

УДК 621.396

## ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ АППАРАТНОЙ ФУНКЦИИ НА КАЧЕСТВО ВОССТАНОВЛЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ. ЧАСТЬ 2. СПЕКТРАЛЬНЫЙ ПОДХОД.

А. Ю. Зражевский, А. В. Кокошкин, В. А. Коротков  
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал

Статья получена 24 ноября 2013 г.

**Аннотация.** В работе исследуются спектральные зависимости, связанные с величиной ошибок в оценке амплитуды боковых лепестков аппаратной функции (АФ). Показано, что метод опорного изображения, изменяя спектр изображения восстановленного инверсной фильтрацией, может улучшить качество восстановления.

**Ключевые слова:** улучшение качества радиоизображений, аппаратная функция с боковыми лепестками, пространственный спектр, восстановление изображений.

**Abstract:** We study the spectral dependence associated with the magnitude of errors in the evaluation of the amplitude of the side lobes of the point spread function. It was shown that the method of the reference image by changing the image spectrum restored inverse filtering can improve the quality of reconstruction.

**Key words:** improvement of the quality of radio images, point spread function with side lobes, image restoration.

Качество изображений, получаемых методами радиовидения, может оцениваться количественно через вероятность распознавания объекта, которая зависит от отношения «сигнал/шум» и пространственного разрешения [1 – 15]. Известно, что приемная антенна изменяет исходное изображение и его пространственный спектр. Из-за относительно небольших размеров антенн, применяемых в системах радиовидения ММ диапазона, пространственное разрешение изображений часто оказывается недостаточным для уверенного

распознавания объектов. Поэтому из различных методов восстановления и улучшения изображений [1 – 9] в ММ диапазоне в первую очередь необходимы те, которые улучшают пространственное разрешение. Предлагаемая работа посвящена анализу влияния боковых лепестков АФ на качество восстановленного изображения предложенным нами ранее методом, основанным на априорной информации о статистических характеристиках спектров объектов аналогичного класса и известной аппаратной функции системы [1, 6, 12, 15, 16]. В этой работе исследуются спектральные зависимости, связанные с величиной ошибок в оценке амплитуды боковых лепестков АФ.

Рассмотрим случай аппаратной функции, описанной в [16]. Будем считать, что при восстановлении изображения главный лепесток АФ известен, а остальная часть АФ известна с точностью до КБЛ - коэффициента боковых лепестков, который будет меняться от 100% (боковые лепестки полностью идентичны боковым лепесткам в исходной АФ) до 0% (боковые лепестки АФ отсутствуют). Такую аппаратную функцию обозначим АФб. В качестве тестового и опорного изображения будем, как и в [1], использовать портреты царя Шумера и Аккада Саргона Древнего рис.2Б и фараона Хефрена (Хафра) рис.2А соответственно. В этой работе, для удобств вычислений, размеры изображений приняты квадратными 164 на 164 пикселя.

В частотной области пространственный спектр  $G(w_x, w_y)$  изображения на выходе системы выражается через спектр исходного изображения  $F(w_x, w_y)$  и АФ( $w_x, w_y$ ):

$$G(w_x, w_y) = A\Phi(w_x, w_y)F(w_x, w_y). \quad (1)$$

Из этого следует, что если известна АФ( $w_x, w_y$ ), восстановленный спектр исходного изображения  $F(w_x, w_y)$  можно получить по формуле (инверсная фильтрация):

$$F(w_x, w_y) = G(w_x, w_y) / A\Phi(w_x, w_y) \quad (2)$$

Как правило,  $A\Phi(w_x, w_y)$  точно не известна. В данной работе в (2) используем  $A\Phi б(w_x, w_y)$ . Поэтому из (2) следует

$$Fv(w_x, w_y) = A\Phi(w_x, w_y)F(w_x, w_y) / A\Phi б(w_x, w_y), \quad (3)$$

где  $Fv(w_x, w_y)$  – спектр восстановленного изображения.

Если использовать для восстановления метод инверсной фильтрации (3) [3], то результат восстановления можно предсказать, зная отношение пространственных амплитудных спектров аппаратных функций: исходной АФ (использованной для размытия исходного изображения, т.е. для моделирования радиоизображения) к АФб (использованной при восстановлении изображения). Для простоты анализа в дальнейшем на рисунках будем рассматривать пространственные спектры в разрезе вдоль диагонали (частота по X и по Y равны).

На рис.1 представлены зависимость отношения модулей пространственных спектров АФ исходной к АФб – рис.1А и зависимость отношения модулей спектров изображений восстановленного к идеальному – рис.1Б от пространственной частоты и КБЛ - коэффициента боковых лепестков. На рисунке 1 (и далее на рисунке 4) изображено: в направлении вертикали, т.е. по оси Z – отношение модулей пространственных спектров; по оси Y – отсчёт частот по диагонали пространственного спектра (максимальная гармоника, т.е. нулевая пространственная частота спектра находится в центре и имеет номер 0 по оси Y); по оси X показано – процентное отношение боковых лепестков аппаратных функций, т.е. от АФ используемой в процедуре размытия (с полноразмерными боковыми лепестками 100%) к АФб используемой в процедуре восстановления (с варьируемыми боковыми лепестками до 0%). Очевидно, и это хорошо видно на рисунках, если эти отношения равны единице, значит спектры полностью идентичны друг другу (соответствует КБЛ=100), и наоборот, чем больше различия между АФ и АФб, тем более

существенные различия в их спектрах (достигают максимума при КБЛ=0, т.е. при полном отсутствии боковых лепестков в АФб).

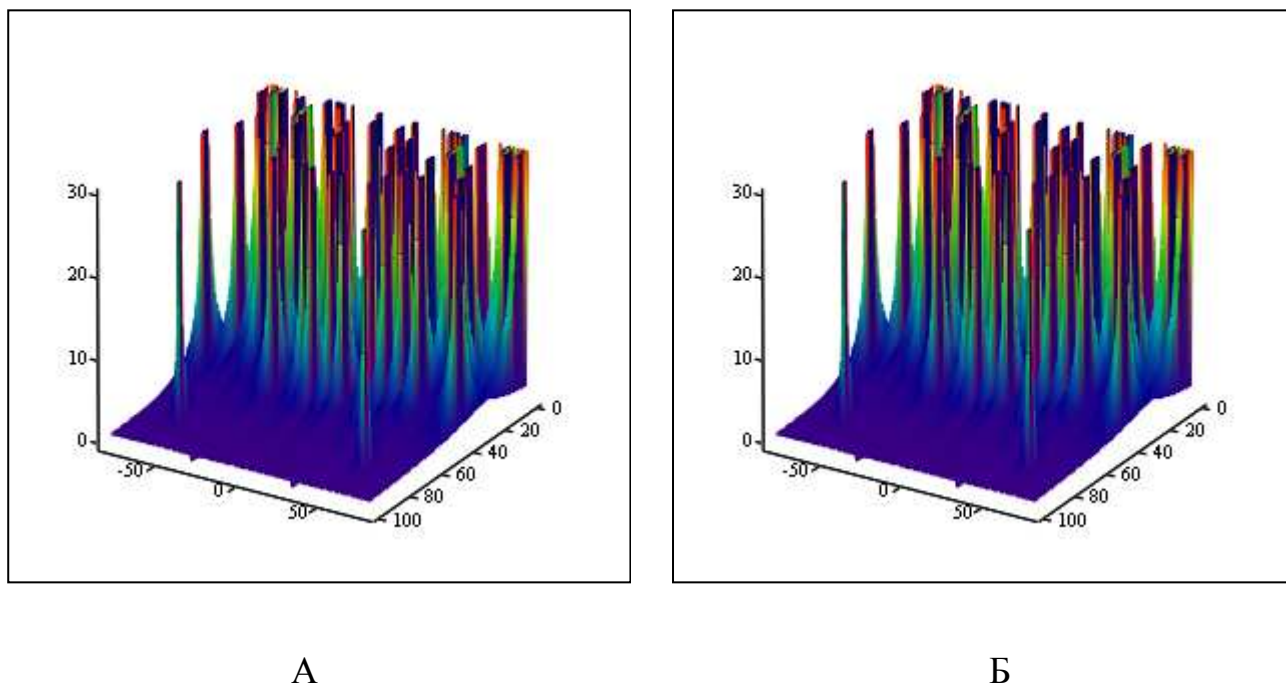


Рис.1. Зависимость отношения модулей спектров исходной АФ к АФб – рис.А и зависимость отношения модулей спектров изображений восстановленного инверсной фильтрацией к идеальному (исходному) – рис.Б от пространственной частоты и КБЛ - коэффициента боковых лепестков.

Видно, что оба рисунка А и Б практически совпадают из-за определения инверсной фильтрации [3]. Очевидно, и это хорошо видно на рисунках, если эти отношения равны единице, значит аппаратные функции полностью идентичны друг другу (соответствует КБЛ=100), и наоборот, чем больше различия между АФ и АФб, тем более существенные различия в их спектрах (достигают максимума при КБЛ=0). Таким образом, понятно, что при КБЛ=100% восстановление изображения инверсной фильтрацией будет полным. А по мере уменьшения КБЛ качество восстановления ухудшится и станет совершенно неприемлемым за счет катастрофического увеличения различий по всей ширине пространственных спектров АФ и АФб.

На Рис.2 приведены исходное, опорное и размытое АФ изображения. Результат применения инверсной фильтрации приводится на Рис.3. видно, что, как и ожидалось, при уменьшении КБЛ качество восстановления значительно ухудшается вплоть до неприемлемого.

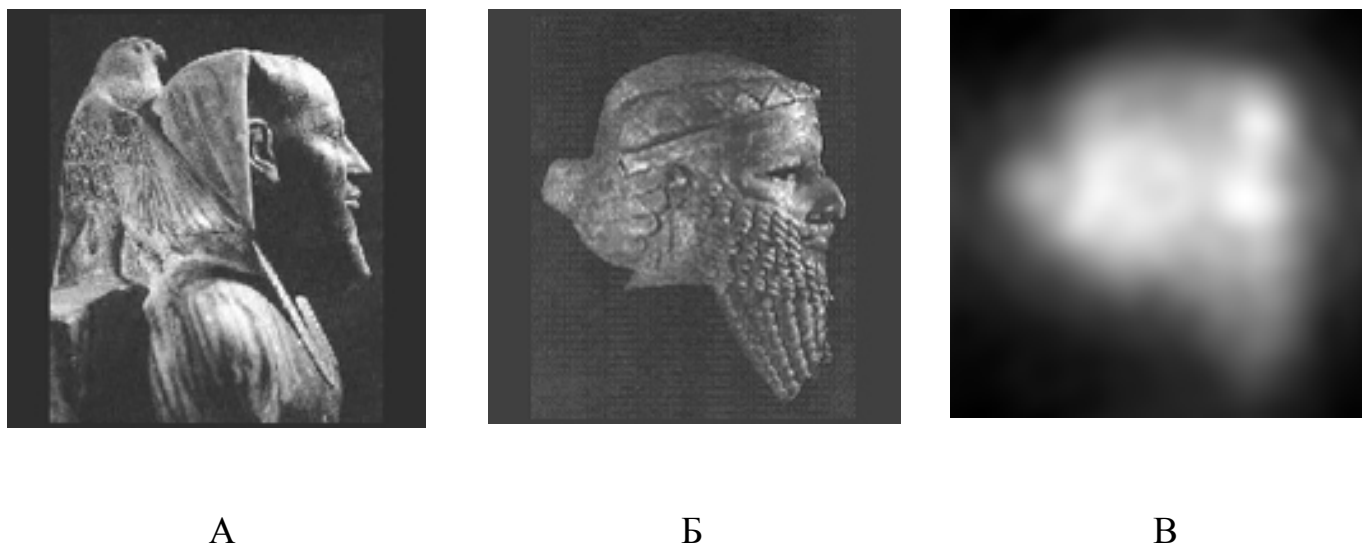


Рис.2. Изображения А- опорное, Б- исходное, В- «размытое исходной АФ» модель радиоизображения.

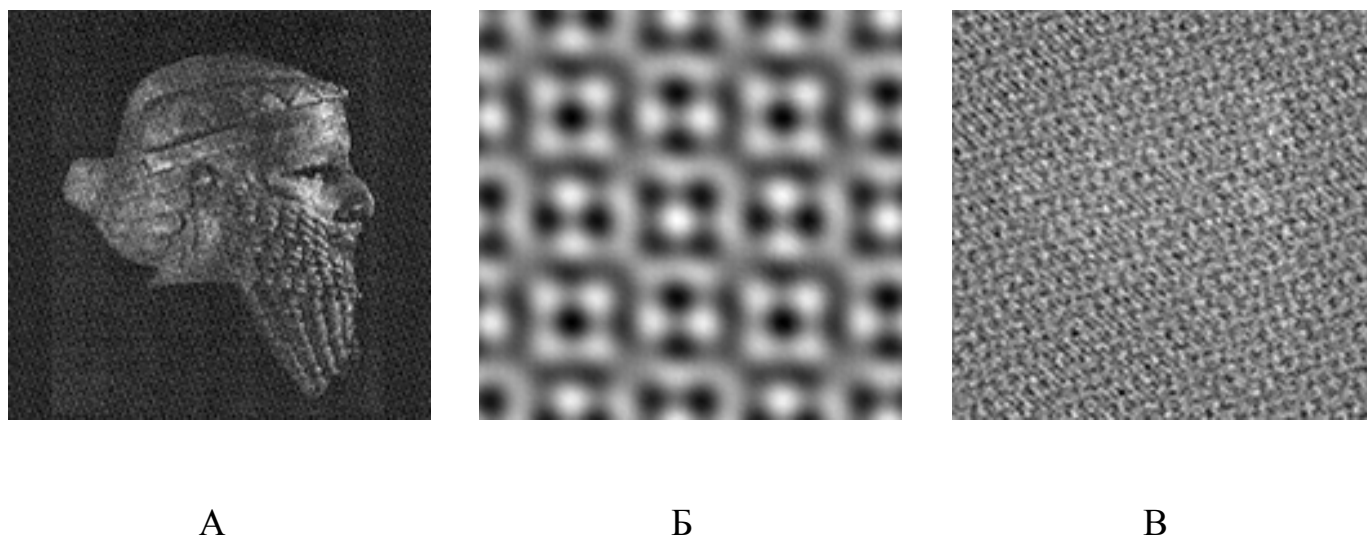


Рис.3. Изображения, восстановленные инверсной фильтрацией. Рис.А, Б и В соответствуют КБЛ: А – КБЛ=0.9, Б – КБЛ=0.6, В – КБЛ=0.3.

Возможным вариантом решения этой проблемы может быть применение метода опорного изображения [1].

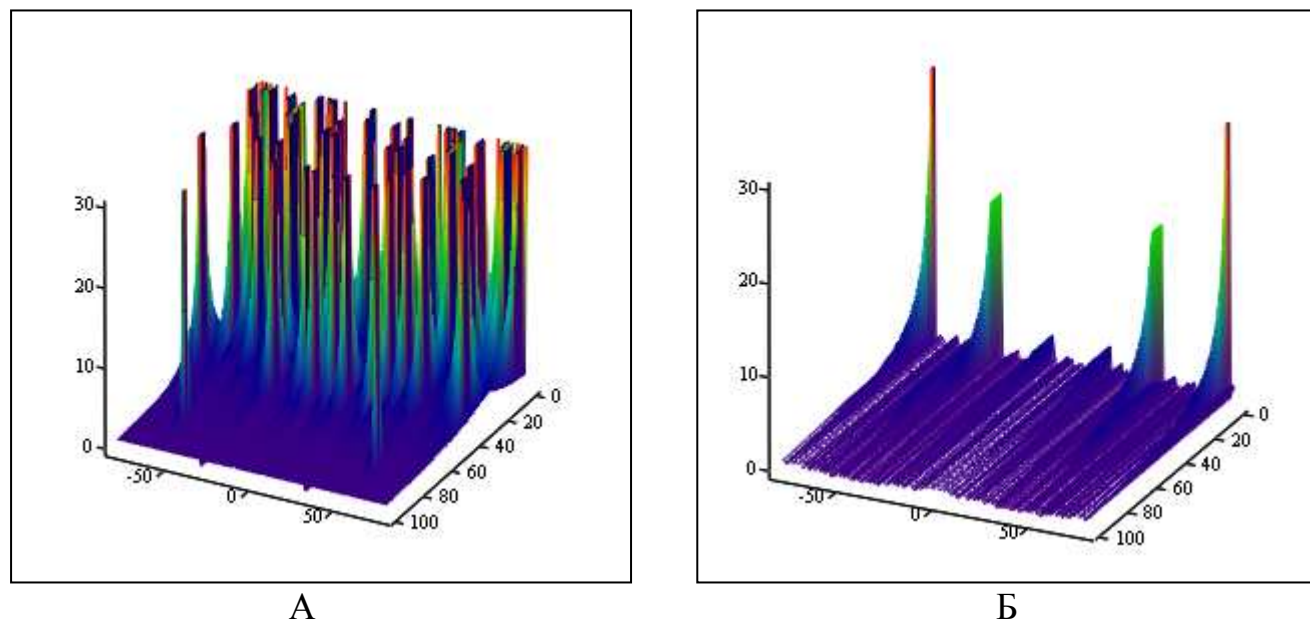
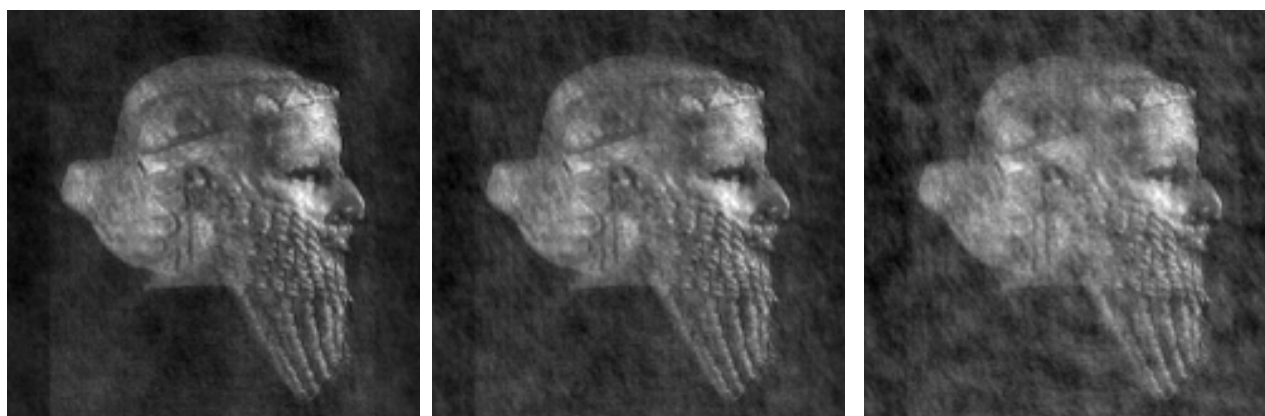


Рис.4. Зависимость отношения модулей спектров АФ исходной к АФб – рис.А и зависимость отношения модулей спектров изображений восстановленного МОИ к идеальному (исходному) – рис.Б от пространственной частоты и КБЛ от коэффициента боковых лепестков.

На Рис.4 представлены Зависимость отношения модулей спектров АФ исходной к АФб – рис.А и зависимость отношения модулей спектров изображений восстановленного методом опорного изображения - МОИ к идеальному (исходному) – рис.Б от пространственной частоты и КБЛ - коэффициента боковых лепестков. Сравнение Рис.4 и Рис.1 позволяет сделать вывод о значительной коррекции методом МОИ спектра восстановленного изображения методом инверсной фильтрации. МОИ позволяет значительно уменьшить отличия спектра восстановленного изображения от спектра исходного изображения.



А

Б

В

Рис.5. Изображения, восстановленные методом опорного изображения. Рис. А, Б и В соответствуют КБЛ: А – КБЛ=0.9, Б – КБЛ=0.6, В – КБЛ=0.3.

На Рис.5 приведены результаты восстановления изображения Рис.2В при различных значениях КБЛ. Сравнение Рис.5 и Рис.3 иллюстрирует заметное уменьшение зависимости качества восстановления с помощью МОИ от величины КБЛ.

### **Выводы.**

Уменьшение КБЛ эквивалентно увеличению отличий аппаратной функции оптической системы, формирующей изображение, от аппаратной функции, которая используется при восстановлении изображения. Несмотря на то, что эти отличия локализованы вне главного лепестка АФ, спектры аппаратных функций, используемых при формировании изображения и при восстановлении изображения могут значительно отличаться во всем диапазоне пространственных частот, что иллюстрирует Рис.1. Это отличие вызывает определенные трудности при восстановлении изображения и неминуемо сказывается на качестве восстановления. Частично проблему решает использование метода опорного изображения.

## Литература

1. А.Ю. Зражевский, А.В. Кокошкин, Е.П. Новичихин, С.В. Титов «Повышение качества радиоизображений», Нелинейный мир, 2010, №9.
2. Infrared and Millimeter Waves. v.4 Millimeter Systems. Edited by J. Button, J.S.Wilts. 1981, Academic Press, New York.
3. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. М. «Техносфера», 2005, 1071 стр.
4. Пирогов Ю.А., Гладун В.В., Тищенко Д.А., Тимановский А.Л., Шлемин И.В, Джен С.Ф., // Сверхразрешение в системах радиовидения миллиметрового диапазона. Журнал радиоэлектроники. 2004, №3 – Март. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/mar04/3/text.html>
5. Бейтс Р. Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений. /Пер. с англ.к. ф-м н. Б.С. Кругликова и С.Л. Ярославского под редакцией д. ф-м н. Л.П. Ярославского. М.: «Мир», 1989, 487с.
6. А.Ю.Зражевский, А.В.Кокошкин, Е.П.Новичихин, С.В.Титов, «Метод улучшения пространственного разрешения радиоизображений в миллиметровом диапазоне волн», Сб.докладов III Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 2009, т. 1, стр.213-215. (В электронном виде доклад опубликован на <http://jre.cplire.ru/jre/library/3conference/pdf/r019.pdf>)
7. Pirogov Yu.A., Gladun V.V., Krivoruchko V.I., Kulikov A.P., Tychko A.P., Tischchenko D.A. 11-element linear array of sensors for passive radio-imaging systems of 8-mm wave range. Proc.SPIE, “AeroSense’98”, Orlando, FL, USA, Apr.13-17, 1998, p.81-83.
8. Пытьев Ю.П. Математические методы интерпретации эксперимента. М.: Высшая школа, 1998, 351 с.
9. Новейшие методы обработки изображений. / Под ред. А.А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008, 496 с.



10. Применение цифровой обработки сигналов. / Под ред. Э. Оппенгейма, пер. с англ. Под ред. А.М. Разанцева. – М.: Издательство «Мир», 1980., 552 с. (Applications of Digital Signal Processing. Allan V. Oppenheim, Editor, New Jersey, 1978)
11. А.Ю.Зражевский, А.В.Кокошкин, Е.П.Новичихин, Тезисы доклада. «Моделирование метода улучшения пространственного разрешения радиотепловых портретов различных объектов в ММ диапазоне волн». XVI Международная конференция «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 2008, стр.280-285.
12. А.Ю.Зражевский, А.В.Кокошкин, Е.П.Новичихин, «Метод улучшения пространственного разрешения радиотепловых портретов в миллиметровом диапазоне волн». Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 2009, стр.92.
13. В.А. Голунов, Г.К.Загорин, А.Ю. Зражевский, Б.А. Розанов, А.В. Соколов, Л.Ф. Черная. Пассивная радиолокация на миллиметровых волнах. В кн. Вопросы перспективной радиолокации. М., Изд. «Радиотехника», 2003, с. 393-463.
14. А.Ю.Зражевский, В.А.Голунов, С.С.Гапонов, Е.П.Новичихин, Е.Б.Терентьев, А.П.Чернушич. Особенности и возможности поляризационного стереорадиовидения в ММ диапазоне волн. Радиотехника, №5, 2006 г., с.19-29.
15. А.Yu.Zrazhevsky, A.V.Kokoshkin, E.P.Novichihin, **S.V.Titov** (*poster*), «Method of Improvement of the Spatial Resolution of Radio Images in the Millimeter Wave Band» 34th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2009) in Busan, Korea, 2009. (Program Guide Download), Conference Guide p.105. URL: <http://irmmw-thz2009.org/>
16. А.Ю. Зражевский, А.В. Кокошкин, Влияние уровня боковых лепестков аппаратной функции на качество восстановленного изображения. Журнал радиоэлектроники, 2013, №4. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr13/8/text.html>