



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

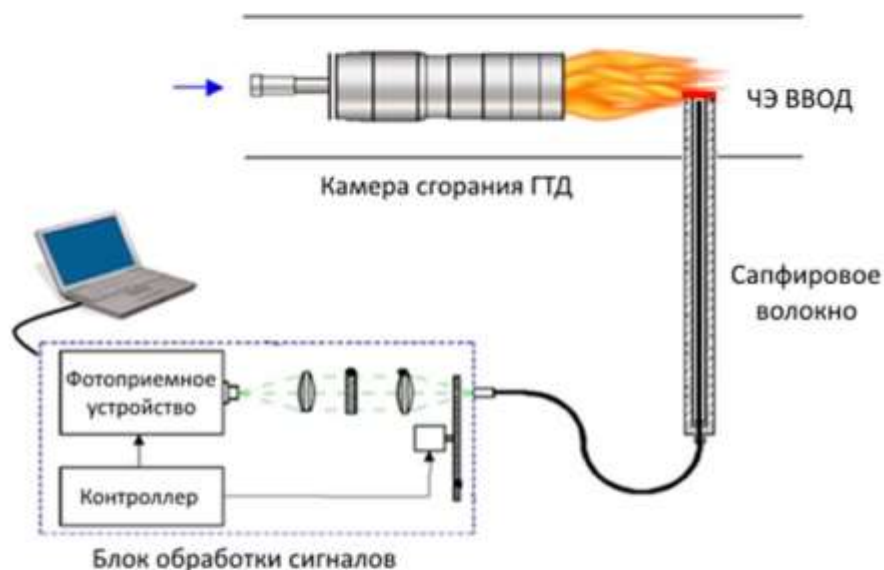


**Исследование и разработка высокотемпературного  
волоконно-оптического датчика для мониторинга  
тепловых процессов в камерах сгорания авиационных  
газотурбинных двигателей**

Индустриальный партнер: ООО «Нева Технолоджи»  
Проект поддержан ТП «АМиАТ»

Соглашение о предоставлении субсидии  
№14.578.21.0202 от 3 октября 2016 года

Проект 14.578.21.0202 «Исследование и разработка высокотемпературного ВОД для мониторинга тепловых процессов в камерах сгорания авиационных ГТД»



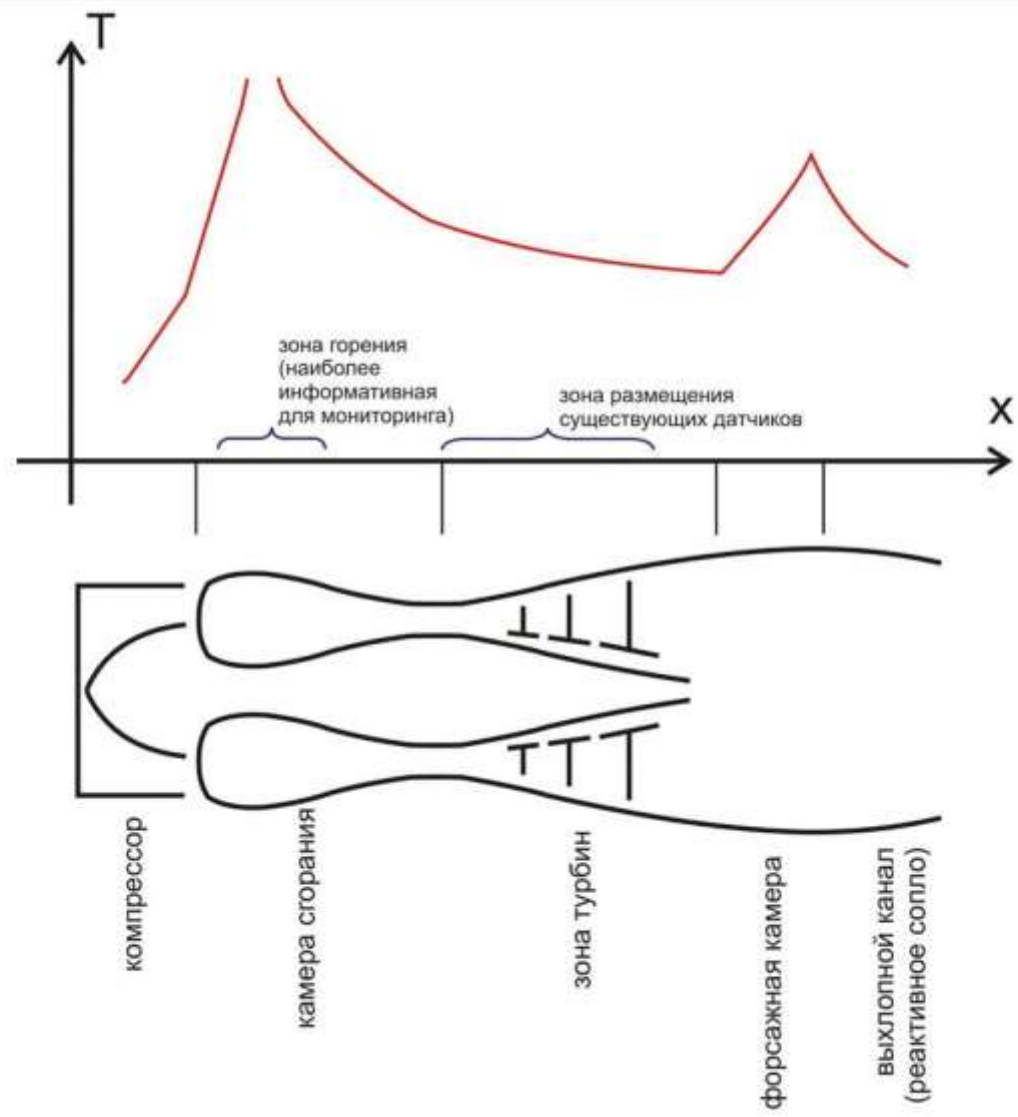
- Текущая (2016-2018 гг.) разработка перспективного датчика высоких температур для авиационного ГТД

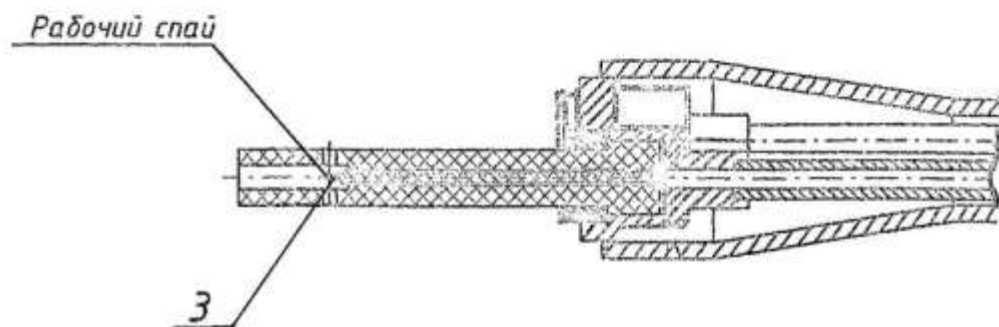
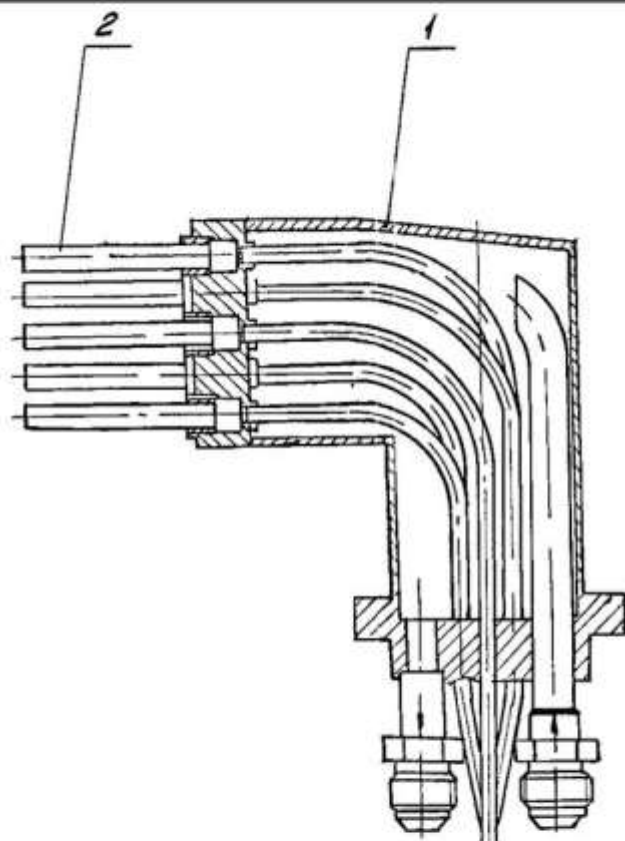
- ООО «НТ» - индустриальный партнер

Основные требования:

- Температурный диапазон: от 400 до 1800°С;
- Погрешность измерения температуры не более 10°С;
- Нарботка на отказ: 500 часов при температуре 1600°С;
- Частота дискретизации данных не менее 10 Гц;
- Возможность одновременной регистрации сигналов одним блоком с четырех датчиков.

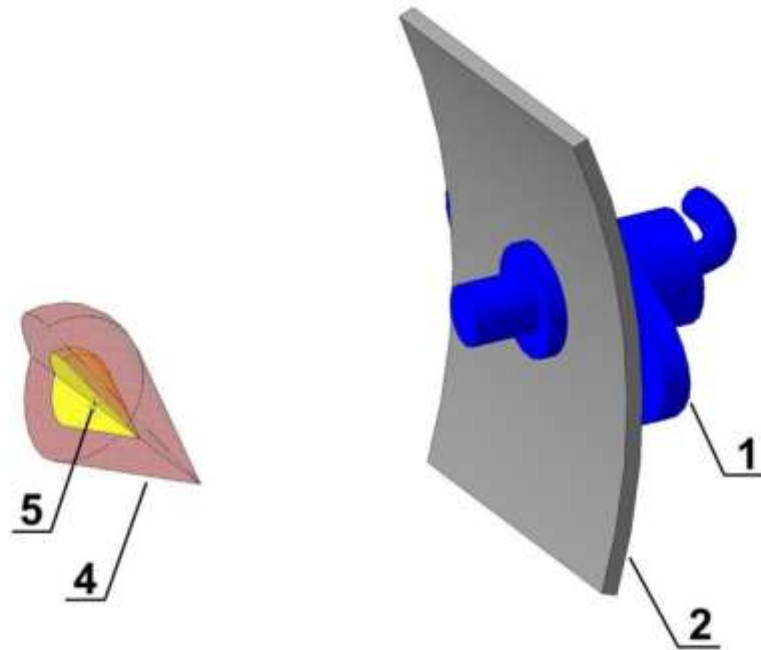
# Исходная предпосылка разрабатываемого ВВОД





- датчик для применения на испытательном стенде
- разработан для применения до 1700 °С
- при 1800 °С начинается реакция С с корпусом, реальное время работы не более 2 часов
- при 1820 °С начинается плавление проволоки

## Почему оптический датчик



- можно не подвергать элементы датчика воздействию высокой температуры
- датчик нечувствителен к наводкам и помехам
- высокая точность, чувствительность
- возможность реализации многих типов измерений



## Цель выполнения ПНИЭР

Создание совокупности научно-технических решений в области разработки высокотемпературного волоконно-оптического датчика (ВВОД) для мониторинга тепловых процессов в камерах сгорания авиационных газотурбинных двигателей (ГТД).

Основные требования:

- Температурный диапазон: от 400 до 1800°С;
- Погрешность измерения температуры не более 10°С;
- Нарботка на отказ: 500 часов при температуре 1600°С;
- Частота дискретизации данных не менее 10 Гц.



Был проведен литературный обзор и патентный поиск в части мониторинга тепловых процессов в камерах сгорания газотурбинных двигателей:

✓ Пирометры:

- ✓ мониторинг излучения черного тела
- ✓ мониторинг излучения лопаток двигателя
- ✓ мониторинг излучения газовой смеси

✓ Основные измеряемые параметры:

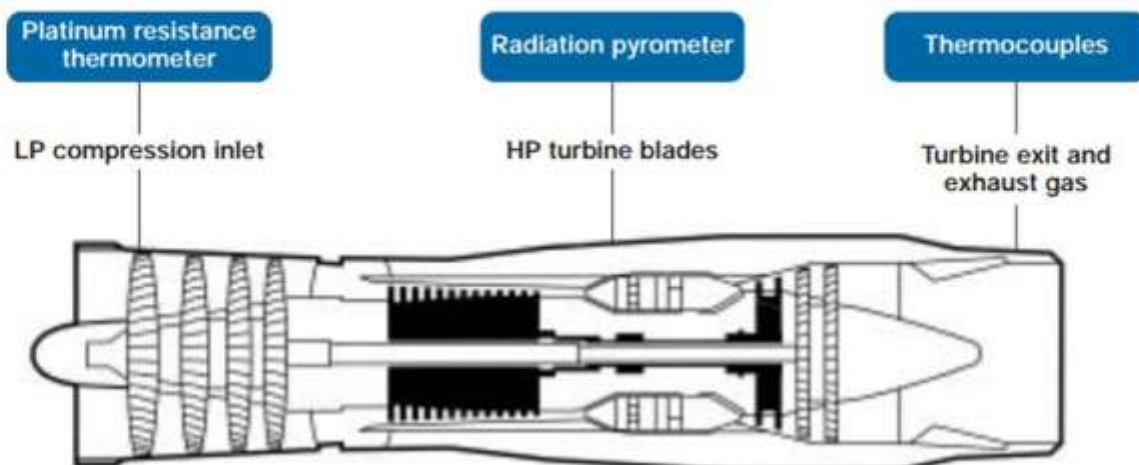
- ✓ температура в камере сгорания ГТД
- ✓ текущий режим работы ГТД
- ✓ информация о составе газовой смеси в камере сгорания ГТД

## Пирометр Meggitt UK

Оптический пирометр компании Meggitt измеряет температуру лопаток ГТД. Оснащен запатентованной системой воздушного охлаждения, которая обеспечивает отсутствие копоти и охлаждение оптической схемы. Используется в ГТД Eurojet EJ200.

Точность : 4°C (950°C);

Диапазон : 600 - 1100°C.





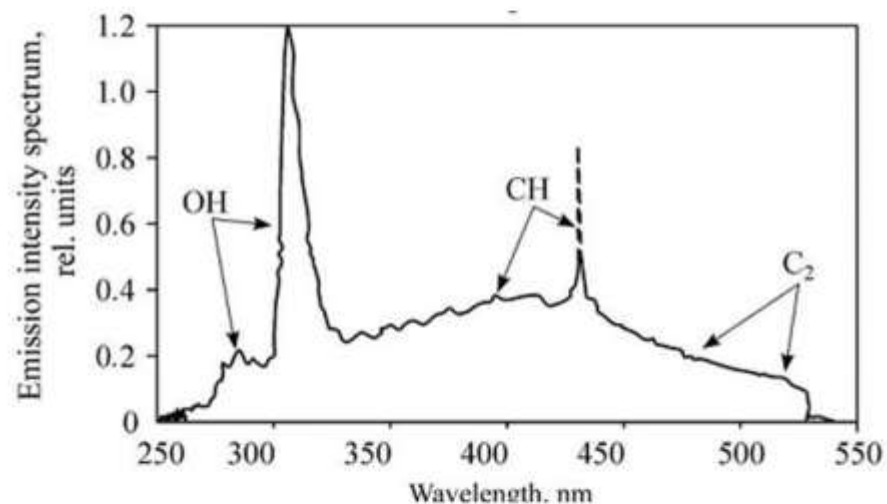
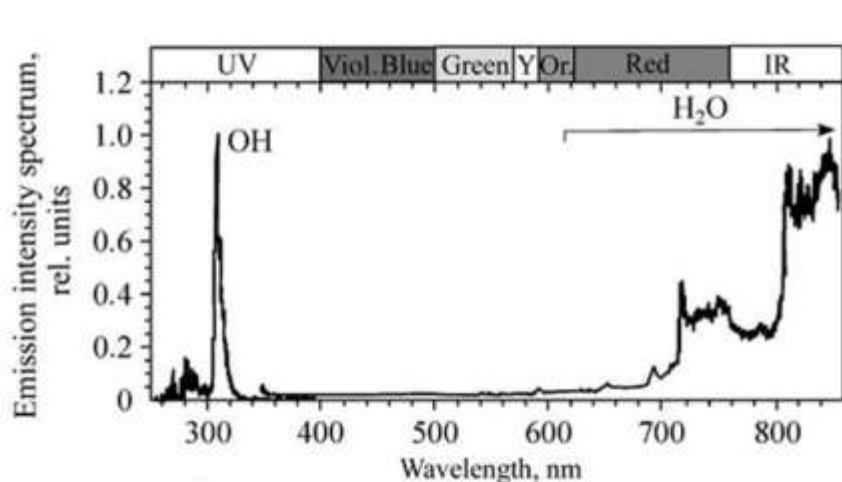
## Преобразователь оптический пирометрический ОПП-94

Пирометр АО УНПП Молния ОПП-94 измеряет электромагнитное излучение поверхности нагретых лопаток в спектральном диапазоне от 0,5 до 1,1 мкм.

|                                                        |            |
|--------------------------------------------------------|------------|
| Диапазон измерений температуры, °С                     | 700 - 1150 |
| Предел допускаемой основной абсолютной погрешности, °С |            |
| При измерении температуры:                             |            |
| 700 °С                                                 | ±30        |
| 750 °С                                                 | ±24        |
| 800 °С                                                 | ±14        |
| 900 °С                                                 | ±9         |
| 1000 °С                                                | ±6         |
| 1100 °С                                                | ±6         |
| 1150 °С                                                | ±7         |



# Мониторинг тепловых процессов по спектру излучения высокотемпературной плазмы



Спектральный состава излучения плазмы в видимом оптическом диапазоне [6]

## Концепция высокотемпературного датчика



Сапфировый зонд



Оптоволоконный жгут



Плата  
оптоэлектронного  
преобразования  
данных



Плата обработки и  
выдачи данных

Выдача  
данных  
потребителю

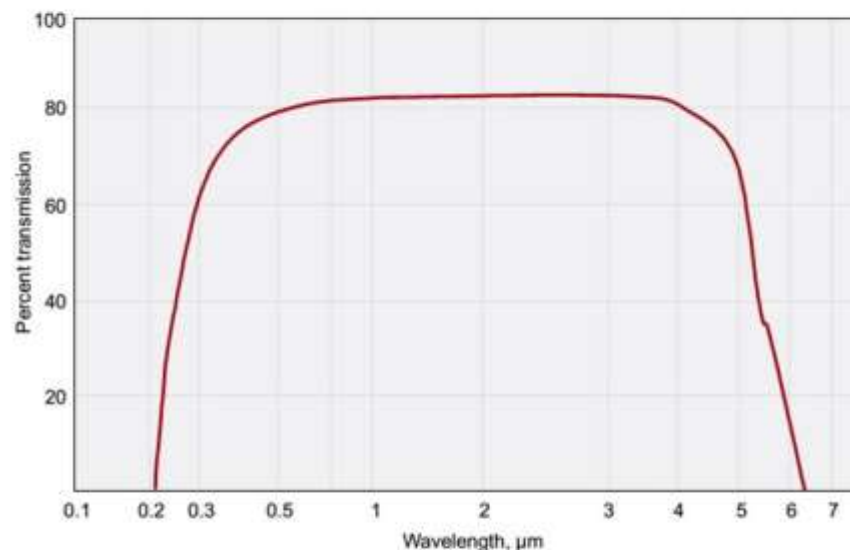
## Характеристики материала сапфирового стержня



Сапфировые стержни



Сапфировый стержень в оснастке

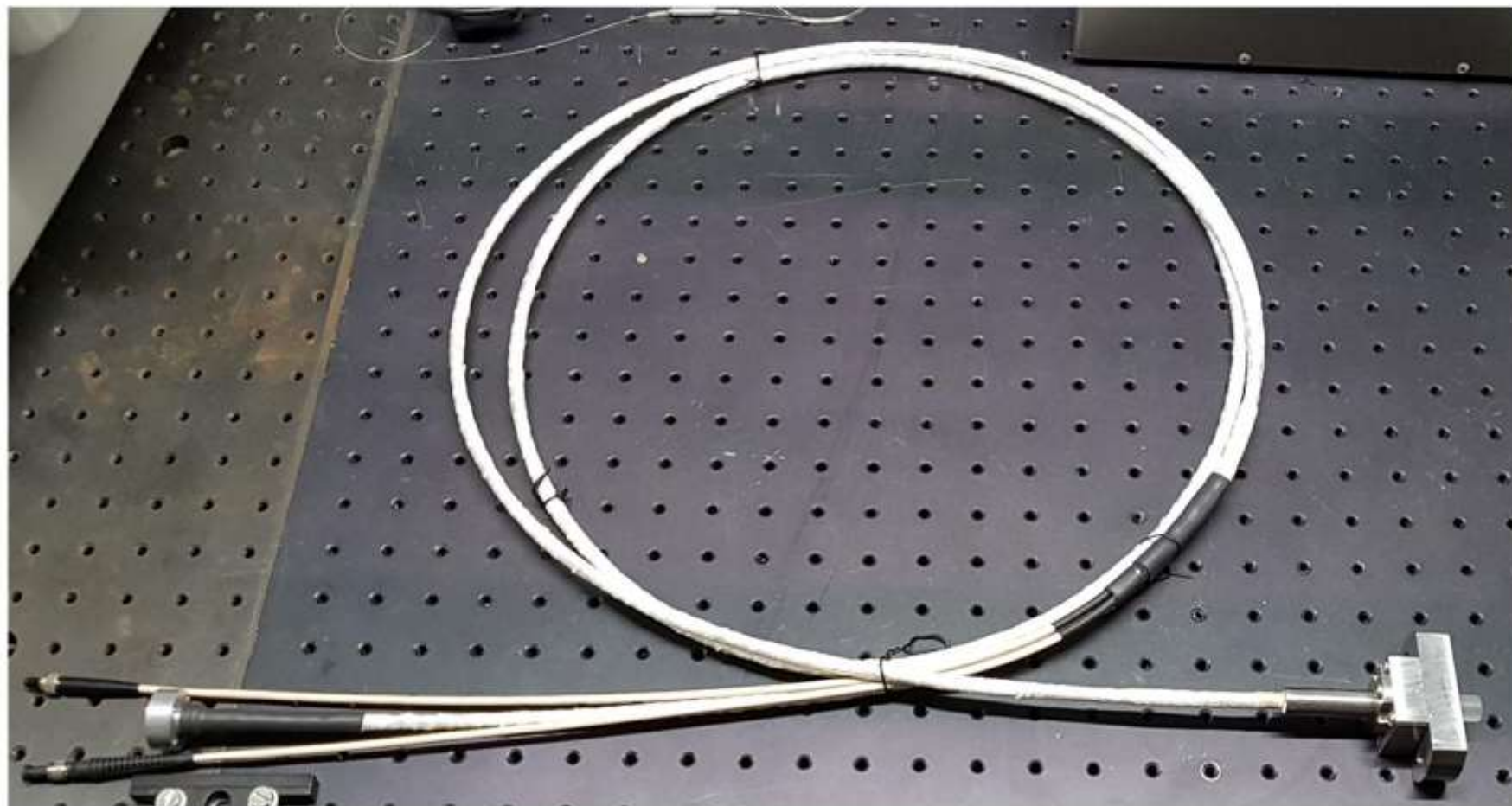


External transmission of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> window of 1 mm thickness.

### PHYSICAL PROPERTIES

|                            |                                          |
|----------------------------|------------------------------------------|
| Crystal type               | Hexagonal                                |
| Density, g/cm <sup>3</sup> | 3.97                                     |
| Melting point, °C          | 2040                                     |
| Refractive index           | @ 0.3 μm, n = 1.814<br>@ 5 μm, n = 1.623 |
| Transmission range, μm     | 0.17 – 5.5                               |

## Волоконно-оптический жгут



Волоконно-оптический жгут и сапфировый стержень в оснастке

## Оптоэлектронные компоненты датчика

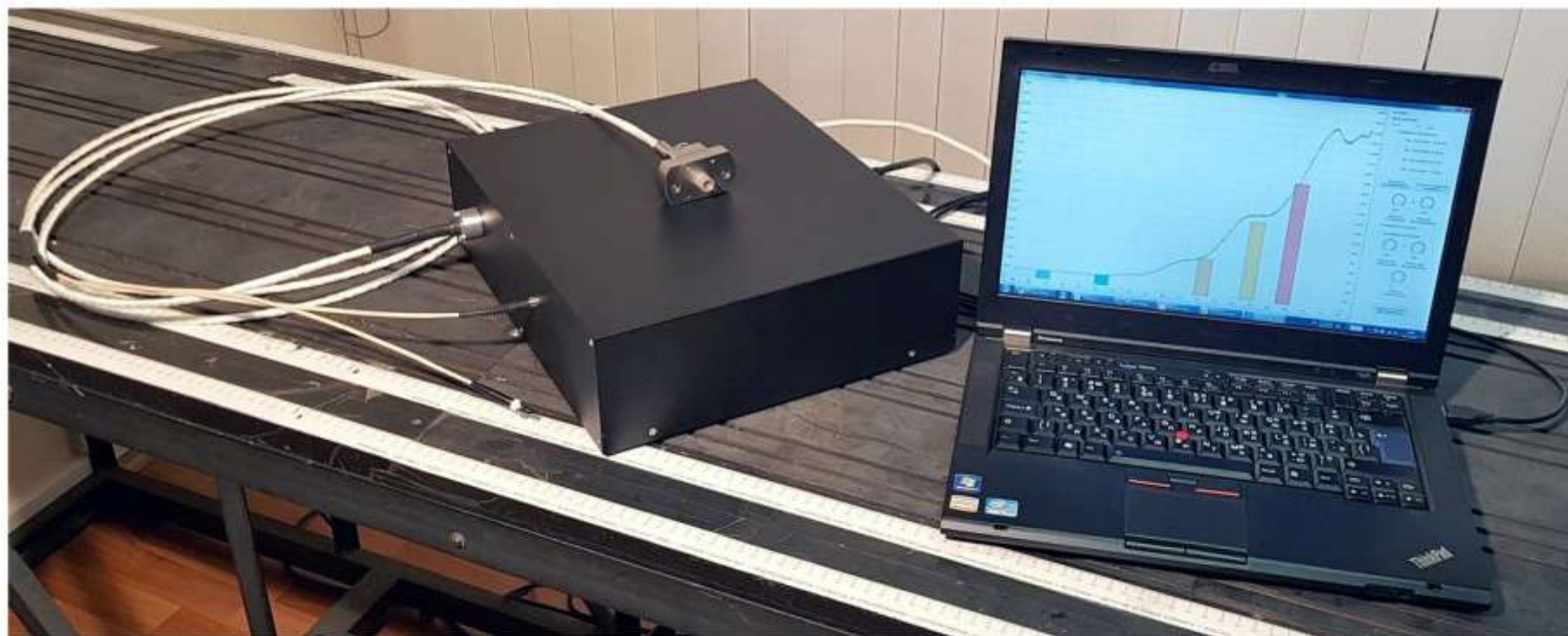


Плата обработки данных и плата с массивом ФПУ



Макет высокотемпературного волоконно-оптического датчика

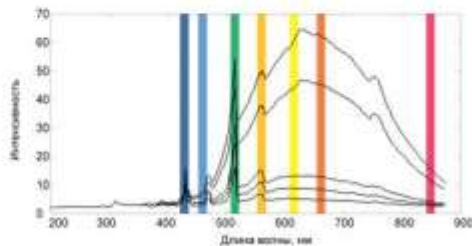
## Макет высокотемпературного волоконно-оптического датчика



Макет высокотемпературного волоконно-оптического датчика и СПО для калибровки массива ФПУ и обучения нейронных сетей



## Использование нейронных сетей

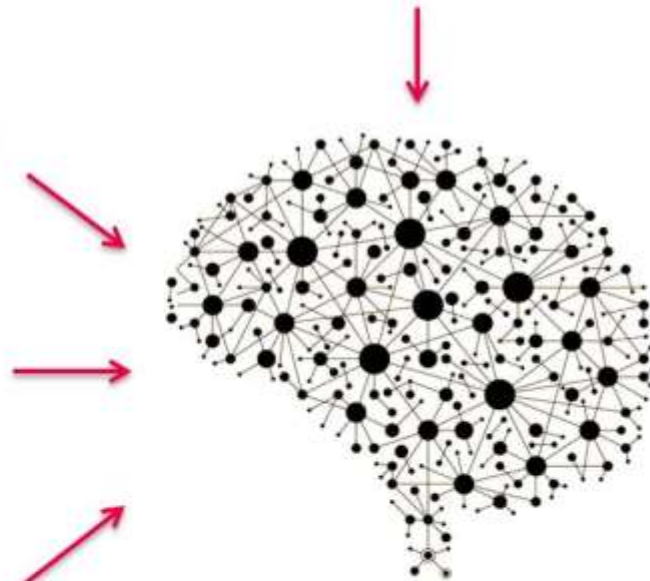


Соотношения данных для каждой пары ФПУ

Данные с термопары

Данные с датчика давления

Данные о составе топливной смеси



Нейронная сеть

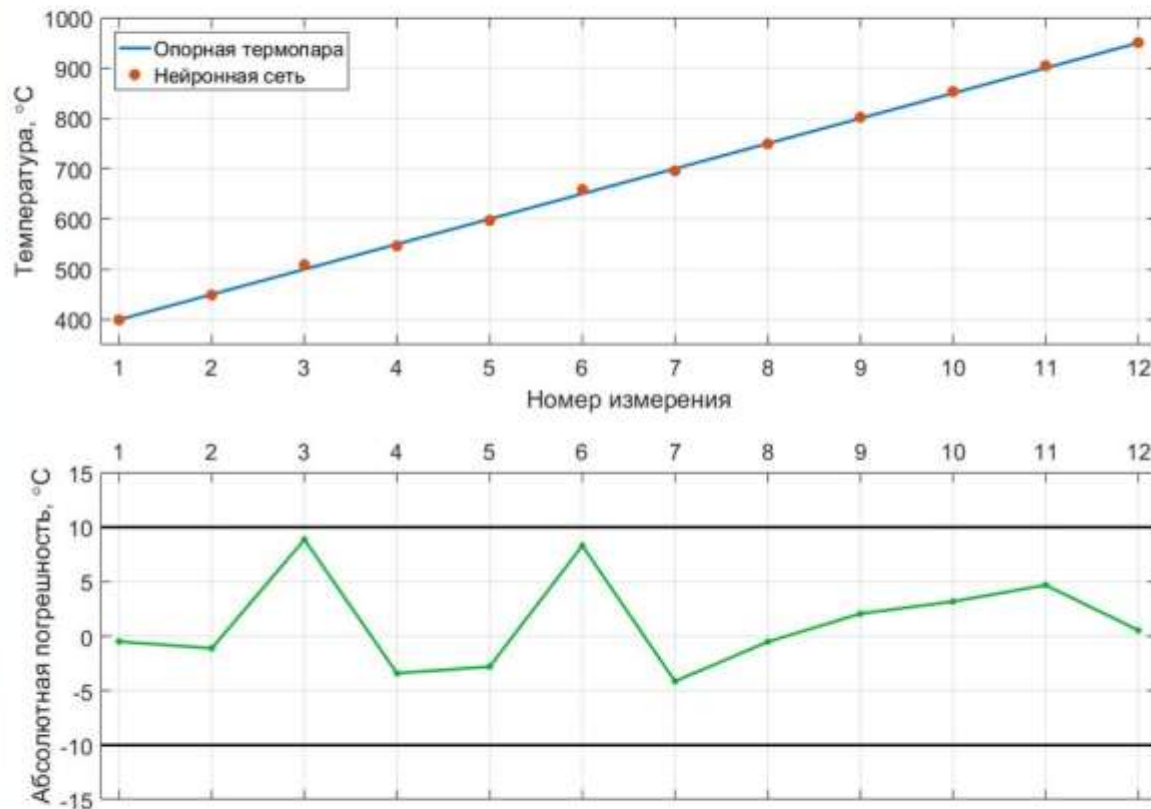
Весовые коэффициенты для каждого соотношения данных с ФПУ



## Исследовательские испытания ВВОД на базе муфельной печи



Установка сапфирового стержня в технологической оснастке в ходе испытаний



Сравнение данных, полученных при помощи нейронной сети, с показаниями опорной термопары