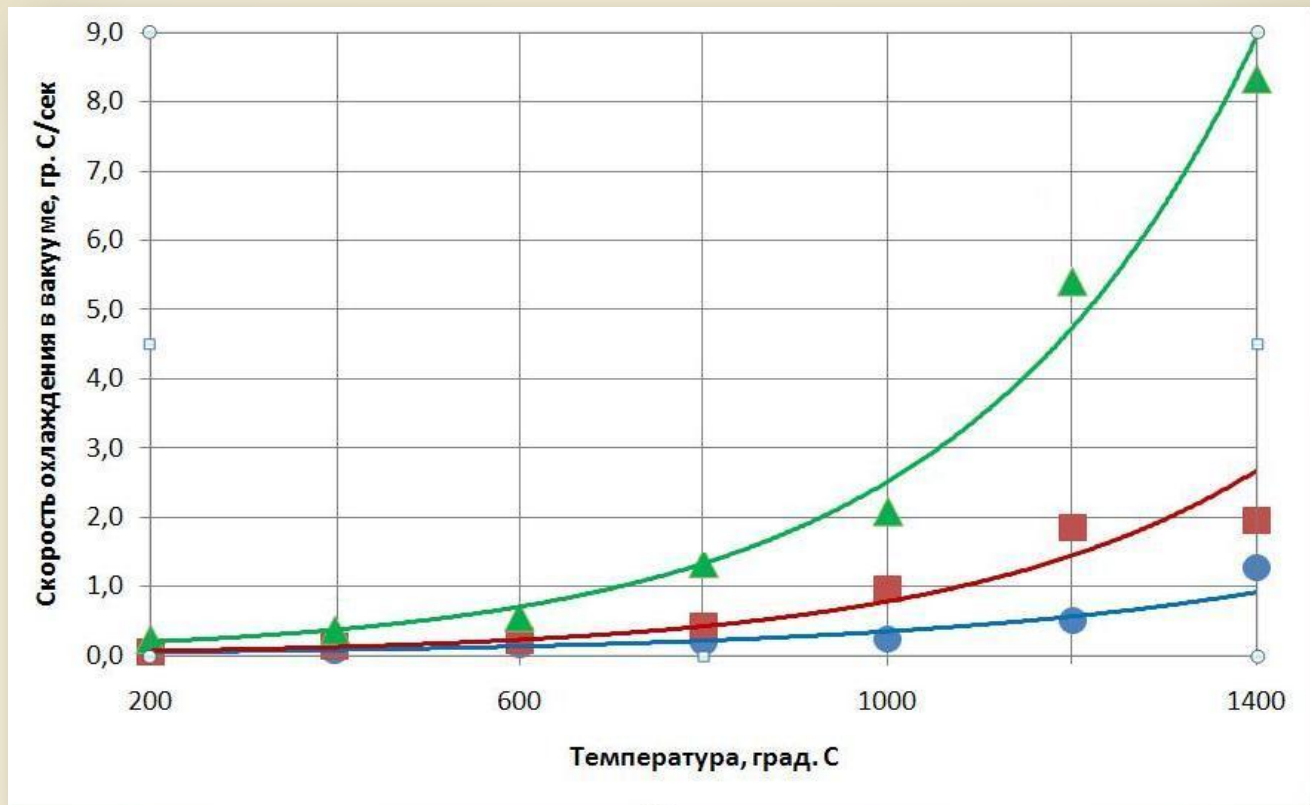
- крайне ограниченная возможность влияния на скорость охлаждения
- возникновение деформаций при высоких скоростях охлаждения
- применимо не во всех технологических процессах

- неравномерность теплового поля
- при охлаждении газом возможно появление «застойных» зон



### **Решение технического противоречия:**

Подвижная торцевая стенка теплоизоляции позволяет значительно увеличить скорость охлаждения загрузки



**Рис.5. Изменение скорости охлаждения камерной печи объемом рабочего пространства 16 дм<sup>3</sup> в зависимости от температуры:**

- футеровка печи выполнена из низкоплотного (0,3-0,4 г/см<sup>3</sup>) УУКМ;
- -теплоизоляция – блок экранов (Мо, сталь 12Х18Н10Т); ▲ – футеровка из низкоплотного (0,3-0,4 г/см<sup>3</sup>) УУКМ с подвижной торцевой теплоизоляцией. Охлаждение в вакууме 10<sup>-2</sup> Па.

# Предлагаемая конструкция теплоизоляции

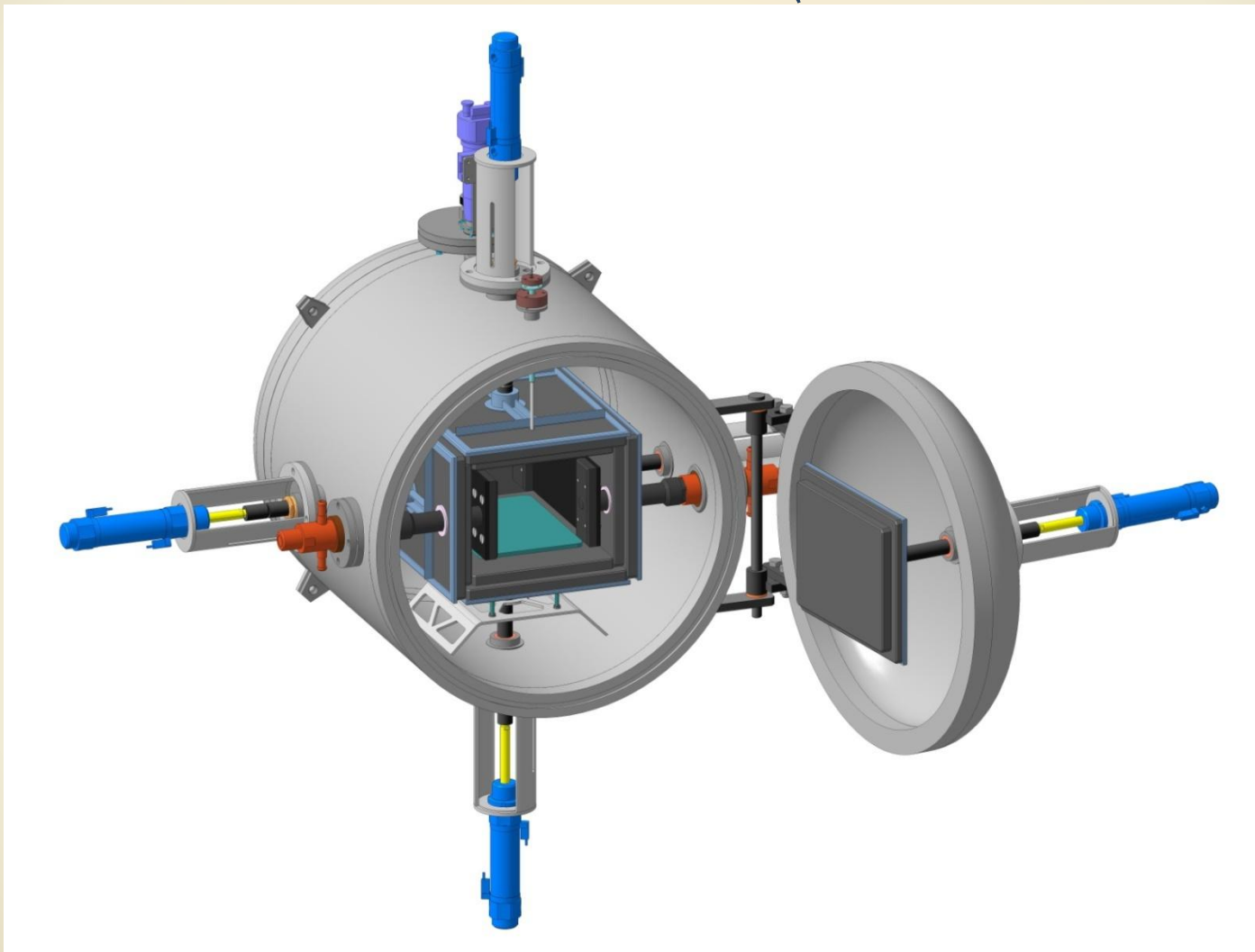
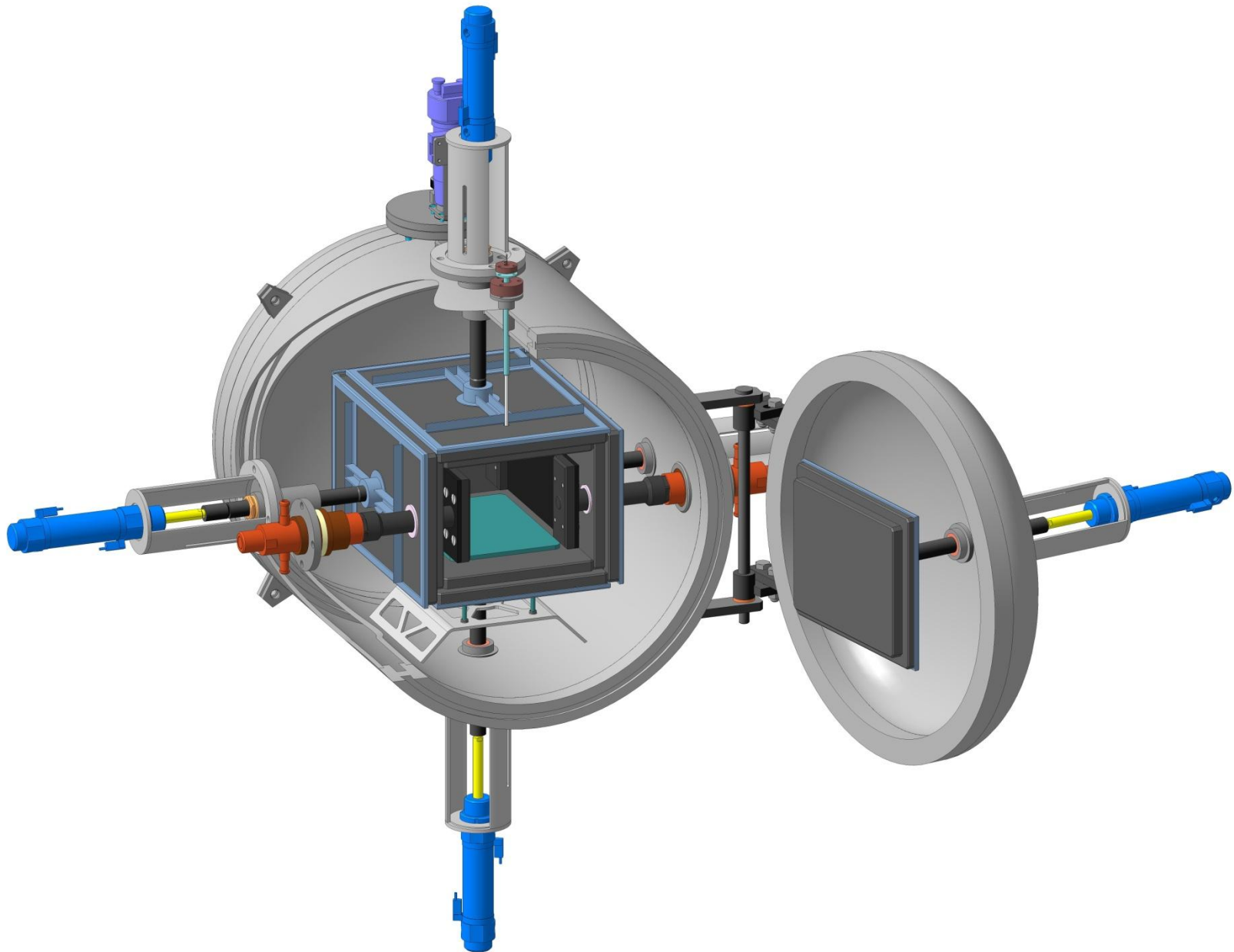
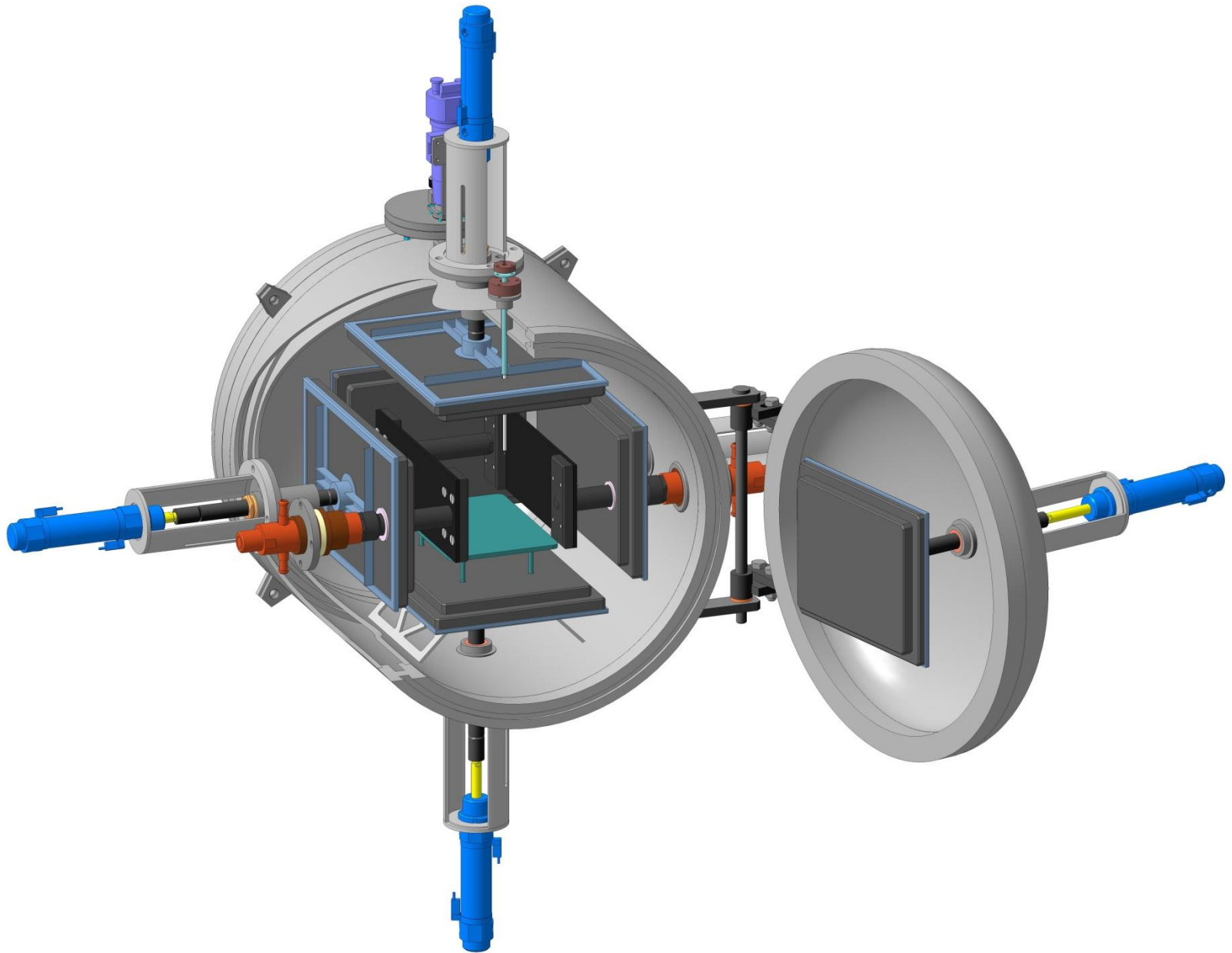


Рис. 6

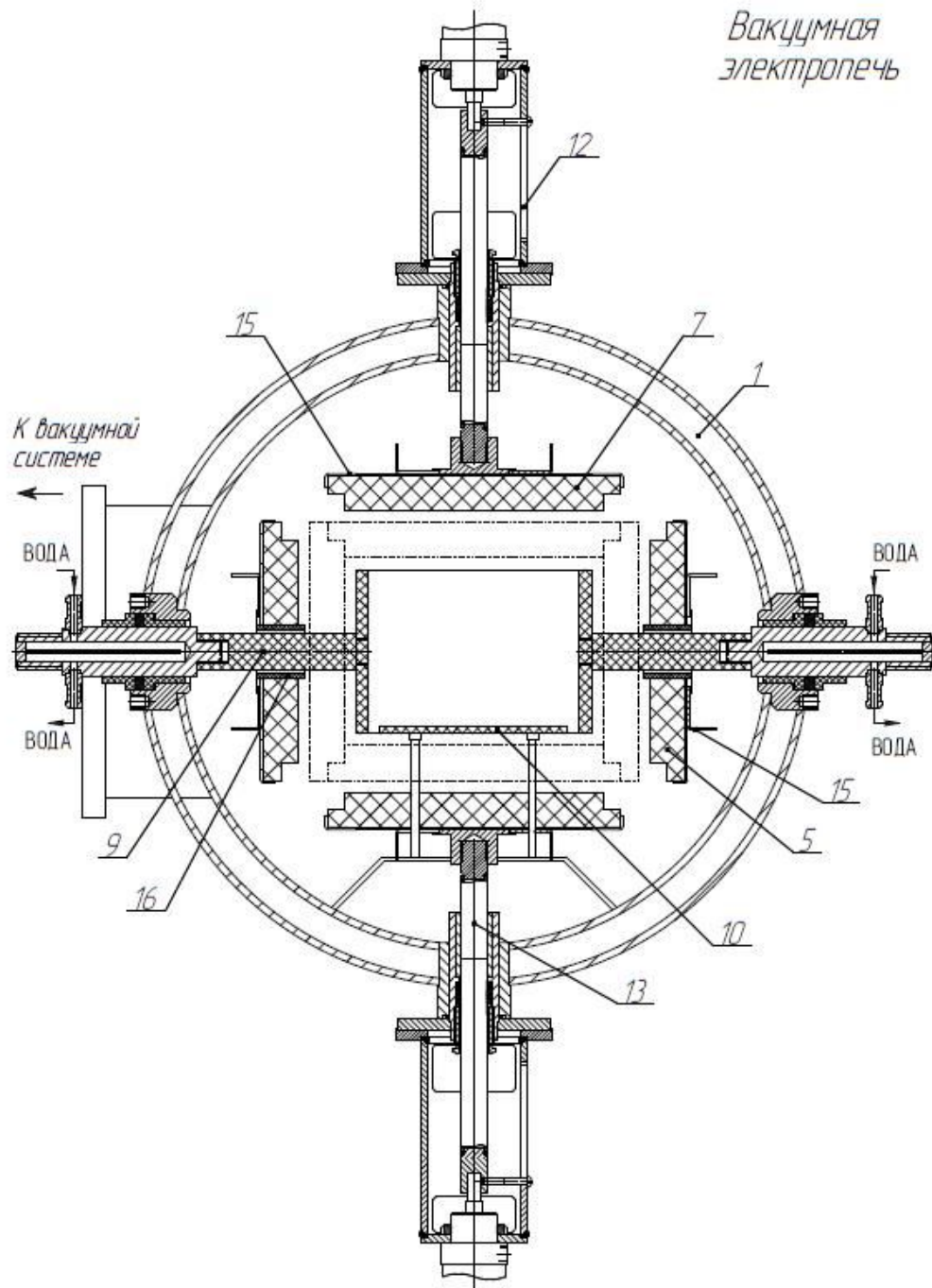


нагрева)

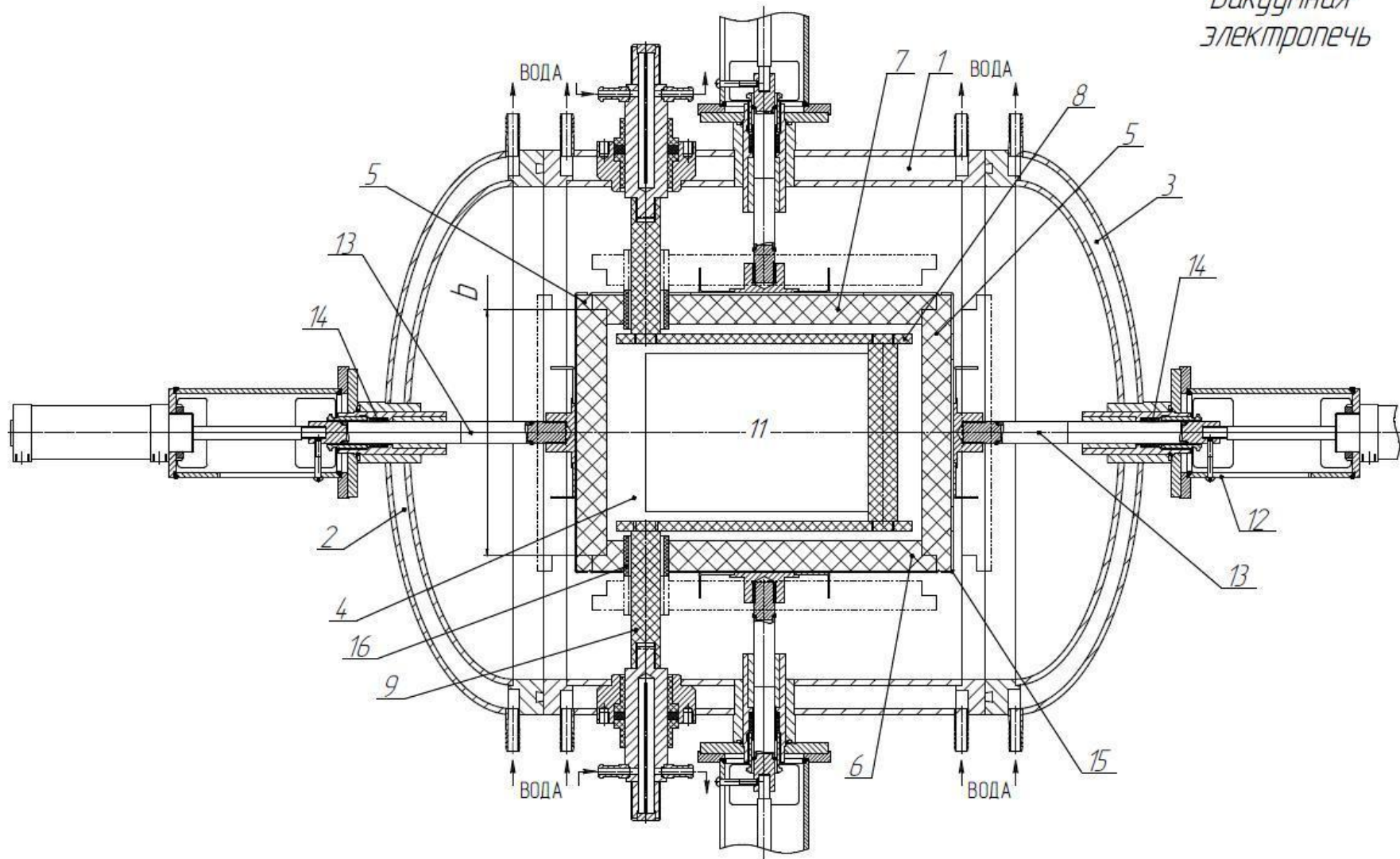


охлаждения)

Вакуумная  
электропечь



Вакуумная  
электропечь





# Выводы

- Значительный прирост скорости охлаждения
- Получение «контролируемого» охлаждения
- Высокая равномерность температурного поля