

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.2.2>

УДК: 534.6.08

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРЕНОРМИРОВКИ С ОГРАНИЧЕНИЕМ К АКУСТИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ**

**А. В. Кокошкин**

**Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
РАН, пл. Введенского 1, г. Фрязино, Московская область, 141190, Россия**

Статья поступила в редакцию 11 марта 2022 г.

**Аннотация.** В работе предлагается применение метода перенормировки с ограничением (МПО) для подавления спекл-шума на различных видах акустических изображений. Принципиальная возможность существенного снижения уровня спекл-шума обнаружена вследствие того, что МПО перенормирует спекл акустического изображения к модели универсального опорного спекла (УОС), которая является моделью, спекла оптического изображения «хорошего» качества. Для повышения общей резкости, после применения МПО, рекомендовано использовать дополнительную обработку, подходящую к своему виду изображений. Предложено оценивать степень подавления спекл-шума с помощью среднеквадратичного отклонения от изображения, усредненного по спрайту. Проведенное исследование позволяет сделать заключение о том, что применение МПО к различным акустическим изображениям позволяет существенно снизить присущий им спекл-шум.

**Ключевые слова:** акустические изображения, дистанционное зондирование, обработка изображений, спекл-шум, метод перенормировки с ограничением.

**Abstract.** The paper proposes the use of the method of renormalization with limitation (MRL) for suppressing the speckle noise in acoustic images. The method is tested on various types of acoustic images. The principal possibility of a significant reduction in

the speckle noise level is found due to the fact that the MRL renormalizes the spectrum of the sonar image to the universal reference spectrum (URS) model, which is a model of the spectrum of a «good» quality optical image. To increase the overall sharpness, after applying MRL, it is recommended to use post-processing suitable for each specific type of image. It is proposed to estimate the degree of suppression of speckle noise using the standard deviation from the image averaged over the sprite. The study allows us to conclude that the application of MRL to various acoustic images can significantly reduce the speckle noise.

**Key words:** remote sensing, acoustic images, image processing, speckle noise, method of renormalization with limitation

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Автор для переписки:** Кокошкин Александр Владимирович, [shvarts65@mail.ru](mailto:shvarts65@mail.ru)

## Введение

В настоящее время акустические сигналы широко используются во многих областях человеческой деятельности. От медицинских ультразвуковых исследований (УЗИ) до систем гидролокации, применяемых при поиске природных ресурсов, археологии, мониторинге экологии, чрезвычайных ситуациях, промышленной и оборонной безопасности. При решении практических задач, как правило, объектом исследования специалистов являются акустические изображения. Необходимо отметить, что для таких изображений характерно наличие мешающего объективному анализу мультипликативного спекл-шума. Он возникает из-за интерференции волн, вызванной множественным рассеянием от малых, относительно элемента разрешения, отражателей. Спекл-шум проявляется в виде светлых пятен (и ярких точек), случайным образом разбросанных по всему изображению. Поэтому спекл-картину называют «зернистостью» или «гранулярной» структурой изображения. Помимо УЗИ, и гидролокации подобные шумы являются одной из важных проблем при обработке данных аэрокосмических радиолокаторов с

синтезированной апертурой. Таким образом подавление спекл-шума на изображениях является актуальной задачей практически во всех системах дистанционного зондирования.

Все методы подавления спекл-шума имеют своей целью освободить изображение от паразитных шумов и артефактов, выделить границы исследуемых сред и объектов. В предлагаемой работе не рассматривается борьба со спекл-шумом с помощью различных технических средств повышения качества визуализации (в аппаратной части системы). Эта статья посвящена цифровой обработке уже полученных изображений. Во многих современных системах, использующих акустические сигналы производители включают наиболее эффективные (с их точки зрения) алгоритмы цифровых методов подавления спекл-шума в базовую комплектацию своих приборов. Под решение конкретных прикладных задач, создано большое количество алгоритмов цифровой обработки изображений. В одних случаях применяются медианная фильтрация и локально-усредняющие пространственные фильтры. В других используют алгоритмы винеровской, калмановской или гомоморфной фильтрации. Особыми направлениями борьбы со спекл-шумом являются методы, использующие Вейвлет преобразования и фрактальное кодирование [1, 2, 3, 4, 5]. Целью предложенной работы является заявить то, что недавно разработанный оригинальный метод перенормировки с ограничением (МПО) [6, 7, 8, 9], помимо особенностей, отмеченных в более ранних публикациях, еще и существенно снижает спекл-шум на цифровых изображениях. Эта статья является обобщением опыта использования МПО для повышения качества акустических изображений. Таким образом, всем заинтересованным исследователям, предлагается применять МПО наряду с другими известными методами.

## **1. Метод перенормировки с ограничением.**

Изначально МПО создавался для решения задач восстановления изображений, искаженных известной аппаратной функцией (АФ), при наличии

неизвестных помех и шума [6, 7]. Метод перенормировки с ограничением восстанавливает изображения, искаженные как АФ, с осесимметричным спектром, так и с анизотропной АФ типа «смаз». Причем модифицированный МПО может эффективно работать и без определения вида и параметров искажающей аппаратной функции [10]. МПО хорошо проявил себя при работе со спектрально-локальными помехами, и показал устойчивость к воздействию аддитивного шума [11].

При тестировании МПО на различных изображениях выяснилось, что применение этого метода значительно подавляет мультипликативный спекл-шум [9]. Объяснить это можно тем, что после применения МПО, в среднем аксиально-симметричная (изотропная) часть амплитудного пространственного спектра исследуемых изображений становится подобной универсальному опорному спектру (УОС), т.е. модели спектра оптического изображения «хорошего» качества [7]. Информация о контурах областей и объектов на изображении содержится не в амплитудной, а в фазовой части спектра. Таким образом, после снижения уровня спекл-шума все границы сред и локализация объектов на изображениях сохраняются. Необходимо заметить, что в этой работе все спектры и модели спектров центрированы, т.е. при визуализации спектров нулевая частота находится в центре изображения.

Для модели УОС предлагается использовать следующую формулу [7]:

$$URS(i, j) = A \cdot [B1 \cdot \exp(-G1 \cdot R^{0.75}) + B2 \cdot \exp(-G2 \cdot R^{0.12})], \quad (1)$$

где  $A = 128$  – половина максимальной яркости,  $B1 = 0.55$ ,  $B2 = 0.45$ ,  $G1 = 2.5$ ,  $G2 = 1.5$ ,  $R = i^2 + j^2$ .

Краткое описание МПО выглядит следующим образом [6, 12]:

Сначала вычисляется инверсная фильтрация. Т.е. спектр исходного искаженного аппаратной функцией и зашумленного изображения –  $FM(i, j)$  поэлементно делится на спектр этой АФ –  $Faf(i, j)$ . Затем вычисляется амплитудный спектр исходного изображения, усредненный по спрайту (5x5 пикселей) (УСС) –  $FMs(i, j)$ . И делается перенормировка результата инверсной

фильтрации на модель универсального опорного спектра (УОС) –  $URS(i, j)$ .

Алгоритм МПО можно записать в виде следующего выражения:

$$FMp(i, j) = \frac{FM(i, j)}{Faf(i, j)} \cdot \frac{|Faf(i, j) \cdot URS(i, j)|}{FMs(i, j)} \cdot \frac{FMs(0,0)}{URS(0,0)}, \quad (2)$$

где  $FMs(0,0)$  и  $URS(0,0)$  – значения соответствующих спектров при нулевой пространственной частоте,  $FMp(i, j)$  – перенормированный инверсно отфильтрованный спектр.

«Ограничение», заявленное в названии метода, заключается в следующем. Так как в среднем спектр  $FMp(i, j)$  должен соответствовать УОС, то превышение преобразованного амплитудного спектра над уровнем УОС более чем в  $Ur$  раз интерпретируем как помеху. Это, помимо собственно помех, ограничивает и спектральные артефакты, присущие процедуре инверсной фильтрации, возникающие при операциях близких к так называемому «делению на ноль».  $Ur$  обычно выбирается равным 4. В окрестности низких частот (вокруг нулевой пространственной частоты) диаметром 9 пикселей значение спектра не меняем. В этой «неприкосновенной» области остается только результат инверсной фильтрации. В итоге, с помощью обратного преобразования Фурье спектра  $FMp(i, j)$ , получим восстановленное изображение.

Поскольку в данной работе предполагается, что какому-либо размытию исходное изображение не подвергалось, то искажающая аппаратная функция принимается «игольчатой» (шириной много менее одного пикселя). Таким образом  $Faf(i, j)$  (спектр АФ) перестает фигурировать в формуле (2). И формула МПО принимает следующий вид:

$$FMp(i, j) = \frac{FM(i, j) \cdot URS(i, j)}{FMs(i, j)} \cdot \frac{FMs(0,0)}{URS(0,0)} \quad (3)$$

В [13] отмечено, что после применения МПО на гидролокационных изображениях проявляется эффект «затуманивания» или легкой «размытости». Поэтому для повышения качества обработки использовался лапласиан. В предлагаемой работе, чтобы повысить различимость деталей на изображении после процедуры МПО, амплитуды высоких частот спектра (ВЧ) увеличиваются

в 1,5 раза. То есть результат вычислений по формуле (3) умножается на 1,5. При этом «ограничение» остается в силе, т.е. в окрестности низких частот (вокруг нулевой пространственной частоты) диаметром 9 пикселей значения амплитуд спектра не меняем.

Наряду с описанным выше в предлагаемой работе, для дополнительного повышения резкости после применения МПО к акустическим изображениям, протестируем применение лапласиана (как в [13]) и операции «нерезкого маскирования» [14]. Последняя заключается в вычитании из изображения его нерезкой (размытой) копии. Т.е. сначала размывается исследуемое изображение (в нашем случае для размытия используется усредняющее плавающее окно размером 9 на 9 пикселей). Затем поэлементным вычитанием из исследуемого изображения его нерезкой копии получаем «маску». В заключении прибавляем эту «маску» к улучшаемому изображению.

### 3. Применение МПО к акустическим изображениям.

Рис. 1а представляет собой изображение фрагмента морского дна с затонувшим судном (размером 668 на 512 пикселей) [13]. Оно получено с помощью интерферометрического гидролокатора бокового обзора [15, 16]. Рис. 1б иллюстрирует применение метода перенормировки с ограничением к рис. 1а.

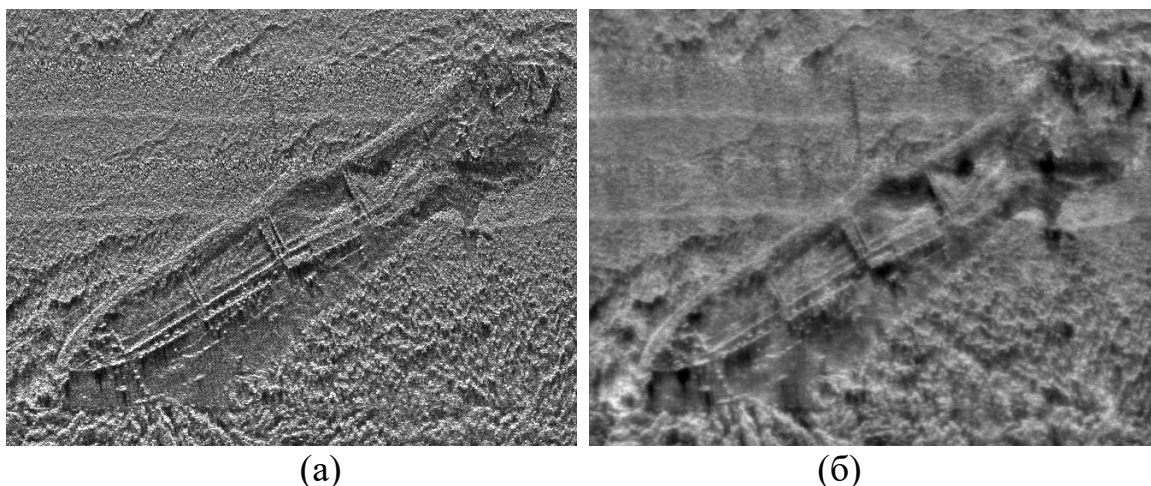


Рис. 1. (а) – исходное гидролокационное изображение затонувшего корабля [13]; (б) – применение МПО к рис.1а

Рис. 2 показывает соответствующие изображения рисунка 1 в объеме. По вертикальной оси отложены значения пространственных яркостей пикселей в градациях серого (от нуля – черный, до 255 – белый). Две оставшиеся оси объемного рисунка 3 показывают координаты пикселей на поле изображения.

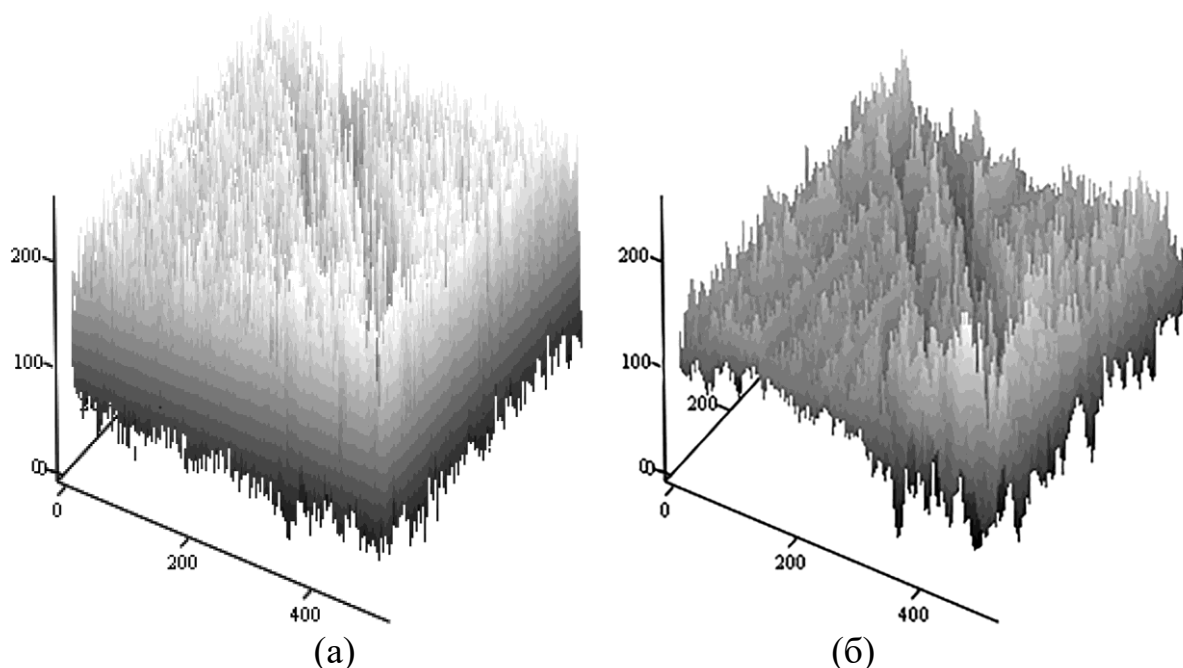


Рис. 2. Объемные изображения. Исходное – (а); обработка МПО рис. 2а – (б)

Рис. 2 демонстрирует существенное снижение уровня спекл-шума после применения МПО к гидролокационному изображению. Об этом свидетельствует структура объемных изображений. Исходное изображение (рис. 2а) заполнено спекл-шумом по всему полю, в то время как обработка МПО (рис. 2б), убирает яркие точки, оставляя контуры корабля в неприкосновенности.

Особый интерес представляет сравнение гистограмм яркостей этих изображений рис. 3. Гистограммы нормированы на максимальное значение для каждого из изображений. По горизонтальной оси отложены градации яркостей (от 0 – черный, до 255 – белый).

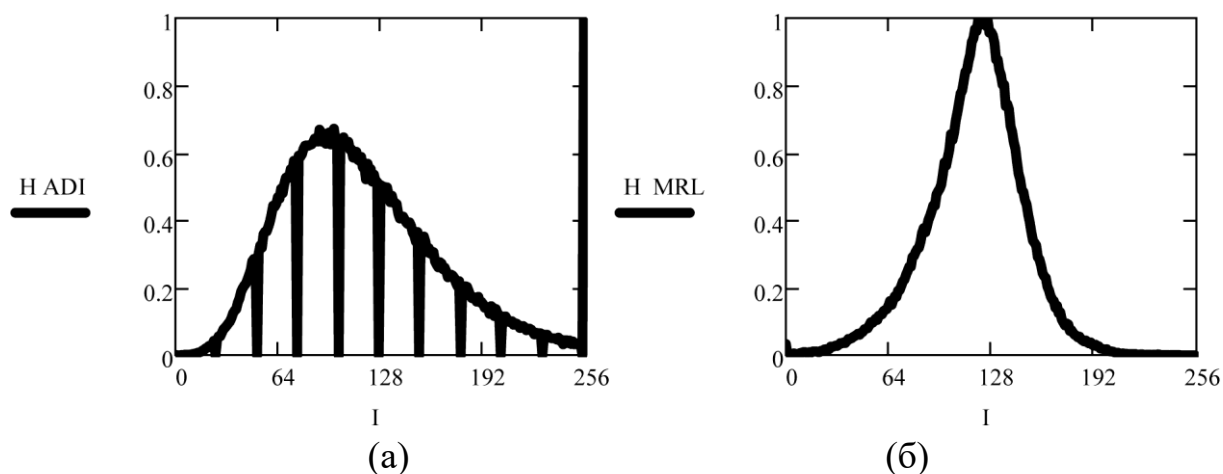


Рис.3. Нормированные гистограммы изображений. Для исходного гидролокационного изображения рис. 2а – (а); для обработки МПО рис. 2б – (б)

Нормированная гистограмма гидролокационного изображения рис. 1а имеет явно выраженный максимум, а значения яркостей растянуты по всему диапазону. Обращает на себя внимание большое количество пикселей максимальной яркости (255 по горизонтальной оси на рис. 3а). Эти пиксели и являются спекл-шумом. Применение МПО к такому изображению в результате дает более «правильный» в смысле подобия Гауссовой кривой вид гистограммы изображения с математическим ожиданием примерно посередине диапазона изменений яркостей рис. 5б. При этом последняя гистограмма показывает отсутствие спектров (большого количества пикселей максимальной яркости) на изображении обработанном МПО. Это можно считать подтверждением того, что метод перенормировки с ограничением успешно борется со спекл-шумом.

Как отмечалось ранее, ценой за подавление спекл-шума с помощью МПО является эффект «затуманивания» или легкой «размытости». Поэтому, в качестве постобработки для повышения резкости используем повышение амплитуд высоких частот спектра, лапласиан и нерезкое маскирование. Рис. 4 демонстрирует соответствующие результаты применения указанных дополнительных к МПО операций. Для МПО «классический» – левая колонка, для МПО с повышением высоких частот в 1,5 раза – правая колонка рисунков.



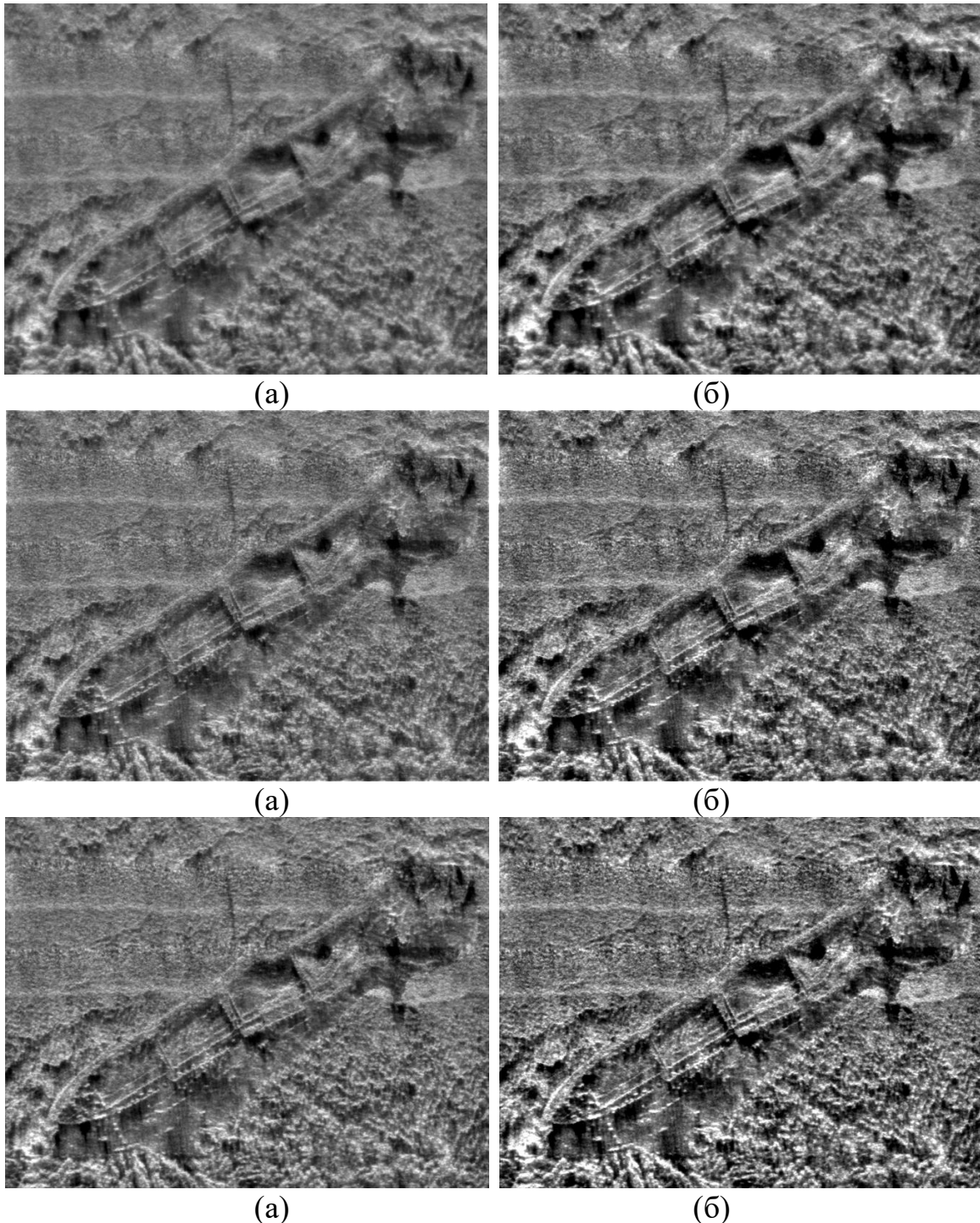


Рис.4. Применение постобработки для МПО «классический» – левая колонка; для МПО с повышением высоких частот в 1,5 раза – правая колонка. Применение МПО к исходному рис. 1а – (а), (б); применение лапласиана к рис. 4а и рис. 4б – (в), (г); применение нерезкого маскирования к рис. 4а и рис. 4б – (д), (е)

Чтобы оценить снижение уровня спекл-шума можно вычислить статистические характеристики значений яркостей на изображениях обработанных МПО и дополнительными процедурами (рис. 4). В таблице 1 приведены средние значения, среднеквадратичные отклонения (СКО) по всей

площади изображения, средние СКО по плавающему окну (спрайту) размером 9 на 9 пикселей. Средние СКО по спрайту более показательны для оценки подавления спекл-шума. Здесь СКО по спрайту вычисляется не от среднего значения по всему изображению, а как отклонение от усредненного плавающим окном уровня вокруг соответствующего пикселя.

Таблица 1. Статистические характеристики значений яркостей на изображениях рис. 1 и рис. 4

	Среднее значение	СКО по всему полю изображения	СКО по спрайту 9 на 9 пикселей
Исходное изображение	117	49	42
Обработка МПО «классическая»	118	30	11
Обработка МПО «классическая» плюс Лапласиан	119	34	17
Обработка МПО «классическая» плюс «нерезкое маскирование»	118	37	20
Обработка МПО с поднятием ВЧ в 1,5 раза	117	42	16
Обработка МПО с поднятием ВЧ в 1,5 раза плюс Лапласиан	117	47	25
Обработка МПО с поднятием ВЧ в 1,5 раза плюс «нерезкое маскирование»	117	52	30

Из данных табл. 1, рис. 1 и рис. 4 можно установить, что при сохранении общего среднего значения яркостей, СКО по спрайту у обработанных тем или иным способом изображений существенно меньше, чем у исходного акустического изображения. При этом рис. 4б (МПО с поднятием ВЧ в 1,5 раза) как визуально, так и по своим статистическим характеристикам, достаточно хорошо справляется с задачей повышения общей резкости изображения. Однако, дальнейшая постобработка рис. 4б может привести к появлению артефактов, о чем свидетельствуют изменения статических характеристик и увеличение площади «белых» областей на рис. 4г, рис. 4е. Это проявляется и в изменениях гистограмм. Таким образом применять дополнительные пространственные методы для увеличения резкости на подобных изображениях надо с осторожностью. В то же самое время постобработка весьма желательна для акустических изображений после применения МПО без поднятия ВЧ (рис. 4а, 4в, 4д) и [13].

В других случаях это может быть не так. Акустические изображения существенно отличаются от оптических по своей структуре, а в зависимости от способа регистрации, могут существенным образом отличаться и друг от друга. Поэтому методика обработки разных акустических изображений может варьироваться в каждом конкретном случае. В качестве второго примера возьмем гидролокационное изображение затонувшего корабля на фоне дна размером 3000 на 1085 пикселей рис. 5. Источником является официальный сайт широко известной фирмы Kongsberg Maritime: <https://www.kongsberg.com/ru/maritime/products/ocean-science/mapping-systems/sonars/SAS/>

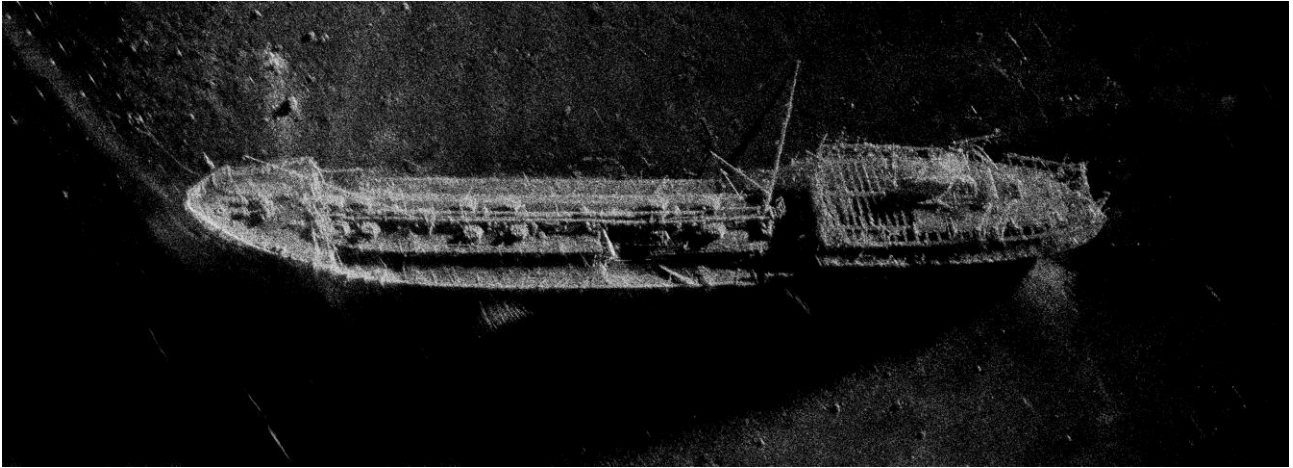
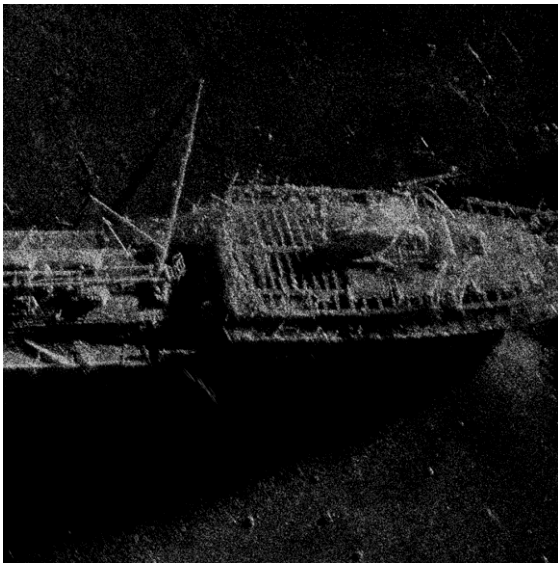
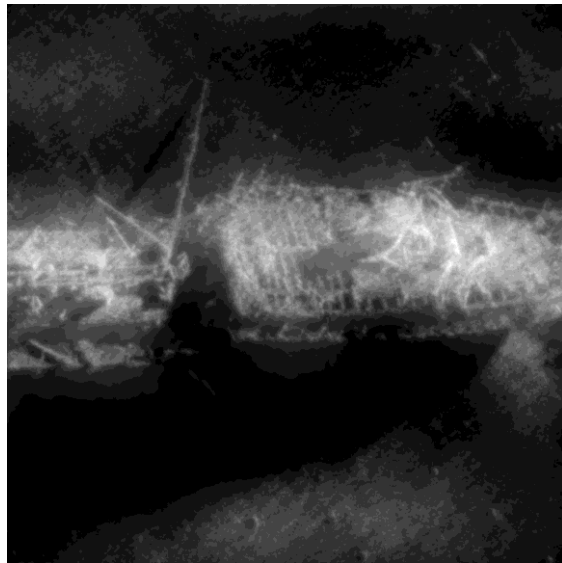


Рис.5. Гидролокационное изображение затонувшего корабля

Для наглядности и удобства работы возьмем фрагмент рис. 5 представляющий собой изображение размером 1024 на 1024 пикселя (корма затонувшего корабля) – рис. 6а. Рис. 6б представляет собой результат применения МПО к рис. 6а.



(а)



(б)

Рис.6. Фрагмент рис.1. корма затонувшего корабля – (а); Применение МПО к рис. 6а – (б)

Рис. 7 демонстрирует соответствующие рис.6 изображения в объеме. Как и на рис. 3 по вертикальной оси отложены значения пространственных яркостей пикселей в градациях серого (от нуля – черный, до 255 – белый). Две оставшиеся оси объемного рис. 7 показывают координаты пикселей на поле изображения.

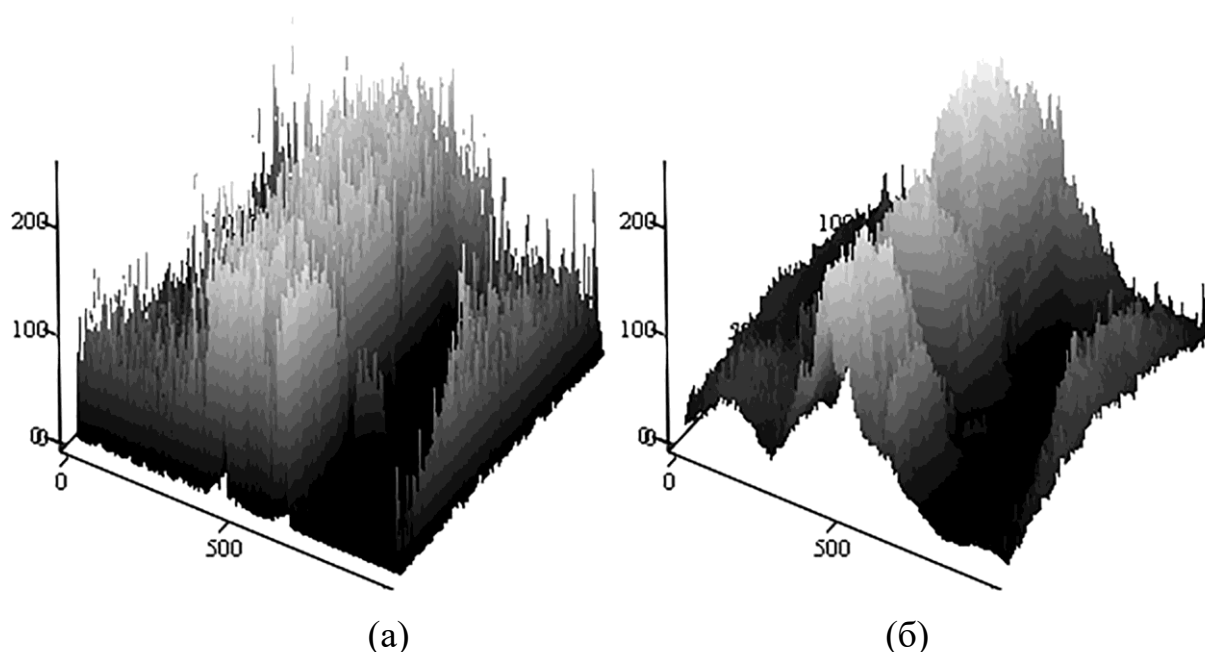


Рис.7. Объемные изображения. Исходное – (a); обработка МПО рис. 7а – (б)

В рассматриваемом нами примере гистограмма исходного акустического изображения имеет вид показанный на рис. 8а, а гистограмма результата применения МПО вид на рис. 8б.

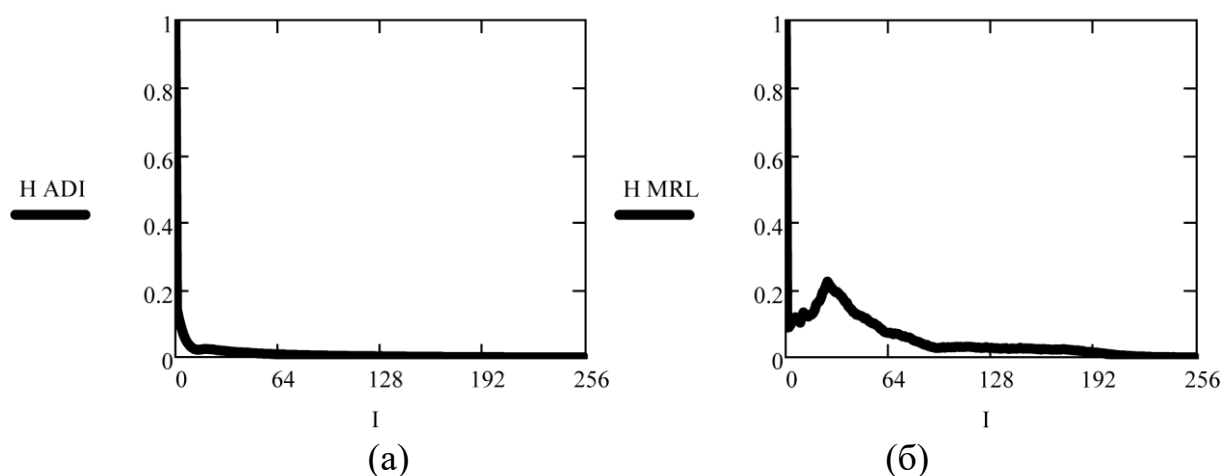
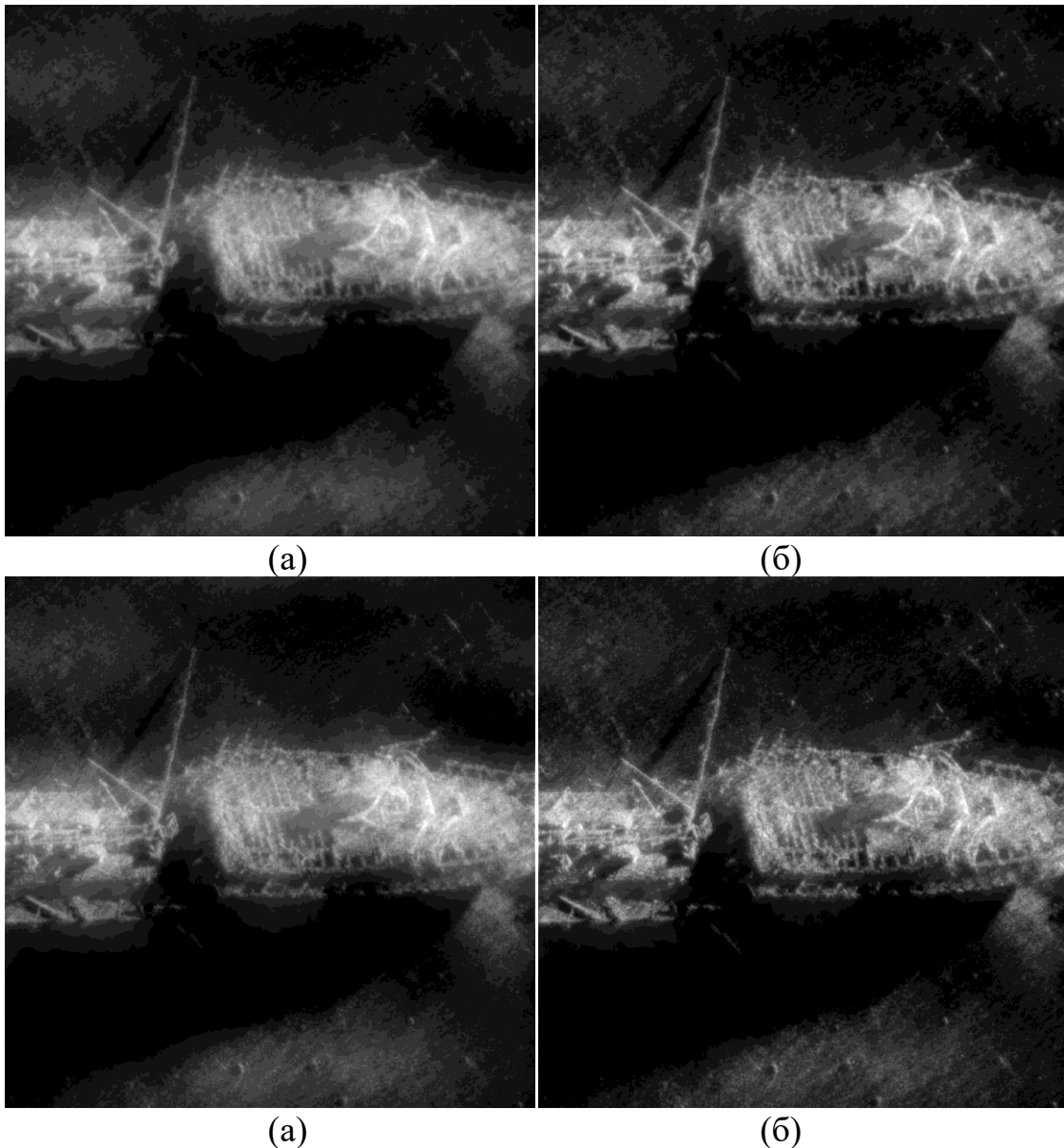


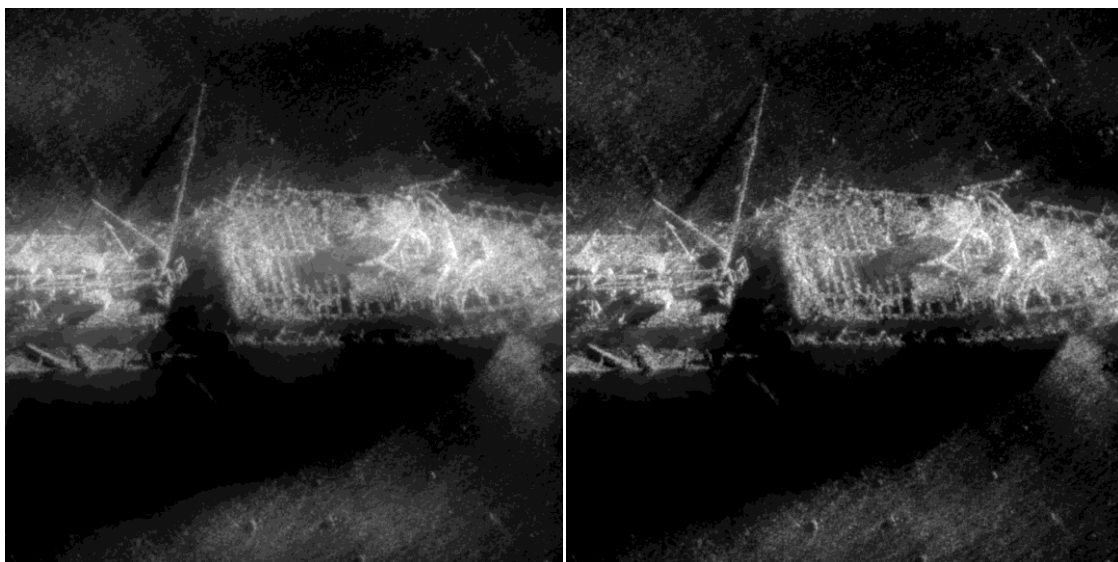
Рис.8. Нормированные гистограммы изображений. Для гидролокационного изображения рис. 6а – (a); для обработки МПО рис. 6б – (б)

Формы гистограмм рис.8 радикально отличаются от форм гистограмм рис. 3. Рис.8 констатирует большое количество пикселей черного цвета на изображениях (максимум вблизи нуля по горизонтальной оси) Гранулярная структура рис .6а такова, что вся информативная часть подобных изображений представляет собой пиксели разных яркостей, разбросанные по черному фону. Применение метода перенормировки с ограничением к рис. 6а несколько

трансформирует форму гистограммы. Рис. 8б показывает относительное увеличение количества «ярких» пикселей. Однако форма гистограммы такого акустического изображения после применения МПО очень далека от похожей на распределения Гаусса гистограммы рис. 3б.

Теперь перейдем к дополнительной обработке и оценке качества подавления спекл-шума. Рис.9 демонстрирует соответствующие результаты применения указанных операций. Для МПО «классический» – левая колонка, для МПО с повышением высоких частот в 1,5 раза – правая колонка рисунков.





(д) (е)

Рис.9. Применение постобработки для МПО «классический» – левая колонка; для МПО с повышением высоких частот в 1,5 раза – правая колонка. Применение МПО к исходному рис. 6а – (а), (б); применение лапласиана к рис. 9а и рис. 9б – (в), (г); применение нерезкого маскирования к рис. 9а и рис. 9б – (д), (е).

В табл. 2 сведены статистические характеристики рис. 6 и рис. 9, т.е. представляющие собой обработку и постобработку второго примера акустического изображения (МПО, МПО с повышением ВЧ в 1,5 раза, лапласиан и нерезкое маскирование).

В случае первого примера (см. рис. 1, рис. 4 и табл. 1) имело некоторый смысл вычислять СКО по всему полю изображения дабы получить представление о степени подавления спектров (хотя бы в случае МПО «классический»). Применительно ко второму примеру (рис. 6, рис. 9) этого утверждать нельзя. Данные табл. 2 красноречиво говорят об этом. Средние яркости и среднеквадратичные отклонения по всему полю для второго примера увеличиваются после обработки МПО и после постобработки. Применение МПО «в среднем» преобразовывает исходные спектры в модель универсального опорного спектра. Что, как было сказано выше, «в среднем» является спектром оптического изображения «хорошего» качества. Вследствие структурных отличий оптических и акустических изображений это может сбивать с толку.

Таблица 2. Статистические характеристики значений яркостей на изображениях рис. 6 и рис. 9.

	Среднее значение	СКО по всем значениям	СКО по спрайту 9 на 9 пикселей
Исходное гидроакустическое изображение	27	41	24
Обработка МПО «классическая»	57	51	3
Обработка МПО «классическая» плюс Лапласиан	57	51	5
Обработка МПО «классическая» плюс «нерезкое маскирование»	57	52	6
Обработка МПО с поднятием ВЧ в 1,5 раза	53	49	5
Обработка МПО с поднятием ВЧ в 1,5 раза плюс Лапласиан	53	50	7
Обработка МПО с поднятием ВЧ в 1,5 раза плюс «нерезкое маскирование»	53	50	8

Из таб. 2 видно, что даже средние значения яркостей исходного акустического изображения (27) и результатов обработки МПО и постобработки (53, 57) могут существенно отличаться. В тоже самое время СКО обработанных изображений, вычисленные по всему полю, могут даже превышать СКО исходного акустического. Все встает на свои места после оценки СКО по спрайту, т.е. как среднеквадратичного отклонения от усредненного плавающим окном 9 на 9 пикселей уровня вокруг каждого пикселя изображения. СКО по спрайту для обработки МПО и постобработки в разы меньше, чем это отклонение для исходного акустического изображения. После применения МПО меняется структура изображения. Она из зернистой (спекловой) становится близкой к структуре оптических изображений более привычных человеческому



глазу. Как и ранее, побочным эффектом трансформации структуры изображения является эффект «затуманивания» или небольшой «размытости» изображения. Это, в свою очередь, можно скорректировать той или иной дополнительной обработкой (методами, повышающими общую резкость изображений). Для второго примера (рис.6а)), в отличие от первого (рис. 1а), для МПО с повышением высоких частот в 1,5 раза плюс лапласиан (рис. 9г), или плюс «нерезкое маскирование» (рис. 9е) дает вполне приемлемые результаты.

В дополнение к здесь изложенному надо сказать, что акустические изображения другого рода (УЗИ) исследованы в работе [8]. В ней, как дополнительный этап обработки, после применения МПО с повышением высоких частот, предлагается применить Билатеральную фильтрацию [17, 18], что позволяет сгладить спеклы с сохранением четких границ объектов. Это, по сравнению с описанными выше примерами, является особым случаем, поскольку там, после применения МПО с поднятием высоких частот, не произошло подавления шума. В этой же статье [8] проиллюстрирован известный факт о том, что применение медианной фильтрации в данной задаче менее предпочтительно, поскольку эта процедура, вместе со спекл-шумом, может удалить и полезную информацию [8, 14].

Повышение общей резкости изображений с помощью подъема высоких частот спектра, лапласиана и нерезкого маскирования в предлагаемой работе были выбраны опытным путем. В качестве постобработки МПО дополнительно тестировались: эквализация (выравнивание) гистограмм и гамма-коррекция. Они показали неудовлетворительные результаты. Только задание (приведение) гистограмм дало положительный эффект в некоторых случаях. Это может быть темой дополнительных исследований применительно к решению конкретных практических задач (к определенным типам изображений).

Необходимо заметить, что изображения из открытых источников в той или иной степени могут подвергаться изменениям (либо издателем, либо авторами публикаций). Это замечание не касается первого примера предложенной здесь работы, т.е. изображения рис. 1а полученного непосредственно в процессе

эксперимента сотрудниками Фрязинского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ФИРЭ РАН) [1, 13, 15, 16]. Поэтому, с целью выявления всего потенциала метода перенормировки с ограничением, приглашаются к сотрудничеству все заинтересованные лица и организации, оперирующие с исходными акустическими изображениями. Тем более что целесообразность применения тех или иных методов обработки изображений, в соответствии с конкретными целями и задачами, следует оценить именно профессионалам в своих областях научно-технической деятельности.

## **Заключение**

Эта статья посвящена тестированию применения метода перенормировки с ограничением к акустическим изображениям с целью повышения их качества. Она является обобщением опыта использования МПО для борьбы со спекл-шумом. Установлено, что применение МПО к акустическим изображениям меняет их пространственную структуру. Происходит это потому, что метод перенормировки с ограничением, по своему определению, перенормирует спектр акустического изображения к модели универсального опорного спектра (УОС), которая является моделью спектра оптического изображения «хорошего» качества [6, 7]. В связи с тем, что акустические изображения по своей структуре значительно отличаются от оптических изображений, то в качестве «платы» за эти изменения, в результате применения МПО, проявляется эффект «затуманивания» или незначительной «размытости» изображения. Для повышения общей резкости изображения, предложено использовать постобработку (увеличение амплитуд высоких частот спектра, лапласиан, нерезкое маскирование) [14]. А в особых случаях (если в МПО при поднятии высоких частот не произошло подавления шума) в качестве постобработки протестирована билатеральная фильтрация [8, 17, 18]. Предложено оценивать степень подавления спекл-шума с помощью среднеквадратичного отклонения от изображения, усредненного по спрайту. Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что применение МПО к акустическим изображениям

(гидролокация) позволяет существенно снизить присущий им спекл-шум, а значит этот метод может использоваться для повышения их качества.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## Литература

1. Разманов В.М., Кривцов А.П., Долотов С.А. Особенности измерений рельефа морского дна интерферометрическим гидролокатором бокового обзора. *Радиотехника и электроника*. 2006. №1. Т.51. С.58-64.
2. Achim A., Bezerianos A., Tsakalides P. Novel Bayesian Multiscale Method for Speckle Removal in Medical Ultrasound Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2001. №8. V.20. P.772-783.
3. Alexandru Isar, Ioana Firoiu, Corina Nafornta and Sorin Moga *SONAR Images Denoising. Sonar Systems*. September 2011. DOI: 10.5772/19190 <https://www.intechopen.com/books/sonar-systems/sonar-images-denoising>
4. Ghazel M., Freeman G.H., Vrscaj E.R. Fractal image denoising. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2003. V.12. №12. P.1560-1578.
5. Илюшин С.В. Подавление спекла на медицинских ультразвуковых изображениях при помощи фрактального кодирования. *T-Comm*. 2011. №3. С.22-26.
6. 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. №7. <http://jre.cplire.ru/jre/jul15/4/text.html>
7. Гуляев Ю.В., Зражевский А.Ю., Кокошкин А.В., Коротков В.А., Черепенин В.А. Коррекция пространственного спектра, искаженного оптической

- системой, с помощью метода опорного изображения. Часть 3. Универсальный опорный спектр. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2013. №12. <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/3/text.html>
8. Кокошкин А.В. Применение метода перенормировки с ограничением к обработке медицинских ультразвуковых изображений. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2020. №10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.10.1>
  9. Кокошкин А.В. Применение метода перенормировки с ограничением к изображениям дистанционного зондирования, полученным с помощью радиолокаторов с синтезированной апертурой. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №3. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.3.4>
  10. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. Восстановление изображений, искаженных дефокусом и смазом, без определения вида и параметров аппаратной функции. *Радиотехника и Электроника*. 2019. Т.64. №6. С.563-574. DOI: 10.1134/S0033849419060044
  11. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. Восстановление радиоизображения, искаженного спектрально-локальными помехами и аппаратной функцией с неизвестными боковыми лепестками». *Журнал Радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2016. №8. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/aug16/3/text.html>
  12. Кокошкин А.В., Коротков В.А. Программа реализации метода перенормировки с ограничением для обработки радиоизображений. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: № 2016661952 от 26.10.2016г.
  13. Кокошкин А.В., Новичихин Е.П., Смольянинов И.В. Применение методов спектральной и пространственной обработки к изображениям, полученным с помощью гидролокатора. *РЭНСИТ*. 2021. №3. Т.13. С.377-382. DOI: 10/17725/rensit.2021.13.377

14. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. Издание 3-е, испр. и доп. Москва, Техносфера. 2019. 1104 с.
15. Каевицер В.И., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В., Денисов Е.Ю. Разработка и результаты испытаний гидроакустического комплекса для исследования дна шельфовой зоны Арктических морей. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2016. №11. <http://jre.cplire.ru/jre/nov16/1/text.pdf>
16. Смольянинов И.В. Программа для нанесения на географическую карту гидролокационного изображения морского дна. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: № 2018618950 от 21.08.2018г.
17. Крапчатова Т.В., Филиппов М.В. Анализ эффективности алгоритмов билатеральной фильтрации. *Наука и образование* [Электронное научное издание]. 2012. №02. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/340957.html>
18. Tomasi C., Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images. *Proc. of International Conference on Computer Vision. IEEE*. 1998. P.839–846.

**Для цитирования:**

Кокошкин А.В. Применение метода перенормировки с ограничением к акустическим изображениям *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2022. №2. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.2.2>