

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

**К.А. Бородина, С.А. Сорокина**  
Югорский государственный университет  
г. Ханты-Мансийск

Описана система контроля теплофизических параметров высокотемпературных быстропротекающих процессов. Определены комплектующие для этой системы и способ преобразования данных.

**Ключевые слова:** обработка данных, ImageJ, система контроля, СВС.

### Введение

Существует множество программ для обработки и анализа результатов эксперимента. Многие из них тяжелы в использовании, так как требуют изучения дополнительной информации, специального языка программирования или приобретаются за определенную плату. Таким образом, актуален поиск экономически выгодной и доступной в использовании системы обработки данных.

Цель работы: разработать систему для получения и анализа экспериментальных данных о теплофизических параметрах процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Задачи:

- определить состав системы контроля (СК),
- выбор способа преобразования аналоговых значений в цифровой,
- проверка работоспособности системы на СВ-синтезе.

### Выбор комплектующих виртуальной системы

Выбор комплектующих компонентов системы регистрации и анализа данных обусловлен процессами, для исследования которых будет применяется система. СВ синтез относится к быстропротекающим процессам. Обзор существующих программных пакетов, позволяющих визуализировать экспериментальные данные, показал, что свободно распространяемая программа ImageJ оптимальна для реализации поставленной цели.

Программа ImageJ – это программа с открытым исходным кодом для анализа и обработки изображений. Написана на языке Java и распространяется без каких бы то ни было лицензионных ограничений. Программа

ImageJ обладает развитым инструментарием и позволяет редактировать, анализировать, обрабатывать, сохранять и печатать 8-битные, 16-битные и 32-битные изображения. Встроенный макро-язык позволяет легко и быстро писать собственные программы по обработке изображения и автоматизировать повторяющиеся действия.

Получение цифровой картины исследуемого процесса возможно двумя способами. Первый – получение изображений с регистрирующей процесс СВС видеокамеры через программу производителя видеокамеры. Второй – через плагин, созданный компанией Видеоскан – дополнение к программе ImageJ, которое позволяет управлять камерой непосредственно из ImageJ. [1]

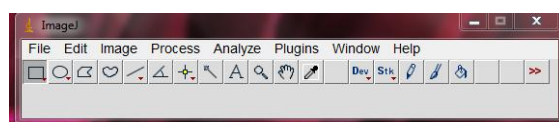


Рисунок 1 – Интерфейс программы ImageJ

На базе кафедры Физики и общетехнических дисциплин Югорского государственного университета были разработаны: методика работы в программе ImageJ и база данных, позволяющие определять теплофизические параметры быстропротекающих процессов.

Таким образом виртуальная система контроля теплофизических параметров СВС включает:

- программу ImageJ,
- базу данных, содержащую пространственные и температурные калибровочные файлы,
- методику измерений.

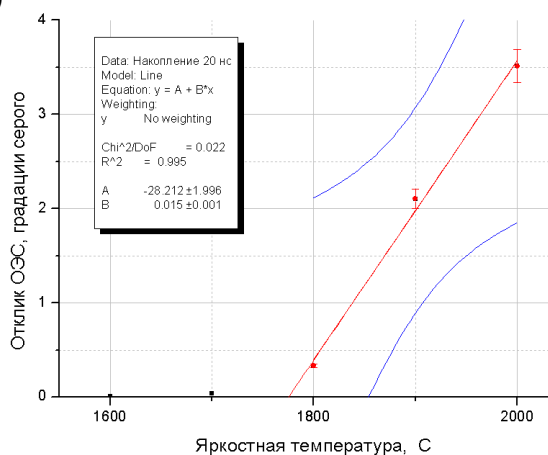
# СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

## Погрешность системы контроля теплофизических параметров

В процессе измерения теплофизических параметров [2-4] неизбежно приходится решать задачу выделения границ области интересов и измерения яркости I. Разброс  $\Delta I$  обусловлен:

1. Значимыми шумами ОЭС (геометрический = 0, временной = 0, АЦП =  $\square 1$  градация, остаточное паразитное послесвечение люминофора  $\square 1$  градация).
2. Методической погрешностью оконтуривания объектов.

а)



б)

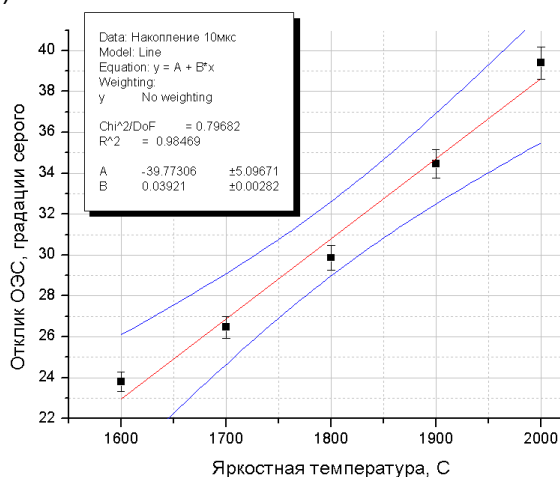


Рисунок 2 – а) Накопление 20 нс, коридор 5%, error bar 5%; б) Накопление 10 мкс, коридор 2%, error bar 2%

При калибровке системы контроля и построении калибровочной поверхности считали точными температуру и время накопления.

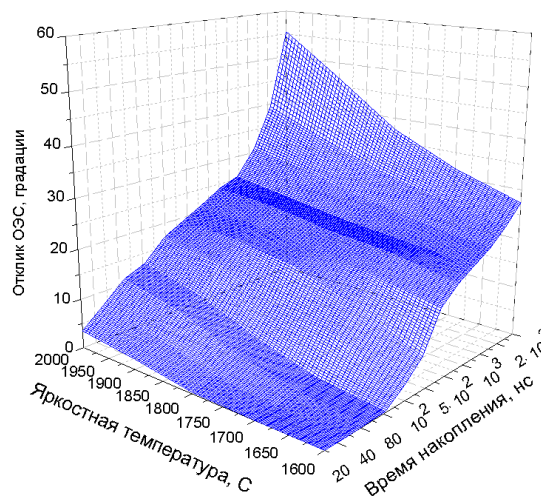


Рисунок 3 – Калибровочная поверхность

На рисунке 4 представлен пример выделения контура микрообъекта, зарегистрированного видеосъемкой 1000 кадров в секунду на экспозиции 20 мкс при выделении контуров «вручную».

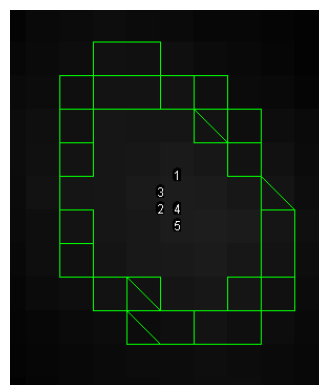


Рисунок 4 – Выделение контуров микрообъекта

Таблица 1 – ИИЗмерения в микрообласти на рисунке 4 при оконтуривании вручную

| A[X] | площадь[Y] | яркость[Y] | длина[Y] |
|------|------------|------------|----------|
| 1    | 29         | 16         | 24       |
| 2    | 28         | 18         | 22       |
| 3    | 30         | 18         | 21       |
| 4    | 24         | 19         | 20       |
| 5    | 29         | 17         | 23       |

|         |         |         |       |       |        |        |          |        |      |
|---------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|----------|--------|------|
| Col(X)  | Rows(Y) | Mean(Y) | sd(Y) | se(Y) | Min(Y) | Max(Y) | Range(Y) | Sum(Y) | N(Y) |
| площадь | (1:5)   | 20      | 2     | 1     | 24     | 4      | 30       | 6      | 140  |
| яркость | (1:5)   | 19      | 1     | 1     | 19     | 1      | 19       | 4      | 90   |
| длина   | (1:5)   | 22      | 2     | 1     | 20     | 4      | 24       | 1      | 105  |

При автоматическом выделении:

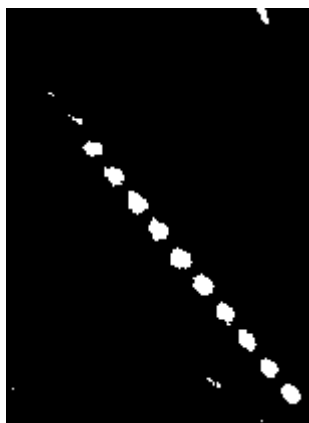


Рисунок 5 – Оконтурирование микрообъектов

Таблица 2 – Измерения в микрообласти на рисунке 4 при оконтурировании автоматически

| A[X] | площадь[Y] | яркость[Y] |
|------|------------|------------|
| 1    | 81         | 18         |
| 2    | 76         | 19         |
| 3    | 84         | 19         |
| 4    | 79         | 19         |
| 5    | 68         | 19         |
| 6    | 66         | 20         |
| 7    | 63         | 20         |
| 8    | 71         | 21         |

|         |         |         |       |       |        |        |
|---------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|
| Col(X)  | Rows(Y) | Mean(Y) | sd(Y) | se(Y) | Min(Y) | Max(Y) |
| площадь | (1:8)   | 74      | 8     | 3     | 63     |        |
| яркость | (1:8)   | 19      | 1     | 0     | 18     |        |

Таким образом, дисперсия яркости составит  $\pm 1$  градацию. Так как измерения яркости укладываются в  $\pm 1$  градацию, то погрешность ОЭС измерения яркостной  $T$  составит

5% в наносекундном диапазоне, 2% – в микросекундном.

Получается, что температура  $T$  отображается в яркость  $I \pm \Delta I$ , погрешность аппроксимации 5% в нс диапазоне, 2% – в микросекундном. Таким образом  $\pm 1$  градация (из графиков) составляет погрешность 5% в наносекундном и 2% в микросекундном диапазонах.

Таким образом, самая большая погрешность вносится оконтуриванием. Рассмотрим связь дисперсии интенсивности сигнала с неточностью выделения контуров.

Для перехода от яркостной температуры к термодинамической используется следующее приближение:

$$1/T = 1/T_b + \lambda_0/c_2 \ln(\lambda_0 T).$$

Выражение выполняется с погрешностью  $\sim 1\%$  для  $\lambda_0 T < 3000$  мкм К.

### Основные результаты и выводы

Для измерения яркостной температуры микрообъектов, движущихся со скоростями более 100 м/с и имеющих температуру более  $1500^\circ\text{C}$  допустима погрешность в оконтуривании  $\pm 1$  градация, что составляет погрешность 5% в наносекундном и 2% в микросекундном диапазонах. Позже планируется провести исследования «размытия» микрообъектов в зависимости от их температуры и в связи с расфокусировкой при их полете.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бороненко, М. П. Телевизионная измерительная система наносекундного разрешения [Текст] / М. П. Бороненко, П. Ю. Гуляев // Доклады ТУСУРа. – 2014. – Т. 31. – № 1. – С. 60-64.
2. Бороненко, М. П. Виртуальные системы микропирометрии процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза на основе программ origin и imagej [Текст] / М. П. Бороненко, П. Ю. Гуляев // Ползуновский альманах. – 2012. – № 2. – С. 45-47.
3. Бороненко, М. П. Изменения в порошковых СВЧ-материалах под воздействием плазмы [Текст] / М.П. Бороненко, А. Е. Серегин, И. В. Милукова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9, Ч. 3. – С. 536-541.

**Бородин Ксения Андреевна** – студентка, тел.: 892277939797, e-mail: K.A.Borodina@yandex.ru;

**Сорокина Светлана Анатольевна** – студентка, тел.: 89128116731, e-mail: cwetk13@gmail.com.