

ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ НА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

Кафедра Молекулярных состояний и экстремального состояния вещества

Выполнил студент 404 группы

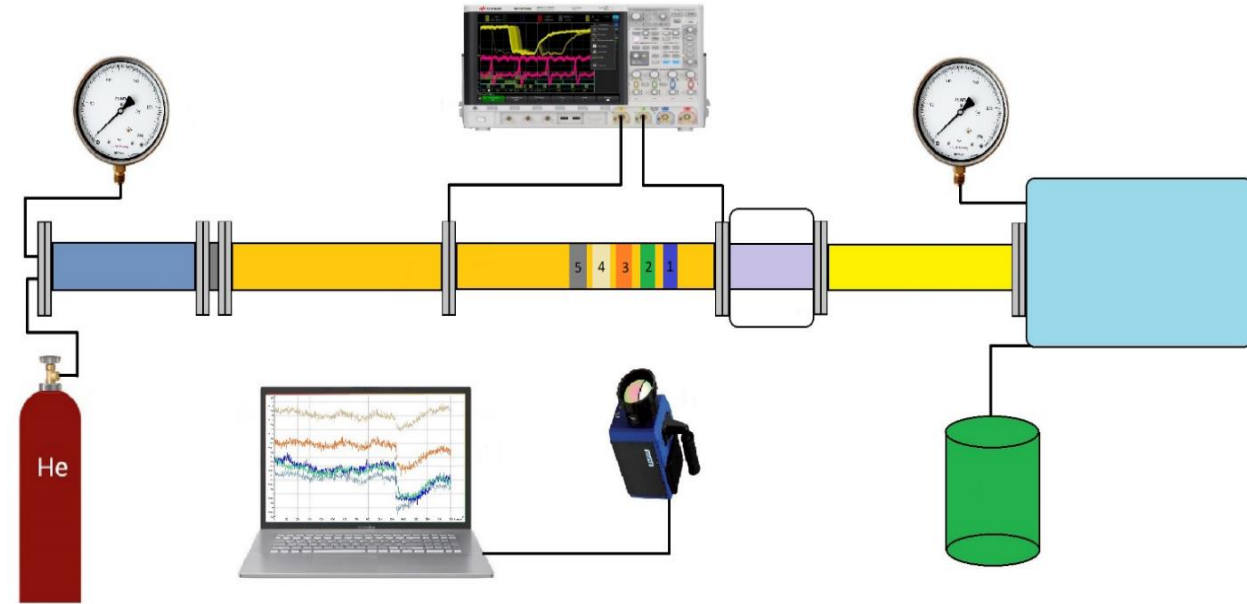
Муратов Мурат Ильмдарович

Научный руководитель

Д.Ф.-М.Н., Знаменская Ирина Александровна

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение тепловых явлений в ударной трубе сечением 24x48мм посредством применения методики инфракрасной термографии. Достигается широкий диапазон чисел Маха ударной волны [1,4; 3,5]. Регистрация тепловых полей велась тепловизионной камерой FLIR SC7700.



Экспериментальная установка

УДАРНЫЕ ВОЛНЫ

$$M = u/c$$

где c – местная скорость звука.

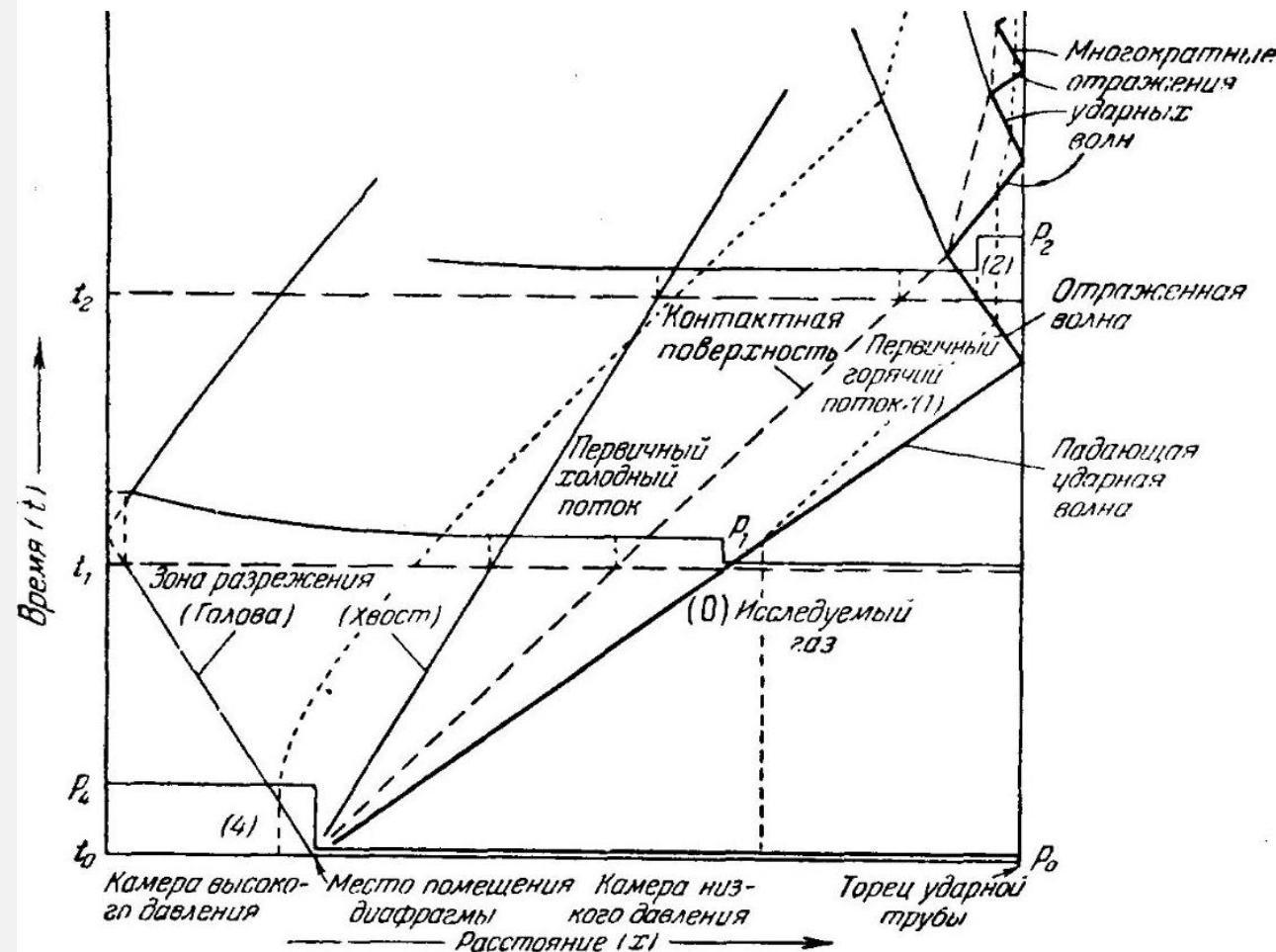
Длительность $t = 10^{-6}$ секунд

Скачок термодинамических параметров:
температура T , давление P и плотность ρ .

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{2\gamma}{\gamma + 1} M^2 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{(\gamma + 1)M^2}{(\gamma - 1)M^2 + 2}$$

$$\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{2\gamma}{\gamma + 1} M^2 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right) \left(\frac{2}{(\gamma + 1)M^2} + \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right)$$



X – t диаграмма течения в ударной трубе

ИНФРАКРАСНАЯ ТЕРМОГРАФИЯ

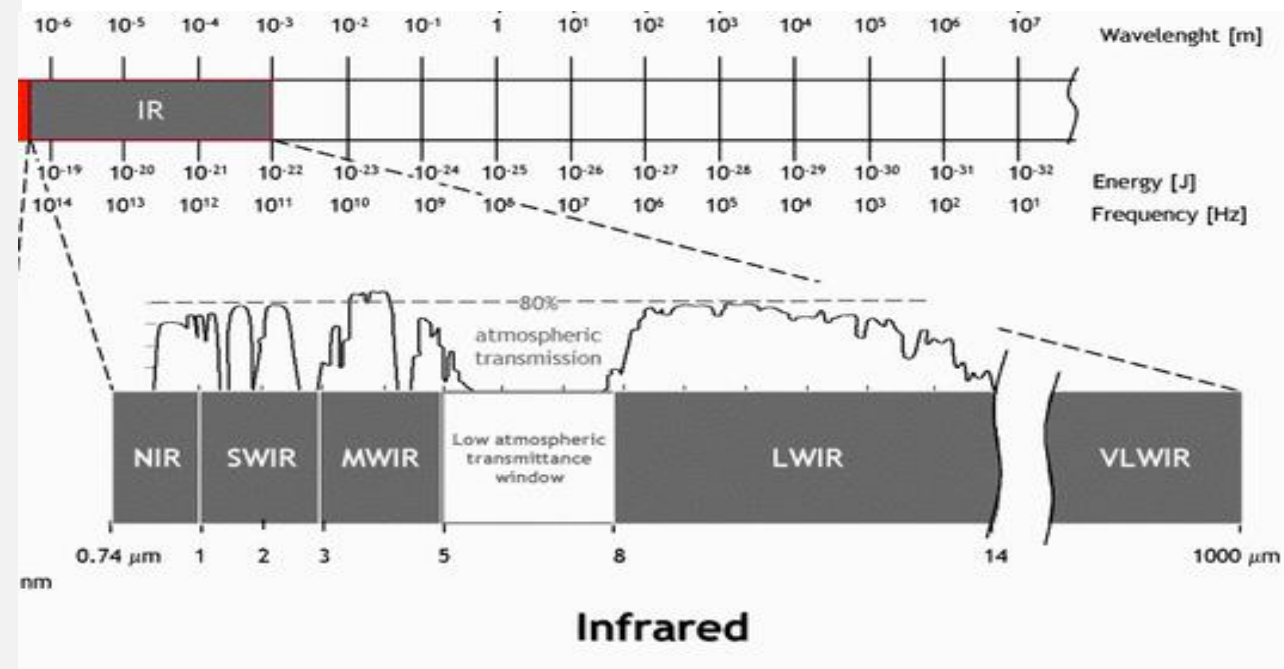
Инфракрасный диапазон электромагнитного спектра **0.74 - 1000 мкм**.

Регистрация двумерных температурных полей.

В основу положен эффект излучения энергии в форме радиации для всех тел с положительной абсолютной температурой.

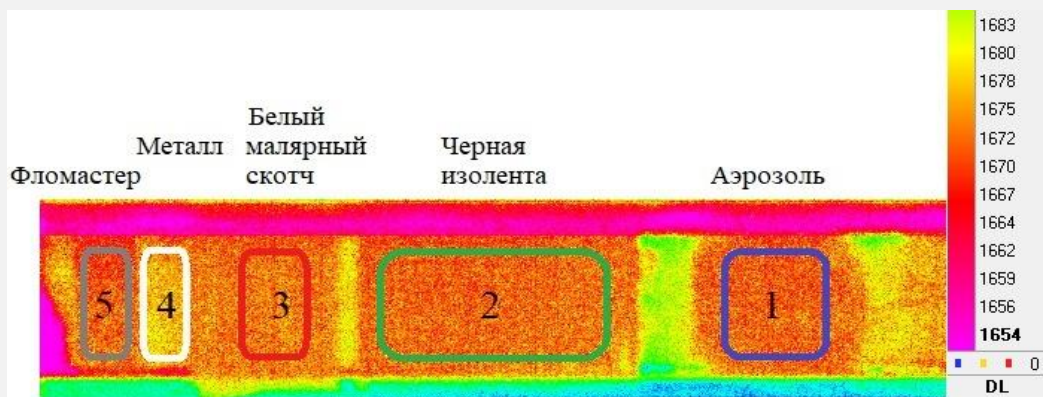
$$I(\lambda) = \varepsilon(\lambda) \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)}$$

где C_1 и C_2 – универсальные радиационные константы, $\varepsilon(\lambda)$ - спектральный коэффициент излучения.

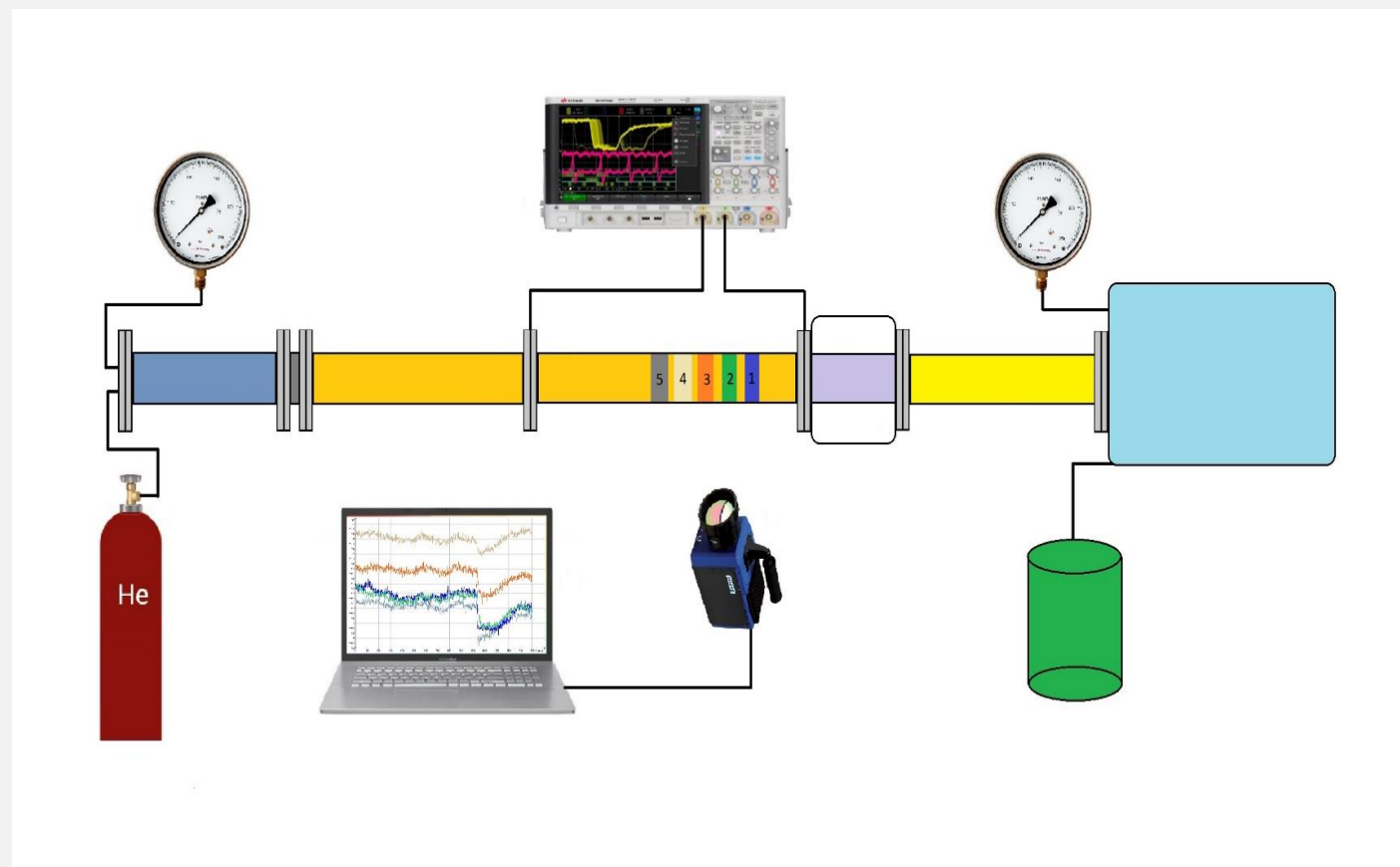


Инфракрасный спектр

ИЗЛУЧЕНИЕ ИЗ БОКОВОЙ СТЕНКИ

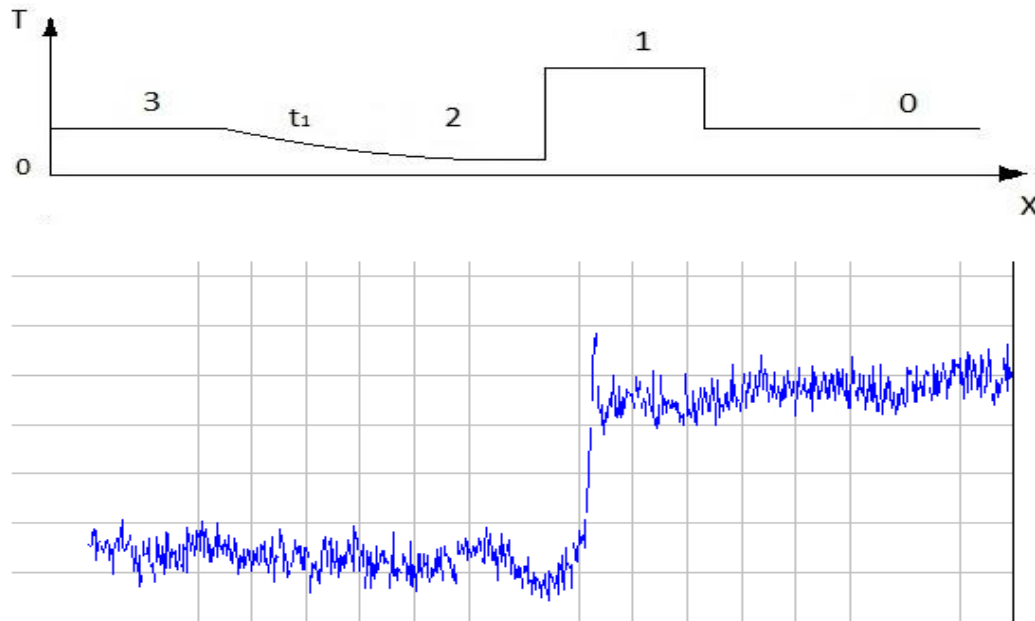


Термограмма с выделенными областями опроса



Экспериментальная установка для первой конфигурации

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ



Температурная $X - t$ диаграмма(сверху) и по кадровый экспериментальный график температуры на аэрозоле

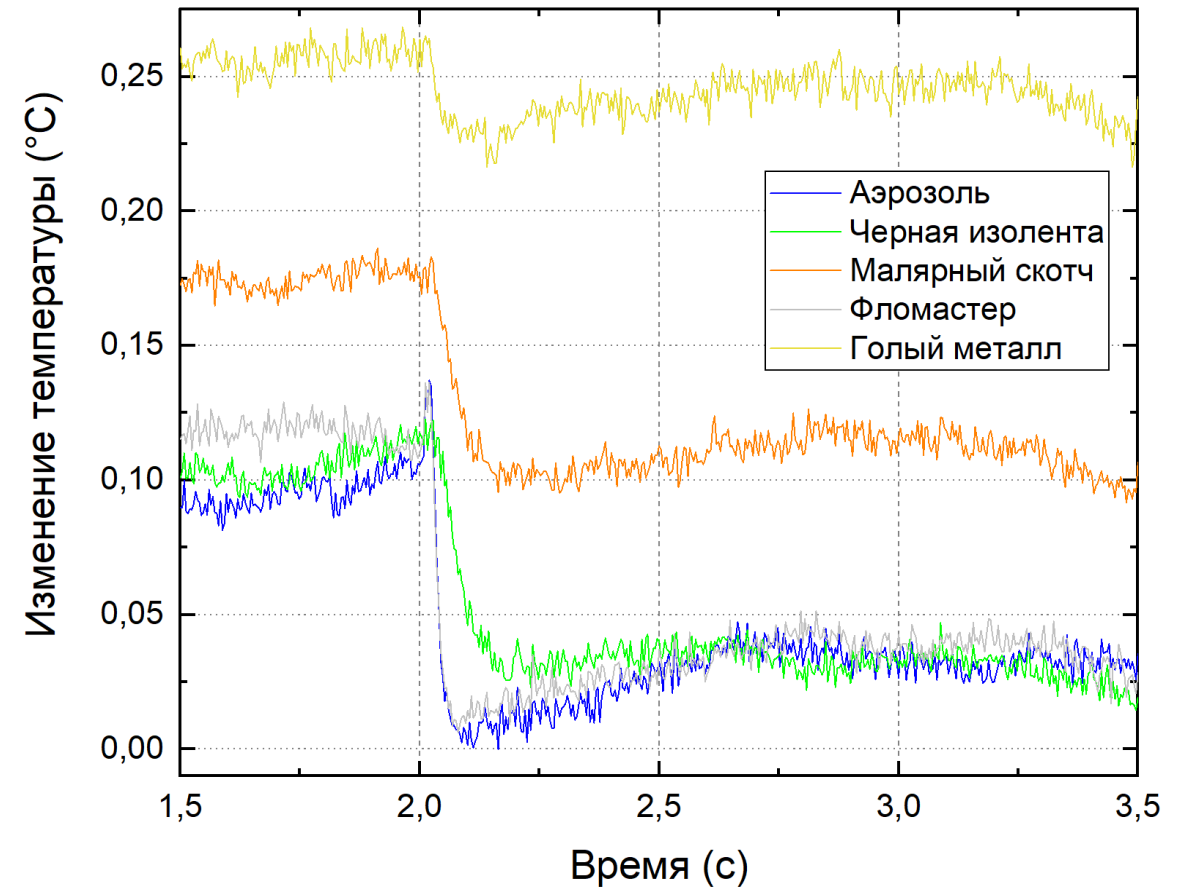


График изменения температуры для всех областей опроса для числа Маха 3,5 на частоте 250 Гц.

ГРАФИКИ

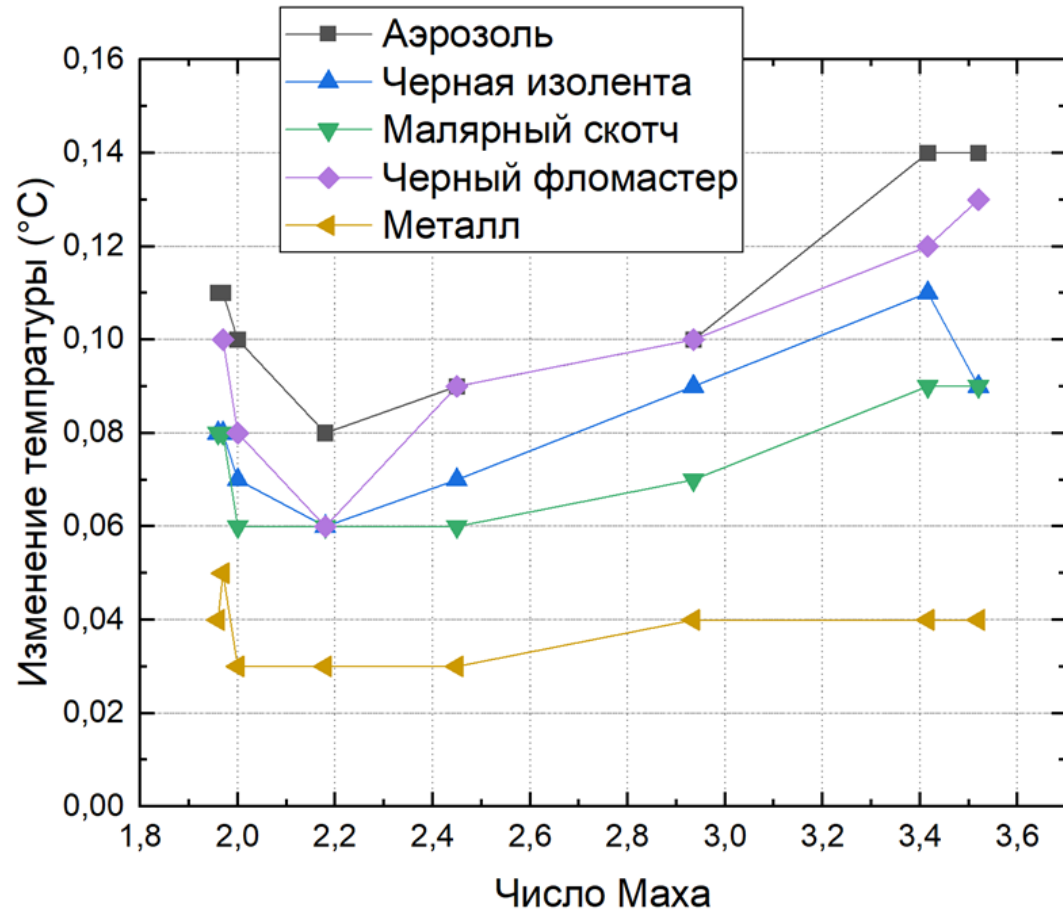


График зависимости отрицательного изменения температуры от числа Маха

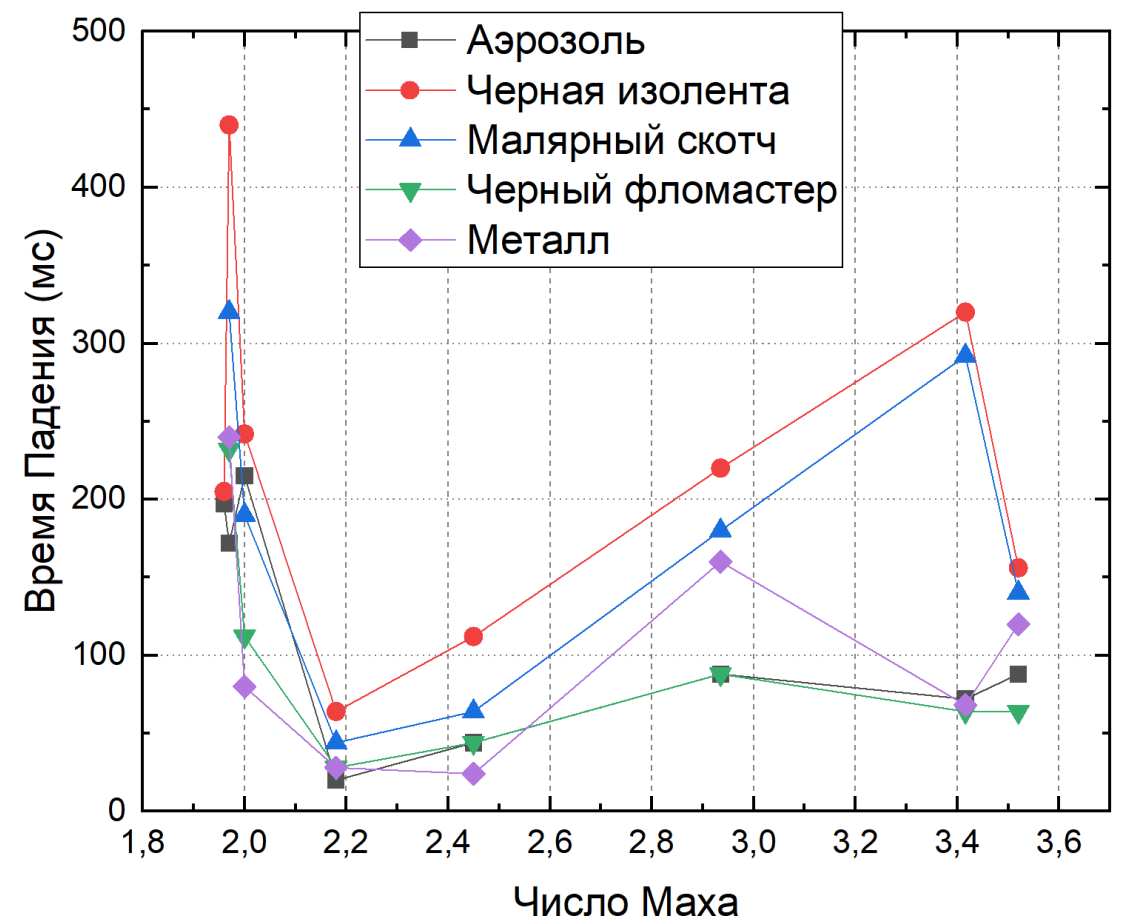
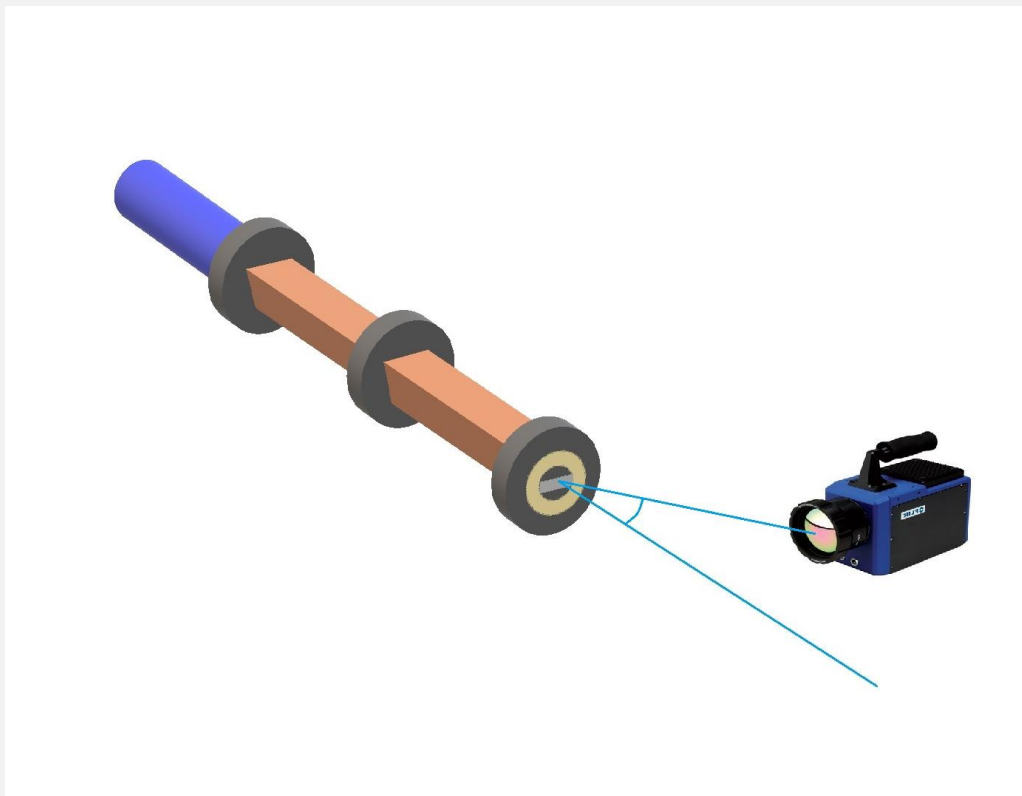


График зависимости изменения времени падения отрицательного изменения температуры от числа Маха

ИЗЛУЧЕНИЕ ИЗ ТОРЦЕВОЙ СТЕНКИ



Экспериментальная установка для второй конфигурации



Область опроса

ГРАФИКИ И РАСЧЕТ

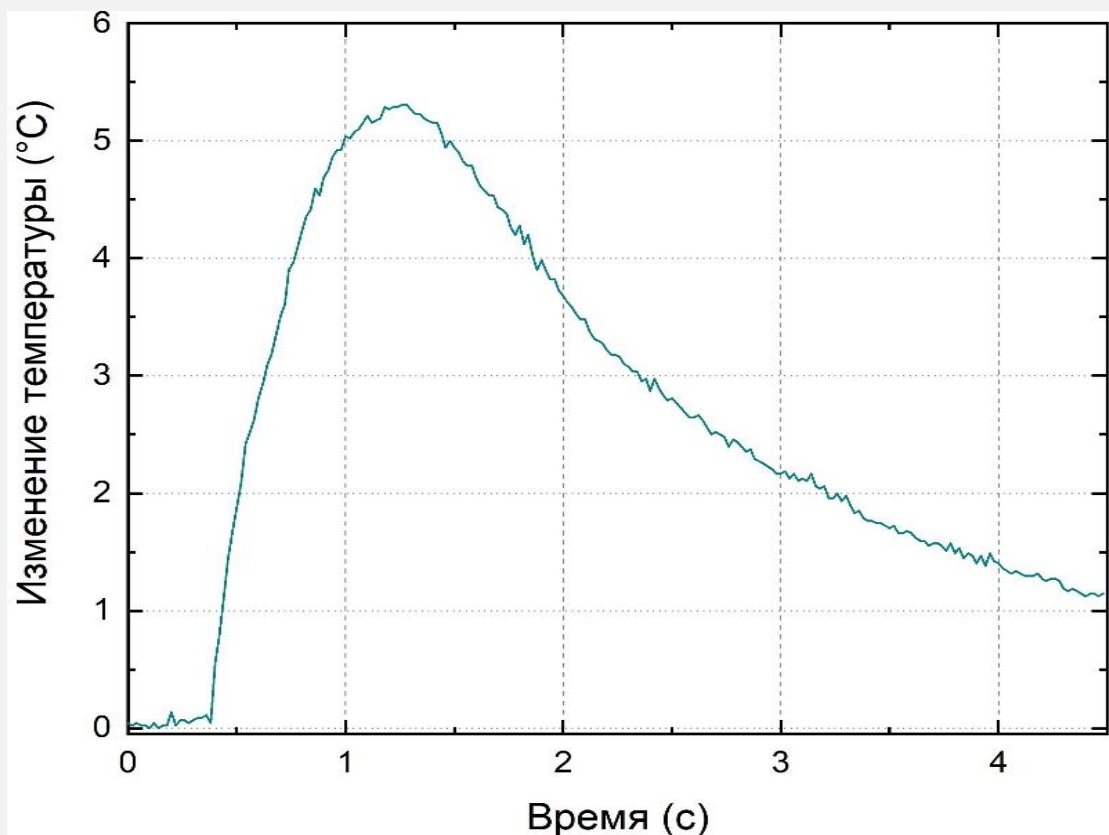


График изменения температуры на торце при числе Маха $M = 1,5$; температура "пробки" изменяется до **392 K**, а за отраженной ударной волной температура газа поднимется практически до **500 K**.

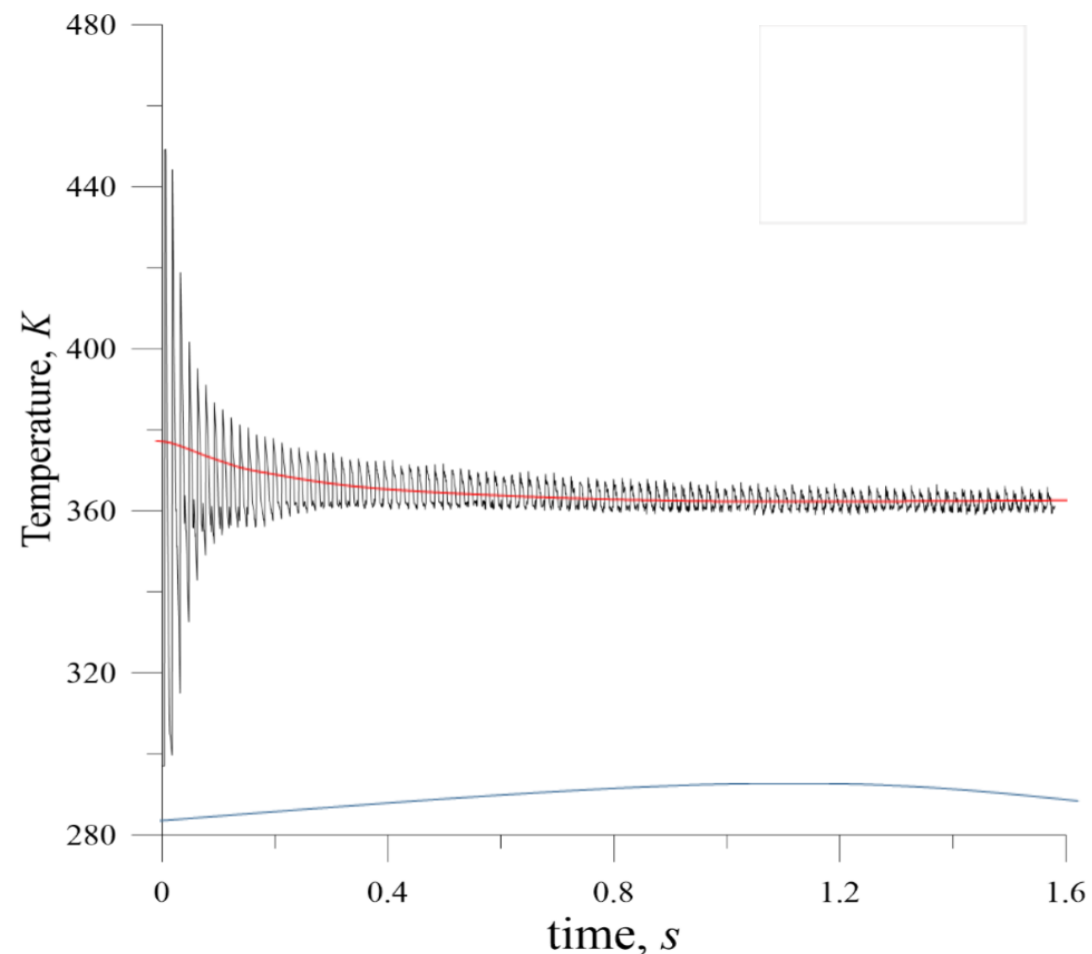


График изменения температуры в пристеночной области. Численный расчёт температуры газа (черным цветом), усреднение численного расчета (красным цветом) и экспериментально данные с металлического торца УТ (синим).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- Показано, что инфракрасная термография является подходящей, с экспериментальной точки зрения, для исследования ударно-волновых процессов в газах при регистрации тепловых потоков со стенок.
- ИК-термография показала свою неоспоримую способность, с поправкой на теплопроводность металлов, отражать даже небольшие температурные изменения наблюдаемых объектов.
- В результате обработки и анализа экспериментальных данных были получены термографические развертки по времени тепловых потоков от проходящих и отраженных от торца ударных волн.
- Выявлены определенные зависимости температурных и временных параметров от чисел Маха.
- Проведены сравнения с соответствующими численными оценками.