



О СУБПОЛОСНОМ УДАЛЕНИИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

**Е.Г. ЖИЛЯКОВ,
А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ,
Е.В. БОЛГОВА,
Е.М. МАМАТОВ**

*Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет*

*e-mail:
zhilyakov@bsu.edu.ru*

В работе проведена сравнительная оценка результатов фильтрации узкополосного шума на изображении, полученных на основе субполосной оптимальной фильтрации и известных методов. Показано преимущество субполосной оптимальной фильтрации как в пространственной области, так и в области пространственных частот.

Ключевые слова: изображение, шум, субполосные матрицы, фильтрация, погрешность

Одной из значительных проблем использования при решении различных научных, управленческих и экономических задач цифровых изображений, получаемых с помощью различных систем регистрации и последующей их передачи по каналам связи, является наличие помех, вызываемых работой аппаратуры [1]. Как правило, данные помехи имеют узкую полосу энергетического спектра в области пространственных частот (ПЧ) и, зачастую, применение для их удаления различных известных методов вызывает существенные искажения изображений.

В данной работе предлагается для удаления периодического узкополосного шума на изображении применять методы субполосного анализа-синтеза [2,3, 4] на основе частотных представлений. Получаемые в результате субполосной оптимальной фильтрации [5] субполосные компоненты изображений содержат данные о компонентах изображений, соответствующих выбранным для фильтрации подобластям пространственных частот (ППЧ), при этом на энергию субполосных компонент не оказывает влияние энергия исходного изображения из смежных ППЧ.

В рамках теории субполосного анализа-синтеза фильтрация изображения Φ , задаваемого матрицей яркости $\Phi = \{f_{ik}\}$, $i = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, M$, значений пикселей, осуществляется в подобластях ПЧ, определяемых выражением

$$V_{sr} = \{ (u \in [-u_{s2}, -u_{s1}) \cup [u_{s1}, u_{s2})) \cap (v \in [-v_{r2}, -v_{r1}) \cup [v_{r1}, v_{r2})) \},$$

$$s = 1, 2, \dots, S, \quad r = 1, 2, \dots, R,$$

$$u_{11} = 0, \quad u_{S,2} = \pi, \quad u_{s+1,1} = u_{s,2},$$

$$v_{11} = 0, \quad v_{R,2} = \pi, \quad v_{r+1,1} = v_{r,2}.$$
(1)

Результат фильтрации (субполосная компонента) в выбранной ППЧ вида (1), получаемый в результате решения оптимизационной задачи, определяется соотношением

$$Y_{sr} = A_s \Phi B_r, \quad (2)$$

где матрицы $A_s = \{a_{in}^s\}$, $i, n = 1, \dots, N$; $B_r = \{b_{km}^r\}$, $k, m = 1, \dots, M$, – субполосные матрицы [6], элементы которых имеют следующие значения

$$a_{in}^s = \begin{cases} \frac{\sin(u_{s2}(i-n)) - \sin(u_{s1}(i-n))}{\pi(i-n)}, & i \neq n, \\ \frac{u_{s2} - u_{s1}}{\pi}, & i = n, \end{cases} \quad b_{km}^r = \begin{cases} \frac{\sin(v_{r2}(k-m)) - \sin(v_{r1}(k-m))}{\pi(k-m)}, & k \neq m, \\ \frac{v_{r2} - v_{r1}}{\pi}, & k = m. \end{cases}$$

Одним из существенных свойств субполосных компонент вида (2) является отсутствие влияния на данные компоненты энергии исходного изображения из смежных подобластей пространственных частот, что обеспечивает высокое качество фильтрации узкополосных помех.

С целью демонстрации отсутствия влияния на субполосные компоненты изображения его энергии из смежных ППЧ были проведены многочисленные вычислительные эксперименты с реальными изображениями и наложенным на них аддитивным шумом.

Так, изображение, приведенное на рисунке 1а, является результатом наложения на исходное изображение земной поверхности, размерностью 512x512 пикселей, модельного узкополосного шума (рисунок 1б), сгенерированного на основе соотношения

$$f_{ik}^{noise} = 1.38 \sin(0.147 \cdot 2\pi k), \quad i, k = 1, 2, \dots, 512.$$

и затем преобразованного так, чтобы уровень шум/сигнал имел значение 0.5.

Энергетический спектр зашумленного изображения приведен на рисунке 1в, на котором слева и справа присутствуют вертикальные полосы, соответствующие энергии аддитивного шума.

На рисунке 1г отображены величины абсолютных значений трансформант Фурье исходного изображения, заданного аддитивного шума и зашумленного изображения, соответствующие выбранной подобласти ПЧ D_0 ,

$$D_0 = \{(u = 0.14\pi) \cap (v \in [0.13\pi, 0.17\pi])\}.$$

Размеры подобласти D_0 выбраны для отображения результатов в соответствии с распределением энергии шума при фиксированном значении u – основная часть энергии шума сосредоточена в ППЧ V_0 ,

$$V_0 = \{(u \in [0, \pi] \cap (v \in [0.144\pi, 0.150\pi])\},$$

фиксированное значение u выбрано произвольно.

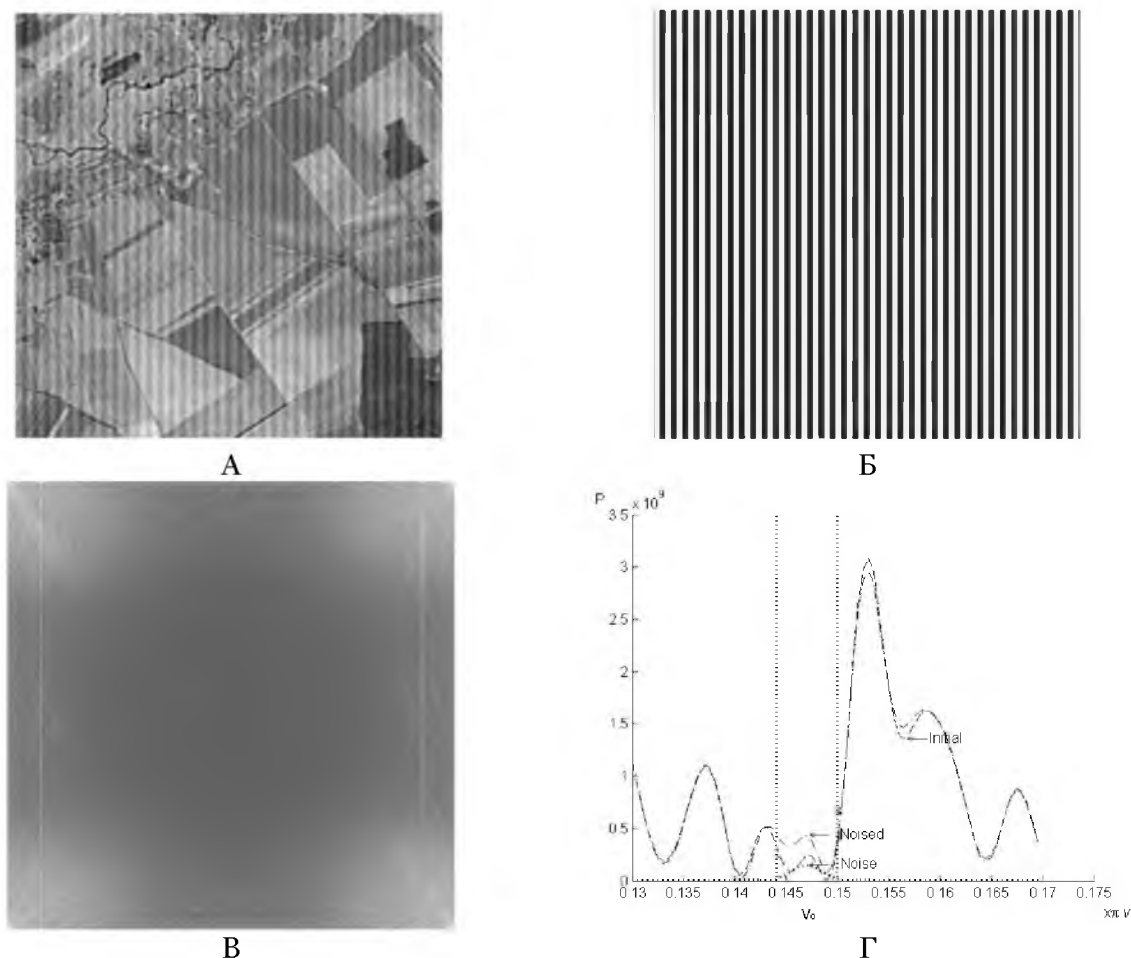


Рис. 1. Зашумленное изображение земной поверхности:
а – зашумленное изображение, б – аддитивный шум,
в – энергетический спектр зашумленного изображения,
г – абсолютные значения трансформант Фурье шума, исходного и зашумленного изображений

В ходе вычислительного эксперимента была выделена субполосная компонента, соответствующая ППЧ V_0 , а также были вычислены результаты КИХ-фильтрации (длина импульсной характеристики – 512, ширина переходной полосы $c = 0,005\pi$) в той же подобласти ПЧ. Величины, соответствующие подобласти ПЧ D_0 , абсолютных значений трансформант Фурье зашумленного изображения, выделенной субполосной компоненты и результата КИХ-фильтрации приведены на рис. 2а.

На рисунке 2а видно, что на трансформанту Фурье результата КИХ-фильтрации оказывает существенное влияние увеличение энергии в смежных с V_0 подобластях ПЧ. В то же время, абсолютные значения трансформанты Фурье выделенной субполосной компоненты снижаются за пределами области V_0 .

На основе полученных результатов была выполнена режекторная фильтрация шума. Результаты режекторной фильтрации на основе выделения субполосной компоненты и КИХ-фильтрации в подобласти V_0 приведены на рисунках 2в и 2г. На рисунке 2в полос значительно меньше, чем на рисунке 2г. Среднеквадратическое отклонение (СКО) абсолютных значений трансформант Фурье (в подобласти D_0) результатов режекторной фильтрации при использовании субполосных компонент и результата КИХ-фильтрации относительно абсолютных значений трансформанты Фурье исходного изображения – соответственно равны 0.081 и 0.516.

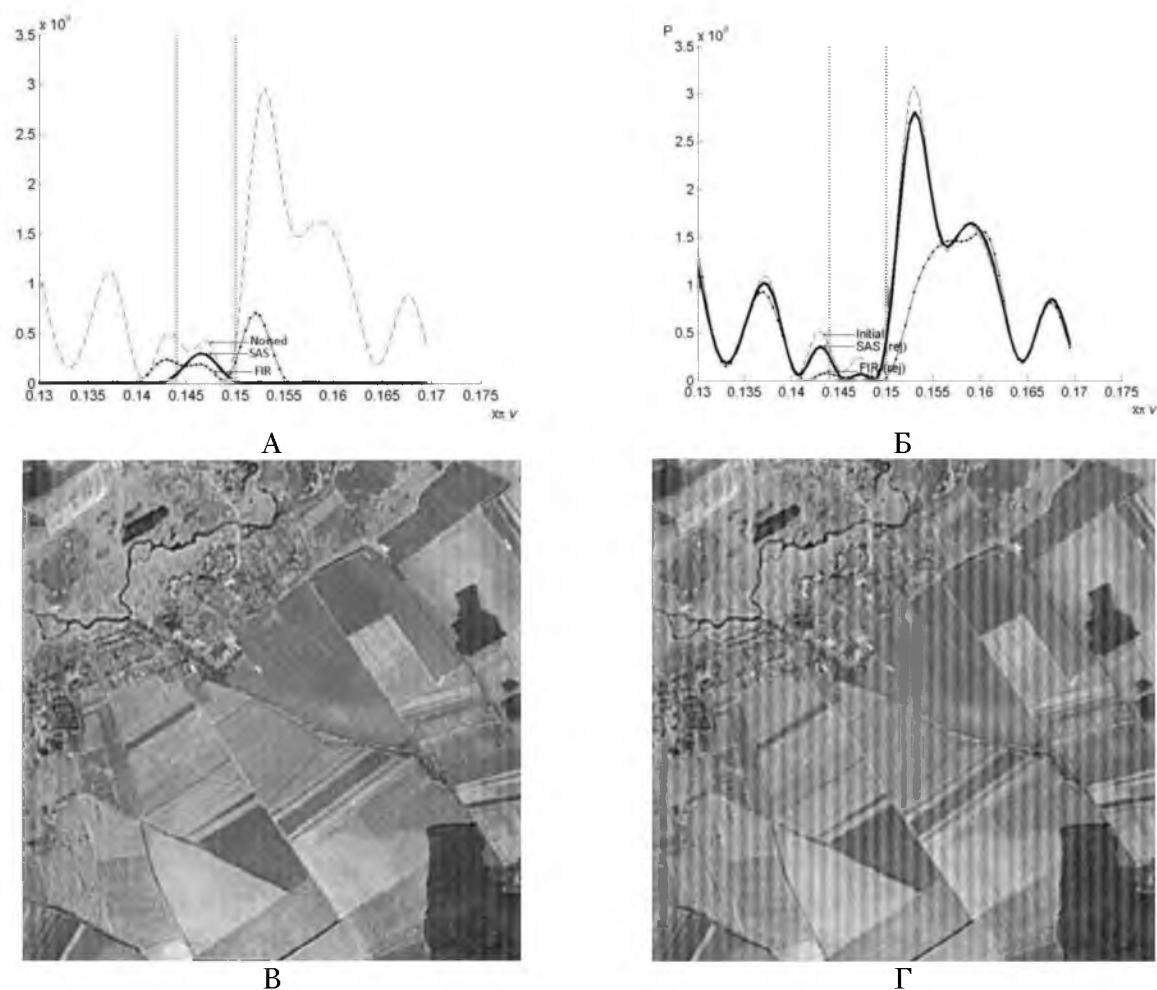


Рис. 2. Результаты фильтрации, $c=0,005\pi$:

а – абсолютные значения трансформант Фурье зашумленного изображения и результатов субполосной (SAS) и КИХ-фильтрации (FIR), б – абсолютные значения трансформант Фурье исходного изображения и результатов режекторной фильтрации, в – результат режекторной субполосной фильтрации, г – результат режекторной КИХ-фильтрации

СКО в пространственной области результатов режекторной фильтрации относительно исходного изображения – 0.13 и 0.48 соответственно при применении субполосных компонент и КИХ-фильтрации.

На рисунке 2б отображены абсолютные значения трансформант Фурье исходного изображения и результатов, представленных на рисунках 2в и 2г.

Аналогичные расчеты результатов фильтрации в подобласти V_0 (рис. 3) были выполнены при использовании КИХ-фильтра, длина импульсной характеристики которого равна 512 и ширина переходной полосы $c = 0,0005\pi$.

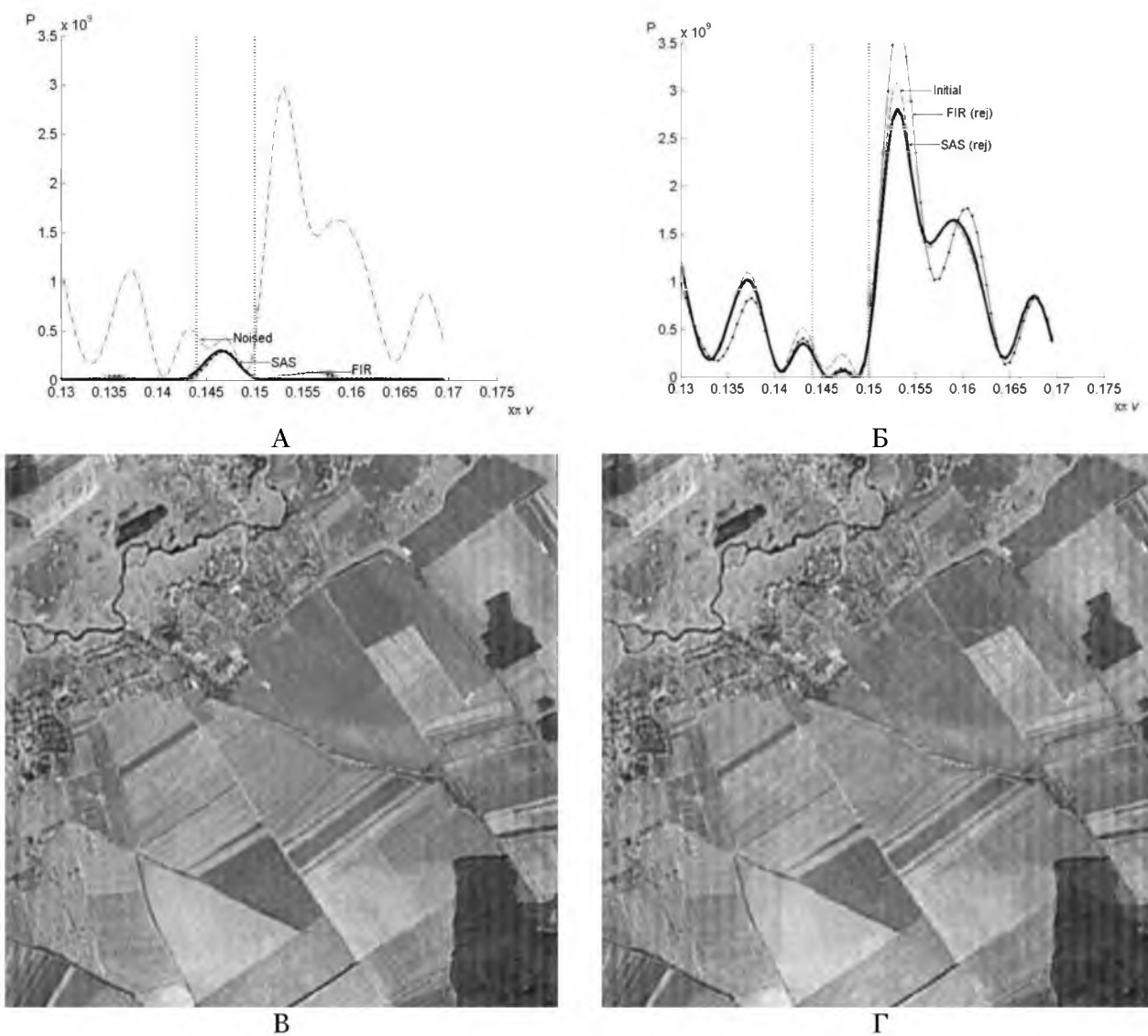


Рис. 3. Результаты фильтрации при $c=0,0005\pi$:

а – абсолютные значения трансформант Фурье зашумленного изображения и результатов субполосной (SAS) и КИХ-фильтрации (FIR), б – абсолютные значения трансформант Фурье исходного изображения и результатов режекторной, в – результат режекторной субполосной фильтрации, г – результат режекторной КИХ-фильтрации

В ходе эксперимента также были получены результаты режекторной фильтрации в ППЧ V_0 на основе идеального фильтра, фильтра Баттерворта 2-го порядка и фильтра Гаусса. На рисунке 3 приведены абсолютные значения трансформант Фурье (в подобласти D_0) результатов фильтрации и режекторной фильтрации с использованием указанных фильтров. В пространственной области результаты применения данных фильтров не значительно отличаются от изображения, приведенного на рисунке 3г.

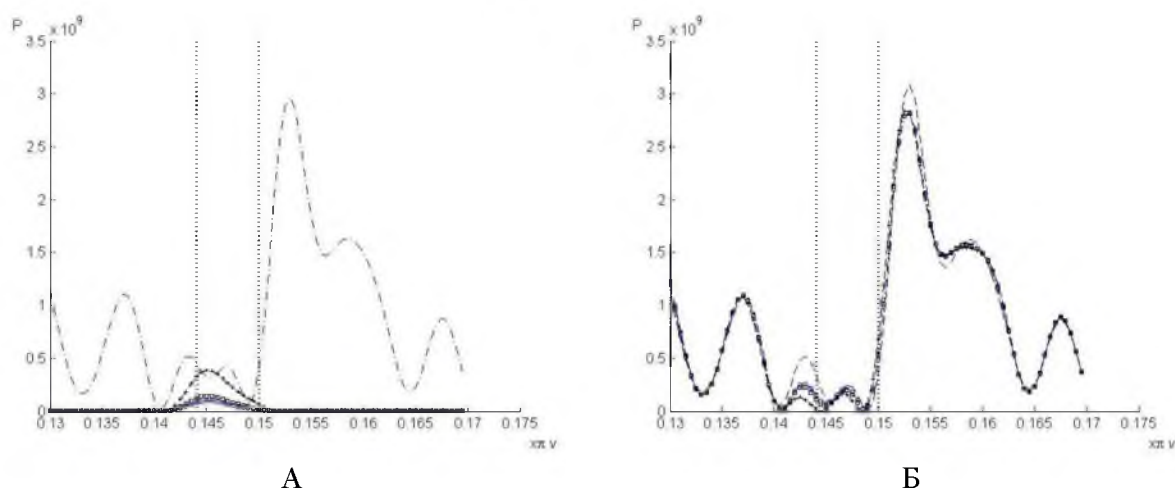


Рис. 4. Результаты фильтрации:
 а – абсолютные значения трансформант Фурье зашумленного изображения и результатов применения идеального фильтра, фильтров Батттерворта и Гаусса,
 б – абсолютные значения трансформант Фурье исходного изображения и результатов режекторной фильтрации (— — — — — для зашумленного изображения, - - - - - для исходного изображения, - + + - - для идеального фильтра, —○—○— для фильтров Баттерворта, —□—□— для фильтров Гаусса)

В таблице представлены значения доли энергии результатов фильтрации, полученных указанными разными методами, вне подобласти фильтрации V_0 , а также величины СКО результатов режекторной фильтрации относительно исходного изображения и СКО абсолютных значений трансформант Фурье (в подобласти D_0) результатов режекторной фильтрации относительно абсолютных значений трансформанты Фурье исходного изображения.

Таблица

Результаты фильтрации

	Доля энергии вне ППЧ фильтрации V_0	Режекторная фильтрация		
		СКО трансформант Фурье в подобласти D_0	СКО	PSNR
Субполосная фильтрация	0.067	0.081	0.13	36.21
КИХ-фильтрация, $c=0.005$	0.295	0.516	0.48	24.87
КИХ-фильтрация, $c=0.0005$	0.268	0.226	0.268	29.94
Идеальный фильтр	0.104	0.129	0.221	31.63
Фильтр Баттерворта	0.102	0.084	0.307	28.76
Фильтр Гаусса	0.103	0.095	0.274	29.73

Полученные в ходе приведенных вычислительных экспериментов результаты демонстрируют преимущество применения субполосных компонент в процессе фильтрации узкополосных помех. Результаты, приведенные на рисунках 2, 3 и 4, а также в таблице 1, показывают преимущество субполосной фильтрации – в отличие от результатов фильтрации, полученных с помощью известных фильтров, энергия изображения из смежных подобластей не оказывает влияние на субполосные компоненты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-00257а.



Список литературы

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
2. Жилияков, Е.Г. Об эффективности метода оценивания значений долей энергии изображений на основе частотных представлений [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, А.Н. Заливин // Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии. – № 2/52 (563) март-апрель. – 2009. С. 12-22.
3. Черноморец, А.А. Метод анализа распределения энергий изображений по заданным частотным интервалам [Текст] / А.А. Черноморец, О.Н. Иванов // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2010. – № 19 (90). – Вып. 16/1. С. 161-166.
4. Черноморец, А.А. О частотной концентрации энергии изображений [Текст] / А.А. Черноморец, В.А. Голощапова, И.В. Лысенко, Е.В. Болгова // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2011. – № 1 (96). – Вып. 17/1. – С. 146-151.
5. Жилияков, Е.Г. Об оптимальном выделении субполосных компонент изображений [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец // Информационные системы и технологии. – № 1 (75). – 2013. С. 5-11.
6. Жилияков, Е.Г. О частотном анализе изображений [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2010. – Вып. 1. – С. 94-103.

ON SUBBAND FILTRATION OF PERIODIC NOISE ON IMAGES

E.G. ZHILYAKOV
A.A. CHERNOMORETS
E.V. BOLGOVA
E.M. MAMATOV

*Belgorod National
Research University*

*e-mail:
zhilyakov@bsu.edu.ru*

In the work we gave the comparative assessment of the results of filtering narrowband noise in the image, obtained on the basis of subband optimal filtering and known methods. The advantage of subband optimal filtering is shown as in the spatial domain and in the field of spatial frequencies.

Keywords: image, noise, subband matrix, filtration, error.