

СЛЕПОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЁННЫХ СМАЗОМ И ДЕФОКУСИРОВКОЙ, ПРИ НЕИЗВЕСТНОЙ ФОРМЕ И ПАРАМЕТРАХ АФ

А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал

Статья получена 13 сентября 2014 г.

Аннотация. В этой работе показана принципиальная возможность реконструкции изображений, которая проводится только по объективным критериям и использует данные самих искажённых изображений. Это позволит автоматизировать восстановление изображений испорченных аппаратными функциями смаза или дефокусировки.

Ключевые слова: метод опорного изображения, универсальный опорный спектр, искажённое смазом изображение, дефокусировка, восстановление изображения.

Abstract. In this paper we show principal possibility of image reconstruction which is carried out only by objective criteria and uses the data of distorted images. It will automate the restoration of images corrupted by blurring or defocusing.

Key words: method of the reference image, a universal reference spectrum, image distorted by smear, defocus, image recovery.

Введение.

Формирование изображений оптической системой с известной аппаратной функцией – АФ можно описывать с помощью уравнения свертки [1,2]:

$$I(\vec{r}) = \int_D A(\vec{r} - \vec{r}') I_0(\vec{r}') ds(\vec{r}') + N(\vec{r}), \quad (1)$$

где D – область наблюдения, $ds(\vec{r})$ - элементарная площадка в точке (x,y) , $A(\vec{r})$ - аппаратная функция (АФ) системы, $I_0(\vec{r})$ - исходное изображение, $I(\vec{r})$ - изображение на выходе этой системы, $N(\vec{r})$ - аддитивный шум. Даже в отсутствии шума $N(\vec{r})$ знание АФ $A(\vec{r})$ принципиально необходимо для восстановления $I_0(\vec{r})$ по измеренным значениям $I(\vec{r})$. Обычно форма АФ и ее параметры неизвестны и их определяют путем подбора, оценивая результат восстановления тем или иным способом [3].

В данной работе рассматривается на примере искажения типа «смаз» рассматривается вариант определения АФ и ее параметров с помощью универсального опорного спектра [4].

Если перейти к спектральным представлениям изображений: исходного $I_0(\vec{r})$, на выходе системы $I(\vec{r})$, шума N и спектра АФ $A(f)$:

$$J_0(\vec{f}) = \iint_D e^{2\pi i \vec{f} \vec{r}} I_0(\vec{r}') ds(\vec{r}'),$$

$$J(\vec{f}) = \iint_D e^{2\pi i \vec{f} \vec{r}} I(\vec{r}) ds(\vec{r}), \tag{2}$$

$$N(\vec{f}) = \iint_D e^{2\pi i \vec{f} \vec{r}} N(\vec{r}) ds(\vec{r})$$

$$A(\vec{f}) = \int_D e^{2\pi i \vec{f} \vec{r}} A(\vec{r}) ds(\vec{r}),$$

то в частотной области пространственный спектр $J(\vec{f})$ изображения на выходе системы выражается через спектр исходного изображения $J_0(\vec{f})$ и $A(\vec{f})$:

$$J(\vec{f}) = A(\vec{f})J_0(\vec{f}) + N(\vec{f}). \tag{3}$$

Оценку решения (3) относительно $J_0(\vec{f})$ можно получить с помощью инверсной фильтрации, разделив обе части (3) на $A(\vec{f})$. Для компенсации влияния шума $N(\vec{f})$ и ошибок в определении параметров АФ можно использовать метод Винера или метод опорного изображения – МОИ [2,5].

Ранее [6] было показано, что использование модифицированного МОИ в случае действительного неотрицательного спектра аппаратной функции позволяет восстанавливать изображения при неизвестных параметрах и форме АФ. К сожалению, в случае искажений типа «смаз» и «дефокусировка», спектр АФ не обладает такими свойствами. Рассмотрим случай действительного спектра АФ. Действительный спектр соответствует симметричной АФ. В случае прямолинейного «смаза» симметрия спектра соответствует симметрии АФ относительно оси, перпендикулярной линии смаза. В случае дефокусировки предполагается аксиальная симметрия спектра. При этих условиях становится возможным восстановить сначала АФ и затем пользуясь восстановленной АФ само изображение. Рассмотрим подробнее восстановление АФ в случае прямолинейного смаза.

Прямолинейный смаз.

Обычно предполагают, что прямолинейный смаз равномерен. Тогда, случае смаза по оси x , $A(\vec{r})$ имеет вид:

$$A(\vec{r}) = \frac{\delta(y)}{2S_0}, \text{ если } |x| \leq S_0 \text{ и} \quad (4)$$

$A(\vec{r}) = 0$ в остальных случаях, где S_0 - половина величины смаза. При восстановлении спектра АФ мы не будем использовать формулу (4) для АФ. Так как при восстановлении изображения будем пользоваться МОИ, то в дальнейших рассуждениях шум $N(\vec{f})$ рассматривать не будем. Возьмем

модуль от обеих частей (3). В качестве оценки модуля спектра $|J_0(\vec{f})|$ мы используем модуль универсального опорного спектра - УОС [4]. Для определения модуля АФ разделим обе части полученного выражения на УОС, получим:

$$|A(\vec{f})| = \frac{|J(\vec{f})|}{|J_{uo}(\vec{f})|}, \quad (5)$$

где $|J_{uo}(\vec{f})|$ - модуль универсального опорного спектра.

Если спектр АФ неотрицателен, то такую оценку уже можно использовать для восстановления изображения. В рассматриваемом случае смаза и дефокусировки это не так. Поэтому встает задача восстановления знака спектра АФ в зависимости от частоты. На Рис.1 приведены исходное изображение и изображение после смаза.

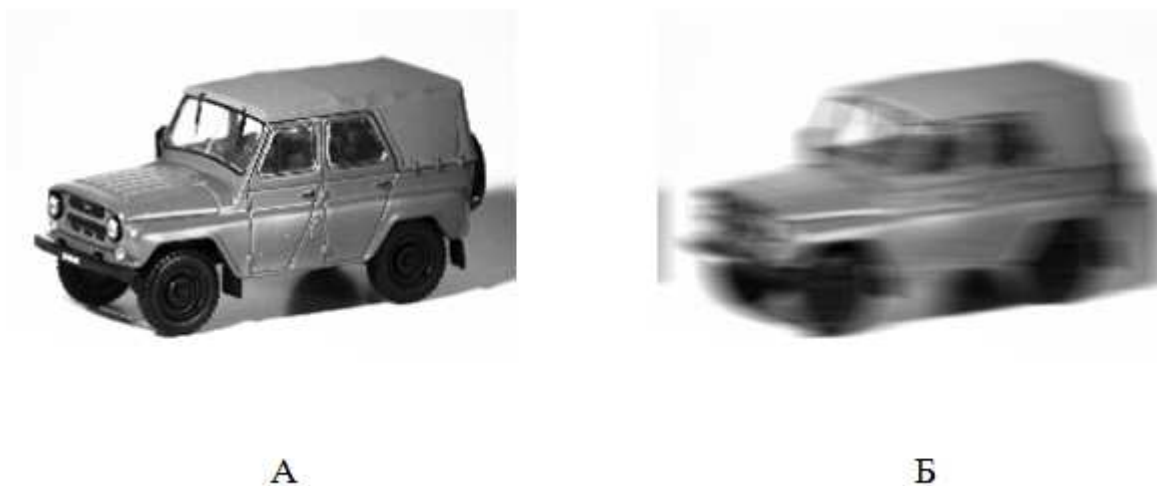


Рис.1. Исходное изображение – А и изображение после «смаза» величиной $2S_0 = 20$ пикселей. Изображения имеют размер 256x256 пикселей.

На Рис.2 представлены графики пространственных амплитудных спектров АФ искажающей функции (смаза) и искажённого смазом изображения.

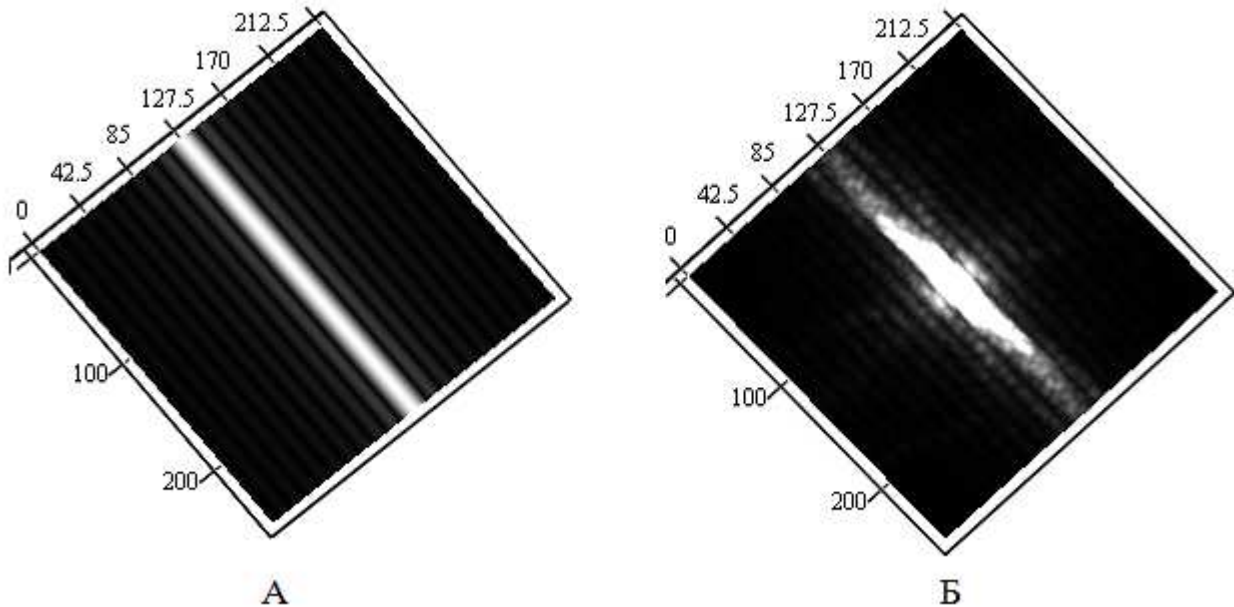


Рис.2 Вид сверху на пространственные амплитудные спектры: А – АФ (смаза); Б – искажённого смазом изображения.

На Рис.2Б проявляется периодическая структура вызванная смазом. Для того, чтобы график модуля АФ был более регулярен, усредним величину модуля АФ по направлению, перпендикулярному смазу. При этом мы пользуемся априорным знанием о том, что величина АФ по перпендикулярному смазу направлению не меняется. Для реконструкции АФ используем формулу (5) где $|J_{UO}(\vec{f})|$ (универсальный опорный спектр, олицетворяющий собой модель изотропной составляющей спектров изображений) используется для подчеркивания структуры АФ. На Рис.3 синей линией показан график усредненного по вертикали модуля АФ рассчитанного (5).

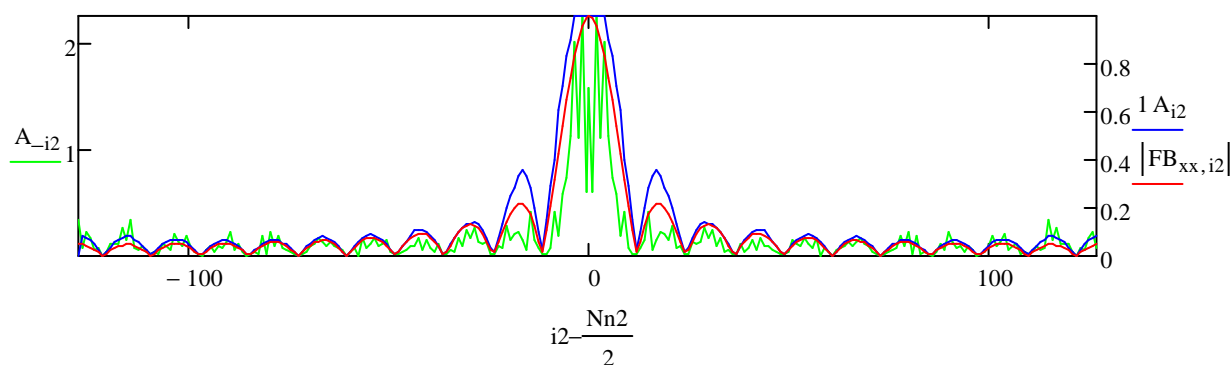


Рис.3. Графики зависимости модуля АФ, рассчитанного по (5) – зеленая линия, усредненный по вертикали (перпендикулярно смазу) – синяя линия, использованный для расчета смазанного изображения Рис.1Б – красная линия.

Теперь, после усреднения, появляется возможность восстановить знак АФ из восстановленного модуля спектра АФ (синяя линия на Рис.3). Для этого будем отмечать те координаты, где слева производная отрицательна, а справа положительна. Будем считать эти координаты нулями АФ или координатами смены знака АФ. В результате получим АФ из модуля АФ. На Рис.4 приведены результаты восстановления знака АФ.

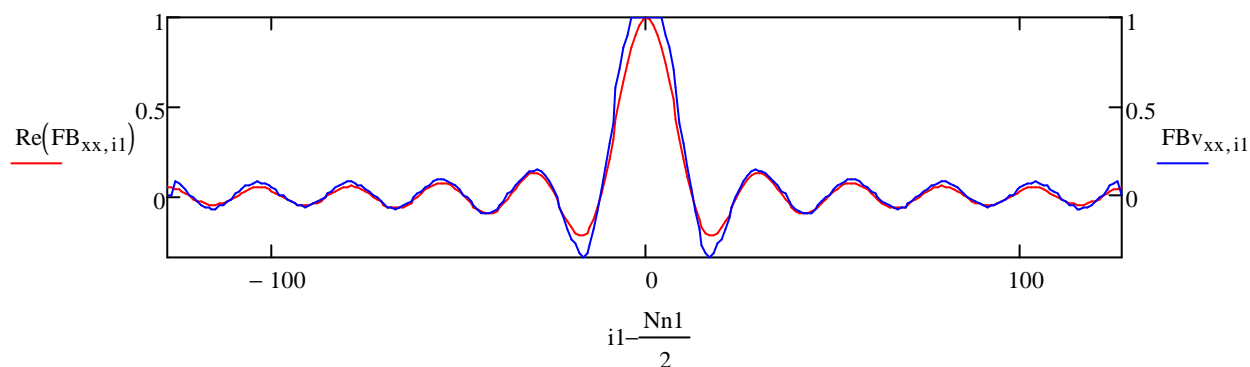


Рис.4. Графики спектра АФ использованной для получения Рис.1Б – красная линия и восстановленный из спектра смазанного изображения Рис.1Б – синяя линия.

Пользуясь восстановленной аппаратной функцией, представленной на Рис.4 (синяя линия), и с помощью метода опорного изображения можно восстановить изображение из Рис.1Б. Результат восстановления представлен на Рис.5Б.

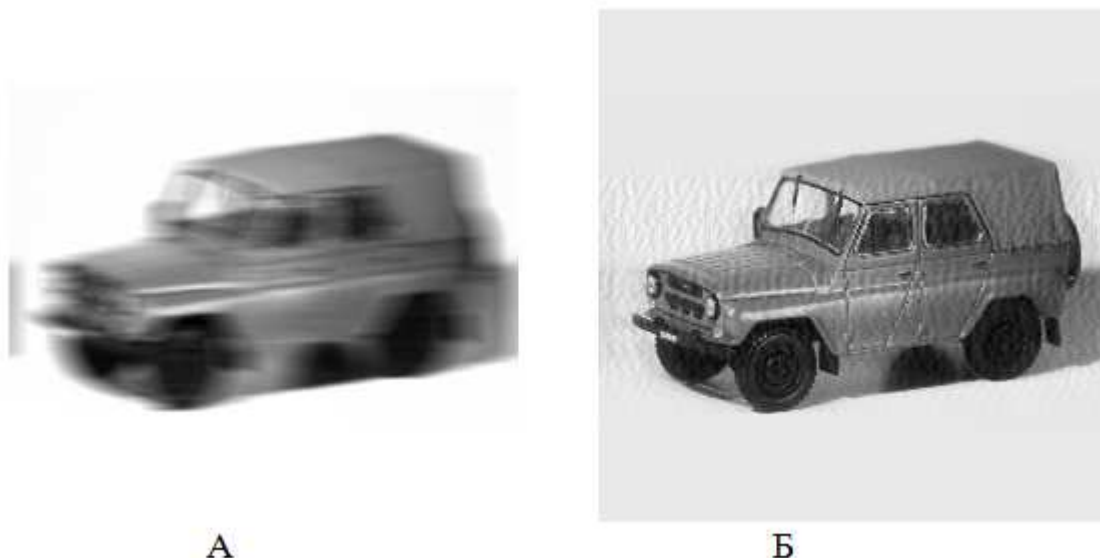


Рис.5. Смазанное изображение – А и восстановленное изображение – Б.

Дефокусировка.

Рассмотрим другой распространенный вариант искажений изображения – дефокусировка. Будем считать, аппаратная функция дефокусирующей оптической системы не зависит от направления $A(\vec{r}) = A(r)$. Для расчетов АФ используем функцию, аналогичную фильтру Баттерворта [1]:

$$A(r) = \frac{1}{1 + (r / S_0)^{2n}}, \quad (6)$$

где $A(\vec{r})$ - аппаратная функция, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ - модуль \vec{r} , S_0 и n - параметры фильтра Баттерворта. В приведенных расчетах использовались $n = 18$ и $S_0 = 10$. Прделаем теперь манипуляции, аналогичные приведенным выше.

На Рис.6 приведены исходное изображение и изображение после дефокусировки.



Рис.6. Исходное изображение – А и изображение после «дефокусировки» величиной $S_0 = 10$ пикселей. Изображения имеют размер 256x256 пикселей.

На Рис.7 представлены графики пространственных спектров модуля смазанного изображения и модуля АФ, вычисленного по формуле (5).

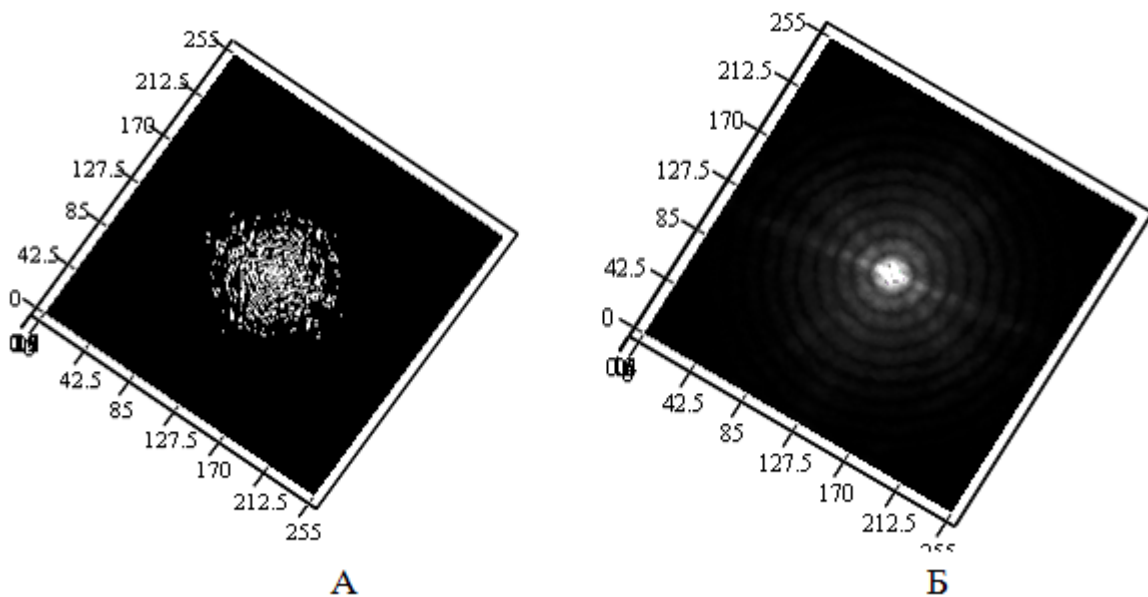


Рис.7. Графики модулей пространственных спектров. А – соответствует дефокусированному изображению Рис.6Б, Б – оценка модуля АФ по формуле (5). График Рис.7А ограничен по вертикали единицей.

На Рис.7Б достаточно хорошо проявляется периодическая структура вызванная дефокусировкой. На Рис.7А эта структура выражена слабо. Если бы мы в формуле (5) вместо $|J_{UO}(\vec{f})|$ использовали неизвестную величину $|J_0(\vec{f})|$, то на графике Рис.7Б отсутствовали бы нерегулярные выбросы. Для того, чтобы график модуля АФ был более регулярен, усредним величину модуля АФ по углу (по кругам), пользуясь аксиальной симметрией АФ. При этом мы пользуемся априорным знанием о том, что величина АФ от направления не зависит. На Рис.8 синей линией показан график усредненного по углу модуля АФ рассчитанного (5).

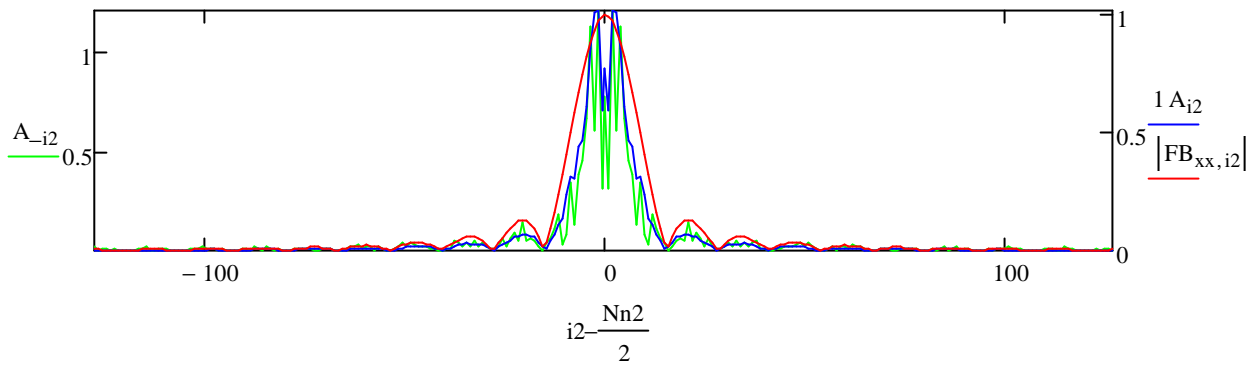


Рис.8. Графики зависимости модуля АФ, рассчитанного по (5) – зеленая линия, усредненный по углу – синяя линия, использованный для расчета дефокусированного изображения Рис.6Б – красная линия.

Теперь, после усреднения, появляется возможность восстановить знак АФ из восстановленного модуля спектра АФ (синяя линия на Рис.8). Для этого применим процедуру, описанную выше для случая смаза. На Рис.9 приведены результаты восстановления знака АФ.

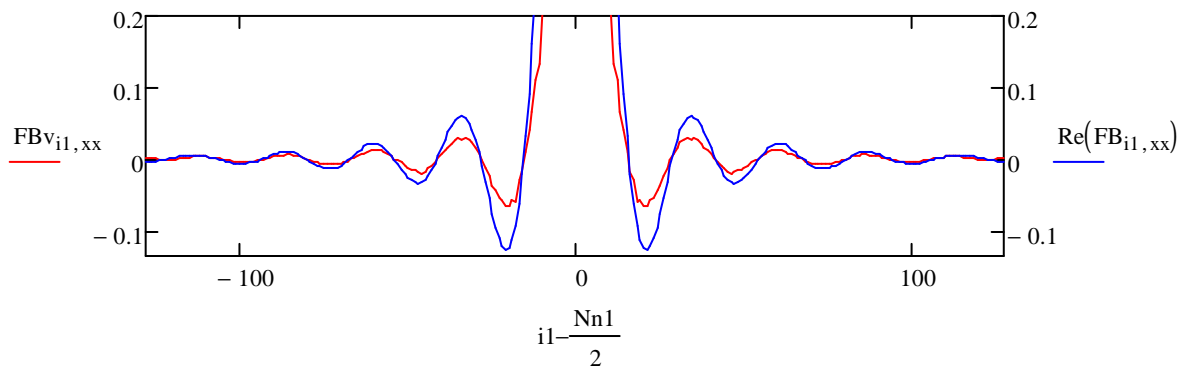


Рис.9. Графики спектра АФ использованной для получения Рис.6Б – красная линия и восстановленный из спектра дефокусированного изображения Рис.6Б – синяя линия.

Пользуясь восстановленной аппаратной функцией, представленной на Рис.9 (синяя линия) и с помощью метода опорного изображения можно восстановить изображение из Рис.6Б. Результат восстановления представлен на Рис.10Б.

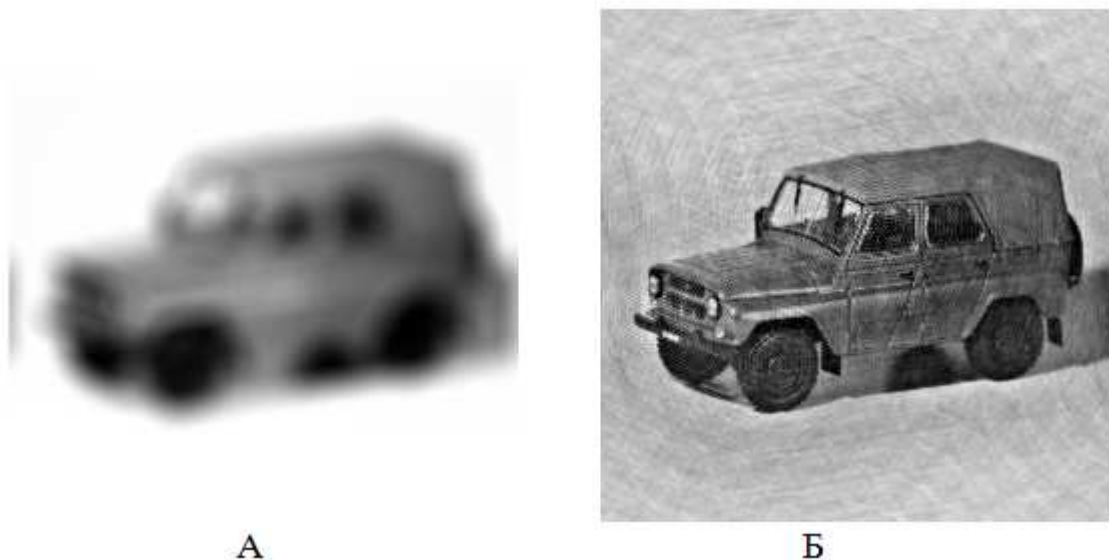


Рис.10. Дефокусированное изображение - А и восстановленное изображение -Б.

Выводы.

1. Изображение, полученное с помощью оптической системы, содержит информацию об аппаратной функции этой системы.

2. Если известно, что спектр АФ действителен и известен тип симметрии АФ, то существует возможность восстановления АФ.
3. Для восстановления модуля спектра АФ предлагается использовать универсальный опорный спектр [4].
4. Для восстановления знака из модуля спектра АФ необходимо усреднить модуль спектра АФ с учетом предполагаемого типа симметрии АФ.
5. Восстановленный спектр АФ можно использовать для восстановления искаженного изображения.

Литература

1. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. М. «Техносфера» , 2005, 1071 стр.
2. А. Ю. Зражевский, А. В. Кокошкин, Е.П. Новичихин, С.В. Титов, «Повышение качества радиоизображений». «Нелинейный Мир», № 9, 2010г., с. 582-590.
3. А.Ю.Зражевский, В.А.Коротков, К.В.Коротков. Объективный критерий восстановления дефокусированного изображения. // Журнал Радиоэлектроники [электронный журнал] 2014. №5. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/may14/2/text.html>
4. Ю. В. Гуляев, А. Ю. Зражевский, А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, В.А. Черепенин Коррекция пространственного спектра, искаженного оптической системой, с помощью метода опорного изображения. Часть 3. Универсальный опорный спектр. // Журнал Радиоэлектроники [электронный журнал]. 2013. №12. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/3/text.html>

5. Ю. В. Гуляев, А. Ю. Зражевский, А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, В. А. Черепенин Коррекция пространственного спектра, искаженного оптической системой, с помощью метода опорного изображения. Часть 2. Адаптивный метод опорного изображения (АМОИ). // Журнал Радиоэлектроники [электронный журнал]. 2013. №12. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/2/text.html>
6. А. Ю. Зражевский, А. В. Кокошкин, В. А. Коротков Восстановление искаженного оптической системой с неизвестными параметрами радиоизображения с помощью метода опорного изображения. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2013. №9. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep13/9/text.html>