

Среднее значение скорости выщелачивания водой при температуре 90° С из матричного материала на основе алюмината неодима составляет порядка  $2,5 \cdot 10^{-9}$   $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}\right)$  и стремится к значению  $2,66 \cdot 10^{-9}$   $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}\right)$ , обусловленное насыщением матричными материалами выщелачивающего раствора. Среднее значение скорости выщелачивания  $2,46 \cdot 10^{-9}$   $\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$ , что в 100 раз ниже, чем максимально допустимая скорость выщелачивания актиноидов из отвержденных материалов  $10^{-7}$   $\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}$  в соответствии с ГОСТ Р 50926-96 [6].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедзянов В. Р., Лащёнова Т. Н., Максимова О. А. Обращение с радиоактивными отходами. – Москва: Энергия, 2008.–284с..
2. Кулагин В. А., Кулагина Т. А., Матюшенко А. И. Переработка отработавшего ядерного топлива и обращение с радиоактивными отходами // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2013. – Т. 6. – №. 2. – С. 123–149
3. Шлёнский О. Ф. Горение и взрыв материалов. – Москва: Машиностроение, 2012. — 215 с.
4. Посохов Д.В., Кузьмин В.С., Луцк И.О. Исследование влияния давления прессования на образование алюминидного перовскита полученного методом СВ-синтеза // Материалы конференции в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ. – Северск, 2016. – С. 45–45.
5. ГОСТ Р 52126-2003. Отходы радиоактивные. Определение химической устойчивости отвержденных высокоактивных отходов методом длительного выщелачивания. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 12 с.
6. ГОСТ Р 50926-96 Отходы высокоактивные отвержденные. Общие технические требования. – М.: Госстандарт России, 1996. – 8 с.

### АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕРОГРАММ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

М. И. Волков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: miv5@tpu.ru

### THE ANALYSIS OF THE FEATURES OF SPECTRUM RECONSTRUCTION IN MILIMETRES WAVELENGTH RANGE FROM THE EXPERIMENTAL INTERFEROGRAMS.

M. I. Volkov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** In the present paper the features of obtaining spectrums from the interferograms based on discrete Fourier transformation (DFT) are investigated. Methods of minimising of DFT leakage such as interferogram's zero-padding and apodisation were considered. This method has been tested on the real experimental data. Algorithms of DFT and fast Fourier transformation (FFT) were written in Wolfram Mathematica.*

Одной из наиболее важных задач в экспериментах является получение и анализ спектральных характеристик излучения. Спектральные характеристики излучения в этом диапазоне могут быть получены измерением интерферограмм с использованием интерферометров различного типа.

Одним из наиболее распространенных и простых способов получения спектров является дискретное преобразование Фурье (ДПФ) интерферограмм [1]. Рационализированной версией ДПФ является БПФ (быстрое преобразование Фурье), которое используется в практических расчетах.

В качестве исходных данных для получения спектра применяются интерферограммы, полученные с помощью интерферометра. В миллиметровом диапазоне волн для этих целей используется интерферометр Мартина-Паплетта [2], схема которого представлена на рис.1.



Рис. 1. Схема интерферометра Мартина-Паплетта

Исследуемый пучок проходит через поляризатор 1 и попадает на делитель пучка, на котором он делится на две взаимно перпендикулярные поляризации излучения, одна из которых проходит, а другая отражается. Далее каждая составляющая попадает на соответствующее ей зеркало и отражается от него, в результате чего фаза изменяется на 90 град. Попадая снова на делитель пучка первоначально отразившаяся составляющая проходит через этот поляризатор, а первоначально прошедшая — отражается от него. Далее две составляющих движутся в одной плоскости поляризации в сторону детектора. Изменяя положение одного из зеркал и фиксируя интенсивность полученного излучения на детекторе получаем интерферограмму. Полученную интерферограмму с помощью ДПФ можно преобразовать в спектр с помощью формулы ДПФ и БПФ.

Недостатком ДПФ и БПФ является утечка, которая заключается в «перетекании энергии» в «соседние частоты» и возникает, когда исследуемая в спектре частота не соответствует частоте одной из компонент в исходном сигнале. Для минимизации влияния утечки ДПФ нами была применена аподизация, которая заключается в умножении исходной интерферограммы на функцию окна, сглаживающую концы интерферограммы с ненулевой интенсивностью. При этом несколько ухудшается спектральное разрешение в процедуре восстановления спектра.

Для улучшения спектрального разрешения в процедуре восстановления спектра нами был использован метод дополнения интерферограммы нулями.

Рассмотрим особенности восстановления спектральной картины на примере интерферограммы, полученной из интерферометра Мартина-Паплетта от излучения при взаимодействии выведенного пучка релятивистских электронов с энергией 6.1 МэВ из тефлоновой мишени [3]. Макро-импульс ускоренных электронов длительностью 4 мкс. представляет собой последовательность электронных сгустков с периодом 380 псек. Населённость сгустка  $N_e = 7 * 10^7$ .

Полученная интерферограмма представлена на рис. 2а.

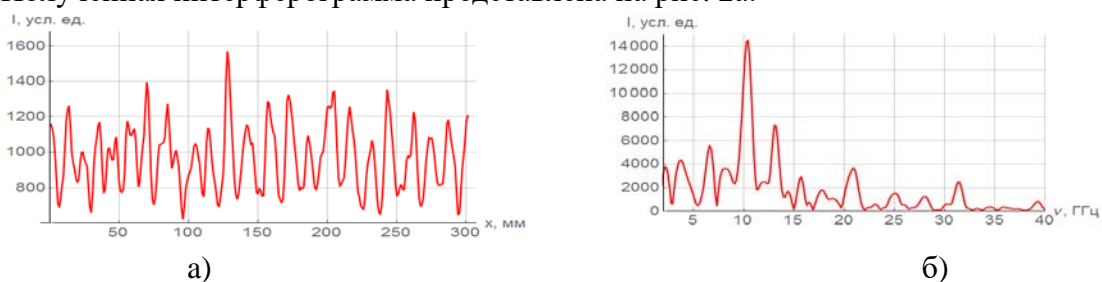


Рис. 2. Исходная интерферограмма (а) и восстановленный из нее спектр (б)

Предварительно домножив интерферограмму на функцию Хэмминга (функция окна) и дополнив количество ее общих элементов с  $N = 512$  до  $N = 2048$  нулями получим спектр, представленный на рис. 1б. На этом рис. представлены 4-ый, 5-ый и 6-ой порядки резонансов на последовательности электронных сгустков. Построенный спектр был построен с помощью алгоритма БПФ, разработанный нами в пакете «Wolfram Math».

Для оценки влияния дополнения интерферограммы нулями сопоставим предыдущий спектр со спектром без добавления нулей, т.е.  $N = 512$  (рис. 3а).

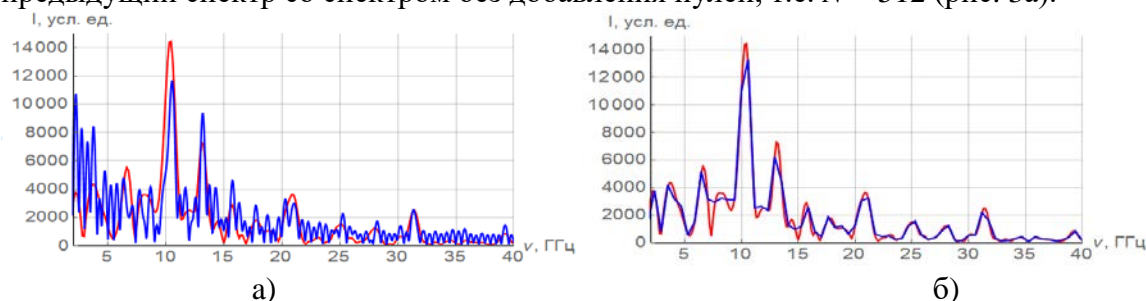


Рис. 3. Сопоставление спектров: (а) — для оценки влияния аподизации (синий спектр с аподизацией, красный — без); (б) — для оценки влияния дополнения интерферограммы нулями (для синего спектра  $N = 2048$ , для красного  $N = 512$ )

Для оценки влияния аподизации сопоставим два спектра, отчеты интерферограммы одного из которых умножены на функцию Хэмминга, а отчеты другой интерферограммы не изменены. Число элементов в интерферограммах равны  $N = 2048$ . Результаты представлены на рис. 4б (интенсивность спектра без окна уменьшена вдвое). Влияние максимумов интенсивности у боковых лепестков подавлено, при этом несколько ухудшилось спектральное разрешение в процедуре восстановления спектра.

Из всего вышесказанного следует подчеркнуть, что дополнение интерферограммы нулями позволяет улучшить спектральное разрешение в процедуре восстановления спектра. Из минусов данного метода только увеличение времени вычисления ДПФ. Аподизацию следует применять только в том случае, когда концы интерферограммы имеют ненулевую интенсивность, поскольку несколько ухудшается спектральное разрешение в процедуре восстановления спектра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. — М.: Бином-Пресс, 2006. — 656 с.
2. Lars Fröhlich. Bunch Length Measurements Using a Martin-Puplett Interferometer at the VUV-FEL. Diploma Thesis. Desy-Thesis 2005-011 TESLA-FEL 2005-02 June 2005. — 52 p.
3. Науменко Г.А., Потылицын, А.П., Шевелёв М.В., Шкитов Д.А., Попов К.Е., Вуколов А.В. Квазичеренковский механизм излучения релятивистских электронов, пролетающих вблизи многослойной призматической мишени // Письма в ЖЭТФ. — 2020. — Т. 1115. — №5.—С. 295–299.