

УДК 621.369

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕНОРМИРОВКИ СПЕКТРА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЁННЫХ ГИДРОМЕТЕОРАМИ**

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

**Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
РАН, 141120, Московская область, г. Фрязино, пл. академика Введенского, д.1**

Статья поступила в редакцию 26 октября 2017 г.

**Аннотация.** В работе предлагается использовать спектральный подход применительно к задачам улучшения различимости объектов в изображениях при наличии гидрометеоров, при этом появляется дополнительная возможность борьбы с рассеянием которое, проявляется в виде размытия и с большой долей вероятности, может возникать на реальных трассах наблюдения.

**Ключевые слова:** спектр, перенормировка, изображения искажённые гидрометеорами.

**Abstract.** The distinction of objects in images obtained in different ranges of electromagnetic waves depends on the presence of atmospheric formations, for example, hydrometeors (fog, snow, rain). This topic is relevant and issues related with it, are raised in many works.

The distortion of the image by hydrometeors in some cases is described as the sum of two correlated factors - the absorption of radiation coming from the object and illumination by the scattered radiation of the atmosphere. However, the high quality of image restoration requires a lot of time for image processing.

Another way to combat distortions, caused by hydrometeors, is to increase the contrast by converting the dynamic range of image brightness. This method only partially compensates for distortion.

In order to correspond to real conditions better, it is necessary to supplement the model of propagation medium by scattering radio waves on the path. This implies, in

addition to the necessity of increasing the contrast, to reconstruct the image, distorted by the hardware system function (HSF), which simulates the scattering indicatrix.

In the first approximation, as the scattering model we take the Gauss HSF with relatively small but initially unknown width. Thus, the general problem is divided into two stages - increasing the contrast and restoring the image, which has been distorted by unknown HSF scattering.

In our arsenal of tools for image reconstruction there is a method of renormalization with limitation (MRL). It not only allows you to restore images distorted by a known hardware function in the presence of unknown interference and noise, but also produces a recovery with an unknown HSF. In the latter case, the possibility of a successful solution of the problem is determined by the fact that the amplitude spectrum of the image which is improved, renormalized to the universal reference spectrum model (URS).

In the suggested work, a new proposal is to use the spectral approach with application to the problems of improving the distinguishability of objects in images in the presence of hydrometeors, and there is an additional possibility of combating scattering, which, with a high probability, can occur on observation tracks.

It is shown, that without taking into account scattering effects it is not always possible to reconstruct the images obtained in the presence of hydrometeors. The spectral approach to solving problems of increasing the discernibility of details in images distorted by hydrometeors gives additional opportunities in new areas of applied applications.

**Key words:** spectrum, renormalization, images distorted by hydrometeors.

## 1. Введение

Различимость объектов на изображениях, получаемых в различных диапазонах электромагнитных волн, зависит от наличия атмосферных образований, например гидрометеоров (туман, снег, дождь). Эта тема является актуальной, связанные с ней вопросы поднимаются во многих работах,

например [1 - 7].

Искажение изображения гидрометеорами в некоторых случаях описывают как сумму двух коррелированных факторов – поглощение излучения, идущего от объекта, и подсветка рассеянным излучением атмосферы [2, 3, 5, 6]. Однако, высокое качество восстановления изображений требует больших затрат времени на обработку изображений.

Другим способом борьбы с искажениями, вызванными гидрометеорами, является увеличение контраста путём преобразования динамического диапазона яркостей изображения [1, 4]. Этот способ только частично компенсирует искажения.

В нашей работе [7] предложен приближенный способ решения задачи увеличения контраста путём преобразования динамического диапазона яркостей изображения на основе оценки коэффициента поглощения атмосферы, все расчёты в котором производятся с помощью быстрого преобразования Фурье (расчёты среднего и среднеквадратичного отклонения по спрайту). Качество решений по методу [7] остаётся достаточно высоким и конкурентоспособно сравнительно с другими более сложными подходами [5, 6], а по времени вычислений наш способ значительно быстрее.

Для большей адекватности реальным условиям необходимо дополнить модель среды распространения рассеянием. Это предполагает, помимо необходимости увеличения контраста, провести реконструкцию изображения, искажённого аппаратной функцией (АФ), моделирующую индикатрису рассеяния. В первом приближении примем за модель рассеяния АФ Гаусса относительно небольшой, но изначально неизвестной ширины. Таким образом, общая задача разбивается на два этапа - увеличение контраста и восстановление изображения, искажённого неизвестной АФ рассеяния. В работе [8] продемонстрирована возможность восстановления изображений, отфильтрованных оптической системой, без использования значений параметров, характеризующих эту оптическую систему. Это восстановление

показано для случая действительного неотрицательного спектра аппаратной функции оптической системы при применении модифицированного метода опорного изображения (МОИ), что вполне подходит под предлагаемую нами упрощённую модель рассеяния. Позитивный результат обусловлен тем обстоятельством, что МОИ использует априорную информацию о статистических характеристиках спектров объектов аналогичного класса. Однако для решения поставленной задачи предпочтительнее провести реконструкцию изображений методом перенормировки с ограничением (МПО), опубликованным в [9]. Такой подход не только позволяет восстанавливать изображения, искажённые известной аппаратной функцией, при наличии неизвестных помех и шума, но производит деконволюцию и при неизвестной АФ. В последнем случае возможность успешного решения задачи определяется тем, что амплитудный спектр улучшаемого изображения перенормируется на модель универсального опорного спектра (УОС), которая была предложена в работе [10]. УОС, в среднем, удовлетворительно описывает поведение изотропной части амплитудных спектров неискажённых изображений. МПО в случае непопадания спектра обрабатываемого изображения в допустимые пределы не заменяет его на опорный, как МОИ, а производит более сложную процедуру - перенормировку на УОС.

В настоящей работе новым является использование спектрального подхода применительно к задачам улучшения различимости объектов в изображениях при наличии гидрометеоров, при этом появляется дополнительная возможность борьбы с рассеянием, которое, с большой долей вероятности, может возникать на трассах наблюдения.

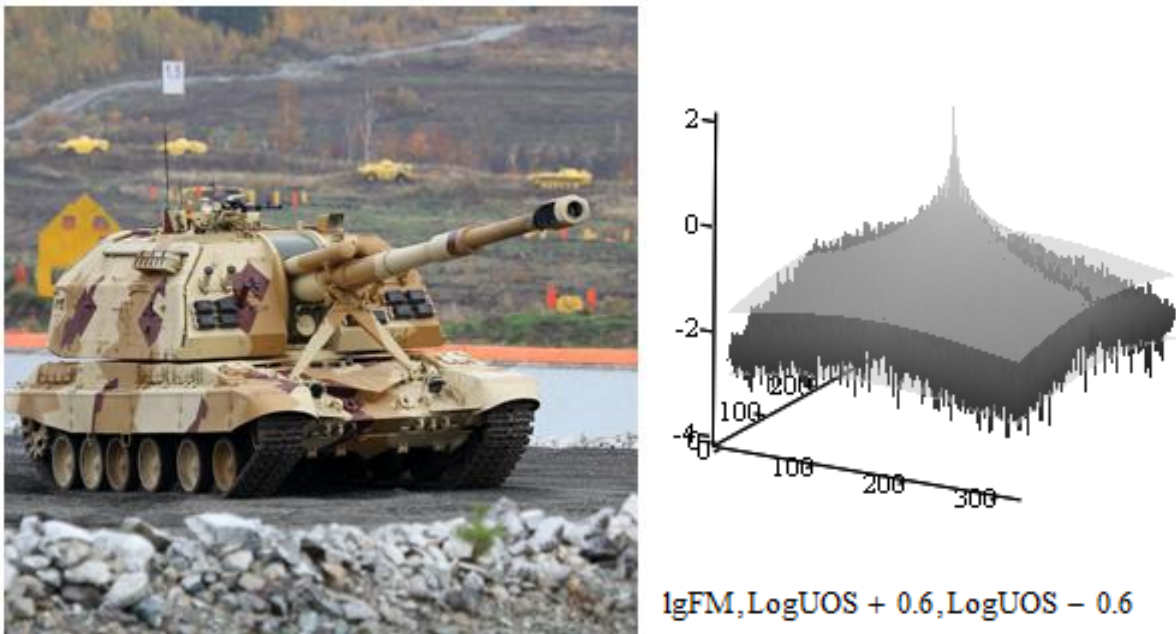
## **2. Результаты исследований**

Произведём моделирование искажений - туман, рассеяние и их комбинации. Применим спектральную обработку по методу перенормировки с ограничением к этим искажениям.

На рис.1а представлено исходное неискажённое изображение (размером 316 на 316 пикселей), взятое как основа для моделирования, и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе на рис.1б.

На всех рисунках амплитудных пространственных спектров, приводимых в этой работе, полупрозрачные гладкие серые поверхности изображают ограничения УОС сверху и снизу [10], т.е. спектр изображения «хорошего» качества должен, в основном, попадать между этими поверхностями, как на рис.1б.

На всех рисунках амплитудных пространственных спектров, приводимых в этой работе, полупрозрачные гладкие серые поверхности изображают ограничения УОС сверху и снизу [10], т.е. спектр изображения «хорошего» качества должен, в основном, попадать между этими поверхностями, как на рис.1б.



а) б)

Рис.1. Исходное неискажённое изображение - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).

Рис.2 демонстрирует модельное искажение равномерным белым туманом рисунка 1а. Спектр на рис.2б по своим значениям амплитуд значительно ниже, чем спектр неискажённого изображения (рис.1б). Применение процедуры МПО к рис.2а перенормирует спектр рис.2б к универсальному опорному спектру,

результат - рис3. Несмотря на то что амплитудные пространственные спектры на рис.1б и рис.3б не одинаковы, тем не менее МПО восстановил различимость объектов на изображении.

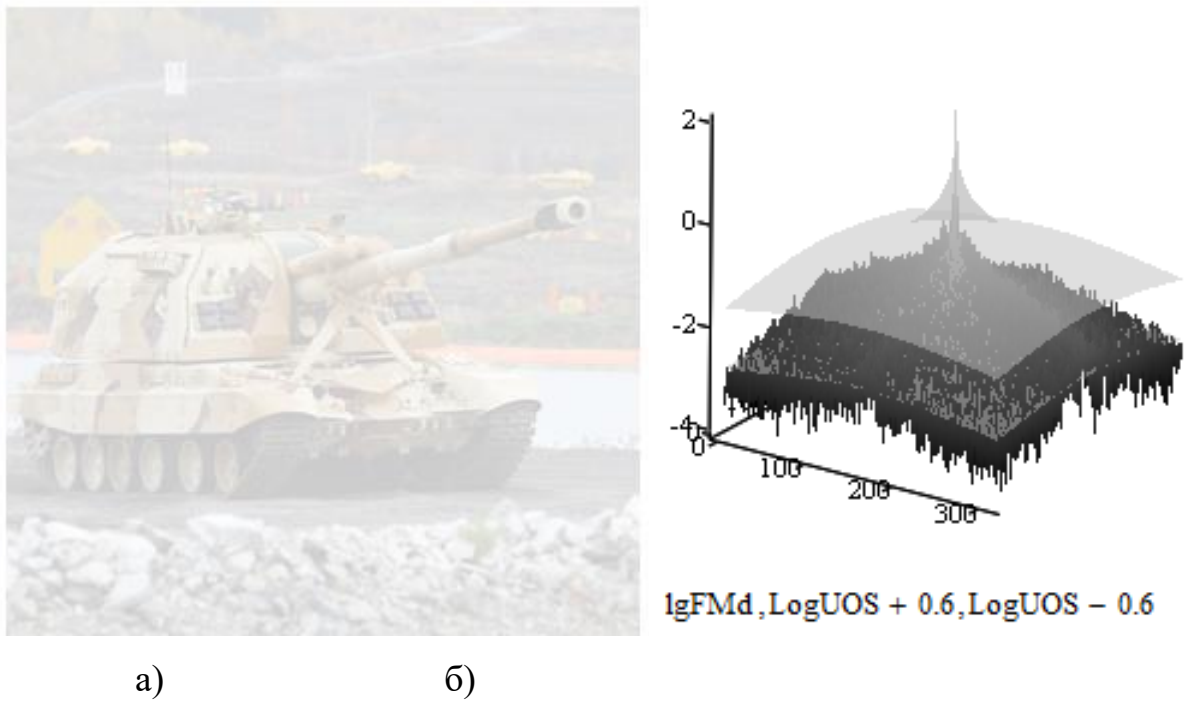


Рис.2. Изображение рис.1а, искажённое однородным модельным туманом - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).

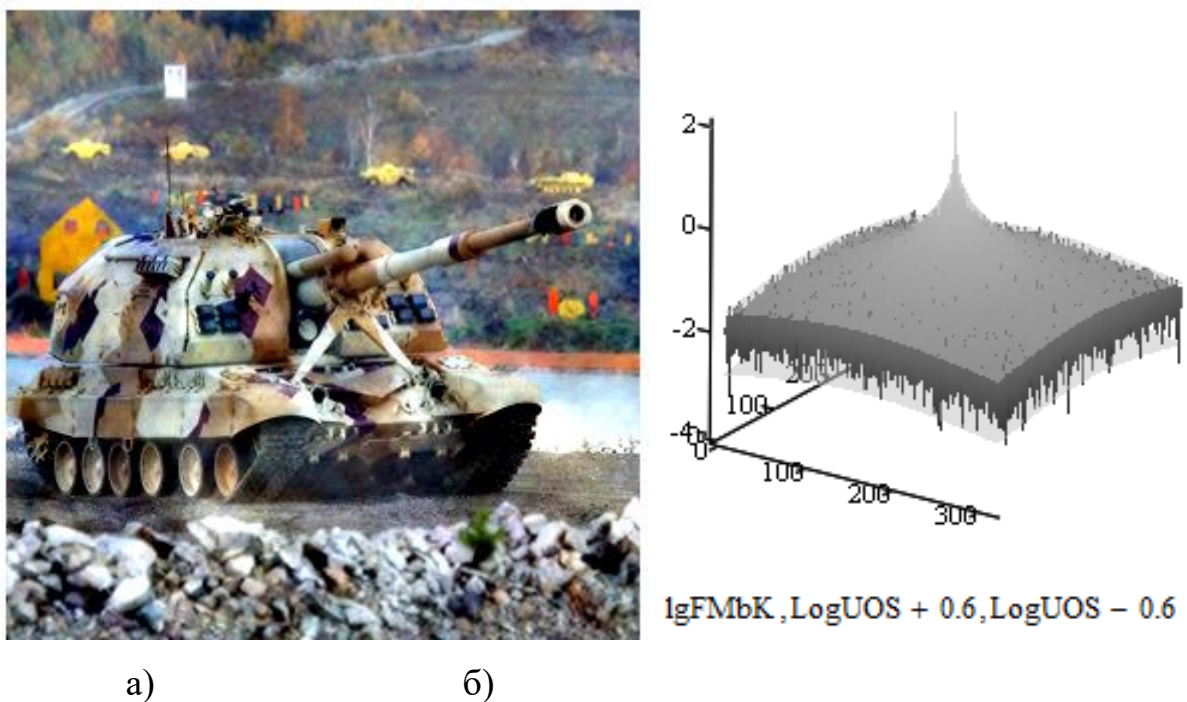


Рис.3. Изображение рис.2а, восстановленное МПО - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).

Рис.4 показывает искажение модельным градиентным туманом изображения рис.1а. При детальном рассмотрении определено, что в среднем спектр этого изображения (рис.4б) немного ниже, чем спектр неискажённого изображения (рис.1б). Кроме того, на рис.4б более явно, чем на рис.1б, проступает так называемый «крест» в виде гребней амплитуд. В связи с этой особенностью искажений модернизируем процедуру метода перенормировки с ограничением таким образом, чтобы она более «тонко» обрабатывала проблемные области. Улучшение изображения с помощью такой модификации МПО позволяет констатировать существенное улучшение различимости мелких деталей на рис.5а.

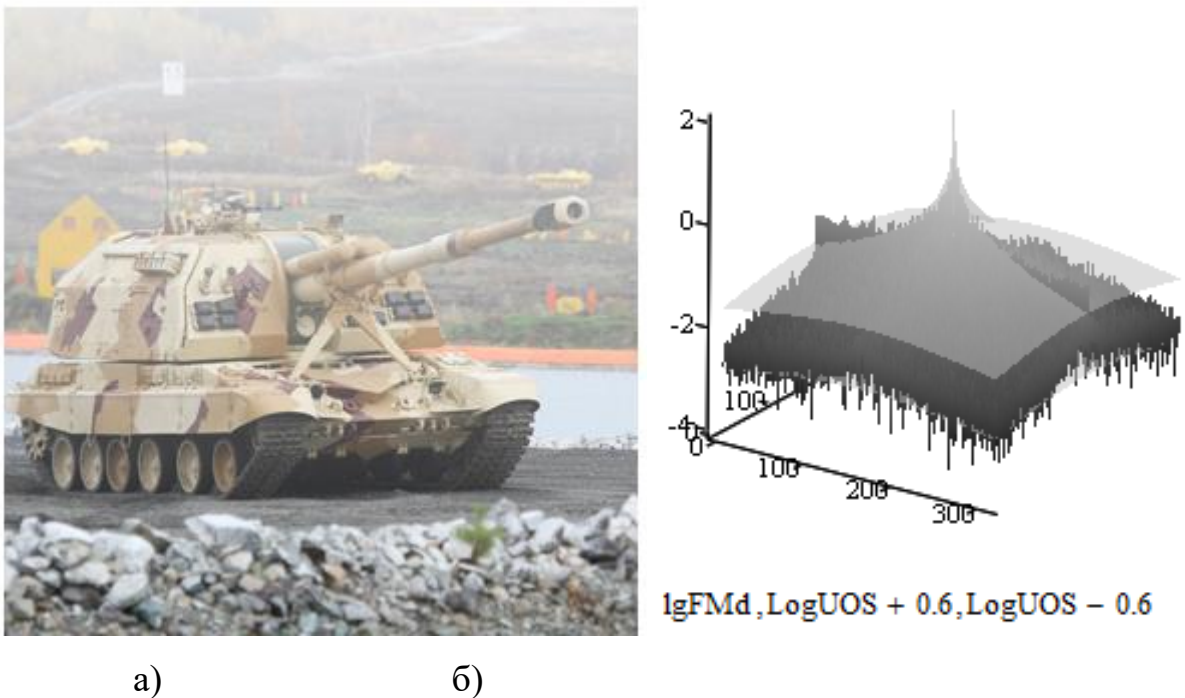


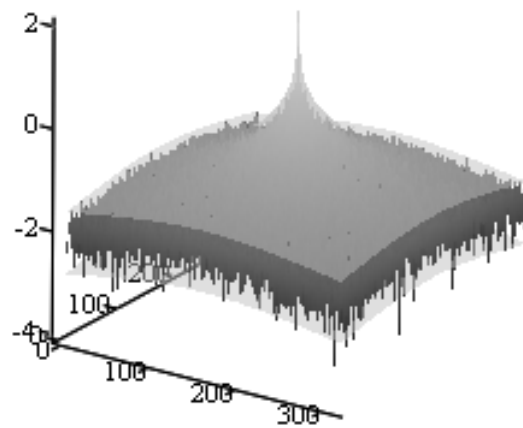
Рис.4. Изображение рис.1а, искажённое градиентным модельным туманом, - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе (б).

Рис.6 иллюстрирует модель рассеяния, то есть воздействие аппаратной функцией Гаусса  $S_0=4$  на рис.1а.

Следующим шагом наложим на изображение рис.6а равномерный туман - рис.7. Аналогично предыдущему случаю с отсутствием рассеяния констатируем, что спектр на рис.7б значительно «просел» сравнительно со спектром на рис.6б.



a)



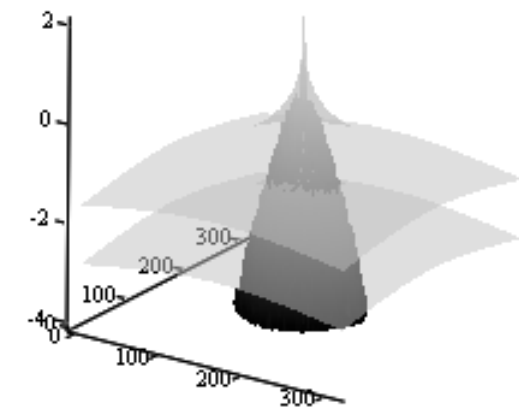
б)

lgFMbK , LogUOS + 0.6, LogUOS - 0.6

Рис.5. Изображение рис.4а, восстановленное МПО, - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).



a)



б)

lgFMdd , LogUOS + 0.6, LogUOS - 0.6

Рис.6. Изображение рис.1а, искажённое аппаратной функцией Гаусса  $S_0=4$ , - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).



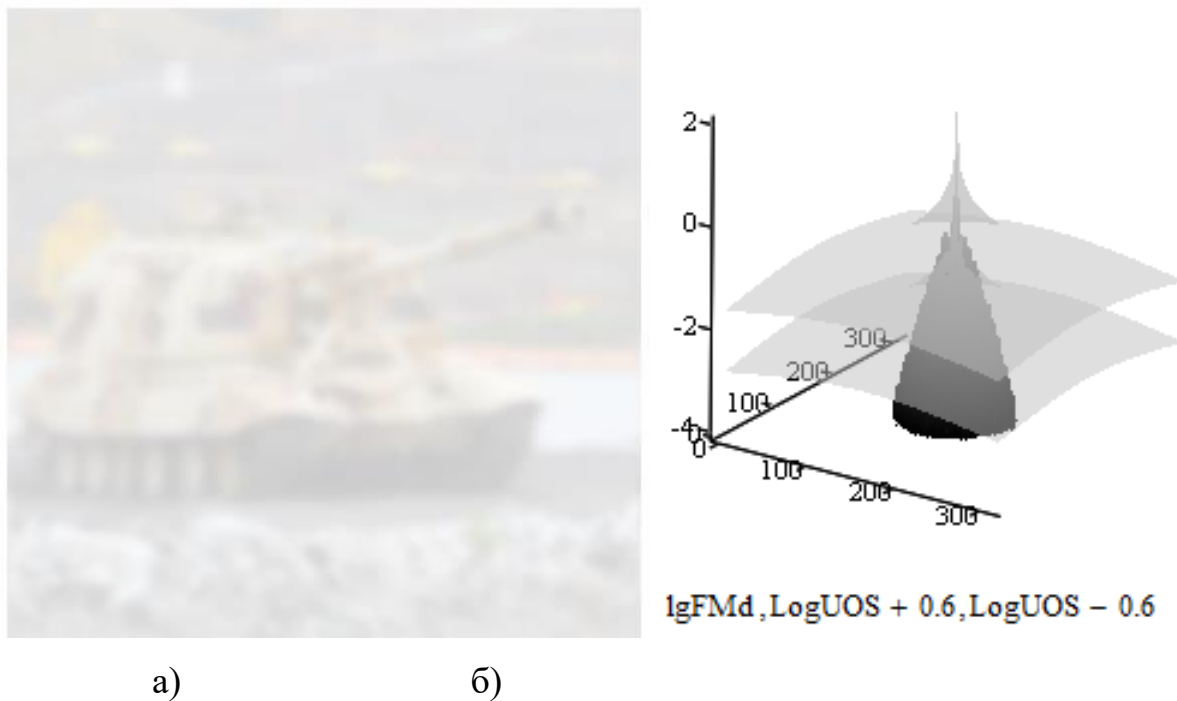


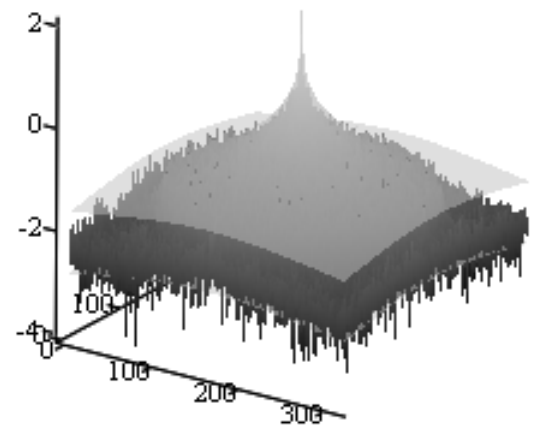
Рис.7. Изображение рис.6а, искажённое однородным модельным туманом, - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).

Рис.8 демонстрирует результат применения МПО к изображению, искажённому гидрометеорами (модель равномерный туман), с рассеянием. Результат следует признать очень хорошим. Особенно наглядно преимущество МПО по сравнению с методами преобразования динамического диапазона яркостей изображения на основе оценки коэффициента поглощения атмосферы проявляется в случаях присутствия в искажениях рассеяния. В качестве примера приведём восстановление по методу [7] изображения рис.7а, результат на рис.9.

Смоделируем рассеяние - воздействуем на рис.1а аппаратной функцией Гаусса с  $S_0=4$ . Кроме того, для полноты картины присутствия гидрометеоров на трассе наблюдения наложим на результат искажения рассеянием дополнительный градиентный туман - получим изображение рис.10а. Из этого рисунка видно, насколько сильно видоизменился амплитудный пространственный спектр искажённого изображения (рис.10б) относительно рис.4б (равномерный туман).



а)



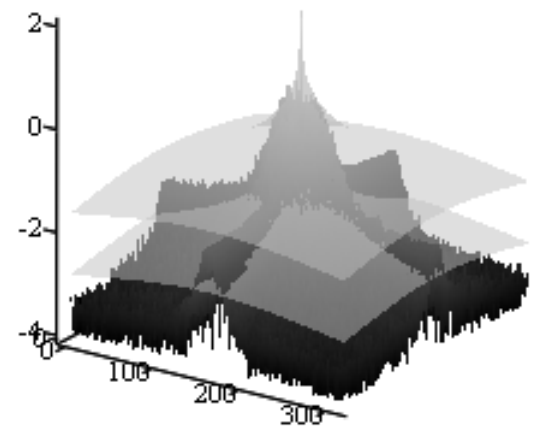
$\lg FMbK, \text{LogUOS} + 0.6, \text{LogUOS} - 0.6$

б)

Рис.8. Изображение рис.7а, восстановленное МПО - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).



а)



$\lg FMbK, \text{LogUOS} + 0.6, \text{LogUOS} - 0.6$

б)

Рис.9. Восстановление тумана с рассеянием рис.7а методом из [7] - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).

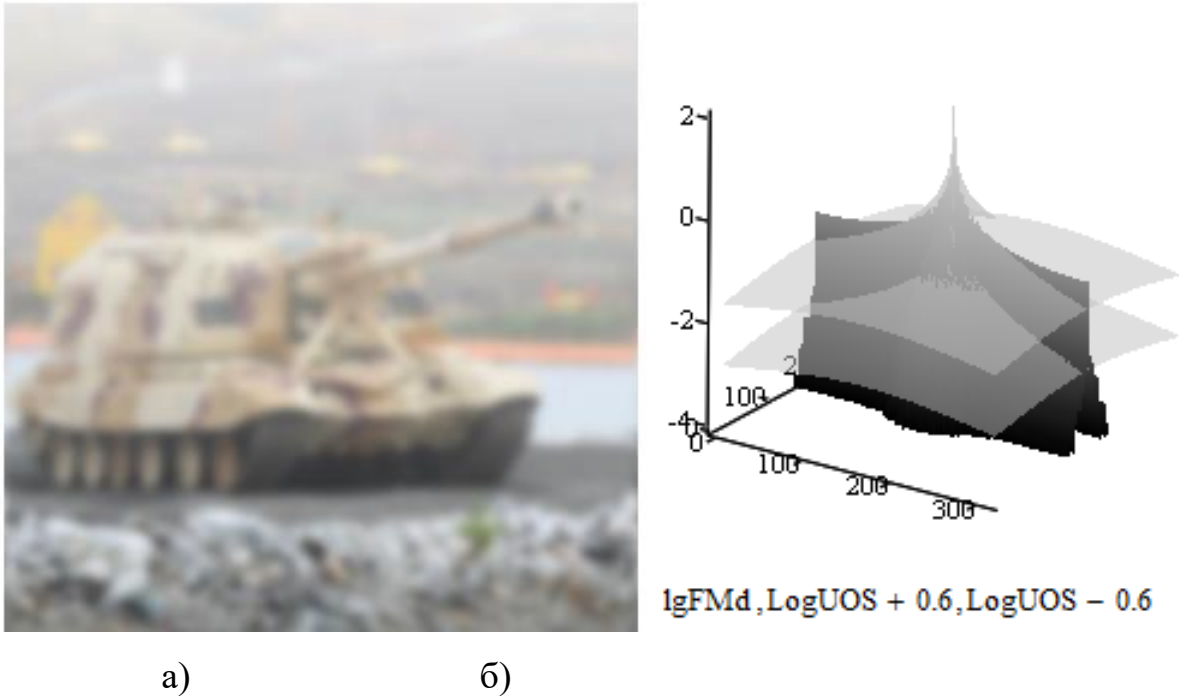


Рис.10. Искажённое рассеянием и градиентным туманом изображение рис.1а - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).

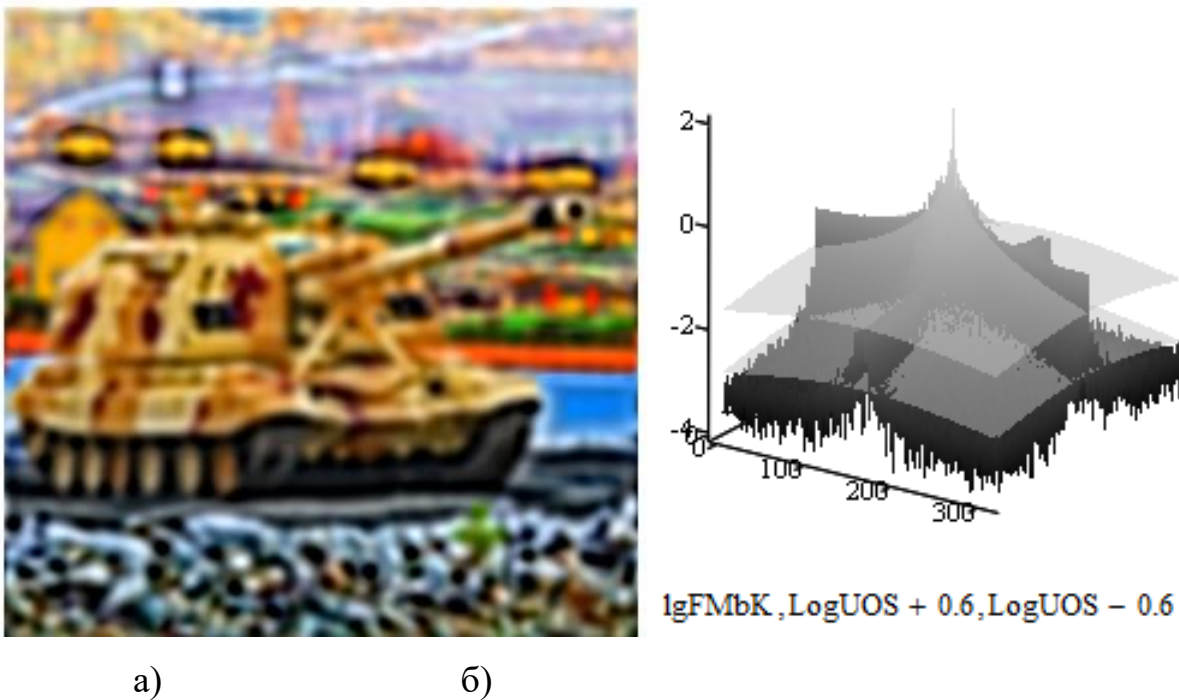
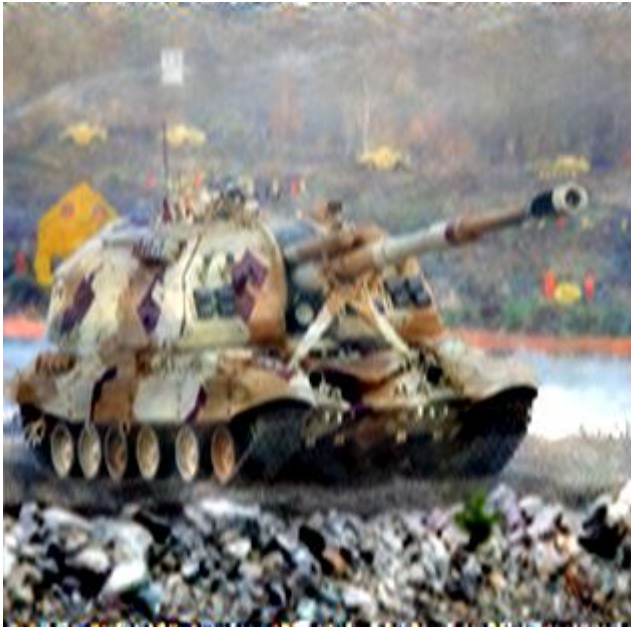
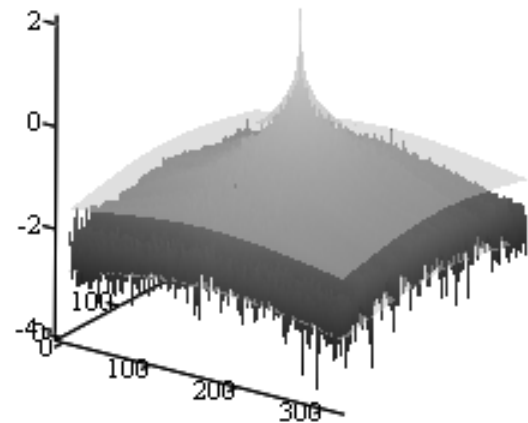


Рис.11. Восстановление градиентного тумана с рассеянием рис10а методом из [7] - (а); и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).



а)



lgFMbK , LogUOS + 0.6, LogUOS - 0.6

б)

Рис.12. Изображение рис.10а, восстановленное МПО, - (а) и его амплитудный пространственный спектр в логарифмическом масштабе - (б).

Если пробовать улучшить качество изображения рис.10А с помощью метода [7], как впрочем и по [2 - 6], где вычисления производятся исключительно в пространственной области, а возникающие трансформации спектров не принимаются во внимание, то результат будет неудовлетворительным - рис.11. В то же время, применение модифицированного МПО демонстрирует вполне приемлемое восстановление - рис.12.

Далее, в качестве иллюстраций работы МПО используем для улучшения реальные изображения. Рисунки 13 - 15 демонстрируют примеры изображений, полученных на трассах с гидрометеорами.



а)



б)

Рис.13. Исходное реальное туманное изображение учений войск НАТО в Прибалтике - (а). Восстановление рис.13а с помощью МПО - (б).



а)



б)

Рис.14. Исходное реальное туманное изображение движения автомобильного транспорта по дороге - (а). Восстановление рис.14а с помощью МПО - (б).



а)



б)

Рис.15. Исходное реальное туманное изображение бронетанковой техники в музее под открытым небом - (а). Восстановление рис.15а с помощью МПО - (б).

### 3. Заключение

Обычно задачи улучшения различимости объектов в изображениях при наличии гидрометеоров решаются путём преобразований в пространственной

области, моделируя поглощение излучения, идущего от объекта, и подсветку рассеянным излучением атмосферы, или увеличение контраста производится путём преобразования динамического диапазона яркостей изображения [1 - 7]. Однако без учёта эффектов рассеяния не всегда возможно провести восстановление изображений.

Искажения изображения влекут за собой искажения его пространственного спектра. Нам известна форма усреднённого амплитудного спектра неискажённого изображения - модель универсального опорного спектра (УОС) [10]. Спектр искажённого изображения трансформируем таким образом, чтобы он в среднем соответствовал УОС. В этом случае степень различимости деталей в полученном изображении значительно увеличивается. Это происходит вне зависимости от вида искажений изображений.

Нами предложен новый нестандартный подход к решению задач повышения различимости деталей на изображениях, искажённых гидрометеорами, а именно - применение метода перенормировки с ограничением (МПО) [9]. В этом случае обеспечивается борьба с эффектами рассеяния, моделируемыми аппаратной функцией размытия с неизвестными параметрами, при наличии неизвестных помех и шума. Возможность успешного решения задачи определяется тем, что амплитудный спектр улучшаемого изображения перенормируется на УОС.

### Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Halmaoui H., Cord A., Nautière N. Contrast restoration of road images taken in foggy weathe. 2011 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops. 2011. pp. 2057—2063.
3. Tripathi A.K., Mukhopadhyay S. Removal of fog from images: a review. IETE Technical Review. 2012. Vol.29, No. 2. pp.148—156.



4. Михайлюк Ю.П., Начаров Д.В. «Метод улучшения различимости объектов на цифровых изображениях, полученных в условиях недостаточной видимости». «Журнал Радиоэлектроники» [электронный журнал], No. 6, 2015. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jun15/4/text.html>
5. Kaiming He, Jian Sun, Xiaou Tang, Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior, IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence, v.33, No.12, December 2011, pp. 2341-2353.
6. Kaiming He, Jian Sun, Xiaou Tang, Final Project: Dark Channel Prior Haze Removal, [http://students.ccc.wustl.edu/~jwaldron/559/project\\_final/](http://students.ccc.wustl.edu/~jwaldron/559/project_final/) , 05.08.2012.
7. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. «Метод улучшения различимости объектов при наличии гидрометеоров». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2015, No.10. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct15/7/text.html>
8. Зражевский А.Ю., Коротков В.А. «Восстановление искажённого оптической системой с неизвестными параметрами радиоизображения с помощью метода опорного изображения». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2013, No.9. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/sep13/9/text.html>
9. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. «Использование метода перенормировки с ограничением для восстановления искаженных изображений при наличии помех и шума с неизвестными параметрами». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2015, No.7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul15/4/text.html>
10. Гуляев Ю.В., Зражевский А.Ю. , Кокошкин А.В., Коротков В.А., Черепенин В.А. «Коррекция пространственного спектра, искажённого оптической системой, с помощью метода опорного изображения. Часть 3. Универсальный опорный спектр». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2013, No.12. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/3/text.html>

**Ссылка на статью:**

А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин. Использование перенормировки спектра для восстановления изображений, искажённых гидрометеорами. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №11. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/nov17/3/text.pdf>