

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ  
КАФЕДРА "ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА"

ОТЧЁТ  
КУРСОВАЯ РАБОТА  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
"МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА"

ВЫПОЛНИЛ СТУДЕНТ:  
САЛИХОВ С.Р.  
ГРУППА: 3630102/70401

ПРОВЕРИЛ:  
К.Ф-М.Н., ДОЦЕНТ  
БАЖЕНОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАВИЧ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020 г.

# Содержание

Стр.

<b>1. Постановка задачи</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Подготовка данных</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Алгоритм выделения пилообразных колебаний</b> .....	<b>4</b>
3.1. Шаги алгоритма .....	4
3.2. Иллюстрация шагов алгоритма на примере с данными 38998, для датчика SXR 27 мкм .....	6
3.3. Промежуточные выводы по алгоритму .....	13
<b>4. Алгоритм для оценивания частоты пилообразных колебаний</b> .....	<b>14</b>
4.1. Шаги алгоритма .....	14
4.2. Иллюстрация шагов алгоритма на примере с данными 38998, для датчика SXR 27 мкм .....	15
4.3. Промежуточные выводы по алгоритму .....	19
<b>5. Графики функции частоты от времени для всех датчиков экспериментов</b> .....	<b>19</b>
<b>6. Вывод</b> .....	<b>25</b>
<b>7. Список литературы</b> .....	<b>26</b>

## Список иллюстраций

1	Исходный сигнал(0-й шаг алгоритма) .....	7
2	Результаты после 1-го шага алгоритма .....	8
3	Результат после 2-го шага алгоритма, частота среза = 850, для фильтра высоких частот .....	9
4	Результат после 3-го шага алгоритма, порядок фильтра = 50 .....	10
5	Результат после 4-го шага алгоритма, частота среза = 4250, для фильтра низких частот .....	11
6	Результат после 5-го шага алгоритма, 0.00 - 0.26-с - границы пилообраз- ного участка, 0.00004 - установленный порог .....	12
7	Результаты после 0-го шага алгоритма .....	16
8	Результат после 1-го шага алгоритма, частота для фильтра низких ча- стот = 2500, частота для фильтра высоких частот = 1000 .....	17
9	Результат после 4-го шага алгоритма .....	18
10	График функции частоты от времени для участка пилообразных колеба- ний для всех датчиков в эксперименте 38993 .....	20
11	График функции частоты от времени для участка пилообразных колеба- ний для всех датчиков в эксперименте 38994 .....	21
12	График функции частоты от времени для участка пилообразных колеба- ний для всех датчиков в эксперименте 38995 .....	22
13	График функции частоты от времени для участка пилообразных колеба- ний для всех датчиков в эксперименте 38996 .....	23
14	График функции частоты от времени для участка пилообразных колеба- ний для всех датчиков в эксперименте 38998 .....	24

## 1 Постановка задачи

Даны показания 4-х датчиков, регистрирующих мягкое рентгеновское излучение плазмы в пяти экспериментах. В показаниях датчиков иногда наблюдаются пилообразные колебания, предшествующие срыву плазмы. Важно уметь вовремя детектировать такие колебания, чтобы предотвращать срыв плазмы. В связи с этим требуется:

- 1) Представить алгоритм выделения пилообразных колебаний.
- 2) Оценить частоту пилообразных колебаний.
- 3) Построить гистограммы частот для различных датчиков.
- 4) Выяснить наличие корреляции у различных датчиков на разных временных этапах пилообразных колебаний.

## 2 Подготовка данных

Данные представлены в бинарном сжатом виде. Декодирование данных производится с помощью Python и библиотеки pyGlobus. Далее из декодированных данных извлекаются временные последовательности показаний датчиков, которые сохраняются в массивах numpy.

Представлены наборы данных для 5-и экспериментов: 38993, 38994, 38995, 38996, 38998.

Каждый набор содержит измерения 4-х датчиков: SXR 15 мкм, SXR 27 мкм, SXR 50 мкм, SXR 80 мкм.

## 3 Алгоритм выделения пилообразных колебаний

### 3.1 Шаги алгоритма

- 0) Выбирается сигнал для анализа.
- 1) Находим участок сигнала, который не является квазистационарным. Данный участок выделяется сравнением значения отсчёта с его средним значением по всему сигналу (данный шаг алгоритма не применяется в онлайн режиме).
- 2) Для удаления низкочастотных составляющих применяем фильтр высоких частот.
- 3) Находим 1-ю про-ю спрямленного сигнала путём применения сглаживающего цифрового дифференцирующего фильтра (ЦДФ):  
$$y(n) = \sum_{k=1}^M \frac{1}{M(M+1)} [x(n+k) - x(n-k)], \quad M = 2$$
 - порядок фильтра,  $x(n)$  - значение n-ого отсчёта входного сигнала, а  $y(n)$  - значение n-го отсчёта входного сигнала.
- 4) Берём модуль от первой производной спрямленного сигнала. И применяем фильтр низких частот, для удаления высокочастотного шума.

5) По установленному порогу определяем пилообразные колебания.

### **3.2 Иллюстрация шагов алгоритма на примере с данными 38998, для датчика SXR 27 мкм**

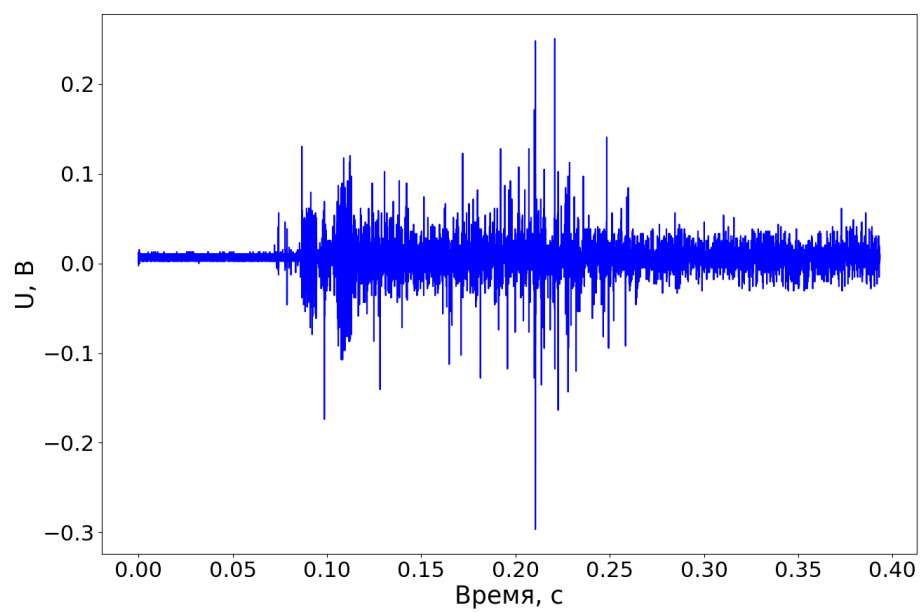


Рис. 1: Исходный сигнал(0-й шаг алгоритма)

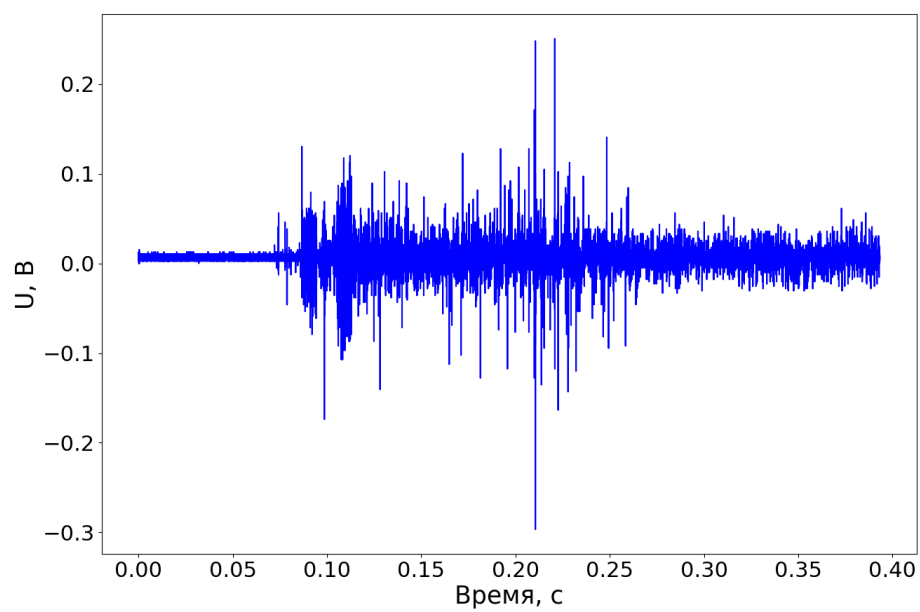


Рис. 2: Результаты после 1-го шага алгоритма



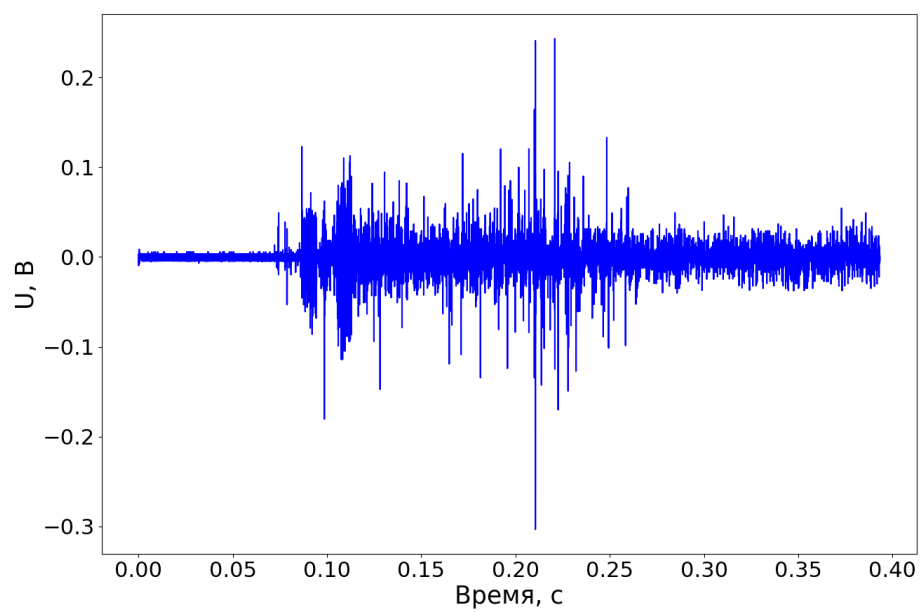


Рис. 3: Результат после 2-го шага алгоритма, частота среза = 850, для фильтра высоких частот

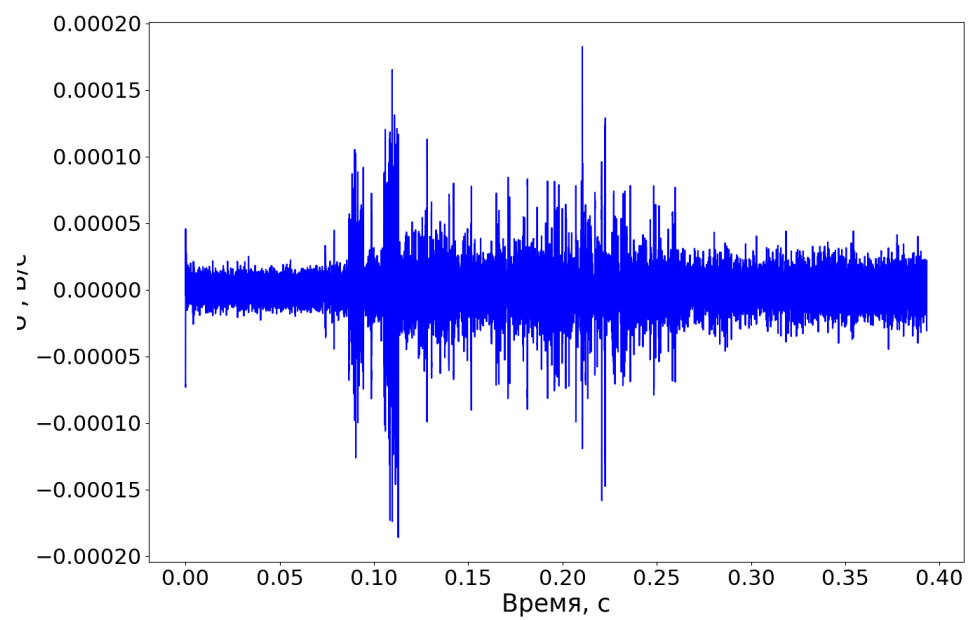


Рис. 4: Результат после 3-го шага алгоритма, порядок фильтра = 50

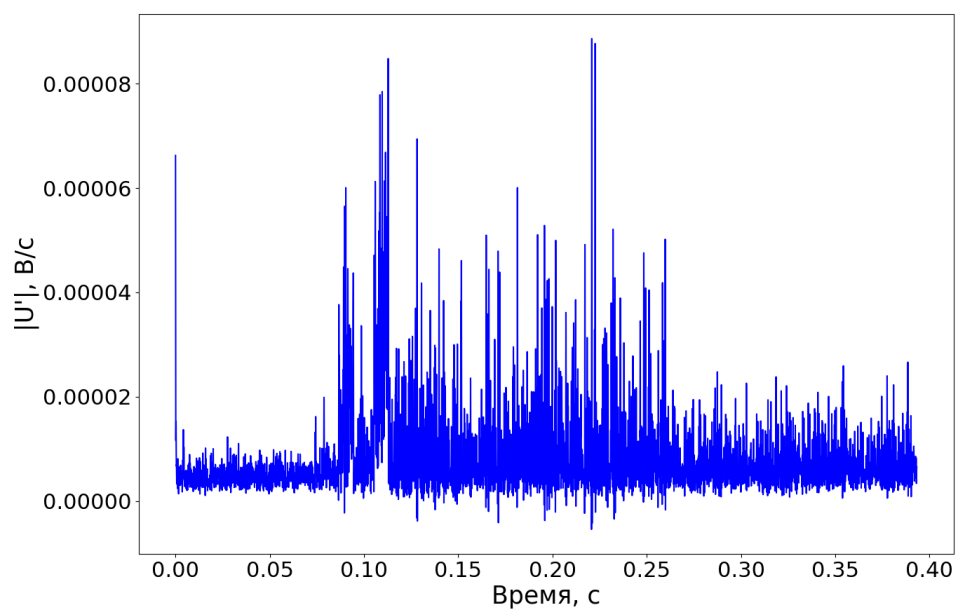


Рис. 5: Результат после 4-го шага алгоритма, частота среза = 4250, для фильтра низких частот

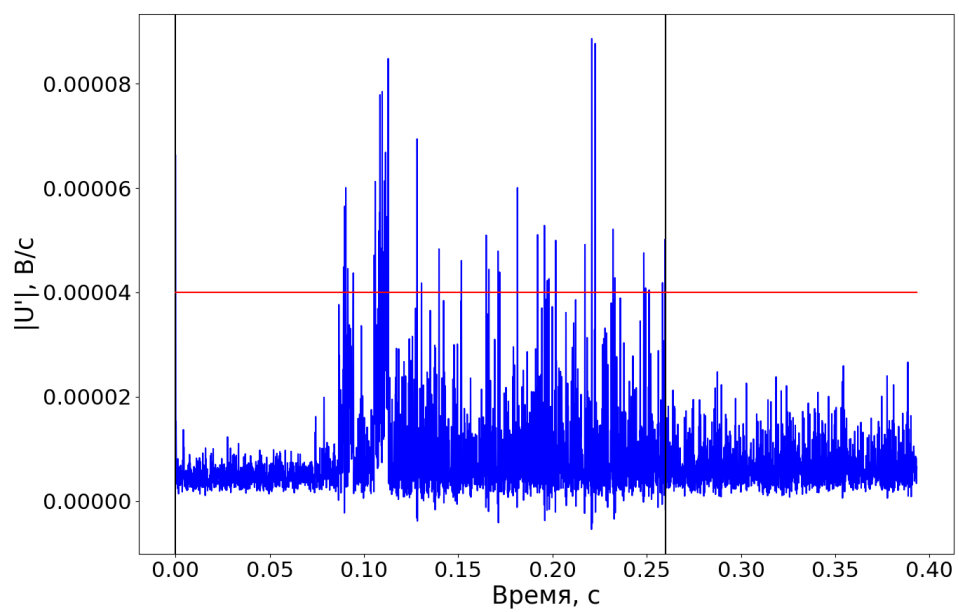


Рис. 6: Результат после 5-го шага алгоритма, 0.00 - 0.26-с - границы пилообразного участка, 0.00004 - установленный порог

### 3.3 Промежуточные выводы по алгоритму

1) Время выполнения для тестового примера  $\approx 80$  сек. (в данном времени не учитывалось время построения и сохранения графиков), основное время работы занимает 3-й шаг алгоритма. Таким образом, для отслеживания пилообразных колебаний в реальном времени нужна большая вычислительная мощность, либо необходимо представить данный алгоритм на более низком языке программирования.

2) Для выполнения 5-го шага алгоритма необходимо на тестовых данных определить допустимое пороговое значение, чтобы в дальнейшем использовать его на будущих вычислениях.

## **4 Алгоритм для оценивания частоты пилообразных колебаний**

### **4.1 Шаги алгоритма**

- 0)Выделяем участок с пилообразными колебаниями.
- 1)Применяем фильтр высоких частот и удаляем высокочастотные шумы с помощью фильтра низких частот.
- 2)Ищем точки пересечения сигнала с осью абцисс. Для получения мгновенных периодов колебаний вычитаем полученные значения, через 1-н.
- 3)Из периодов (полученных на шаге 2), получаем мгновенные частоты - функция частоты от времени.
- 4)Применяем любой сглаживающий фильтр. Т.к. наша функция зависит от времени, то лучше выбрать скользящее среднее.

#### 4.2 Иллюстрация шагов алгоритма на примере с данными 38998, для датчика SXR 27 мкм

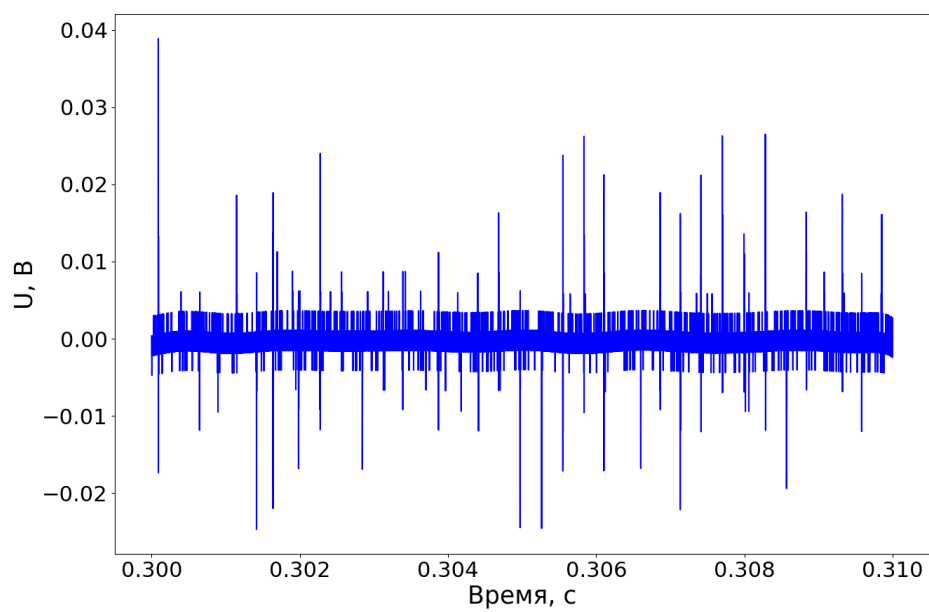


Рис. 7: Результаты после 0-го шага алгоритма



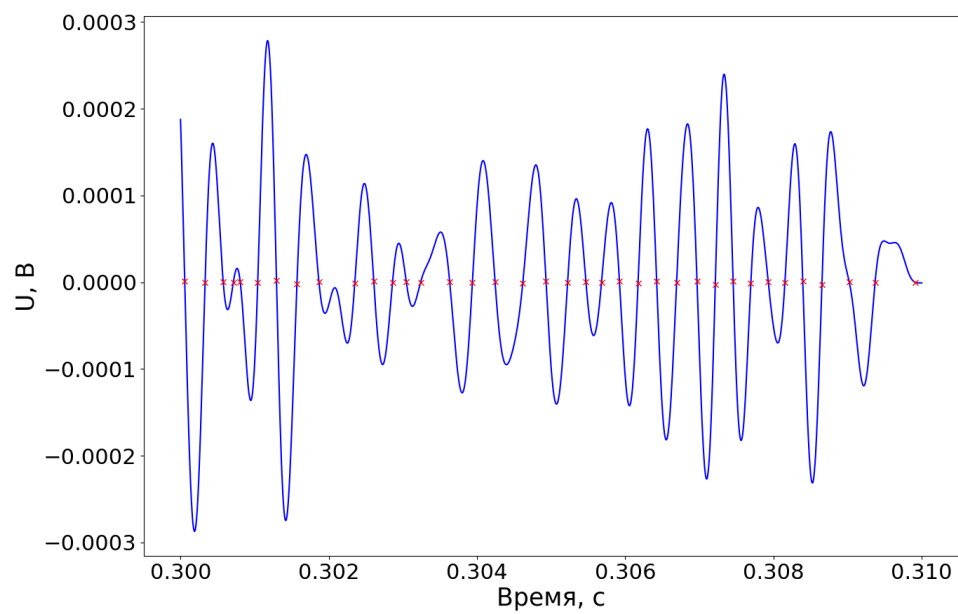


Рис. 8: Результат после 1-го шага алгоритма, частота для фильтра низких частот = 2500, частота для фильтра высоких частот = 1000

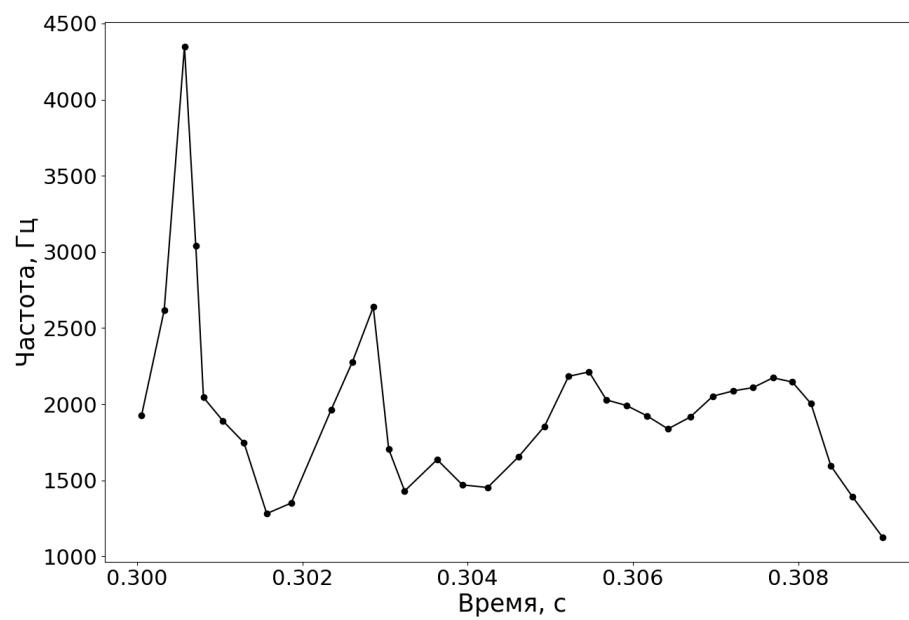


Рис. 9: Результат после 4-го шага алгоритма

### **4.3 Промежуточные выводы по алгоритму**

1)Время работы алгоритма меньше 1сек(при исключении работы с диском и построения графиков).

## **5 Графики функции частоты от времени для всех датчиков экспериментов**

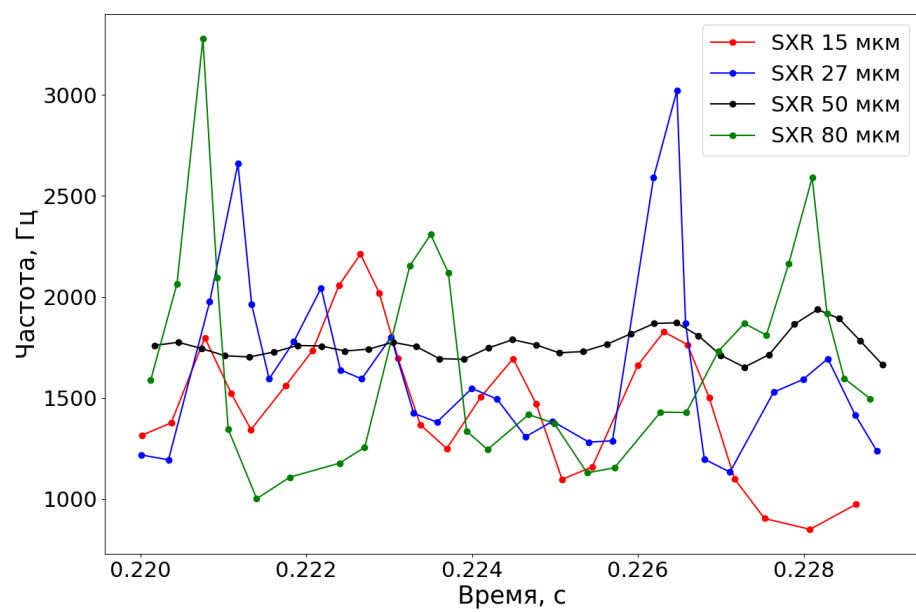


Рис. 10: График функции частоты от времени для участка пилообразных колебаний для всех датчиков в эксперименте 38993

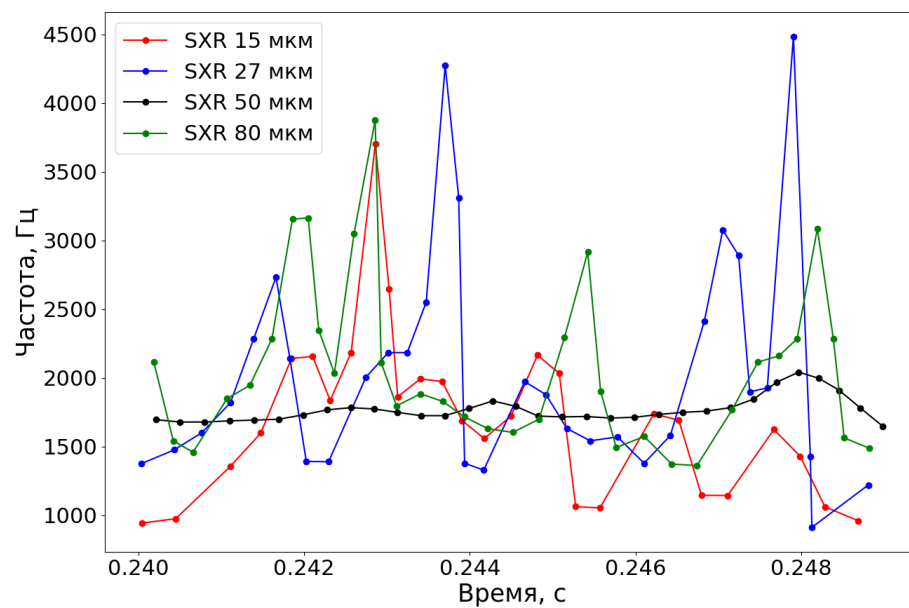


Рис. 11: График функции частоты от времени для участка пилообразных колебаний для всех датчиков в эксперименте 38994

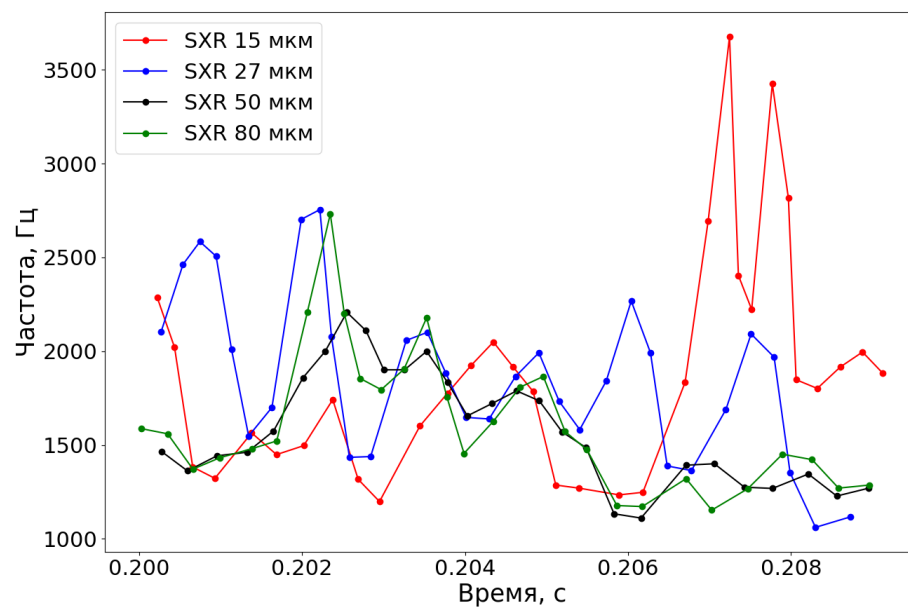


Рис. 12: График функции частоты от времени для участка пилообразных колебаний для всех датчиков в эксперименте 38995

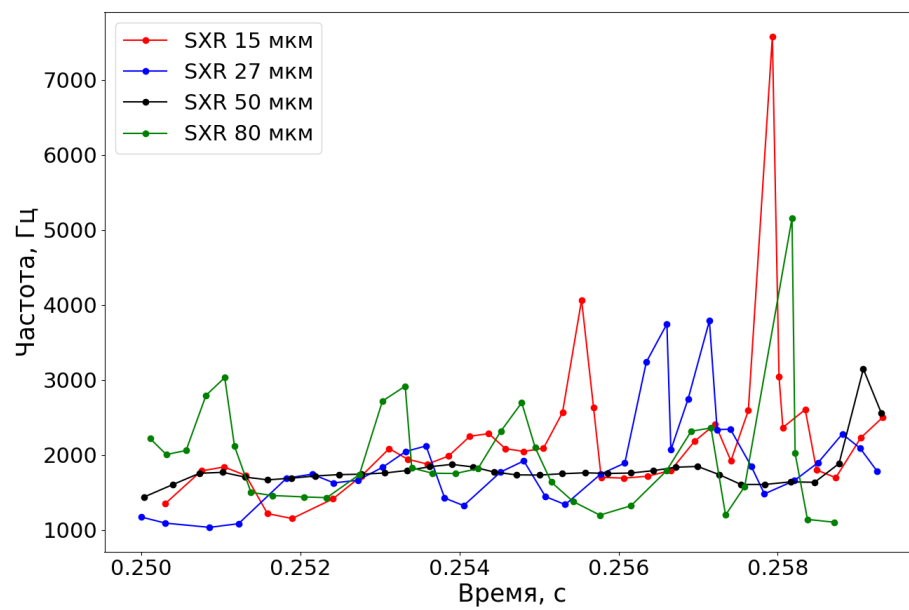


Рис. 13: График функции частоты от времени для участка пилообразных колебаний для всех датчиков в эксперименте 38996

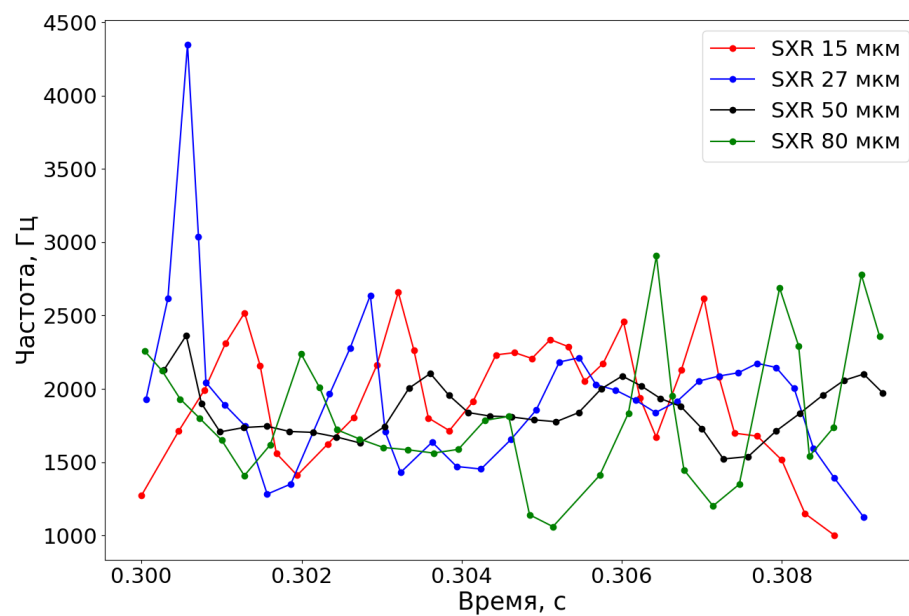


Рис. 14: График функции частоты от времени для участка пилообразных колебаний для всех датчиков в эксперименте 38998



## 6 Вывод

1)Полученные графики свидетельствуют о том, что алгоритм детектирования пилообразных колебаний обладает достаточной точностью для использования на практике.

2)Ориентируясь на данные полученные из примеров видно, что алгоритм для выделения частот пилообразных колебаний также даёт удовлетворительный результат.

3)Также видно, что из за различного характера колебаний необходимо больше данных для определения порогового значения для 1-го алгоритма.

## 7 Список литературы

[1] Скользящая средняя

[2][https://www.academia.edu/21643111/Development\\_of\\_real-time\\_plasma\\_analysis\\_and\\_control\\_algorithms](https://www.academia.edu/21643111/Development_of_real-time_plasma_analysis_and_control_algorithms)

[3]<https://numpy.org/>

[4]<https://matplotlib.org/>

[5]<https://github.com/dev0x13/globus-plasma/releases/tag/v0.1.1>

[6] Гармонические колебания

[7] Цифровые фильтры