

УДК 621.396

**КОРРЕКЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СПЕКТРА, ИСКАЖЕННОГО  
ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ, С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ОПОРНОГО  
ИЗОБРАЖЕНИЯ.**

**ЧАСТЬ 2. АДАПТИВНЫЙ МЕТОД ОПОРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ  
(АМОИ).**

**Ю. В. Гуляев, А. Ю. Зражевский, А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, В. А. Черепенин**  
**Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН**

Статья получена 27 ноября 2013 г.

**Аннотация.** Разработан адаптивный вариант метода опорного изображения, менее зависимый от выбора «опорного» изображения. Сутью метода является то, что путем несложных манипуляций с амплитудным спектром восстанавливаемого изображения деформируют его так, чтобы он находился в заданной окрестности от выбранного спектра «опорного» изображения.

**Ключевые слова:** радиоизображения, статистические характеристики спектров, пространственное разрешение.

**Abstract:** The adaptive variant of the reference image method is worked out. It less depends on «the base image» choice. The essence of the method is that after the simple manipulations with the amplitude spectrum of the restored image, the spectrum can be deformed such a way, that it could be placed in the given neighborhood of the chosen spectrum of the reference image.

**Key words:** radio image, statistical characteristics of the spectra, the spatial resolution.

Радиоизображения, получаемые в ММ диапазоне, заметно отличаются по качеству от оптических изображений [1,3,4,6]. Из всех факторов, ухудшающих качество радиоизображений, выделяются те, которые можно свести к аппаратной функции (АФ) оптической системы. В первой части рассматривался классический метод опорного изображения (МОИ), позволяющий улучшать качество радиоизображений.

Есть две важные проблемы, с которыми сталкиваются при применении

МОИ:

1. Зависимость качества восстановления изображения от выбора опорного изображения.
2. Наличие ошибок в определении аппаратной функции – АФ [5].

Качество восстановления зависит от выбора опорного изображения, поскольку усредненный спектр опорного изображения в классическом МОИ является верхним пределом для восстановленного инверсной фильтрацией амплитудного спектра. Одним из вариантов уменьшения этой зависимости может быть требование выполнения условия для восстановленного амплитудного спектра находиться в некоторой окрестности вокруг усредненного опорного спектра. В дальнейшем мы увидим, что выполнение этого условия может помочь и в решении второй проблемы применения МОИ.

Пусть новый «адаптивный» вариант МОИ будет работать следующим образом:

1. Рассчитываем  $m$  - инверсно-отфильтрованный спектр восстанавливаемого изображения.
2. Рассчитываем усредненные по алгоритму для усредненного опорного изображения спектры инверсно-отфильтрованный – УСИО и опорный - УСО.
3. Задаем величину окрестности около УСО, то есть задаем  $sA$  и  $sB$  ( $sA$  – величина, во сколько раз спектр может быть больше УСО и  $sB$  – величина, во сколько раз спектр может быть меньше УСО).
4. Проверяем, попадает ли УСИО в заданную окрестность около УСО. Если нет, то при превышении верхней границы вычисляем  $m = m * sA * УСО / УСИО$ , а если УСИО ниже нижней границы, то вычисляем  $m = m * УСО / (sB * УСИО)$ , где  $m$  - вычисленный ранее инверсно-отфильтрованный спектр.
5. Следующим шагом проверяем, попадает ли модуль  $m$  в заданную окрестность около УСО. Если нет, то проводим аналогичную предыдущему пункту коррекцию: при превышении верхней границы вычисляем  $m = m * sA * УСО / |m|$ , а если модуль  $m$  ниже нижней границы, то вычисляем  $m = m * УСО / (sB * |m|)$ .

После выполнения этого алгоритма получается спектр, который не выходит за пределы некоторой заданной окрестности вокруг усредненного опорного спектра. Обратное преобразование Фурье позволяет получить из этого спектра восстановленное изображение.

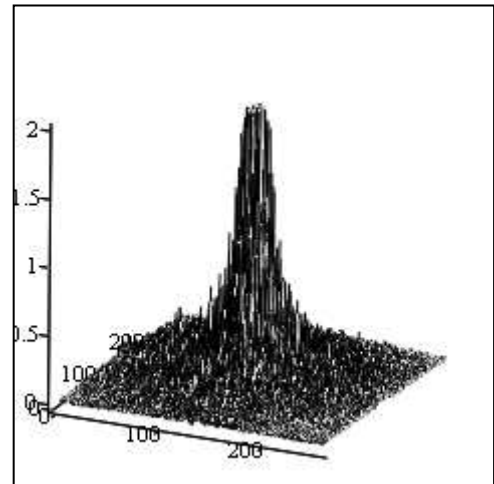
Для того, чтобы лучше продемонстрировать работу этого алгоритма адаптивного МОИ – аМОИ, используем в качестве исходного изображения Рис.1, в качестве опорного изображения Рис.2, параметр  $S$  в аппаратной функции АФ

$$A(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{S^2}\right)$$

приравниваем 0, то есть АФ не искажает изображение,  $sA=sB=4$ .



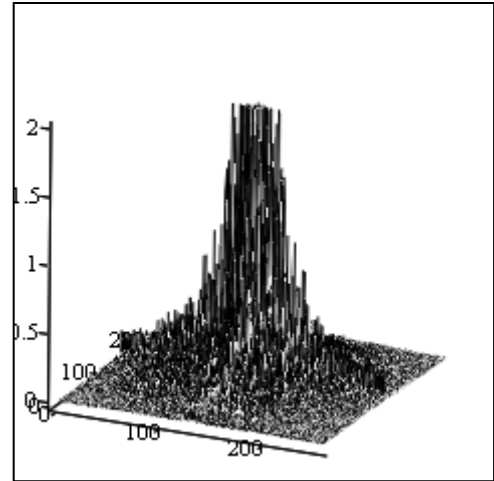
А



FM

Б

Рис.1. Изображение людей – А и его спектр – Б.



FMo

А

Б

Рис.2. Изображение танка «Абрамс» -А и его спектр – Б.

На Рис.3 представлены графики, иллюстрирующие работу алгоритма аМОИ.

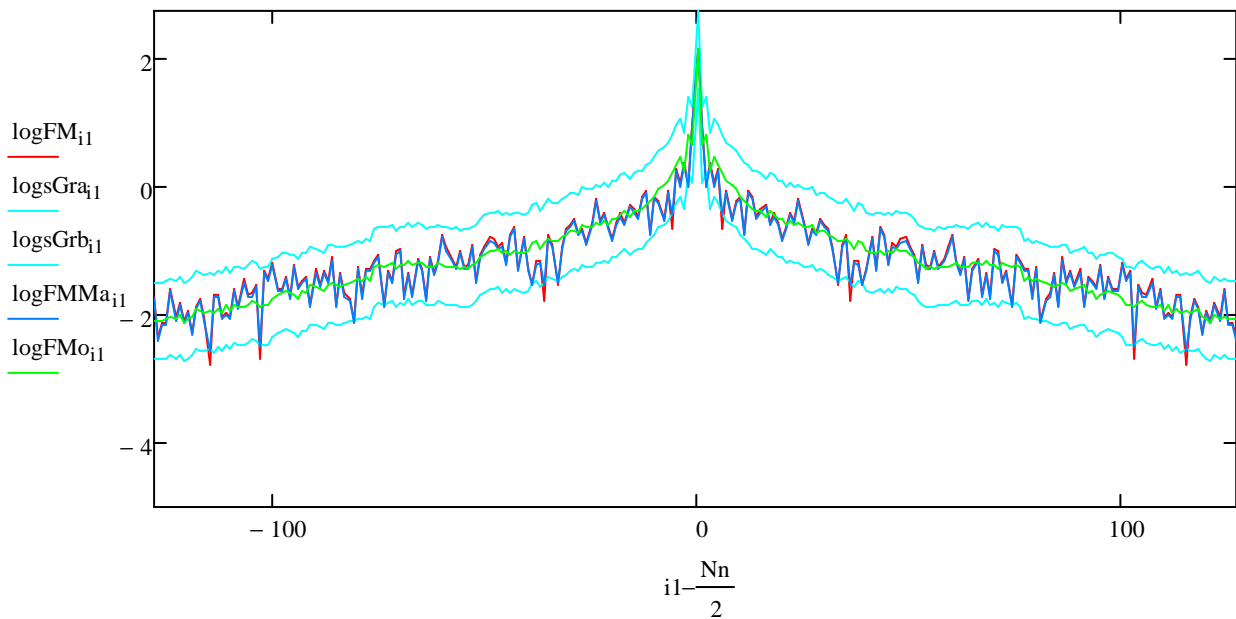


Рис.3. Графики диагональных разрезов амплитудных спектров изображений исходного -  $\log FM$  - красный, границы области допустимых значений для восстановленного спектра  $\log sGra$  и  $\log sGrb$  - голубой, восстановленный -  $\log FMMA$  - синий и УСО -  $\log FMo$  - зеленый.

В силу того, что отличия спектров исходного и восстановленного невелики, восстановленное изображение практически совпадает с исходным.



А



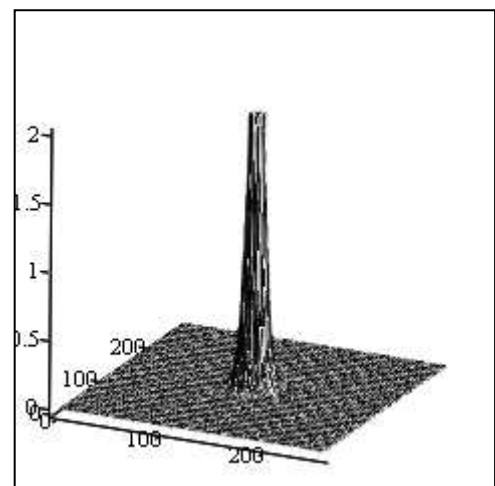
Б

Рис.4. Восстановленное изображение Рис.1 при  $S=0$  с помощью МОИ – А и аМОИ – Б.

Сравним результаты работы МОИ и аМОИ для выбранных исходного и опорного изображений. На Рис.4 приводятся результаты применения МОИ и аМОИ при  $S=0$ . Понятно, что при таком  $S$  все отличия изображений Рис.4 от оригинала объясняются только особенностями методов. Из-за выбранного опорного изображения на Рис.2 часть информации спектра при применении МОИ была утеряна. А МОИ справился лучше. Увеличим  $S$  и сделаем его равным 6, как и в части 1 данной работы. В этом случае изображение, прошедшее такую АФ будет выглядеть так, как на Рис.5.



А



Б

Рис.5. Изображение после применения АФ при  $S=6$  – А и его спектр – Б.

На Рис.5 Б видно, что амплитуда высокочастотного спектра меньше, чем на Рис.1 Б, и поэтому изображение Рис.5 А выглядит размытым. Результаты восстановления с помощью МОИ и аМОИ представлены на Рис.6.



А



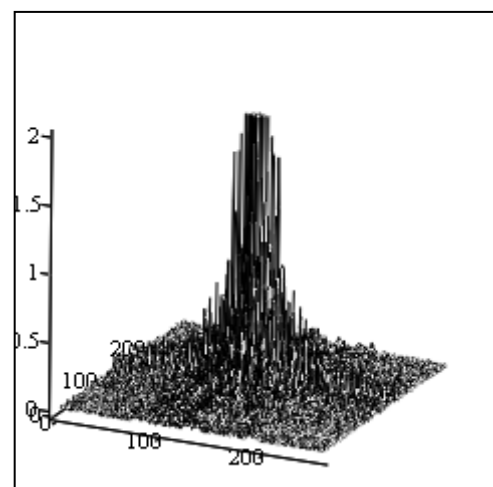
Б

Рис.6. Восстановленное изображение Рис.1 при  $S=6$  с помощью МОИ – А и аМОИ – Б.

Сравнение Рис.6 и Рис.4 позволяет сделать вывод о том, что результаты применения на этих рисунках очень похожи. Присутствующие артефакты на Рис.6, отсутствующие на Рис.4 очевидно свидетельствуют о том, что они связаны с потерей высокочастотной информации при применении АФ с  $S=6$ . Проиллюстрируем меньшую чувствительность аМОИ по сравнению с МОИ от выбора опорного изображения. Поменяем опорное изображение с Рис.2 на Рис.7.



А



FMo

Б

Рис.7. Изображение автомашины «УАЗ» – А и его спектр – Б.



А

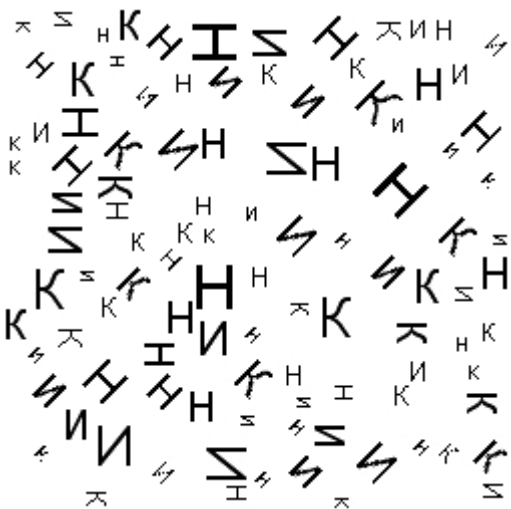


Б

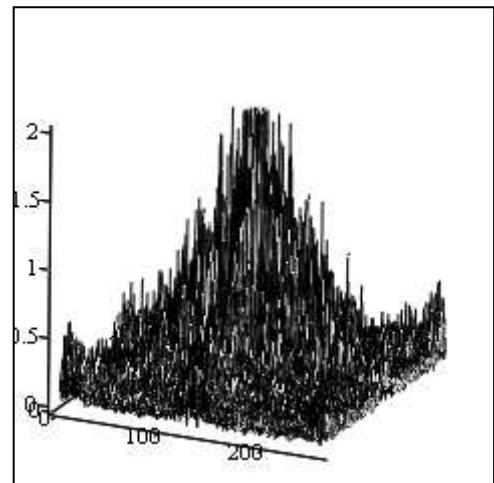
Рис.8. Восстановленное изображение Рис.1 при  $S=6$  с помощью МОИ – А и аМОИ – Б.

Результаты применения МОИ и аМОИ с опорным изображением на Рис.7 представлены на Рис.8. Сравнение Рис.8 и Рис.6 позволяет подтвердить вывод о большей устойчивости качества восстановления при применении аМОИ по сравнению с МОИ.

В части 1 данной работы в качестве тестового объекта было использовано изображение на Рис.9.



А

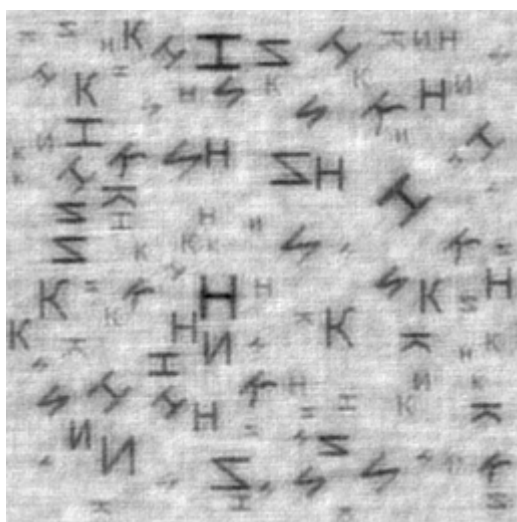


FM

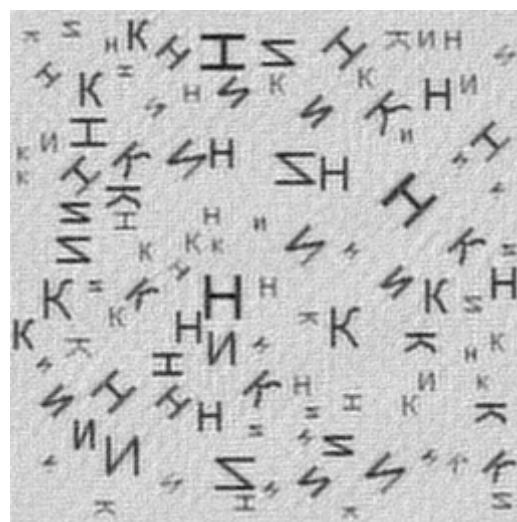
Б

Рис.9. Изображение набора букв – А и его спектр – Б.

Выбор такого тестового объекта для восстановления с помощью МОИ был обусловлен сильно изрезанным амплитудным спектром – Рис.9 Б – на котором явно видны сильные особенности рельефа спектра. Кроме этого, буквы расположены на однородном белом фоне, на котором будут хорошо видны возможные артефакты, возникшие при восстановлении. Хорошее качество восстановления возможно при выборе такого опорного изображения, у которого усредненный спектр будет обладать такими же особенностями. На Рис.10 представлены результаты восстановления этого изображения после воздействия АФ с  $S=6$ .



А



Б

Рис.10. Восстановленное изображение Рис.9 при  $S=6$  с помощью МОИ – А и аМОИ – Б.

Сравнивая изображения на рис.4,6,8 и 10, можно убедиться, что результаты аМОИ более устойчивы по сравнению с МОИ, как к выбору опорного изображения, так и исходного изображения.

Рассмотрим теперь зависимость качества восстановления изображения от ошибок в определении параметров АФ.

Пусть нам известно, что аппаратная функция имеет, как и раньше, вид функции Гаусса, но  $S$  известна с точностью до коэффициента  $K_b$ :

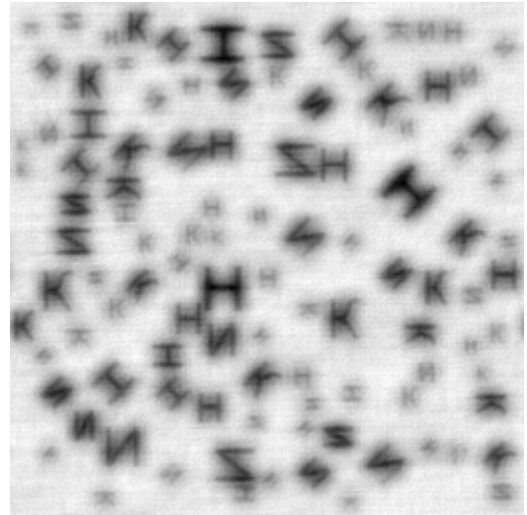


$$A(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{K_b S^2}\right).$$

Выберем в качестве тестового изображения Рис.9, опорного изображения - Рис.2,  $S=6$  и  $K_b$  будет принимать значения 0.5, 1.0 и 1.5. Воздействовать на тестовое изображение будет АФ с  $K_b=1.0$ . На Рис.11-14 представлены результаты восстановления МОИ и аМОИ.

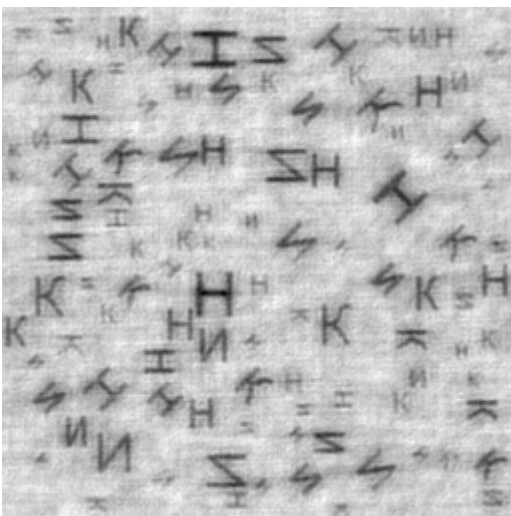


А

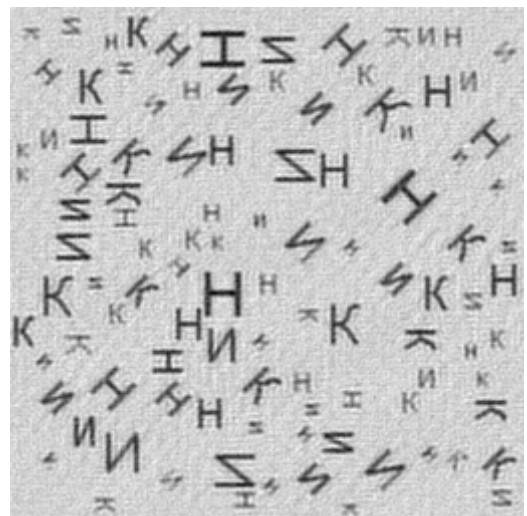


Б

Рис.11. Восстановленное изображение Рис.9 при  $S=6$ ,  $K_b = 0.5$  с помощью МОИ – А и аМОИ – Б.

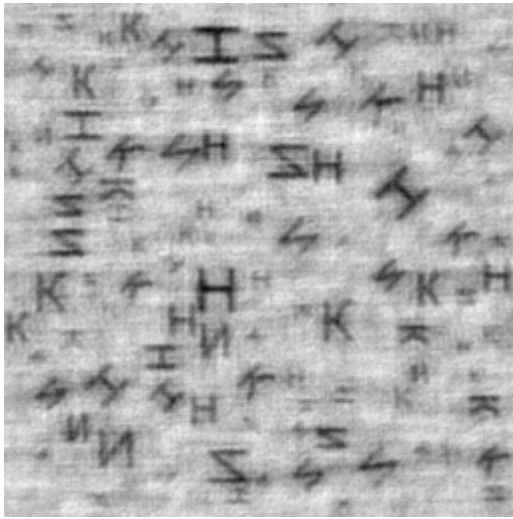


А

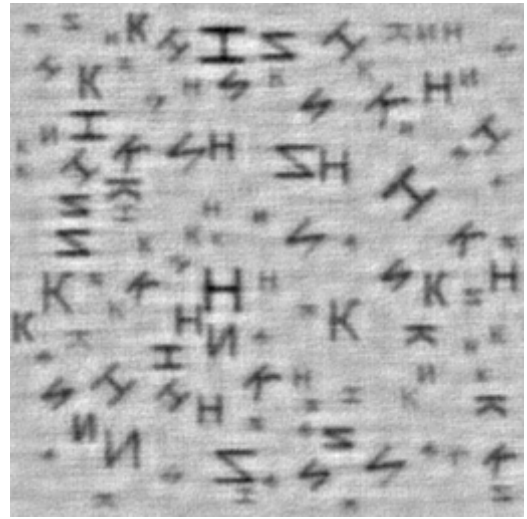


Б

Рис.12. Восстановленное изображение Рис.9 при  $S=6$ ,  $K_b = 1.0$  с помощью МОИ  
– А и аМОИ – Б.



А



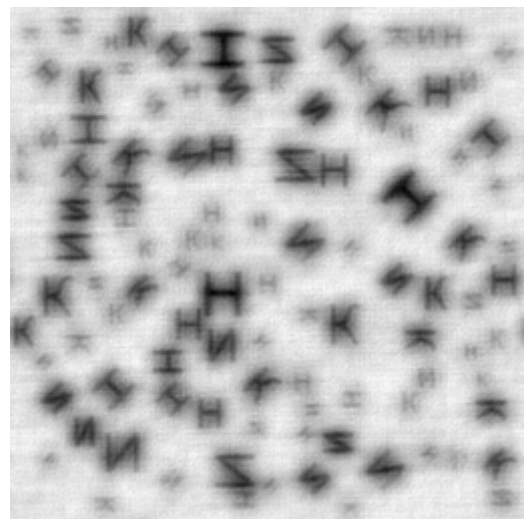
Б

Рис.13. Восстановленное изображение Рис.9 при  $S=6$ ,  $K_b = 1.5$  с помощью МОИ  
– А и аМОИ – Б.

Более того, если при расчетах мы будем использовать в АФ для инверсной фильтрации  $K_b = 0.0$ , то есть, как таковой инверсной фильтрации не будет, то получим результат восстановления, представленный на Рис.14.



А



Б

Рис.14. Восстановленное изображение Рис.9 при  $S=6$ ,  $K_b = 0.0$  с помощью МОИ – А и аМОИ – Б.

Рис.14 иллюстрирует случай применения МОИ и аМОИ без использования инверсной фильтрации, то есть при восстановлении не были использованы параметры АФ. Видно, что аМОИ достаточно эффективен и в этом случае.

Интересно, что если задать при восстановлении  $sA=sB=1$ , то в этом случае восстановление изображения все рано произойдет, несмотря на то, что амплитудный спектр восстановленного изображения будет соответствовать усредненному спектру опорного изображения – УСО. На Рис.15 представлен такой случай восстановления с помощью МОИ и аМОИ.

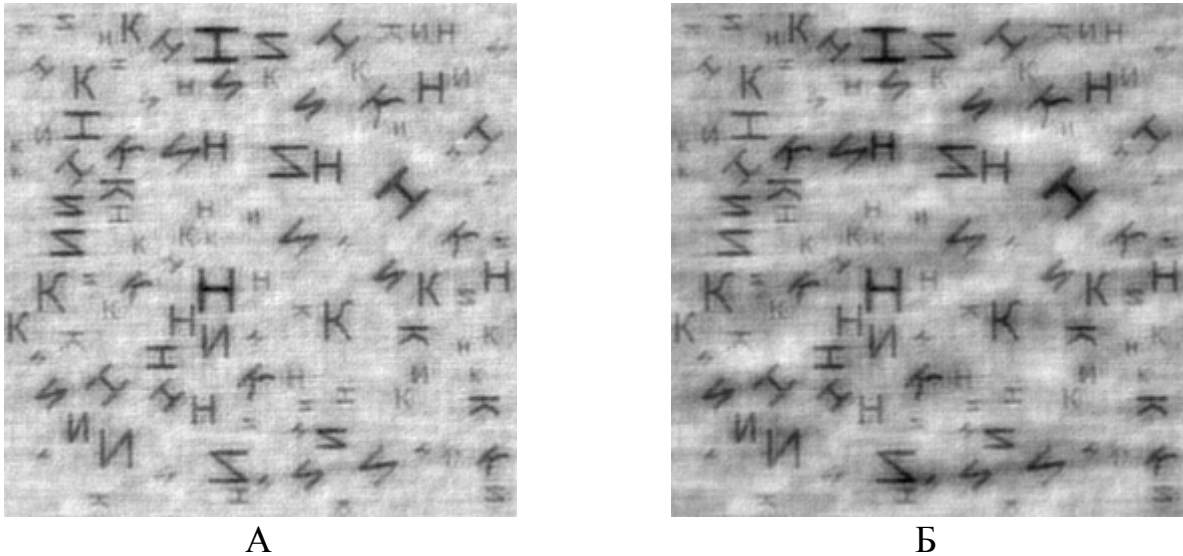


Рис.15. Восстановленное изображение Рис.9 при  $S=6$ ,  $K_b = 1.0$  с помощью МОИ – А и  $sA=sB=1$  аМОИ – Б.

Сравнение Рис.15 и Рис.12 позволяет сделать вывод о том, что задание не нулевого возможного отклонения от УСО позволяет улучшить качество восстановления и уменьшить влияние выбора опорного изображения на результат восстановления изображения. Кроме этого, стало понятно, что основная информация о содержании изображения содержится в фазе спектра. Если искажается амплитудный спектр, но его поведение примерно соответствует поведению амплитудных спектров подобных изображений, то изображение в

основном сохранится. Такой вывод позволяет надеяться, что можно создать «универсальный» усредненный спектр опорного изображения, что позволит упростить процедуру применения МОИ.

### Литература

1. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. М. «Техносфера», 2005, 1071 стр.
2. Зражевский А.Ю., Кокошкин А.В., Новичихин Е.П., Титов С.В., «Повышение качества радиоизображений». «Нелинейный Мир», № 9, 2010г., с. 582-590.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. - Методы решения некорректных задач. М.Наука, 1979.
4. Зражевский А.Ю., Голунов В.А, Смирнов М.Т., Новичихин Е.П., Лоскутов В.С., Ермаков Д.М. *Поляризационные радиотепловые портреты*.
5. А.Ю. Зражевский, А.В. Кокошкин, Влияние уровня боковых лепестков аппаратной функции на качество восстановленного изображения. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2013. №4. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr13/8/text.html>
6. 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.
7. Зражевский А. Ю., Коротков В.А. Особенности восстановления искаженного оптической системой радиоизображения с помощью метода опорного изображения. «Журнал радиоэлектроники» [электронный журнал]. 2013. №4. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr13/3/text.html>
8. Зражевский А. Ю., Коротков В.А. 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>