УДК 621.396

# СРАВНЕНИЕ ОБЪЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**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 16 июня 2015 г.

**Аннотация.** В работе проведено сравнение объективных методов оценки качества цифровых изображений. Результаты оценки качества большинства методов сильно зависят от вида конкретного изображения. Для прогноза изменения качества изображения в результате обработки изображения более подходит **Cri (**коэффициент восстановимости изображения**)**, потому что у него слабая зависимость результатов оценки от вида изображения, при отсутствии необходимости иметь исходное изображение для сравнения.

**Ключевые слова:** качество цифровых изображений, универсальный опорный спектр, коэффициент восстановимости изображения, прогнозирование возможного улучшения.

**Abstract:** In this paper proposes comparison of objective methods of estimating the quality of digital images. The results of estimation of quality digital images for majority of methods are highly dependent on the type of a particular image. To predict changes in image quality resulting from image processing is more suitable Cri (coefficient of recoverability image ), because he has a weak dependence on the results of type of evaluation Image, and without the need to have the original image for comparison.

**Key words:** quality digital images, universal reference spectrum, coefficient of recoverability image, predicting possible improvements.

## Введение

Оценку качества изображения обычно связывают с выбором метода обработки изображения [1, 2, 3]. Большинство методов оценки качества

изображения используют сравнение обработанного изображения с исходным [4, 5, 6]. К ним относятся СКО - среднеквадратичная ошибка, ПОСШ – пиковое отношение сигнал-шум, НМ – норма Минковского, SSIM – мера структурного подобия. К методам, использующим только анализируемое изображение можно отнести СКИ – средний контраст изображения [6], Cri – коэффициент восстановимости изображения [9].

Использование методов оценки качества изображения для выбора метода обработки изображения вполне оправдано. Однако на наш взгляд не рассмотрена возможность применения таких методов оценки для прогноза качества результата обработки изображения. Имея такой прогноз можно принимать решение не только о степени необходимости обработки изображения, но и принимать решение об условия получения изображения.

В данной работе проведено сравнение некоторых методов оценки качества изображения с целью получения прогноза изменения качества изображения в результате обработки изображения.

Для получения прогноза степени улучшения качества изображения необходимо найти такой метод, результаты которого слабо зависели от изображения и характеризовали лишь степень его искажения. В качестве искажения мы будем рассматривать искажение аппаратной функцией (АФ) и аддитивный шум.

## 1. Методы оценки качества изображения

**СКО – среднеквадратичное отклонение**.

СКО или в английском варианте MSE рассчитывается по формуле [4]:

$$MSE = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} \left| M_0(i,j) - M(i,j) \right|^2 , \qquad (1)$$

где $N_1$, $N_2$ - размер изображений в пикселах, $M_0$, $M$ - матрицы яркостей исходного и искаженного изображений соответственно. Если изображения одинаковы, то MSE=0.

**ПОСШ – пиковое отношение сигнала к шуму**.

ПОСШ или в английском варианте PSNR измеряется в децибелах и определяется по формуле [4]:

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{Max^2}{MSE}\right), \qquad (2)$$

где $MAX$ - максимальное значение, принимаемое пикселем изображения (для 8-битных изображений $MAX = 255$ ), MSE – среднеквадратичное отклонение.

**НМ - Норма Минковского**.

НМ или в английском варианте NM рассчитывается по формуле[7, 8]:

$$L_p = \left(\frac{1}{N_1 N_2}\sum_{i=0}^{N_1-1}\sum_{j=0}^{N_2-1}\left|X_{ij} - Y_{ij}\right|^p\right)^{1/p}, \qquad (3)$$

где $p = 1, 2, 3...$. Если $X = Y$, то $L_p = 0$.

**МСП – мера структурного подобия**.

МСП или в английском варианте SSIM рассчитывается по формуле [5, 7]:

$$SSIM = \left(\frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}\right)\left(\frac{2\overline{X}\,\overline{Y}}{\overline{X}^2 + \overline{Y}^2}\right)\left(\frac{2\sigma_X \sigma_Y}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}\right), \qquad (4)$$

где $\overline{X}$, $\overline{Y}$ - средние значения яркостей пикселей изображений $X$ и $Y$,

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{N_1 N_2}\sum_{i=0}^{N_1-1}\sum_{j=0}^{N_2-1}\left(X_{ij} - \overline{X}\right)^2, \qquad \sigma_Y^2 = \frac{1}{N_1 N_2}\sum_{i=0}^{N_1-1}\sum_{j=0}^{N_2-1}\left(Y_{ij} - \overline{Y}\right)^2,$$

$$\sigma_{XY} = \frac{1}{N_1 N_2}\sum_{i=0}^{N_1-1}\sum_{j=0}^{N_2-1}\left(X_{ij} - \overline{X}\right)\left(Y_{ij} - \overline{Y}\right).$$

**СК – средний контраст**.

СК характеризует усреднений контраст изображения и рассчитывается по формуле [7]:

$$SK = \frac{1}{(N_1 - 1)(N_2 - 1)}\sum_{i=1}^{N_1-1}\sum_{j=1}^{N_1-1}\left(\frac{\left|M_{i,j} - M_{i-1,j}\right|}{M_{i,j} + M_{i-1,j}} + \frac{\left|M_{i,j} - M_{i,j-1}\right|}{M_{i,j} + M_{i,j-1}}\right)$$

**Cri – Коэффициент восстановимости изображения**.

**Cri** (аббревиатура от **C**oefficient of **r**ecoverability **i**mage) определяется как доля точек амплитудного спектра изображения попадающая в заданную окрестность универсального опорного спектра (УОС) [9]. В качестве окрестности мы в дальнейшем рассматриваем отрезок:

$$\frac{Fu}{4} \le Fm \le 4Fu\,, \qquad (5)$$

где $Fu$ - значение УОС, $Fm$ - значение амплитудного спектра изображения.

## 2. Зависимость оценки качества изображения от величины дефокусировки S0

На рис.1 представлены изображения, использованные для анализа методов оценки качества изображения.

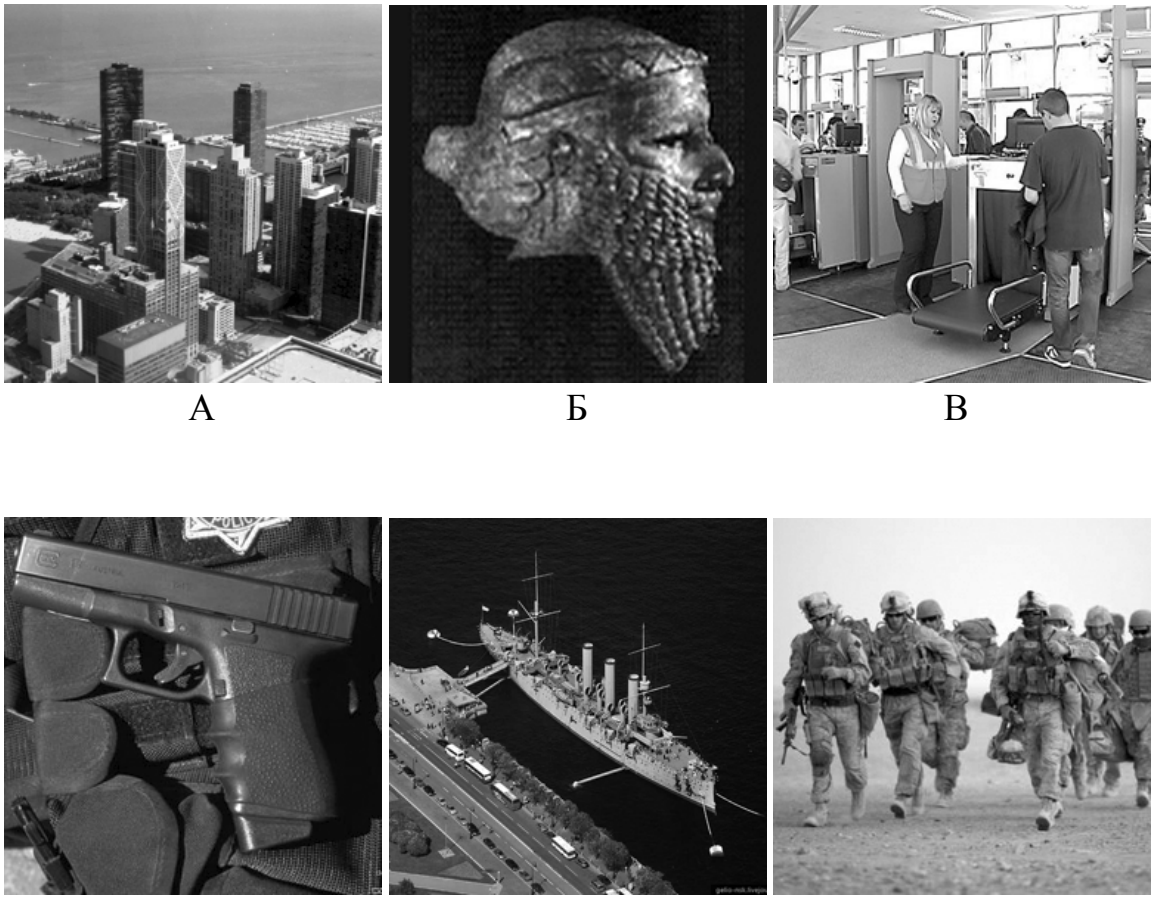



Рис.1. Тестовые неискаженные изображения.

В качестве аппаратной функции (АФ) мы будем использовать размытие Гаусса, ширина которого определяется радиусом S0 [10 – 13]. Среди

перечисленных методов оценки качества следует выделить группу методов, результаты которых взаимообусловлены. Это СКО, ПОСШ и НМ. Поэтому в дальнейшем приводим результаты только СКО. На рис.1 приведены графики зависимости от S0, вычисленные с помощью рассмотренных методов.

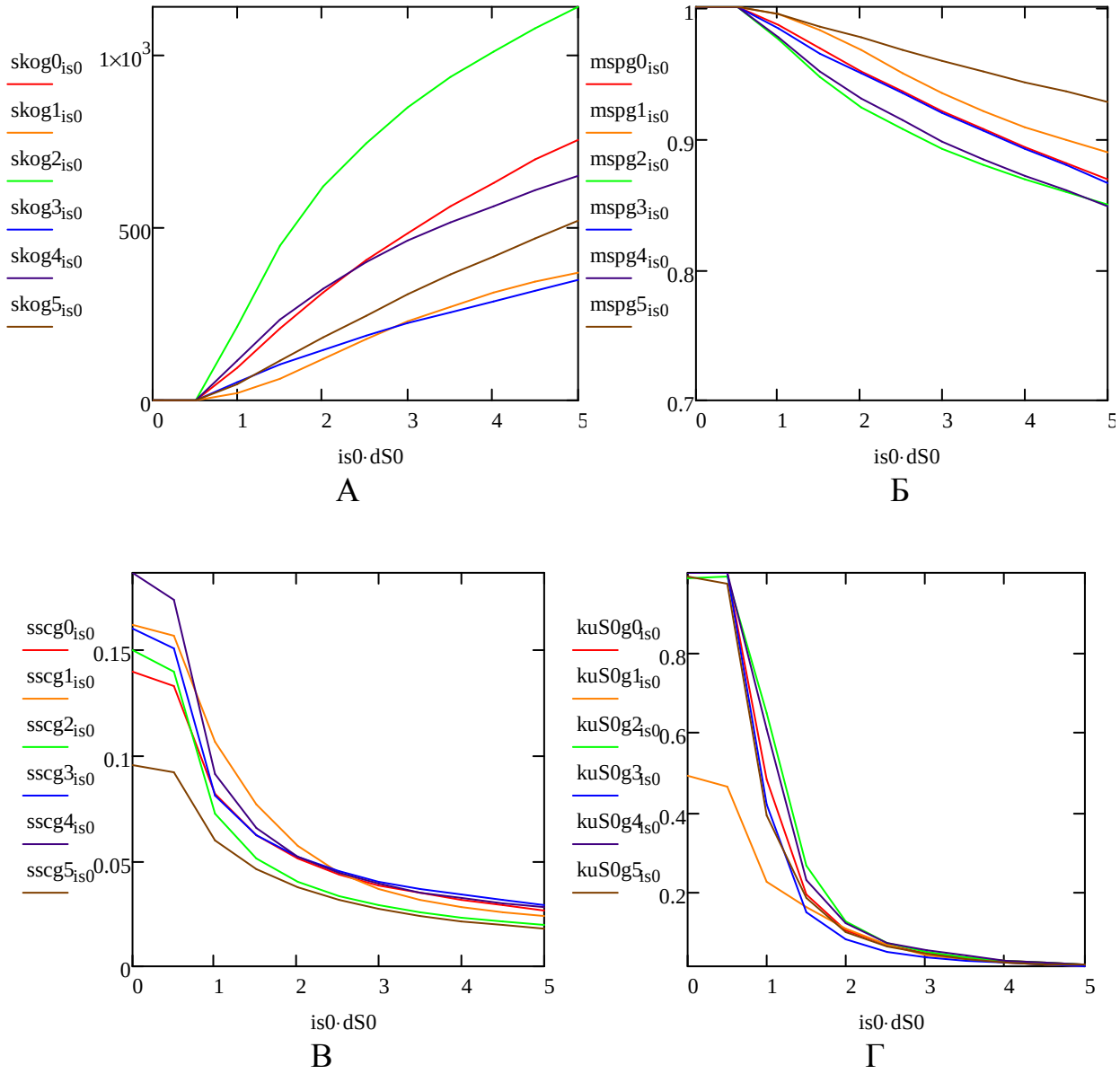



Рис.2. Графики зависимости от S0, полученные СКО – А, МСП – Б, СК – В, **Cri** – Г.

Графики оценки качества изображений в зависимости от дефокусировки S0 представленные на рис.2 иллюстрируют зависимость качества не только от S0, но и от самого изображения. Несколько меньшая зависимость оценки от изображения наблюдается для **Cri**.

## 3. Зависимость оценки качества изображения от уровня шума Sh

Качество изображений зависит от уровня шума. На рис.3 представлены графики зависимости от уровня (равного половине амплитуды) белого шума Sh качества размытых АФ Гаусса изображений с S0=4.

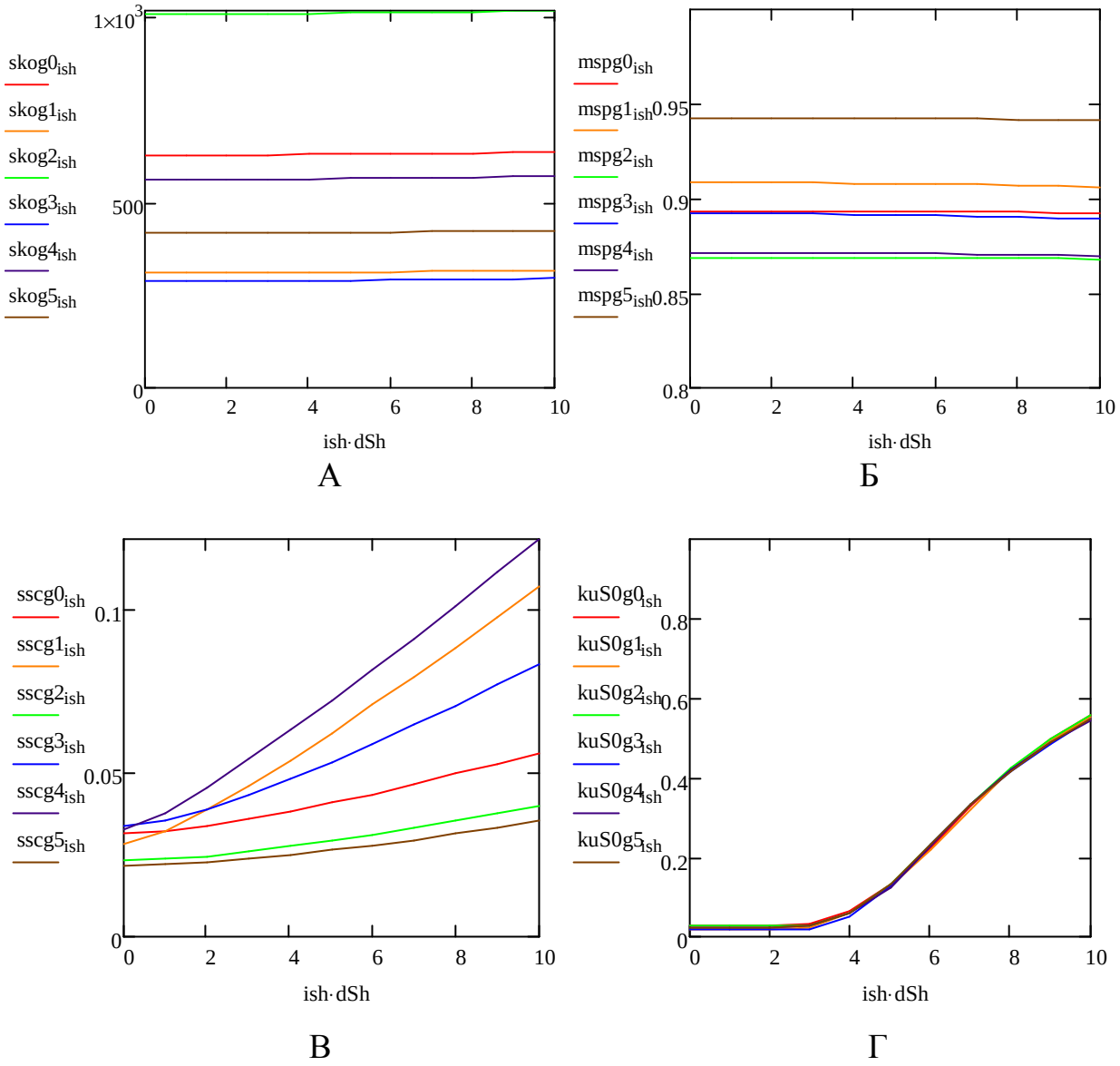



Рис.3. Графики зависимости от Sh, полученные СКО – А, МСП – Б, СК – В, **Cri** – Г.

Анализ графиков на рис.3 показывает, что зависимость качества изображений, вычисленных СКО и МСП относительно слабо зависит от уровня шума Sh и определяется изображением и величиной дефокусировки S0. В то же время СК (средний контраст) с увеличением Sh увеличивается вместе зависимостью от вида изображения. **Cri** также демонстрирует сильную

зависимость от уровня шума. Однако вид изображения в случае **Cri** оказывает значительно меньшее влияние по сравнению с остальными методами. Смысл малых значений **Cri** в данном случае состоит в том, что предсказывается возможное сильное изменение качества изображения после восстановления при малых шумах. Напротив, большие значения Sh вызывают большие значениям **Cri** и не позволяют надеяться на значительно изменение качества изображения после процедуры восстановления.

На рис.4 представлены графики зависимости от Sh качества восстановленных с помощью ФВ изображений.

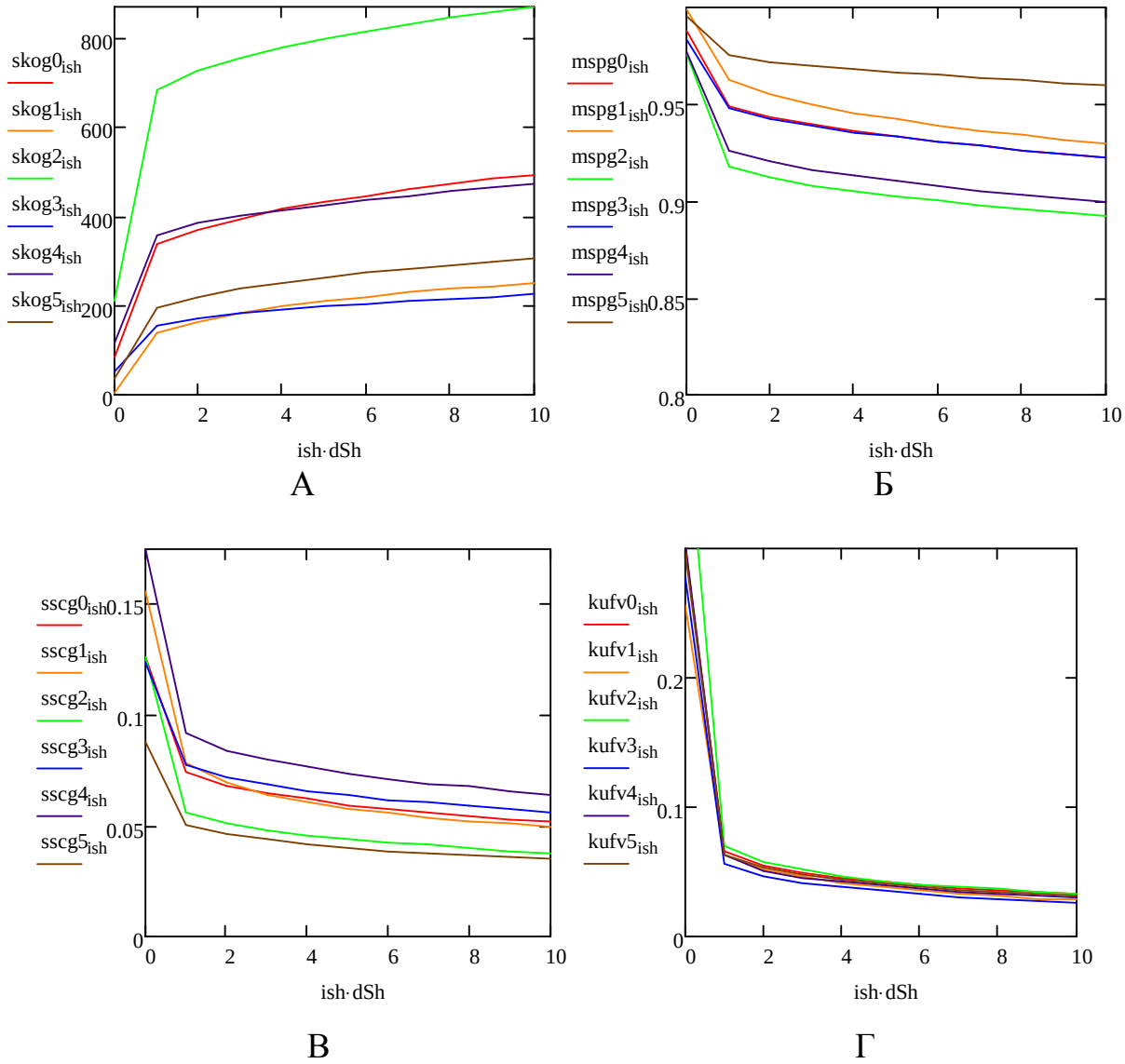
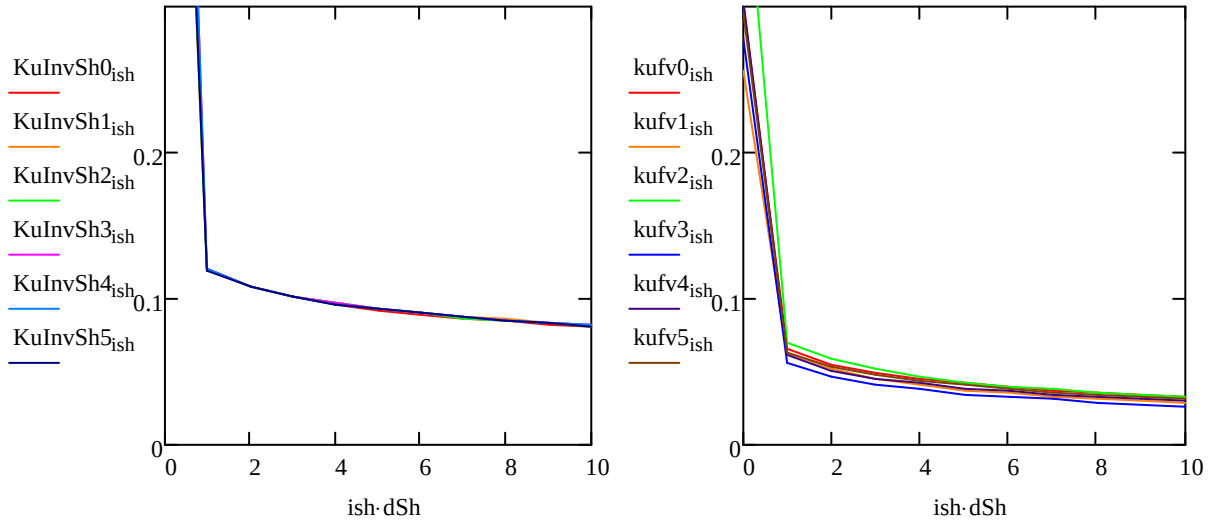



Рис.4. Графики зависимости от Sh, восстановленных ФВ изображений. Качество изображений оценивалось с помощью СКО – А, МСП – Б, СК – В, **Cri** – Г.

Графики зависимости от уровня шума Sh, представленные на Рис.4, иллюстрируют разнородное влияние шума на качество изображений, оцененное разными методами. Это объясняется тем, разные методы оценки качества рассматривают разные виды статистических характеристик изображений. Впрочем, об этом говорят сами названия методов.

Следует отметить, что поведение графиков зависимости от Sh на рис.4А-В понятно. Так как увеличение шума влечет увеличение ошибок восстановления, то увеличивается СКО и уменьшается структурное подобие – МСП. Если ФВ подавляет шум эффективно, то с одновременным подавлением высоких частот уменьшается и средний контраст – СК. Для того, чтобы лучше интерпретировать график **Cri** на рис.4Г сравним 2 графика **Cri** на рис.5 соответствующие спектрам после инверсной фильтрации и после фильтра Винера.




А Б

Рис.5. Графики зависимости **Cri** от уровня шума Sh. А – **Cri** спектра после инверсной фильтрации; Б – **Cri** спектра после ФВ.

Сравнение Рис.5А и Рис.5Б показывает, что доля амплитудного спектра в окрестности УОС после ФВ значительно снизилась. На рис.6 представлены графики диагональных разрезов амплитудных спектров изображений рис.1, искаженных АФ Гаусса с S0=4 с белым шумом Sh=10.

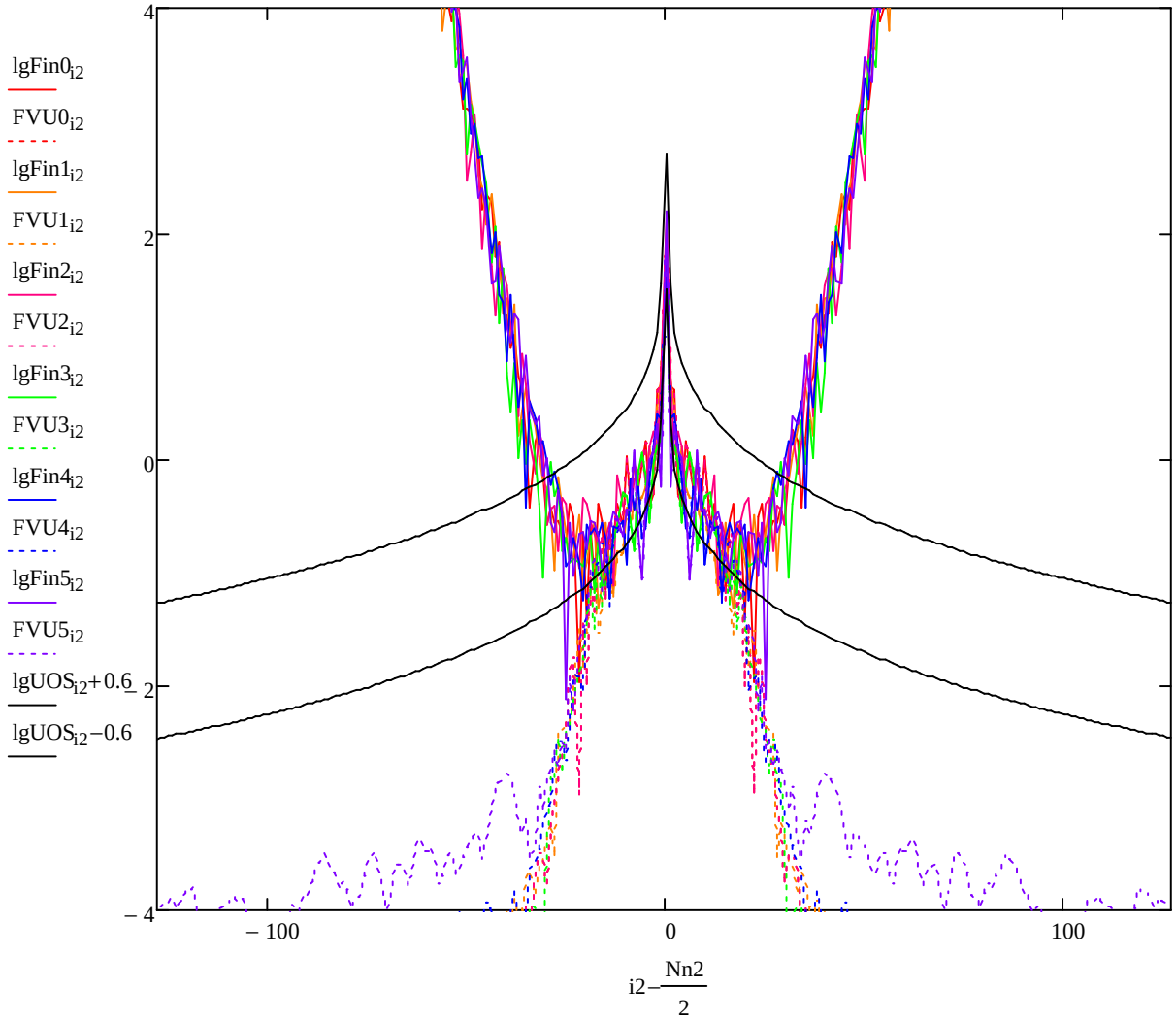



Рис.6 Графики диагональных разрезов амплитудных спектров изображений, искаженных АФ Гаусса с S0=4 с белым шумом Sh=10. Цветные линии соответствуют инверсной фильтрации, цветные точки – ФВ. Черные линии обозначают область допустимых значений для учета **Cri** вблизи УОС.

Графики на рис.6, соответствующие инверсной фильтрации и ФВ совпадают только в области низких частот. С дальнейшим увеличением частоты спектры, соответствующие ФВ покидают область вокруг УОС (опускаются ниже). Инверсно отфильтрованные спектры находятся в области вблизи УОС при значительно большем диапазоне частот. Это обусловлено тем, что шум при этом уводит спектры после инверсной выше заданного диапазона вокруг УОС, и та область, где при увеличении частоты амплитуда инверсно отфильтрованного спектра на рис.6 возрастает, соответствует спектру с преобладанием шума над сигналом.

**Выводы**

1.Сранение результатов методов оценки качества изображения показало, что большинство методов ( СКО , ПОСШ, НМ, SSIM) требует для своей работы исходное неискаженное изображение. Это сильно ограничивает возможность оценить качество произвольного изображения.

2.Результаты оценки качества большинства методов сильно зависят от вида конкретного изображения. То есть одинаковые искажения, вызванные АФ и шумом, влияют на качество изображения с разной силой, в зависимости от конкретного изображения.

3.Анализ приведенных результатов показывает, что для поставленной задачи - прогноза изменения качества изображения в результате обработки изображения более подходит **Cri** [9]. К привлекательным сторонам **Cri** относятся: слабая зависимость результатов оценки от вида изображения, отсутствие необходимости иметь исходное изображение для сравнения, объективная оценка доли спектра, содержащей информацию об изображении делающая прогноз достаточно достоверным.

## Литература


1. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. М. «Техносфера», 2005, 1071 стр.
2. Pratt W.K. Digital Image Processing. – John Wiley and Sons, Inc., USA, 1978.
3. 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.
4. Avcibas I., Sankur B., Sayood K. Statistical evaluating of image quality measures // Journal of Electronic Imaging. – April 2002. – Vol.11, № 2. – P. 206-223.
5. Wilder W.C. Subjective Relevant Error Criteria for Pictorial Data Processing // Purdue University, School of Electrical Engineering, Report TR-EE 72-34, December 1972.

6. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений. URL: http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php
7. Ю.И. Монич, В.В. Старовойтов «Оценки качества для анализа цифровых изображений» «Искусственный интеллект» 4’2008. Стр. 376-386.
8. Макаров А.О. Алгоритмы увеличения пространственного разрешения и обработки мультиспектральных спутниковых изображений: Дис… к-та техн. наук: 05.13.01/ А.О. Макаров. – Минск, 2006. – 156 с.
9. А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин «Метод прогнозирования возможного улучшения качества искажённых изображений». // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2015. №6. URL: http://jre.cplire.ru/jre/jun15/5/text.html
10. А. Ю. Зражевский, А. В. Кокошкин, Е. П. Новичихин, С. В. Титов, «Повышение качества радиоизображений». «Нелинейный Мир», № 9, 2010г., с. 582-590.
11. 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
12. 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
13. А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин «Слепое восстановление изображений, искажённых смазом и дефокусировкой, при неизвестной форме и параметрах АФ». // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2014. №9. URL: http://jre.cplire.ru/jre/sep14/8/text.html