

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Факультет Микроприборов и технической кибернетики (МПиТК)  
Кафедра Вычислительной техники

ВЫПУСКНАЯ РАБОТА  
НА ТЕМУ:

Устранение смазы на изображении при съёмке с большой выдержкой

Студент \_\_\_\_\_ (Панфилова К.В.)

(подпись)

Руководитель \_\_\_\_\_ (Умняшкин С.В.)

(подпись)

Консультант \_\_\_\_\_ (Умняшкин С.В.)

(подпись)

Москва, 2014 г.

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>2</b>
<b>1 Теоретические основы методов восстановления изображений</b>	<b>4</b>
1.1 Модель искажения . . . . .	4
1.2 Методы устранения искажения . . . . .	7
1.2.1 Инверсная фильтрация . . . . .	7
1.2.2 Фильтр Винера . . . . .	8
1.2.3 Регуляризация по Тихонову . . . . .	9
1.2.4 Метод Люси-Ричардсона . . . . .	12
1.2.5 Слепая деконволюция . . . . .	12
1.3 Оценка уровня шума . . . . .	13
1.4 Оценка оператора смаза . . . . .	14
1.5 Выводы . . . . .	16
<b>2 Программная реализация восстановления изображений в среде MATLAB</b>	<b>18</b>
2.1 Методы устранения искажений . . . . .	18
2.2 Определение параметров шума . . . . .	22
2.3 Определение параметров смаза . . . . .	22
2.4 Выводы . . . . .	23
<b>3 Результаты экспериментов</b>	<b>24</b>
3.1 Сравнение работоспособности методов при искусственных искажениях . . . . .	25
3.1.1 Моделирование искажённых изображений . . . . .	25
3.1.2 Оценка точности определения параметров искажения . . . . .	26
3.1.3 Инверсная фильтрация . . . . .	26

3.1.4	Оценка работоспособности методов для искусственно иска- жённых изображений . . . . .	28
3.2	Восстановление реальных искажённых изображений . . . . .	44
3.3	Выводы . . . . .	47
<b>Заключение</b>		<b>48</b>
<b>Литература</b>		<b>49</b>
<b>Приложение 1.</b>	Программная реализация методов	50
<b>Приложение 2.</b>	Результаты обработки изображения (fox.jpg)	54
<b>Приложение 3.</b>	Результаты обработки изображения (document.jpg)	64

# Введение

Процесс формирования изображений несовершенен. Существует множество причин ухудшения качества и потери информативности изображений, например, недостаточное освещение или движение во время съёмки. Поэтому задача восстановления искажённых изображений является всегда актуальной.

Из-за движения объекта относительно регистрирующей системы может возникнуть смаз. В настоящее время почти все фотокамеры можно настроить вручную и задать длину выдержки. Но если этот параметр задать неверно для конкретного случая, то система не сможет запечатлеть нужный кадр и на изображении будет наблюдаться смаз, следовательно извлечь из снимка полезную информацию будет сложно. Ещё одной причиной потери качества изображения является шум. Причин для его возникновения много: неидеальность пропускающей среды, процесс записи изображения, ошибки измерения и квантования сигнала, недостаточное освещение и так далее. Чаще всего, шум не зависит ни от изображения, ни от смаза. Благодаря чему можно получить о нём необходимую информацию.

В данной работе будут рассмотрены методы восстановления изображений, которые предназначены для их реконструкции. Процесс восстановления, по сравнению с улучшением изображений, имеет объективный характер, использует априорную информацию о факторе, из-за которого качество изображения было потеряно. Для этого необходимо моделирование искажения и применение процедур, обращающих его воздействие.

Искажение изображения часто можно описать операцией его свёртки с импульсной характеристикой искажающего фильтра. Значит, для устранения этого искажения необходимо провести так называемую обратную свёртку (деконволюцию), используя знания о фильтре. Это и есть операция восстановления изображения.

Целью данной работы является разработка метода, который будет принимать на вход искажённое изображение и восстанавливать его, моделируя оператор ис-

кажения. Для достижения этой цели, необходимо поставить и решить следующие задачи:

- Изучить существующие методы восстановления изображений и исследовать качество их работы.
- Разработать метод оценки величины шума на искажённом изображении.
- Разработать метод оценки оператора смаза.
- Программно реализовать алгоритм, который будет выбирать метод восстановления изображения, на основе найденных или известных параметров искажения.

В первой главе рассмотрена теория, связанная с моделью искажения, оценки его параметров и методов устранения.

Во второй главе описываются программные решения, с помощью которых происходит оценка качества работы алгоритмов, определение параметров смаза и шума.

В третьей главе приводятся результаты работы методов. На их основе разработан общий алгоритм, который восстанавливает изображение в зависимости от найденных или известных параметров искажения.

# Глава 1

## Теоретические основы методов восстановления изображений

### 1.1 Модель искажения

Сцена, подлежащая съёмке, является трёхмерной. С помощью записывающей системы (камеры) она проецируется на двумерную плоскость – изображение. Под изображением мы понимаем двумерный дискретный сигнал  $f(x, y)$ , где  $0 \leq x \leq M, 0 \leq y \leq N$ , ( $N, M$  - высота и ширина изображения соответственно). В данной работе рассматривается обработка только полутоновых изображений, где  $f(x, y)$  представляет собой яркость в точке с целочисленными координатами  $(x, y)$ .

Считаем, что формирования искажённого изображения  $g(x, y)$  является линейным процессом, который можно представить как выходные данные системы (рисунок 1.1), которая описывается следующим образом [3, стр. 332]:

$$g(x, y) = h(x, y) * * f(x, y) + \eta(x, y), \quad (1.1)$$

где  $<*>$  — операция двумерной свёртки изображения  $f$ , имеющего размеры  $M \times N$ , и фильтра с импульсной характеристикой фильтра  $h$  размерами  $m \times n$ ,

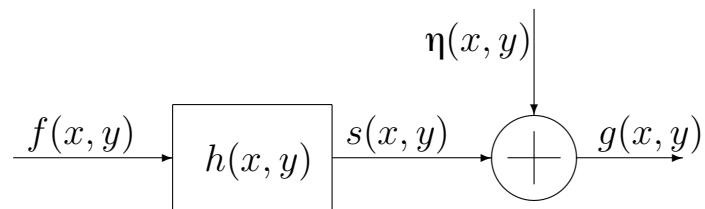


Рис. 1.1: Линейная система искажения изображения

определяемая следующим выражением [3, стр. 187]:

$$h(x, y) * * f(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b h(s, t) f(x - s, y - t), \quad (1.2)$$

где  $a = (m - 1)/2$  и  $b = (n - 1)/2$ .

**Определение.** Двумерная импульсная характеристика (или функция рассеяния точки, ФРТ) – реакция двумерной дискретной системы на единичный импульс

$$\delta(n, m) = \begin{cases} 1, & n = m = 0 \\ 0, & n \neq 0, m \neq 0 \end{cases}.$$

Процесс, описанный формулой 1.1, разъясняется следующим образом: исходное изображение  $f(x, y)$  подвергается воздействию оператора смаза с импульсной характеристикой  $h(x, y)$ , как правило, неизвестной заранее. Из-за несовершенства съёмки, к искажению добавляется шум, который считается аддитивным случайным процессом, некоррелированным с изображением.

Операция свёртки в пространственной области эквивалентна умножению в частотной области (см. [7, стр. 36]). Следовательно, процесс искажения можно представить следующим образом:

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v), \quad (1.3)$$

где  $G(u, v), H(u, v), F(u, v), N(u, v)$  – фурье-образы  $g(x, y), h(x, y), f(x, y), \eta(x, y)$  соответственно, полученные с помощью дискретного преобразования Фурье (см. [3, стр. 238]):

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-i2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (1.4)$$

$$u = 0, 1, \dots, M - 1,$$

$$v = 0, 1, \dots, N - 1.$$

Например,  $G(u, v) = \mathcal{F}\{g(x, y)\}$ . Аналогично, по фурье-образу можно получить  $g(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{G(u, v)\}$ , используя обратное преобразование Фурье:

$$f(u, v) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{i2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (1.5)$$

$$x = 0, 1, \dots, M - 1,$$

$$y = 0, 1, \dots, N - 1.$$

Смаз на изображении всегда возникает при относительном движении камеры и объекта. Для определения импульсной характеристики оператора искажения, рассмотрим случай, когда камера перемещается с постоянной горизонтальной скоростью относительно сцены. В дискретном случае [2]:

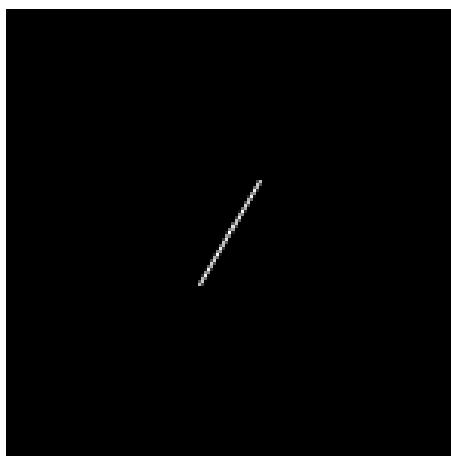
$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{L+1} & 0 \leq y \leq L, x = 0 \\ 0 & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (1.6)$$

где  $L$  - величина смазы, то есть количество дополнительных точек изображения, соответствующих одной точке объекта. Выражение (1.6) является одним из вариантов функции рассеяния точки.

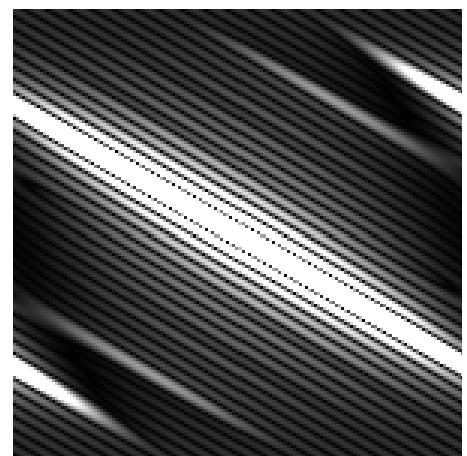
Частотная характеристика данного оператора искажения определяется выражением [2]:

$$H(u, v) = \frac{1}{L+1} e^{-i(\frac{L\pi}{N}m)} \frac{\sin \frac{\pi(L+1)u}{N}}{\sin \frac{\pi u}{N}} \quad (1.7)$$

На рисунке 1.2 изображены импульсная и частотная характеристики смаза в 40 пикселей под углом  $60^0$ . Частотная характеристика состоит из параллельных



a)



b)

Рис. 1.2: Смаз величиной в 40 пикселей под углом  $60^0$ : а) Импульсная характеристика б) Амплитудно-частотная характеристика

линий с углом наклона  $60^0$ . АЧХ (1.7) имеет нули в точках кратных величине смаза. Таким образом, на рисунке 1.2 расстояние между параллельными линиями равно  $1/40$ . Угол наклона линий на рисунке 1.2b характеризует угол смазы (см. [2]).

## 1.2 Методы устранения искажения

Так как процесс искажения изображения описывается свёрткой, то для восстановления необходимо провести обратную операцию – деконволюцию. Методы для решения этой задачи делятся на пространственные и частотные, итерационные и неитерационные. В настоящей работе рассмотрим некоторые из этих методов.

### 1.2.1 Инверсная фильтрация

Исходя из информации о формировании изображения и представлении этого процесса в частотной области (1.3), инверсная фильтрация предполагает оценку для спектра восстановленного изображения  $\hat{F}(u, v)$  как частное от деления фурьеобраза искажённого изображения на частотную характеристику оператора смазы

$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)}. \quad (1.8)$$

Из (1.3) и (1.8) следует, что

$$\hat{F}(u, v) = F(u, v) + \frac{N(u, v)}{H(u, v)}. \quad (1.9)$$

Инверсная фильтрация имеет ряд недостатков. Во-первых, шум является случайной величиной и мы не знаем его значение, во-вторых, когда частотная характеристика близка к нулю, второе слагаемое в (1.9) вносит очень больший вклад в сумму. Существует несколько способов обойти эту проблему. Например, можно рассматривать частотную характеристику  $H(u, v)$  только в ограниченной области низких частот. Так как значение  $H(0, 0)$  является средним (*DC*) значением  $h(x, y)$  и, как правило, самым большим по значению в частотной области, то ограничивая рассмотрение частот низкочастотной областью, мы уменьшаем вероятность встретить нулевые элементы  $H(u, v)$ .

Ввиду несовершенства регистрирующих систем, изображения не застрахова-

ны от шума. Зачастую вклад шума является слишком большим, и изображение перестаёт нести в себе информацию. Поэтому можно назвать ещё один недостаток инверсной фильтрации: второе слагаемое выражения (1.9) в ситуации с большим уровнем шума будет вносить существенный вклад в фурье-образ изображения, что внесёт ещё большие искажения.

### 1.2.2 Фильтр Винера

Рассматривая инверсную фильтрацию, мы говорили, что одним из её недостатков является неспособность корректно восстанавливать зашумлённое изображение. Поэтому разработаны методы, которые учитывают и свойства функции рассеяния точки (ФРТ), и статические свойства шума. Один из них – винеровская фильтрация. Основная идея этого алгоритма деконволюции заключается в следующем: изображение и шум рассматриваются как случайные процессы. Ставится следующая задача: необходимо найти такую оценку  $\hat{f}$  для исходного изображения  $f$ , чтобы среднеквадратичное отклонение  $e$  этих величин друг от друга было минимальным. Определим эту величину следующим образом:

$$e^2 = E\{(f - \hat{f})^2\} \quad (1.10)$$

где  $E\{\cdot\}$  – операция математического ожидания.

Предполагается, что следующие условия выполняются [3, стр. 391]:

- Шум и изображение не коррелированы между собой
- Либо шум, либо исходное изображение имеют нулевое среднее значение (математическое ожидание)
- Оценка  $\hat{f}$  линейно зависит от искажённого изображения

При выполнении этих условий среднеквадратичное отклонение (1.10) достигает минимума для функции  $\hat{f}$ , фурье-образ которой имеет вид (см. [3, стр. 391]):

$$\begin{aligned} \hat{F}(u, v) &= \left( \frac{H^*(u, v)S_f(u, v)}{S_f(u, v)|H(u, v)|^2 + S_\eta(u, v)} \right) G(u, v) = \\ &= \left( \frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + S_\eta(u, v)/S_f(u, v)} \right) G(u, v) = \\ &= \left( \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + S_\eta(u, v)/S_f(u, v)} \right) G(u, v) \end{aligned} \quad (1.11)$$

где  $S_f(u, v) = |F(u, v)|^2$  – энергетический спектр изображения, а  $S_\eta(u, v) = |N(u, v)|^2$  – энергетический спектр шума,  $H^*(u, v)$  – комплексное сопряжение  $H(u, v)$ , а  $|H(u, v)|^2 = H^*(u, v) \cdot H(u, v)$ .

Такой вид оценки для спектра изображения был получен американским математиком Норбертом Винером в 1942 году. Если в искажении не будет участвовать шум (энергетический спектр шума будет равен нулю), то винеровская фильтрация сводится к инверсной. Также, решена проблема с бесконечными значениями  $\hat{F}(u, v)$ . В (1.11) видно, что если  $H(u, v)$  будет равна нулю, то и спектр искажённого изображения  $G(u, v)$  тоже будет равен нулю.

На практике получить точные значения энергетических спектров шума и изображения бывает затруднительно, поэтому часто используют приближение формулы (1.11):

$$\hat{F}(u, v) = \left( \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H^*(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + K} \right) G(u, v) \quad (1.12)$$

где  $K$  – определённая константа, которая подбирается эмпирически так, чтобы обеспечить наилучшее качество восстановления.

### 1.2.3 Регуляризация по Тихонову

Не всегда с помощью приближения отношения энергетических спектров шума и изображения константой  $K$  в формуле (1.12) можно получить удовлетворительный результат восстановления, так как значения энергетических спектров сигнала и шума достоверно не известны, а оценка  $K$  может оказаться ошибочной. Существуют методы, где достаточно воспользоваться только средним значением и дисперсией шума. Один из таких методов – регуляризация по Тихонову (см. [3, стр. 395]).

Запишем процесс искажения изображения в матричном виде

$$\mathbf{g} = \mathbf{H}\mathbf{f} + \boldsymbol{\xi}, \quad (1.13)$$

где векторы  $\mathbf{g}$ ,  $\mathbf{f}$  и  $\boldsymbol{\xi}$  формируются следующим образом: изображение  $g(x, y)$  имеет размер  $M \times N$ , тогда перепишем эту матрицу по строкам в вектор  $\mathbf{g}$  размером  $MN$ , аналогичные операции проводятся для векторов  $\mathbf{f}$  и  $\boldsymbol{\xi}$ . Матрица  $\mathbf{H}$  соответственно будет иметь размер  $MN \times MN$ . Она плохо обусловлена ( $|\mathbf{H}| \cong 0$ ), следовательно, задача (1.13) некорректна. Её решение, если существует, очень неустойчиво к шуму  $\boldsymbol{\eta}$ . Чтобы решить некорректно поставленную задачу проведём её регуляри-

зацию – заменим на задачу нахождения экстремума некоторого сглаживающего функционала  $C[f]$ . Этот подход называется тихоновским методом регуляризации, в честь советского математика Андрея Николаевича Тихонова. В качестве функционала было предложено использовать квадрат нормы лапласиана [3, стр. 397]:

$$C[f] = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (\nabla^2 f(x, y))^2, \quad (1.14)$$

с ограничением вида

$$\|\mathbf{g} - \mathbf{H}\hat{\mathbf{f}}\|^2 = \|\boldsymbol{\xi}\|^2, \quad (1.15)$$

где  $\|\mathbf{w}\|^2 = \mathbf{w}^T \mathbf{w}$  – евклидова норма вектора  $\mathbf{w}$  (если  $\mathbf{w}$  –  $n$ -компонентный вектор, то  $\mathbf{w}^T \mathbf{w} = \sum_{k=1}^n w_k^2$ ), а  $\hat{\mathbf{f}}$  – оценка исходного изображения. Оператор Лапласа в непрерывном случае определяется следующим образом:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}. \quad (1.16)$$

Решение задачи (1.14) с дополнительным условием (1.15) в частотной области представляется выражением [3, стр. 397]:

$$\hat{F}(u, v) = \left( \frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + \gamma|P(u, v)|^2} \right) G(u, v), \quad (1.17)$$

где от выбора значения параметра регуляризации  $\gamma$  зависит выполнение условия (1.15);  $P(u, v)$  – частотное представление дискретного аналога оператора Лапласа (1.16) (см. [3, стр. 397]):

$$p(x, y) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (1.18)$$

Если  $\gamma = 0$ , то фильтрация по Тихонову вырождается в инверсную фильтрацию.

Выбор значения  $\gamma$  является важной задачей. Рассмотрим один из методов подбора величины  $\gamma$  – итерационный.

Определим вектор невязки

$$\mathbf{r} = \mathbf{g} - \mathbf{H}\hat{\mathbf{f}}. \quad (1.19)$$

Из (1.17) следует, что решение  $\hat{F}(u, v)$  можно представить как функцию от  $\gamma$ , значит и вектор невязки (1.19) тоже зависит от этого параметра. Можно представить функционал невязки

$$\varphi(\gamma) = \mathbf{r}^T \mathbf{r} = \|\mathbf{r}\|^2, \quad (1.20)$$

который является монотонной функцией параметра  $\gamma$ . Потребуем, чтобы выполнялось условие

$$\|\xi\|^2 - \varepsilon \leq \|\mathbf{r}\|^2 \leq \|\xi\|^2 + \varepsilon, \quad (1.21)$$

где  $\varepsilon$  – показатель точности. Определим последовательность шагов для нахождения  $\gamma$ :

1. Выбрать начальное приближение  $\gamma_0$ .
2. Вычислить  $\|\mathbf{r}\|^2$ .
3. Удовлетворяет ли  $\|\mathbf{r}\|^2$  условие (1.21)? Если да, то закончить поиск. Если  $\|\mathbf{r}\|^2 < \|\xi\|^2 - \varepsilon$  – уменьшить значение параметра  $\gamma$ , иначе – увеличить и перейти на второй шаг.

Параметр  $\gamma$  можно найти быстрее, если воспользоваться итерационным методом Ньютона [3, стр. 400].

В алгоритме необходимо вычислять значение  $\|\mathbf{r}\|^2$ . Это можно осуществить следующим образом, учитывая равенства Парсеваля:

$$\|\mathbf{r}\|^2 = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} r^2(x, y) = MN \|\mathbf{R}\|^2 = MN \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} R^2(u, v), \quad (1.22)$$

где  $R(u, v) = G(u, v) - H(u, v)\hat{F}(u, v)$ , а  $M, N$  – высота и ширина изображения соответственно.

Для оценки  $\|\eta\|^2$  достаточно знать оценки среднеквадратичного отклонения и математического ожидания шума:

$$\sigma_\eta^2 = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (\eta(x, y) - m_\eta)^2 \quad (1.23)$$

$$m_\eta = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \eta(x, y) \quad (1.24)$$

Из формул (1.23) и (1.24) следует:

$$\|\eta\|^2 = MN(\sigma_\eta^2 + m_\eta^2). \quad (1.25)$$

#### 1.2.4 Метод Люси-Ричардсона

Недостатком рассмотренных выше методов является то, что результат их работы очень сильно зависит от точности определения ФРТ. Поэтому сейчас всё более распространёнными становятся итерационные методы восстановления изображений. Вычислительная мощность компьютеров растёт, а следовательно и затраты на итерации становятся менее существенными. Один из таких методов – алгоритм Люси-Ричардсона. Этот подход был разработан независимо друг от друга Л.Б. Люси [11] в 1972 и В. Х. Ричардсоном [13] в 1974 годах и назван алгоритмом Люси-Ричардсона. Этот метод формулируется в терминах метода максимального правдоподобия, в котором изображение моделируется в виде статистик Пуассона. Максимизация функции правдоподобия приводит к уравнению, которое выполняется при условии сходимости следующих итераций (см. [4, стр. 190]):

$$\hat{f}_{k+1}(x, y) = \hat{f}_k(x, y) \left[ h(-x, -y) * * \frac{g(x, y)}{h(x, y) * * \hat{f}_k(x, y)} \right], \quad (1.26)$$

где  $< * * >$  – операция свёртки, определённая в (1.2), а  $\hat{f}_k(x, y)$  – восстановленное изображение на  $k$ -ой итерации.

Вопрос, который в данном алгоритме является основным – какое число итераций является оптимальным? На этот вопрос нет универсального ответа. В каждом конкретном случае число итераций индивидуально. Один из способов подбора этого числа – вывод промежуточных результатов на экран и остановка алгоритма в случае, если визуально восстановленное изображение близко к неискажённому.

#### 1.2.5 Слепая деконволюция

Получение данных об искажении является одной из самых сложных проблем, возникающих при восстановлении изображения. Поэтому были разработаны методы, которые не требуют явных знаний об импульсной характеристике – алгоритмы слепой деконволюции. Один из самых популярных в последнее время основан на приближении по максимуму правдоподобия [10]. Считается, что изображение

выбирается случайным образом с некоторой вероятностью из семейства других возможных величин. Необходимо найти максимум функции правдоподобия, которая выражается через функции  $g(x, y)$ ,  $f(x, y)$  и  $h(x, y)$ . Задача оптимизации решается итеративно при выполнении необходимых ограничений и при условии сходимости всей процедуры.

Пара функций  $f(x, y)$  и  $h(x, y)$ , при которых достигается максимум функции правдоподобия считают восстановленным изображением и ФРТ соответственно.

### 1.3 Оценка уровня шума

Чаще всего, методы восстановления изображения требуют информацию о параметрах шума, который воздействует на изображение. Для того, чтобы определить эти параметры, введём следующие предположения:

- Шум является аддитивным гауссовым белым шумом, то есть его спектр мощности – постоянная величина, а отсчёты не коррелированы между собой.
- Шум не коррелирует с изображением и не зависит от пространственных координат.

Задача состоит в построении оценки для  $\sigma_\eta$  – среднеквадратичного отклонения шума. Будем решать её в частотной области, с помощью фурье-спектра изображения. Из рисунка 1.3 видно, что присутствие шума можно обнаружить по спектру изображения даже визуально (пики особенно видны по углам спектра). Но этого недостаточно для определения параметров шума.

Рассмотрим процесс искажения в частотной области:

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v)$$

Основная информация изображения сосредоточена в области низких частот (см. рисунок 1.3а). Следовательно, в области верхних частот значения  $F(u, v)$  близки к 0 и вкладом первого слагаемого в (1.3) можно пренебречь в этой области. Аддитивный шум обычно является белым, значит  $N(u, v) = const$ . Следовательно, в области верхних частот основным является только вклад шума (см. рисунок 1.3б). Таким образом, для получения оценки спектра белого шума, будем использовать высокочастотную область частотного представления искажённого

изображения. Из информации, которая содержится в этой области, можно найти среднеквадратичное отклонение шума. Воспользуемся следующей формулой:

$$\sigma_{\eta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=\frac{M}{2}-\frac{P}{2}}^{\frac{M}{2}+\frac{P}{2}} \sum_{j=\frac{N}{2}-\frac{Q}{2}}^{\frac{N}{2}+\frac{Q}{2}} |G(i, j)|^2}{(P + 1)(Q + 1)}}, \quad (1.27)$$

где  $(P + 1)$  и  $(Q + 1)$  – размеры рассматриваемой высокочастотной области,  $M$  и  $N$  – размеры изображения,  $G(u, v)$  – спектр искажённого изображения.

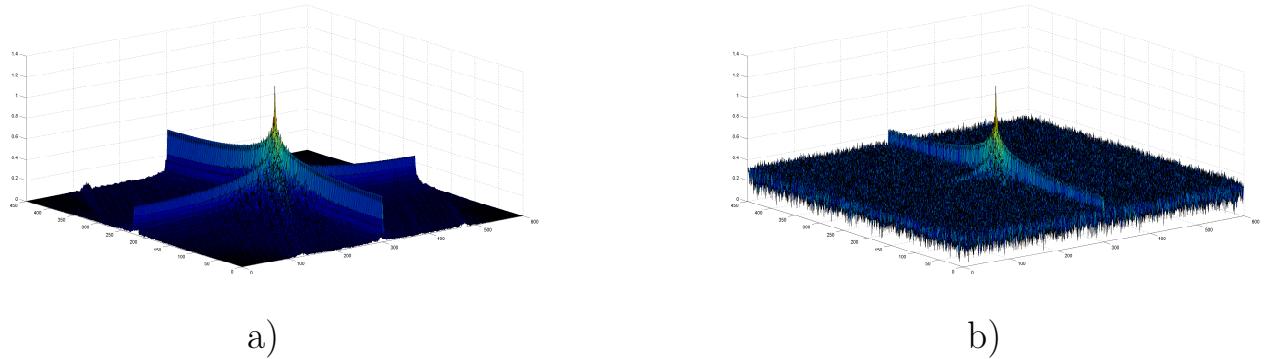


Рис. 1.3: а) Спектр изображения подверженного только оператору смаза с параметрами: смаз - 50 пикселей, угол -  $30^0$ . б) Изображение с тем же смазом и шумом  $\sigma_{\eta} = 3 * 10^{-2}$  (уровень шума относительно изображения равен  $-29.4$  дБ)

## 1.4 Оценка оператора смаза

Как уже было сказано ранее, по спектру искажённого изображения визуально можно определить и величину, и угол смаза. Например, на рисунке 1.4 угол смаза равен  $30^0$ , а величина смаза – 50 пикселей (величина обратная расстоянию между полосами, в которых значение спектра равно нулю), но определение этих величин по частотному представлению изображения затруднительно. Для корректной работы рассмотренных методов важно как можно точнее оценить ФРТ. Один из способов это сделать: использовать кепстр изображения  $\hat{g}(x, y)$  (см. [12]).

**Определение.** Кепстр изображения  $\hat{g}(x, y)$  – это обратное преобразование Фурье от логарифма амплитуды спектра изображения.

$$\hat{g}(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{\log |G(u, v)|\}, \quad (1.28)$$

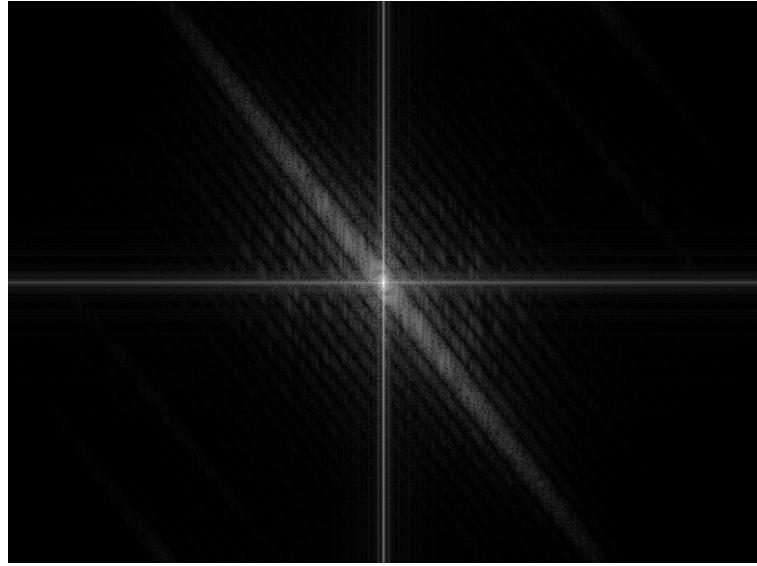


Рис. 1.4: Спектр изображения со смазом 50 пикселей и направлением движения -  $30^0$

где  $G(u, v) = \mathcal{F}\{g(x, y)\}$  – частотное представление искажённого изображения. Название ”кепстр” было получено перестановкой первых четырёх букв слова ”спектр”.

Одним из основных свойств кепстра является то, что при свёртке двух сигналов их кепстры складываются. То есть, если

$$g(x, y) = h(x, y) * * f(x, y), \quad (1.29)$$

то

$$\hat{g}(x, y) = \hat{h}(x, y) + \hat{f}(x, y). \quad (1.30)$$

При линейном горизонтальном размытии частотную характеристику искажения можно записать в виде (1.7):

$$H(u, v) = \frac{1}{L+1} e^{-i(\frac{L\pi}{N}m)} \frac{\sin \frac{\pi(L+1)u}{N}}{\sin \frac{\pi u}{N}}.$$

Она имеет нули в целочисленных точках, кратных  $N/L + 1$ , поэтому  $\hat{h}$  имеет большой отрицательный пик на расстоянии  $L$  от начала координат. Следовательно, кепстр искажённого изображения  $\hat{g}(x, y)$  тоже обладает таким пиком, который сообщает о наличии искажения и его расположении.

На рисунке 1.5 изображён кепстр искажённого изображения. В центре находится координата  $(0, 0)$ . Симметрично относительно неё, под углом 45 градусов и

на расстоянии 40 единиц, расположены пики. Найдя их координаты, можем рас считать величину и угол смаза. Такой способ позволяет определить искажение достаточно точно, различие с настоящими параметрами в абсолюте достигают одной-двух единиц.

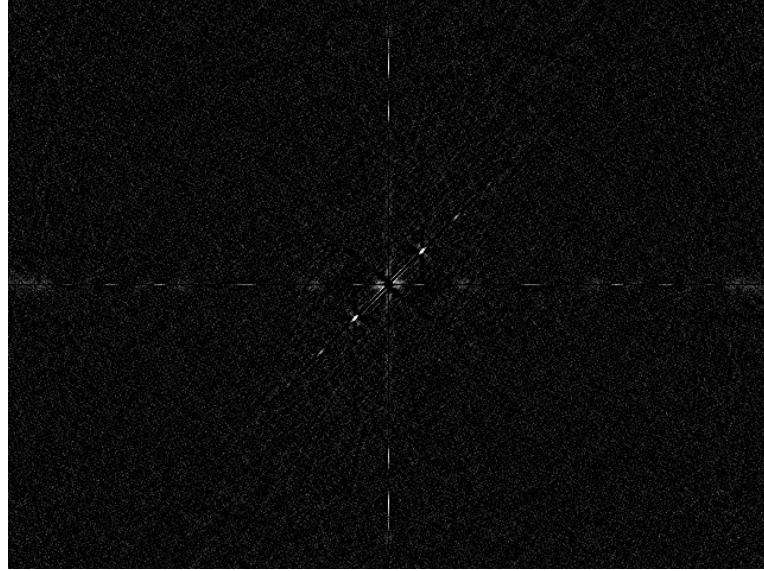


Рис. 1.5: Кепстр изображения с параметрами искажения: величина смаза – 40 пикселей, угол –  $45^0$ , шум  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$  (уровень шума относительно изображения – 49.4 дБ)

*Примечание:* При больших шумах ( $\sigma_\eta \geq 2 * 10^{-2}$ ) определение параметров размытия по кепстру становится невозможным, так как вклад шума слишком велик и зачастую максимум кепстра приходится именно на случайные составляющие шума, что видно на рисунке 1.6.

## 1.5 Выводы

Было рассмотрено 5 основных методов восстановления изображений. По каждому из них сделаны выводы – обобщим их:

- Инверсная фильтрация малопригодна для восстановления изображений, подверженные воздействию шума.
- При работе с фильтром Винера может возникнуть сложность с оценкой энергетических спектров шума и изображения.
- Для регуляризации по Тихонову существует алгоритм нахождения значения  $\gamma$ , что упрощает устранение искажения.

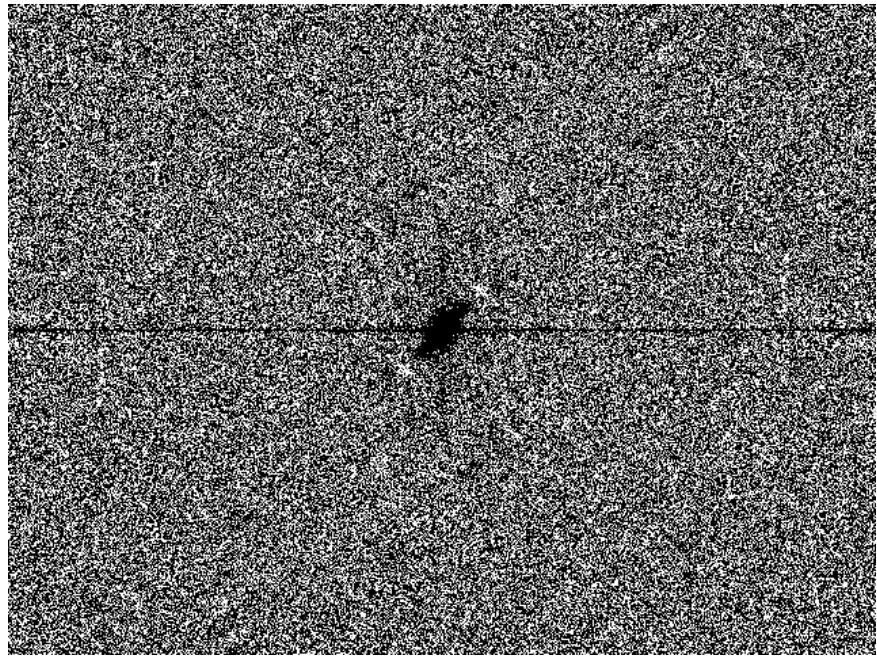


Рис. 1.6: Кепстр изображения с параметрами искажения: величина смаза – 40 пикселей, угол –  $45^0$ , шум  $\sigma_\eta = 6 * 10^{-2}$

- Итеративные методы сейчас, а тем более в будущем, не будут представлять собой проблемы из-за большой вычислительной сложности, так как мощность вычислительной техники растёт.
- Метод слепой деконволюции может восстановить изображение даже, если мы не можем точно определить ФРТ. Её знание необходимо для работы неитерационных методов.
- Оценка шума основана на том, что шум является белым и не коррелирует с изображением.
- Оценка оператора смаза может производиться на основе кепстра изображения.

## Глава 2

# Программная реализация восстановления изображений в среде MATLAB

### 2.1 Методы устранения искажений

Для исследований был использовано расширение среды MATLAB – Image Processing Toolbox [4].

#### Инверсная фильтрация, фильтр Винера

Фильтр Винера реализован в MATLAB в виде функции `deconvwr`. Примем за  $F$  восстановленное изображение, а за  $I$  – искажённое.

$$F = \text{deconvwr}(I, PSF, NSR),$$

где  $NSR$  – соотношение сигнал/шум, которое может быть как числом, так и массивом чисел.  $PSF$  – пространственный фильтр, который характеризует размытие, то есть ФРТ. Для моделирования ФРТ оператора смаза используют следующую функцию:

$$PSF = \text{fspecial}('motion', len, theta),$$

с параметрами  $len$  – величина рассеяния в пикселях и  $theta$  – направление движения, угол смаза в градусах относительно положительной горизонтальной полосы против часовой стрелки. По умолчанию:  $len = 9$ ,  $theta = 0$ , что соответствует

смазу на 9 пикселей в горизонтальном направлении. Например, фильтр с параметрами (6, 30) будет выглядеть следующим образом:

```
>> PSF = fspecial('motion', 6, 30)
```

$$\text{PSF} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0387 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0224 & 0.1059 & 0.1446 & 0.0214 \\ 0 & 0 & 0.0835 & 0.1670 & 0.0835 & 0 & 0 \\ 0.0214 & 0.1446 & 0.1059 & 0.0224 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0387 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Для инверсной фильтрации изображения (не учитываем влияние шума) используем функцию в следующем виде:

```
F = deconvnr(I, PSF).
```

Для деконволюции с помощью фильтра Винера синтаксис функции будет выглядеть следующим:

```
F = deconvnr(I, PSF, NSR),
```

как было сказано выше, NSR – соотношение сигнал/шум для искажённого изображения.

## Регуляризация по Тихонову

В среде MATLAB тихоновская регуляризация реализована в виде функции

```
F = deconvreg(I, PSF, NOISEPOWER, LRANGE),
```

где I – искажённое изображение, F – восстановленное изображение, PSF – функция рассеяния точки, NOISEPOWER – параметр шума пропорциональный  $\|\eta\|^2$  (по умолчанию равен 0), LRANGE – диапазон для поиска оптимального значения  $\gamma$  (по умолчанию это интервал  $[10^{-9}, 10^9]$ ).

Если параметров NOISEPOWER и LRANGE в вызове функции нет, то будет осуществлена инверсная фильтрация изображения.

Обычно в качестве начального приближения для параметра NOISEPOWER используют число  $MN(\sigma_\eta^2 + m_\eta^2)$ , где  $M, N$  – размеры изображения, а  $\sigma_\eta$  и  $m_\eta$  –

среднеквадратичное отклонение и среднее значение шума соответственно [4, стр. 188]. Эта величина является лишь первым приближением. Если результат оказался неудовлетворительным, то следует выбрать другое значение. Вместе с параметром NOISEPOWER изменится и LRANGE. При уменьшение первого в 10 раз стоит изменить границы интервала, умножив правую на  $10^{-3}$ , а левую границу на  $10^3$ .

## Метод Люси-Ричарсона

Для восстановления изображения с помощью алгоритма Люси-Ричардсона необходимо воспользоваться функцией `deconvlucy`. Синтаксис этой функции следующий:

$$F = \text{deconvlucy}(I, PSF, NUMIP, DAMPAR, WEIGHT),$$

где  $F$  – восстановленное изображение,  $I$  – искажённое изображение,  $PSF$  – ФРТ,  $NUMIP$  – количество итераций (по умолчанию это число равно 10).

Величина  $DAMPAR$  – это скаляр, который определяет порог отклонения результата от изображения  $I$ . Для пикселей, отклонение значений для которых не больше этого порога, процесс восстановления не продолжается. Это помогает бороться с шумом в них и сохранять детали изображения. По умолчанию значение  $DAMPAR = 0$ , то есть порога для остановки нет.

Параметр  $WEIGHT$  является массивом и определяет весовое значение каждого пикселя. Размер этого массива равен размеру самого изображения. Обычно этот параметр используют для исключения из вычислений пикселей, которые находятся на границе изображения и которые размывают ФРТ. Это помогает избежать появления таких артефактов, как например, на рисунке 2.1.

## Слепая деконволюция

В среде MATLAB метод слепой деконволюции реализован функцией `deconvblind` со следующим синтаксисом:

$$[F PSF] = \text{deconvblind}(I, INITPSF, NUMIP, DAMPAR, WEIGHT),$$

где  $F$  – восстановленное изображение на основе найденного  $PSF$ ,  $I$  – искажённое изображение,  $INITPSF$  – начальное приближение для ФРТ,  $NUMIP$  – количество итераций восстановления, параметры  $DAMPAR$  и  $WEIGHT$  характеризуют порог для



a)

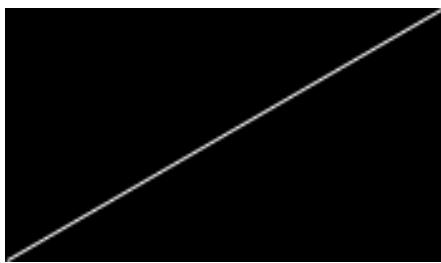


b)

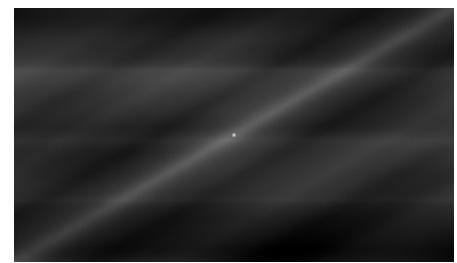
Рис. 2.1: Восстановленное изображение (параметры смаза: величина – 60, угол – 56, шум:  $\sigma_\eta = 5 * 10^{-3}$ ) методом Люси-Ричардсона. Количество итераций – 50: а) без использования параметров DAMPAR, WEIGHT, б) используя эти параметры

восстановленных значений пикселей и весовую функцию каждого пикселя соответственно.

Когда значения ФРТ найти тяжело или невозможно, то метод слепой деконволюции оказывается очень полезным. Можно задать лишь начальное приближение PSF – параметр INITPSF. Например, если в качестве INITPSF задать массив из одних единиц, то изображение будет качественно восстановлено. Важной характеристикой INITPSF является размерность, чем она ближе к размерности PSF, с помощью которого было искажено изображение, тем лучше. На рисунке 2.2 видно, что при использовании функции `deconvblind` можно получить достаточно точное приближение искажающей функции, даже если в качестве начального значения INITPSF задать массив из одних единиц.



a)



b)

Рис. 2.2: а) PSF, с помощью которой было искажено изображение, б) Значение PSF, которое вернула функция `deconvblind`. INITPSF является единичной матрицей

## 2.2 Определение параметров шума

В разделе 1.3 был предложен метод для оценки параметров шума, основанный на предположении, что основная информация изображения хранится в НЧ-области, а шум является аддитивным. Следовательно, можно рассмотреть лишь небольшую часть ВЧ-области искажённого изображения и определить среднеквадратичное отклонение шума  $\sigma_\eta$ . Рассмотрим функцию, которая позволяет определить величину  $\sigma_\eta$  и соотношение сигнал/шум SNR `find_noise` со следующим синтаксисом.

```
[NSR SKO] = find_noise(I),
```

где  $\text{NSR}$  – соотношение сигнал/шум искажённого изображения,  $S$  – среднеквадратичное отклонение шума на изображении,  $I$  – искажённое изображение.

Вычисление  $\sigma_\eta$  в данной функции производится в соответствии с формулой (1.27):

$$\sigma_\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=\frac{M}{2}-\frac{P}{2}}^{\frac{M}{2}+\frac{P}{2}} \sum_{j=\frac{N}{2}-\frac{Q}{2}}^{\frac{N}{2}+\frac{Q}{2}} |G(i, j)|^2}{(P + 1)(Q + 1)}},$$

где  $(P + 1)$  и  $(Q + 1)$  – размеры рассматриваемой высокочастотной области,  $M$  и  $N$  – размеры изображения,  $G(u, v)$  – спектр искажённого изображения.

В функции `find_noise`  $P$  и  $Q$  были взяты, как  $1/100$  часть от  $M$  и  $N$ .

**Примечание:** Реализация функции `find_noise` представлена в Приложении 1.

## 2.3 Определение параметров смаза

В разделе 1.4 был определён метод нахождения параметров смаза на искажённом изображении с помощью кепстрапа. Реализуем этот алгоритм в виде функции `find_PSF` со следующим синтаксисом:

```
[value angle] = find_noisePSF(I),
```

где `[value angle]` – найденные величина и угол смаза, а  $I$  – искажённое изображение.

Определение параметров смаза производится по следующему алгоритму:

1. Найдём кепстр изображения в соответствии с формулой (1.28) и будем рассматривать его с противоположным знаком:  $-\hat{g}(x, y)$ .
2. Так как кепстр симметричен относительно начала координат, то рассмотрим только одну его половину.
3. Найдём координаты максимума функции  $-\hat{g}(x, y)$ .
4. Найдём расстояние от начала координат до этого максимума – это будет величина смаза.
5. Угол наклона прямой, которая соединяет точку максимума и начало координат – угол смазы.

**Примечание:** Реализация функции `find_PSF` представлена в Приложении 1.

## 2.4 Выводы

- Для реализации деконволюции в среде MATLAB имеются следующие методы:
  - Инверсная фильтрация, фильтр Винера – `deconvwr`;
  - Регуляризация по Тихонову – `deconvreg`;
  - Метод Люси-Ричардсона – `deconvlucy`;
  - Метод слепой деконволюции – `deconvblind`.
- Реализация методов восстановления требует знания параметров шума. Для случая белого шума предложено проводить оценку среднеквадратичного отклонения этого шума –  $\sigma_\eta$ . Разработана процедура MATLAB: `find_noise` (см. Приложение 1).
- В большинстве методов восстановления изображений, которые были подвергнуты воздействию оператора смазы, необходимо знать ФРТ искажающего оператора. Предлагается оценивать ФРТ по кепстру искажённого изображения. Разработан алгоритм оценки величины и угла смазы, реализованный в виде функции `find_PSF`. Код программы приведён в Приложении 1.

## Глава 3

# Результаты экспериментов

Все эксперименты проводились на трёх изображениях. Результаты восстановления одного изображения приведены в данной главе, остальные даны в Приложении 2 и Приложении 3.

Рассмотрим изображение размером  $450 \times 600$  пикселей (рис. 3.1).



Рис. 3.1: Исходное изображение

Для оценки методов будем использовать соотношение сигнал/шум:

$$SNR = 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} I(i, j)^2}{\sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} (I(i, j) - J(i, j))^2}, \quad (3.1)$$

где  $I(i, j)$  – пиксели исходного (неискажённого) изображения,  $J(i, j)$  – отсчёты искажённого изображения,  $M, N$  – размеры области, которую мы рассматриваем для оценки. В конкретном случае, рассматриваем центральную ( $1/10$ ) часть изображения.

### 3.1 Сравнение работоспособности методов при искусственных искажениях

#### 3.1.1 Моделирование искажённых изображений

Для того, чтобы синтезировать искажённое изображение, воспользуемся функциями MATLAB [4]:

- Чтение из файла бинарного, полутонового или полноцветного изображения:

```
I = imread(filename),
```

где `filename` – имя файла с изображением и `I` - массив размером  $M \times N$  ( $M$  – высота, а  $N$  – ширина изображения), в котором одной ячейке соответствует один пиксель изображения.

- Преобразование полноцветного RGB-изображения в полутоновое:

```
I = rgb2gray(RGB),
```

где `I` – полутоновое изображение, а `RGB` – полноцветное.

- Представление каждого пикселя матрицы изображения в виде действительного числа двойной точности:

```
B = im2double(A),
```

функция преобразует изображение `A` в формат `double` и помещает результат в матрицу `B`.

- Моделирование ФРТ оператора смазы:

```
PSF = fspecial('motion', len, theta),
```

где параметр `'motion'` определяет тип искажения – смаза, `len` – длина смазы в пикселях, а параметр `theta` характеризует угол размытия относительно положительной горизонтальной полуоси против часовой стрелки в градусах.

- Искажение изображения оператором смазы

```
I.blur = imfilter(I, PSF, 'symmetric', 'conv'),
```

где  $I\_blur$  – искажённое изображение,  $I$  – исходное изображение,  $PSF$  – функция рассеяния точки, при фильтрации необходимо, чтобы края были зеркальны, это обеспечит параметр '`'symmetric'`', '`'conv'`' – искажение происходит с помощью свёртки.

- Добавление шума к изображению

```
I.noise = imnoise(I, 'gaussian', m, s2),
```

где  $I\_noise$  – зашумлённое изображение,  $I$  – исходное изображение, параметр '`'gaussian'`' характеризует то, что к изображению будет добавлен белый гауссов шум с математическим ожиданием  $m$  и дисперсией  $s^2$ .

### 3.1.2 Оценка точности определения параметров искажения

В проведённых экспериментах было выявлено, что при помощи метода, описанного в разделе 2.3, величина смазы определяется точно в 67% случаев, с ошибкой равной 1 пиксель – в 29% и 4% экспериментов отводится на ошибки равные 2 и 3 пикселям соответственно. При определении угла смазы ошибки возникали реже: точное определение угла наблюдалось в 77% случаев, а ошибка равная  $1^0$  – в 18%, остальные 5% составляют ошибки равные  $2^0, 3^0$  или  $4^0$ , причём эти 5% наблюдаются только тогда, когда угол смазы меньше  $10^0$ .

Параметры шума с использованием метода, предложенного в разделе 2.2, определяются достаточно точно. Относительная ошибка определения среднеквадратичного отклонения шума  $\sigma_\eta$  в большинстве случаев не превышает 10%. Можно считать эту точность достаточной. На рисунке 3.2 можно оценить точность, с которой определяется  $\sigma_\eta$ .

Следовательно, способы оценки параметров искажения, предложенные в разделе 2, работают с достаточной точностью для восстановления изображений.

### 3.1.3 Инверсная фильтрация

Ранее было указано, что инверсная фильтрация может обеспечить корректное восстановления искажённого изображения только в случаях отсутствия шума или его малого уровня относительно изображения. На практике же, все изображения

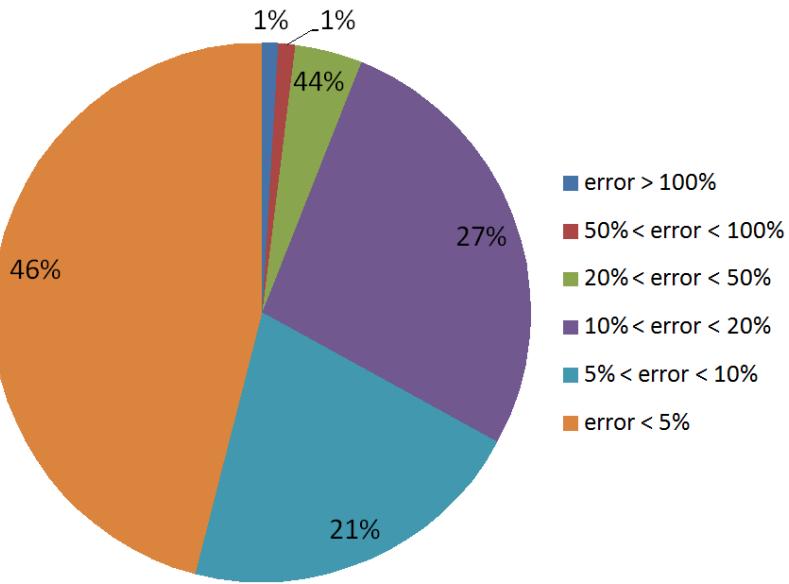


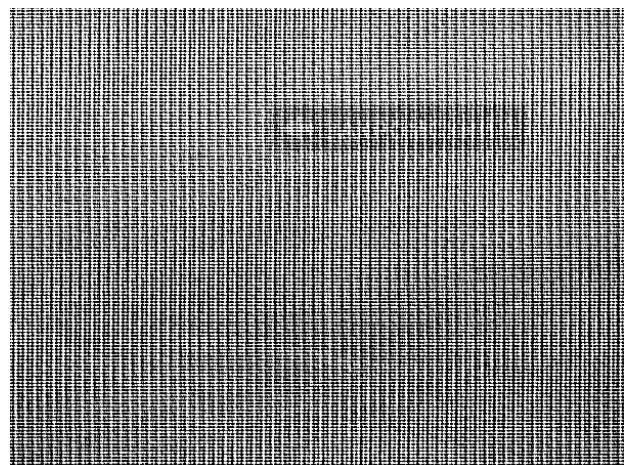
Рис. 3.2: Ошибка нахождения  $\sigma_\eta$

подвержены воздействию шума из-за разных причин: несовершенность регистрирующей системы, неблагоприятные условия съемки или помехи, возникающие в канале связи, по которому передают изображение и другие.

Таким образом, использование инверсной фильтрации, как метода восстановления искажённых изображений, не стоит рассматривать на практике. Приведём пример (см. рисунок 3.3). Так как инверсная фильтрация не справляется с зада-



a)



b)

Рис. 3.3: а) Искаженное изображение (параметры смазы: величина – 10, угол  $20^0$ , параметры шума:  $m_\eta = 0$ ,  $\sigma_\eta = 10^{-2}$  (уровень шума относительно изображения равен  $-34.1\text{dB}$ ), б) Изображение восстановленное инверсной фильтрацией

чей корректного восстановления изображений, то мы исключим её из дальнейшего рассмотрения.

### 3.1.4 Оценка работоспособности методов для искусственно искажённых изображений

Случай небольшого смаза и значительного вклада шумовой составляющей

Рассмотрим изображение, характеризующееся следующим искажением: величина смазы 10 пикселей, угол –  $20^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ . Это случай небольшого смаза и значительного вклада шумовой составляющей – уровень шума относительно изображения составляет  $-34.1\text{дБ}$ .



Рис. 3.4: Искажённое изображение (смаз: величина – 10, угол – 20, шум:  $m_\eta = 0$ ,  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-34.1\text{дБ}$ )

Рассмотрим работу неитерационных методов восстановления для этого изображения (рисунок 3.5).

Оценивая качество восстановления визуально, можно сказать, что на всех трёх изображениях смаз устраниён, но появились дополнительные искажения, в виде артефактов. На рисунке 3.5а буквы на знаке стали чётко видны, но стал заметен шум и на краях появились полосы. Решение задачи с помощью регуляризации по Тихонову с параметром  $\text{NOISEPOWER} = 27$  (рисунок 3.5б) удовлетворяет требованиям, но знак не такой чёткий, как на восстановленном с помощью фильтра Винера изображении, зато стал менее заметен вклад шума. Хотя название населённого пункта на рисунке 3.5с можно прочитать, но качество изображения стало заметно хуже, чем было до восстановления, из-за большого количества артефактов. Значения SNR, изображенные на диаграмме (рисунок 3.6), подтверждают визуальное впечатление о восстановленных изображениях. При использовании фильтра Винера и регуляризации по Тихонову с параметром  $\text{NOISEPOWER} = 0.27$ , качество изображения стало немного хуже по сравнению с тем, что было до восстановления. Регуляризация по Тихонову с параметром  $\text{NOISEPOWER} = 27$ , напротив,



a)



b)



c)

Рис. 3.5: Восстановление изображения, используя найденные параметры искажения, с помощью: а) Фильтра Винера, б) Регуляризации по Тихонову,  $\text{NOISEPOWER} = 27$ , в) Регуляризации по Тихонову,  $\text{NOISEPOWER} = 0.27$

решила задачу восстановления и значение SNR стало выше.

Рассмотрим результаты восстановления искажённого изображения (рисунок 3.4) итерационными методами (рисунок 3.7).

Оценивая результаты визуально, можно сказать, что при количестве итераций, равном 10, смаз на изображении ещё наблюдается, так как на рисунке 3.7а буквы на знаке можно прочесть только интуитивно. При 10 итерациях метода слепой деконволюции (рисунок 3.7д) знак стал более читаемым, но буквы не такие точные, как на остальных изображениях на рисунке 3.7. Если количество итераций будет слишком большим, то изображение будет искажено артефактами (рисунок 3.7с и 3.7f). Из диаграммы (рисунок 3.8) видно, что соотношение сигнал/шум с ростом количества итераций уменьшается. Значит для небольших смазов, таких как 10 пикселей, количество итераций должно быть меньше 50.

На рисунках 3.6 и 3.8 построены значения SNR при восстановлении изобра-

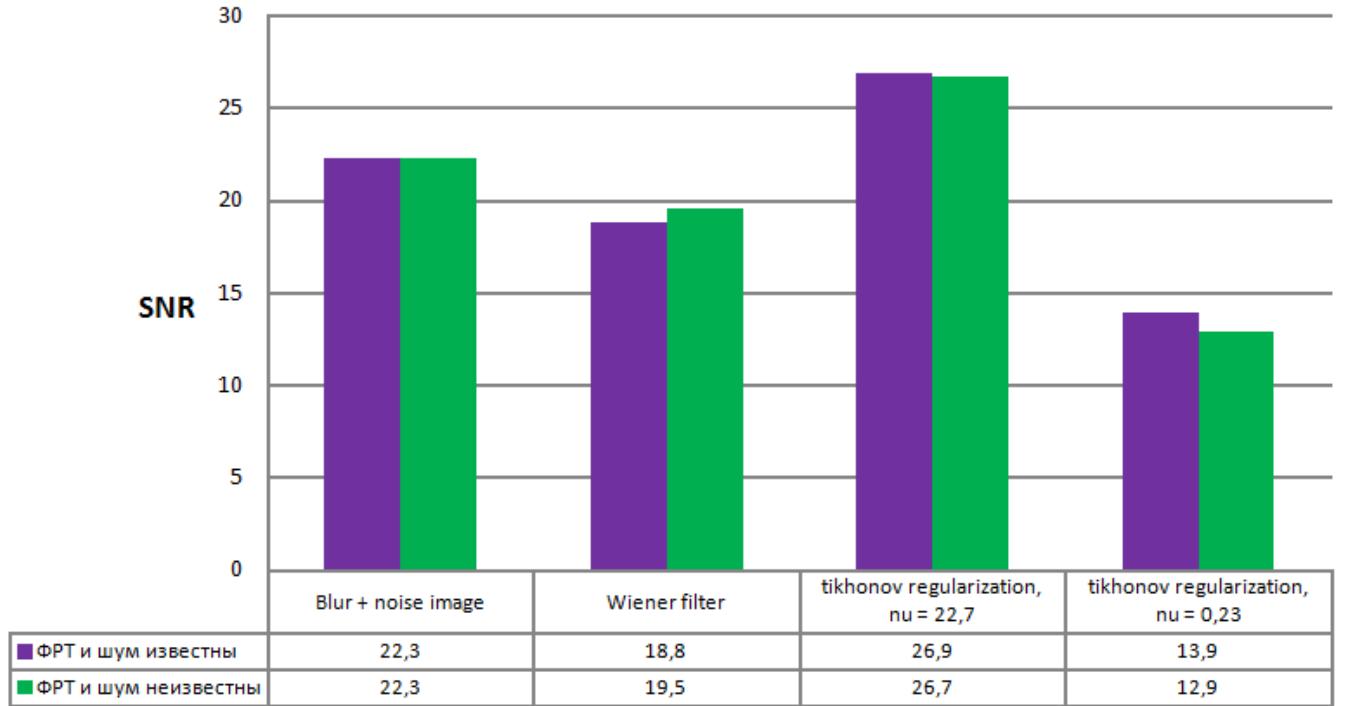


Рис. 3.6: SNR восстановленных изображений для смаза в 10 пикселей с углом  $20^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-34.1\text{dB}$

жений с известными и неизвестными параметрами искажения. Видно, что независимо от того знаем мы ФРТ и  $\sigma_\eta$  или нет, восстановленные изображения почти идентичны. Такие результаты получены, потому что параметры искажения, с помощью методов описанных в разделах 2.3 и 2.4, находятся достаточно точно (см. таблицу 3.1).

Параметр	Известный	Найденный
Величина смаза	10	10
Угол смаза	20	17
$\sigma_\eta$	0.0100	0.0098

Таблица 3.1: Оценка нахождения параметров искажения

Из данного ряда экспериментов можно сделать выводы о том, что все рассмотренные методы устраняют небольшие по величине смаза искажения (около 10 пикселей), но с высоким уровнем шума (около  $-34\text{dB}$ ). Уровень такого искажения относительно изображения равен  $-22.2$  дБ. Метод регуляризации по Тихонову с параметром  $\text{NOISEPOWER} = 27$  уменьшил уровень искажения относительно исходного изображения до  $-27$  дБ. Восстанавливать такие искажения предпочтительно методом регуляризации по Тихонову и итерационными алгоритмами с небольшим количеством итераций. Эмпирически было получено, что это число должно быть



a)



d)



b)



e)



c)



f)

Рис. 3.7: Восстановление изображения, используя найденные параметры искажения, с помощью фильтра Люси-Ричардсона: а) 10 итераций, б) 50 итераций, в) 100 итераций и метода слепой деконволюции: г) 10 итераций, д) 50 итераций, е) 100 итераций

больше 10, но меньше 50 для методов слепой деконволюции и Люси-Ричардсона.

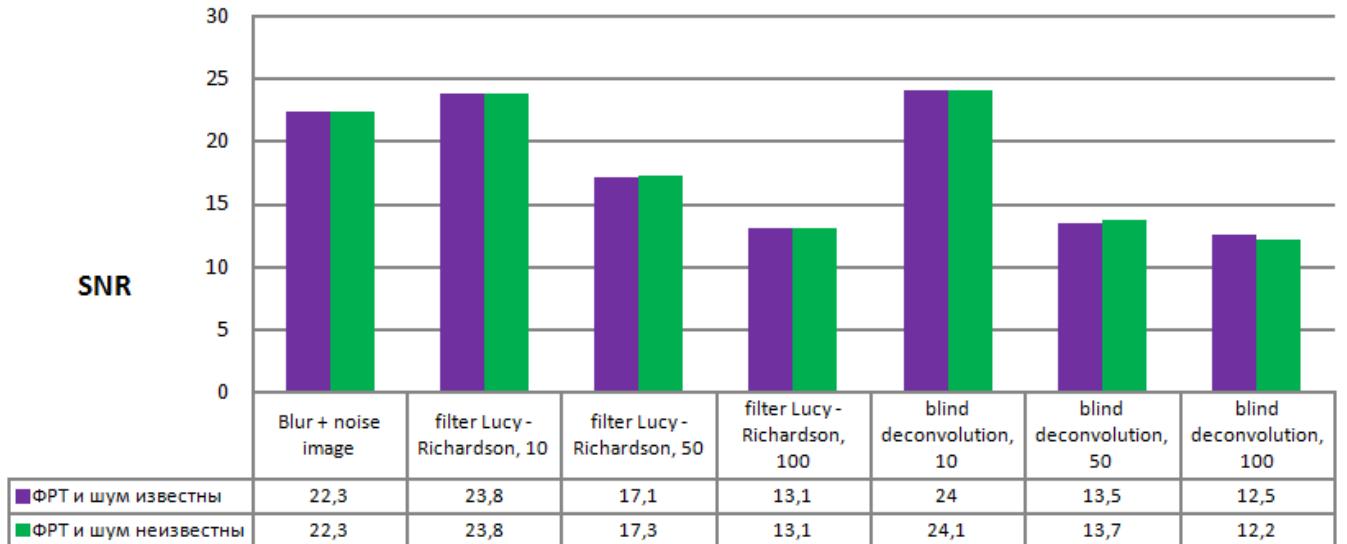


Рис. 3.8: SNR восстановленных изображений для смаза в 10 пикселей с углом  $20^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-34.1\text{dB}$

Случай большого смаза и незначительного вклада шумовой составляющей

Рассмотрим искажение, при котором детали изображения сложно угадать интуитивно, например изображение с большим смазом: величина – 45 пикселей, угол –  $32^0$  и небольшим шумом (уровень относительно сигнала равен  $-54.1\text{dB}$ ) с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-3}$  (рисунок 3.9).

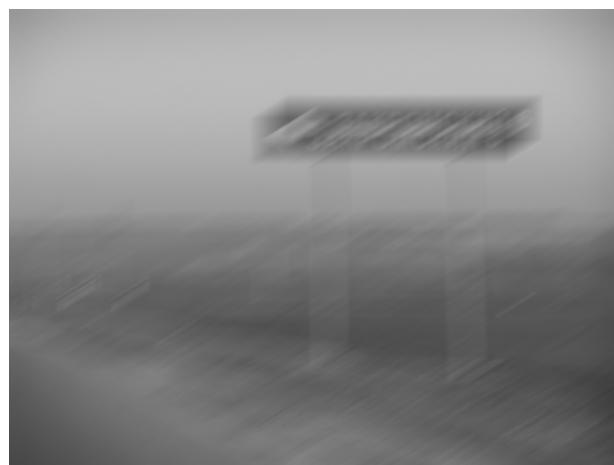


Рис. 3.9: Искажённое изображение (смаз: величина – 45, угол –  $32$ , шум:  $m_\eta = 0$ ,  $\sigma_\eta = 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-54.1\text{dB}$ )

Неитерационные методы не могут качественно восстановить данное изображение (рисунок 3.10). В результате работы фильтра Винера надпись на знаке можно угадать, но если бы важные детали были в другой области изображения – они были бы потеряны. Если воспользоваться методом регуляризации по Тихонову, то восстановить искажённое большим смазом изображение сложно. На изображени-

ях 3.10b и 3.10c видно, что изображение не несёт никакой полезной информации.

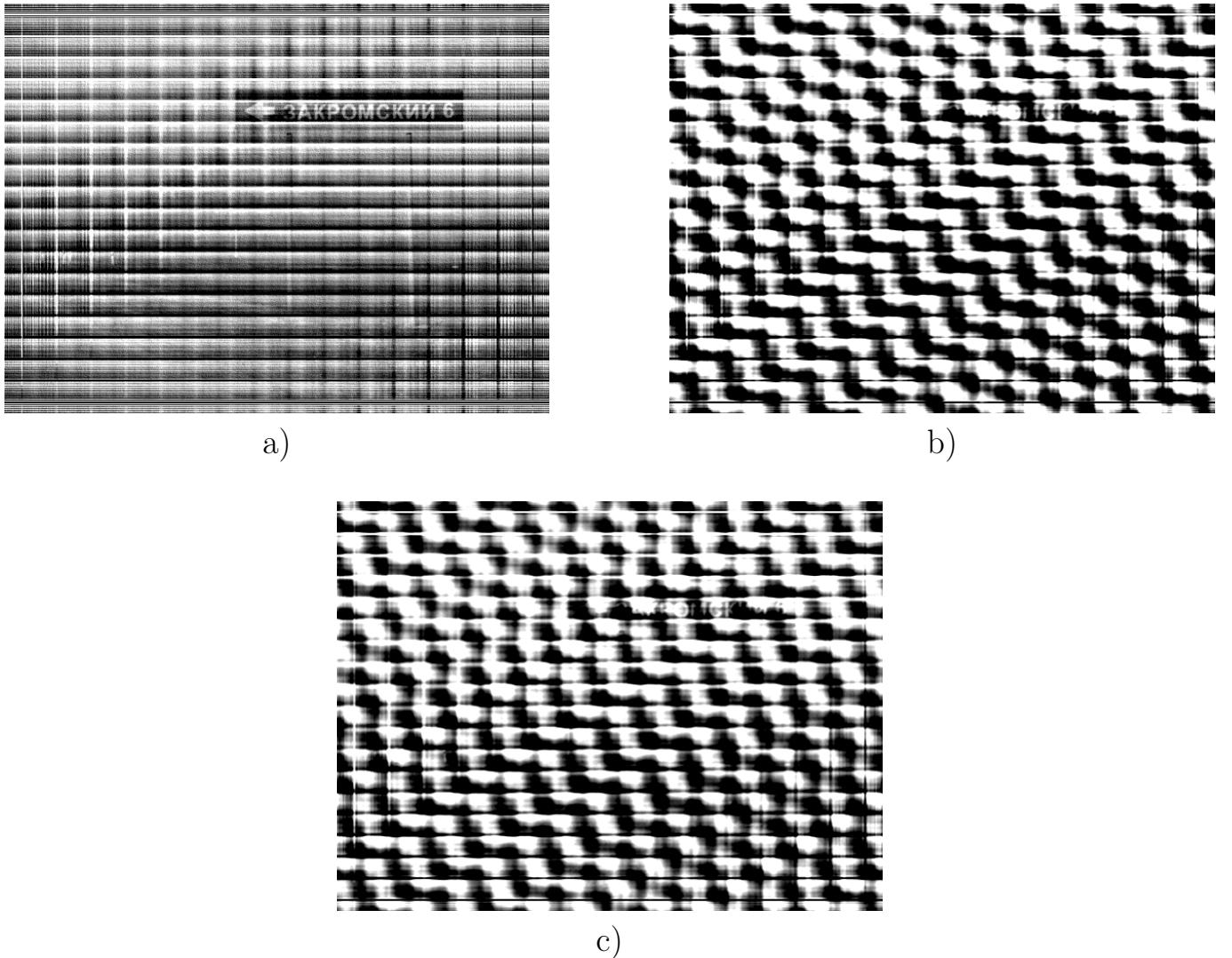


Рис. 3.10: Восстановление изображения, используя найденные параметры искажения, с помощью: а) Фильтра Винера, б) Регуляризации по Тихонову,  $\text{NOISEPOWER} = 0.27$ , в) Регуляризации по Тихонову,  $\text{NOISEPOWER} = 0.0027$

Соотношение сигнал/шум для искажённого изображения равно 20.7 дБ. При использовании неитерационных методов (рисунок 3.11) это значение уменьшается до 3 дБ при использовании винеровской фильтрации и становится меньше 0 дБ при регуляризации по Тихонову.

Рассмотрим, для искажённого изображения (рисунок 3.10) работу итерационных методов (рисунок 3.11).

Результат восстановления с помощью метода Люси-Ричардсона и слепой деконволюции удовлетворяет требованиям задачи. Знак на изображениях 3.13b, 3.13c, 3.13e, 3.13f можно увидеть и распознать название населённого пункта.

Очень важным параметром для итерационных методов является число итераций. Если это число будет слишком мало, то результат восстановления не удо-



Рис. 3.11: SNR восстановленных изображений для смазы в 10 пикселей с углом  $20^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения – 54.1дБ

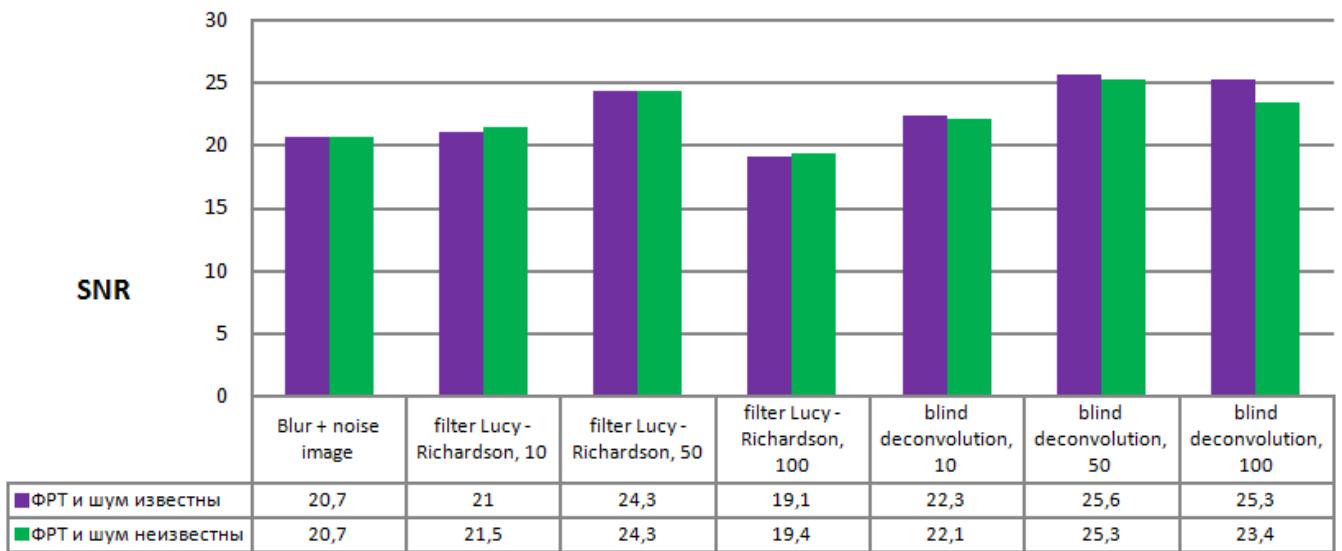
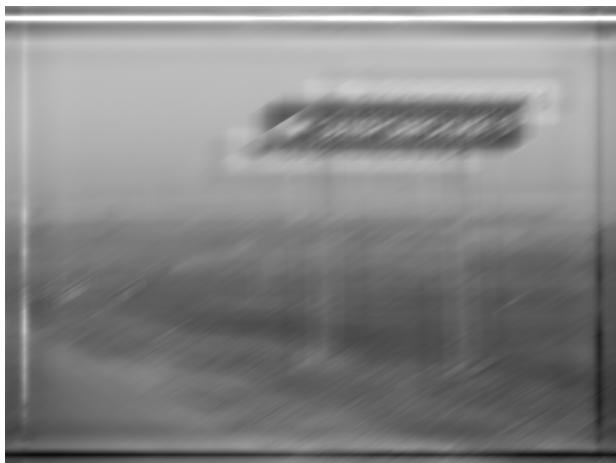
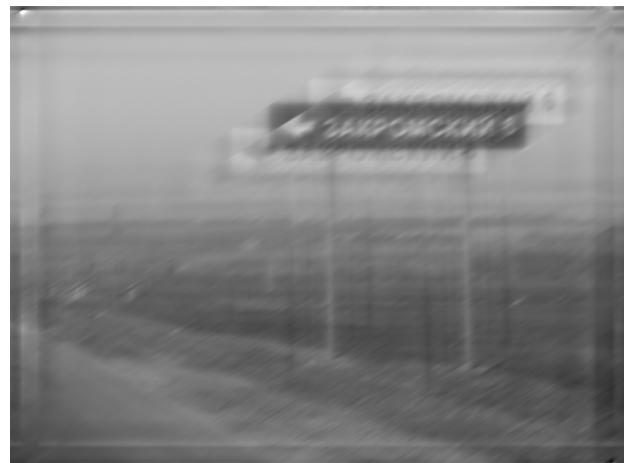


Рис. 3.12: SNR восстановленных изображений для смазы в 10 пикселей с углом  $20^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения – 54.1дБ

вляетворяет требованиям (см. рисунок 3.13а, 3.13d). Видно, что и фильтр Люси-Ричардсона и метод слепой деконволюции справились с задачей, но второй сделал это с меньшими артефактами в виде вертикальных и горизонтальных линий на восстановленном изображении. Данные на диаграмме (рисунок 3.12) совпадают с визуальным впечатлением от восстановленных изображений: с ростом количества итераций качество изображение становится лучше. Метод слепой деконволюции,



a)



d)



b)



e)



c)



f)

Рис. 3.13: Восстановление изображения, используя найденные параметры искажения, с помощью фильтра Люси-Ричардсона: а) 10 итераций, б) 50 итераций, в) 100 итераций и метода слепой деконволюции: д) 10 итераций, е) 50 итераций, ж) 100 итераций

хоть и не намного, но показывает лучший результат по сравнению с методом Люси-Ричардсона.

Если рассмотреть диаграммы на рисунках 3.11 и 3.12, можно увидеть, что уровень искажения относительно изображения при неизвестных параметрах искаже-

ния и известных почти не отличается между собой. Это объясняется достаточно точным нахождением параметров искажения (см. таблицу 3.2). Следовательно,

Параметр	Известный	Найденный
Величина смаза	45	45
Угол смаза	32	32
$\sigma_\eta$	0.001	0.001

Таблица 3.2: Оценка нахождения параметров искажения

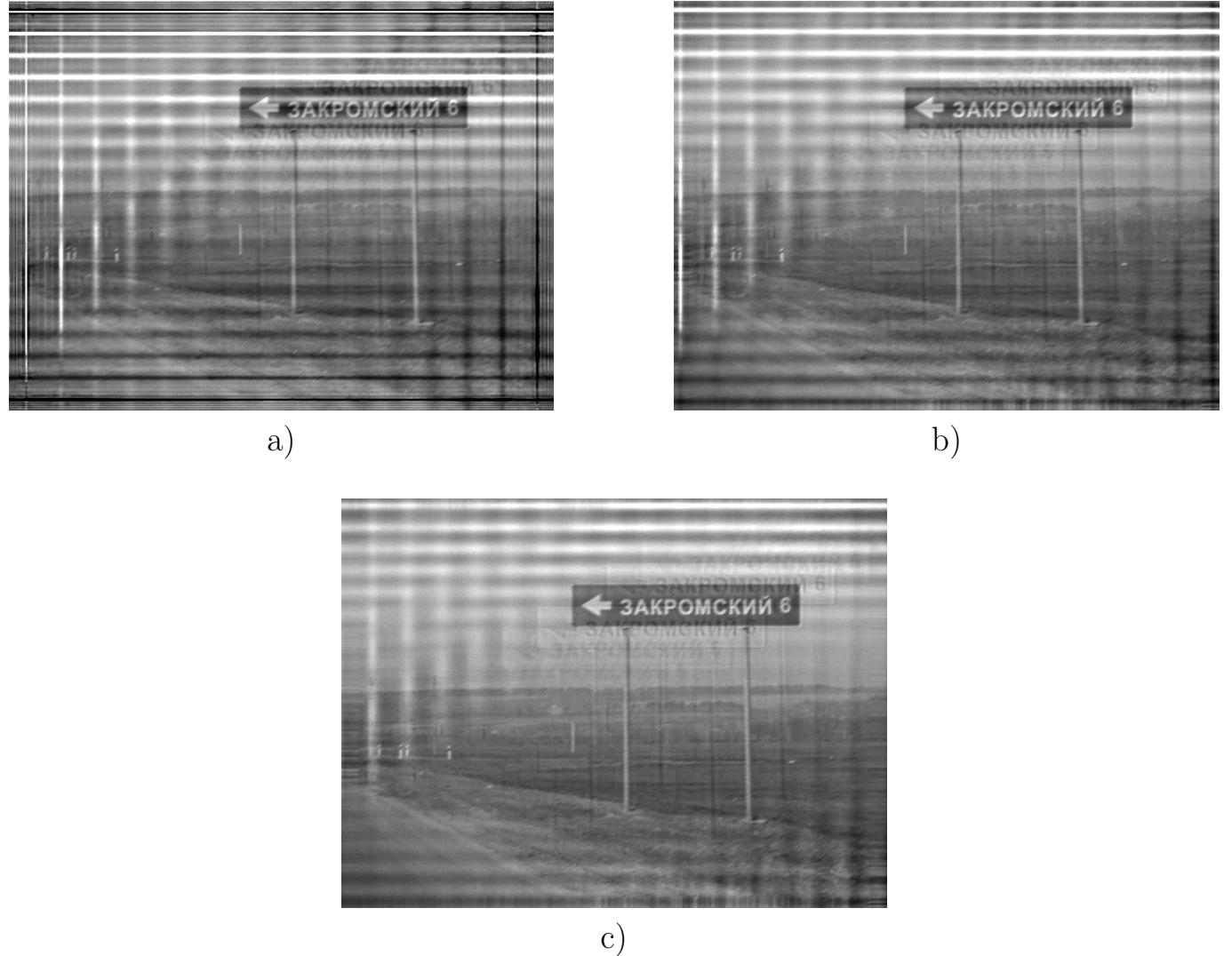


Рис. 3.14: Метод Люси-Ричардсона, 100 итераций: а) без расширения, б) расширение на 50 пикселей от каждого края, в) расширение на 100 пикселей от каждого края

для больших смазов, около  $30 - 40$  пикселей, плохо применимы неитерационные методы восстановления изображений и итерационные с малым числом итераций. Результаты методов слепой деконволюции и Люси-Ричардсона почти идентичны, за исключением того, что результаты работы второго искажены артефактами.

Влияние этих искажений можно уменьшить путём расширения: дополнение искажённого изображения его крайними пикселями. Этот способ позволяет получить удовлетворительный результат (см. рисунок 3.14).

Как видно из рисунка 3.14 качество восстановления методом Люси-Ричардсона (100 итераций) теперь не уступает слепой деконволюции (рисунок 3.13f), соотношение сигнал/шум также возросло до 25.6 дБ для расширения на 100 пикселей с каждого края.

### Случай небольшого смаза и незначительного вклада шумовой составляющей

Рассмотрим изображение с небольшим смазом – 5 пикселей и углом  $56^0$ , и небольшим шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ . Уровень шума относительно изображения равен –44.5 дБ.



Рис. 3.15: Искажённое изображение (смаз: величина – 5, угол –  $56$ , шум:  $m_\eta = 0$ ,  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен –44.5 дБ)

Как видно из рисунка 3.15, 5 пикселей – это небольшой смаз. Так как все методы решили задачу восстановления изображения с искажением в 10 пикселей, то результаты восстановления искажения в 5 пикселей должны быть ещё лучше. Такое искажение сложно оценить визуально и на больших изображениях его можно не заметить, но после восстановления видно, что изображение стало чётким и границы стали более выраженным. Фильтр Винера и регуляризация по Тихонову справились с задачей восстановления почти одинаково, если сравнивать их по значению SNR (рисунок 3.17) и оценивать визуально (рисунок 3.16). Единственное различие, которое можно наблюдать: меньший вклад краевых эффектов при использовании метода регуляризации по Тихонову (рисунок 3.16b).

Рассмотрим работу итерационных методов (рисунок 3.19). Метод Люси-Ричардсона и метод слепой деконволюции решают задачу восстановления доста-



a)



b)



c)

Рис. 3.16: Восстановление изображения, используя найденные параметры искажения, с помощью: а) Фильтра Винера, б) Регуляризации по Тихонову,  $\text{NOISEPOWER} = 0.26$ , в) Регуляризации по Тихонову,  $\text{NOISEPOWER} = 0.0026$

точно хорошо (см. рисунок 3.18). Визуальных отличий между изображениями нет, а из данных об уровне искажений относительно исходного изображения можно подтвердить то, что было указано выше: при небольших смазах с ростом количества итераций уменьшается качество изображения. В данном случае, даже если качество и уменьшается, восстановленное изображение лучше искажённого.

Параметры искажения в данном случае также были найдены точно (см. таблицу 3.3). При нахождении ФРТ и параметров шума качество восстановления соответствует качеству решения задачи реконструкции изображения при известных параметрах искажения.

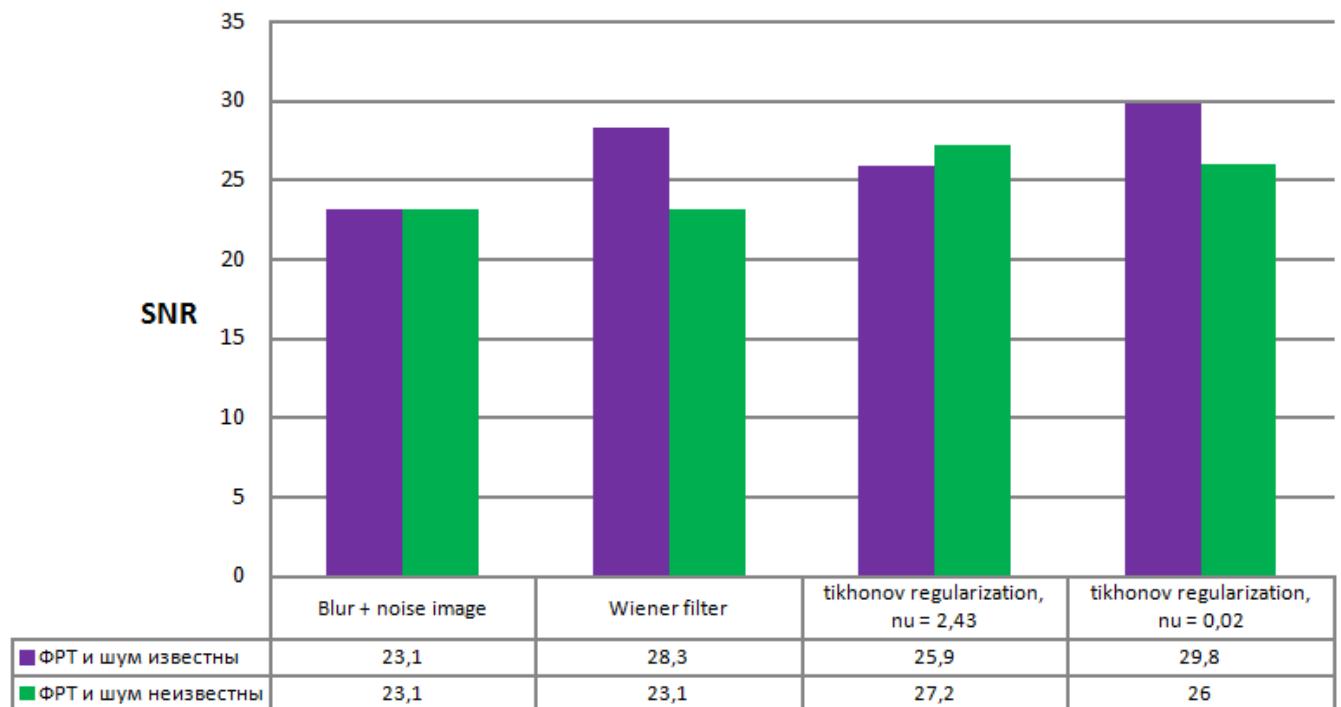


Рис. 3.17: SNR восстановленных изображений для смазы в 5 пикселей с углом  $56^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения – 44.5дБ

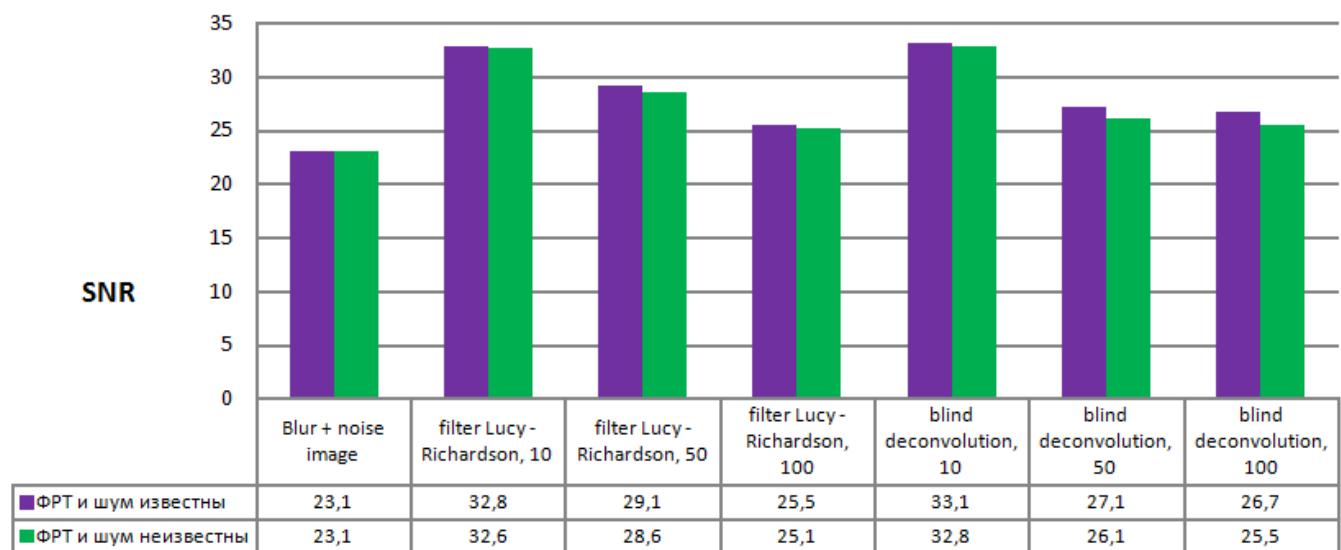


Рис. 3.18: SNR восстановленных изображений для смазы в 5 пикселей с углом  $56^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения – 44.5дБ

Параметр	Известный	Найденный
Величина смазы	5	5
Угол смаза	56	53
$\sigma_\eta$	0.003	0.003

Таблица 3.3: Оценка нахождения параметров искажения



a)



d)



b)



e)



c)



f)

Рис. 3.19: Восстановление изображения, используя найденные параметры искажения, с помощью метода Люси-Ричардсона: а) 10 итераций, б) 50 итераций, в) 100 итераций и метода слепой деконволюции: г) 10 итераций, д) 50 итераций, е) 100 итераций

Случай отсутствия или малого смаза

Рассмотрим случай малого смаза, PSF которого:  $[0 \ 0.5 \ 0.5]$ . При большом влиянии шума (рисунок 3.20) качество изображения становится лучше лишь при использовании регуляризации по Тихонову, в остальных случаях – соотношение

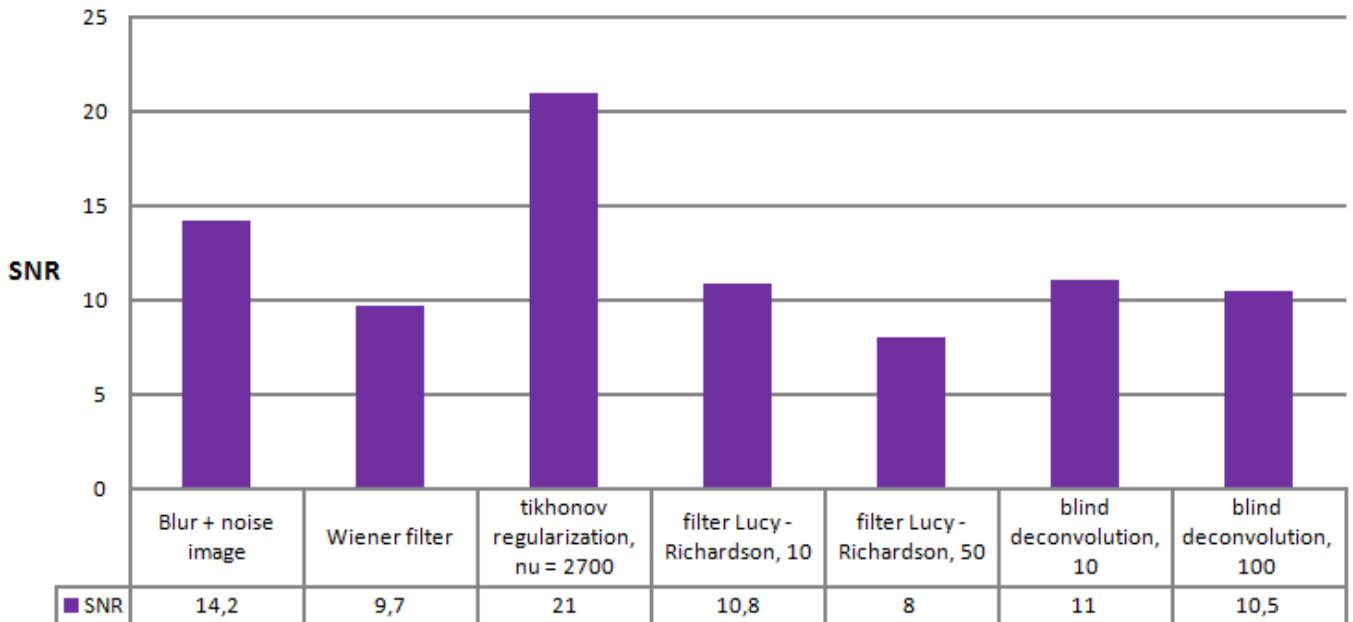


Рис. 3.20: SNR восстановленных изображений для небольшого смаза и значительного влияния шума (уровень шума относительно изображения равен  $-14$  дБ)

сигнал/шум уменьшается.

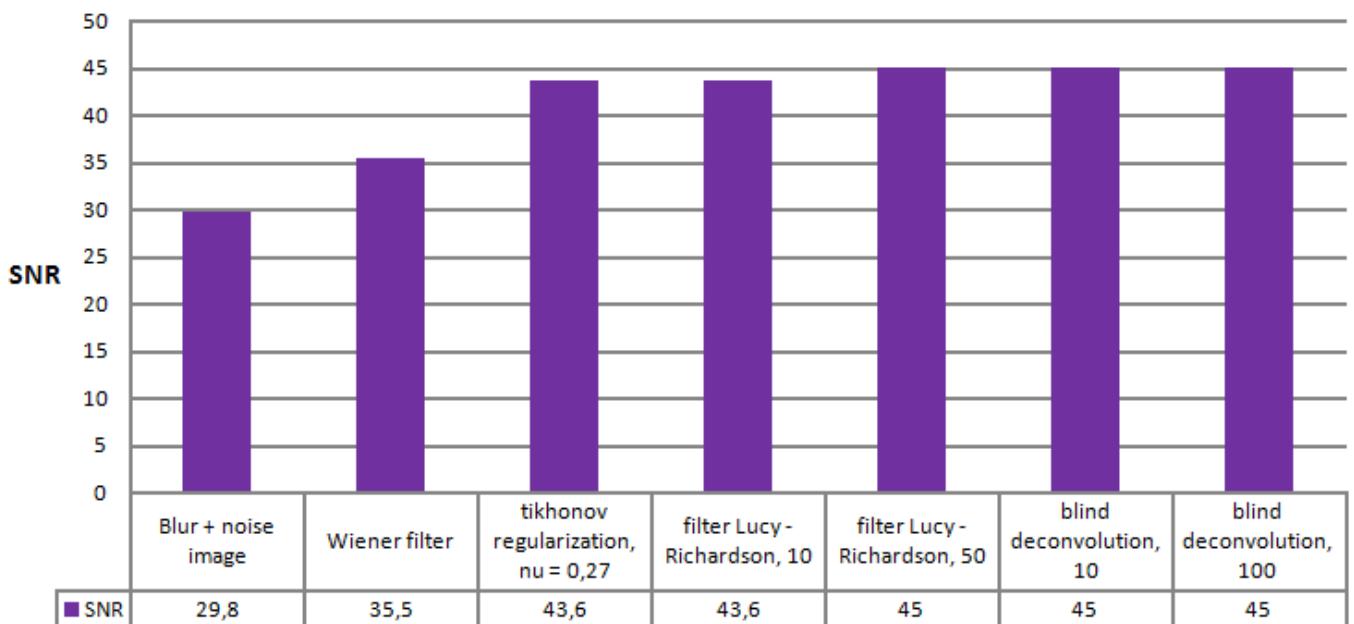


Рис. 3.21: SNR восстановленных изображений для небольшого смаза и незначительного влияния шума (уровень шума относительно изображения равен  $-54$  дБ)

При небольшом влиянии шума (рисунок 3.21), при использовании любого метода, уровень искажения относительно изображения уменьшается, то есть качество улучшается.

При отсутствии смаза (рисунок 3.22 и 3.23) качество изображения улучшается лишь в одном случае, когда вклад шума значительный (уровень равен  $-14$  дБ) и восстановление производится с помощью регуляризации по Тихонову. Также, при

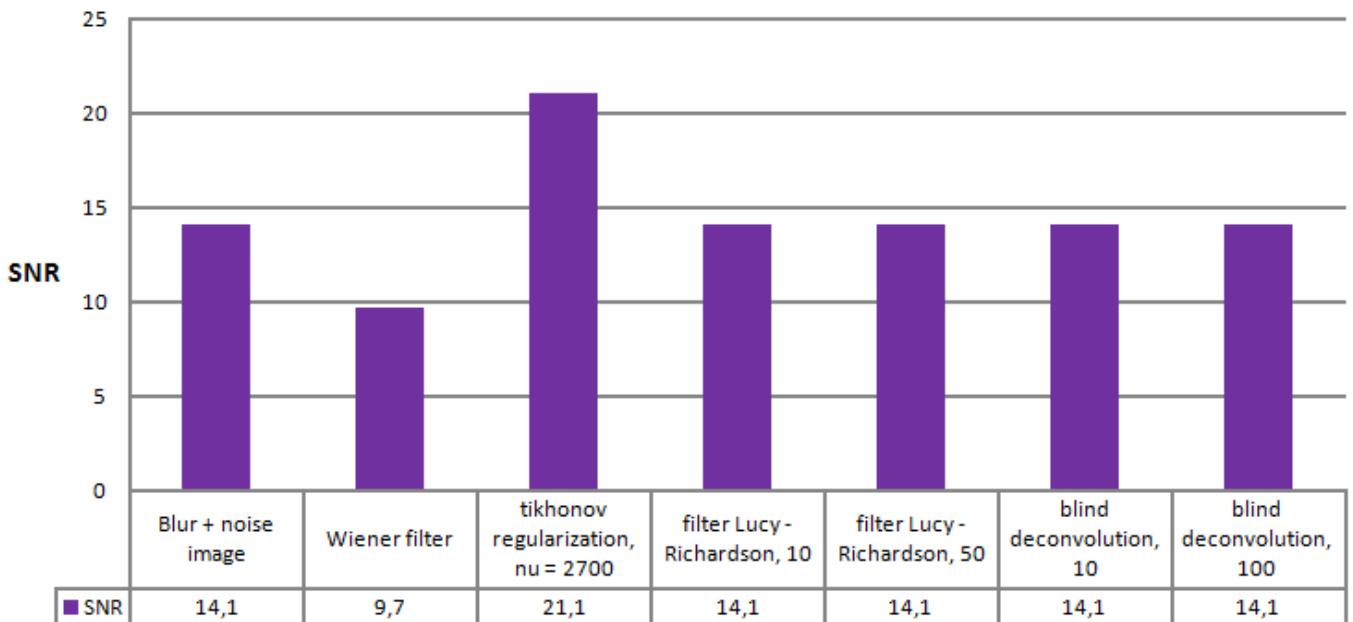


Рис. 3.22: SNR восстановленных изображений при отсутствии смаза и значительного влияния шума (уровень шума относительно изображения равен  $-14$  дБ)

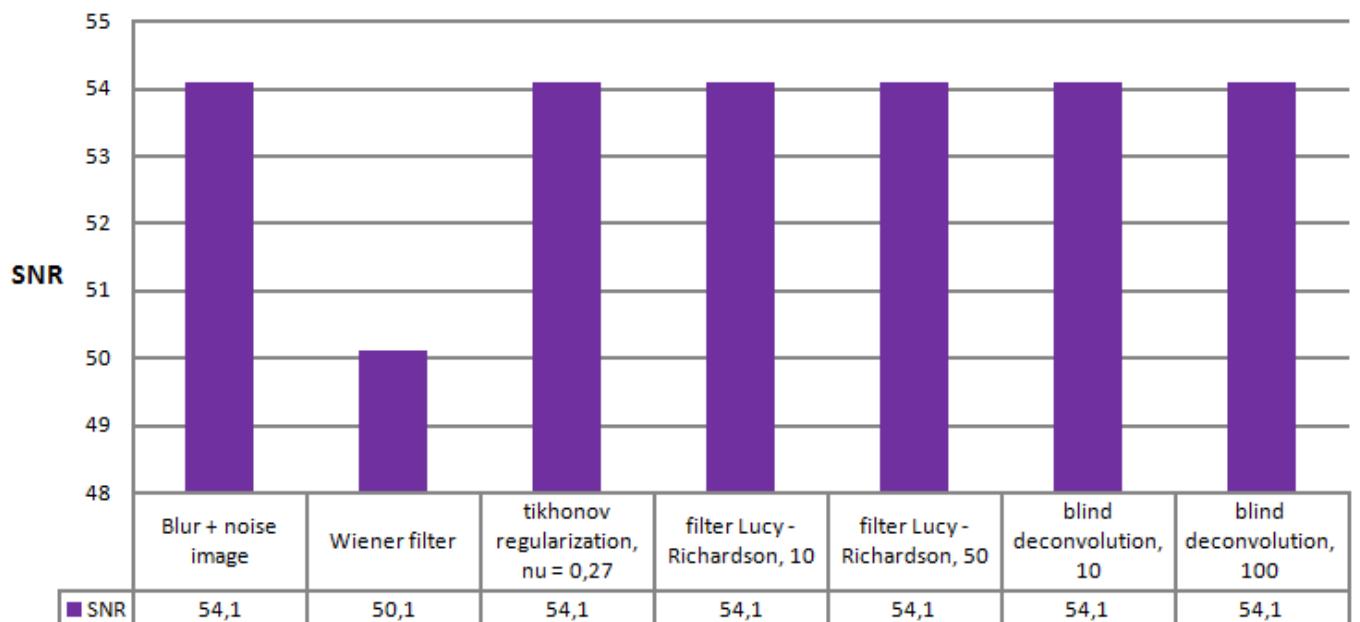


Рис. 3.23: SNR восстановленных изображений при отсутствии смаза и незначительного влияния шума (уровень шума относительно изображения  $-54$  дБ)

отсутствии смаза, после использования фильтра Винера, качество изображения уменьшается. В остальных случаях соотношение сигнал шум не меняется, то есть изображение ни искажается, ни восстанавливается.

Можно сделать следующий вывод: при искажении изображения шумом и малым смазом (или его отсутствием), для восстановления изображения следует использовать регуляризацию по Тихонову.

## Случай существенного вклада шума

В случае большого вклада шума (уровень относительно изображения выше  $-27$  дБ) смаэ на изображении определить затруднительно, соответственно изображения искажённые такими шумами мы исключаем из рассмотрения. Если шум на изображении вносит значительный вклад, но SNR больше  $27$  дБ, то при любом смаэ (большом или малом) его параметры можно определить и итерационные методы справятся с задачей восстановления.

## Оценка вычислительных затрат

Рассмотри время работы каждого метода (см. рисунок 3.24). Можно сделать

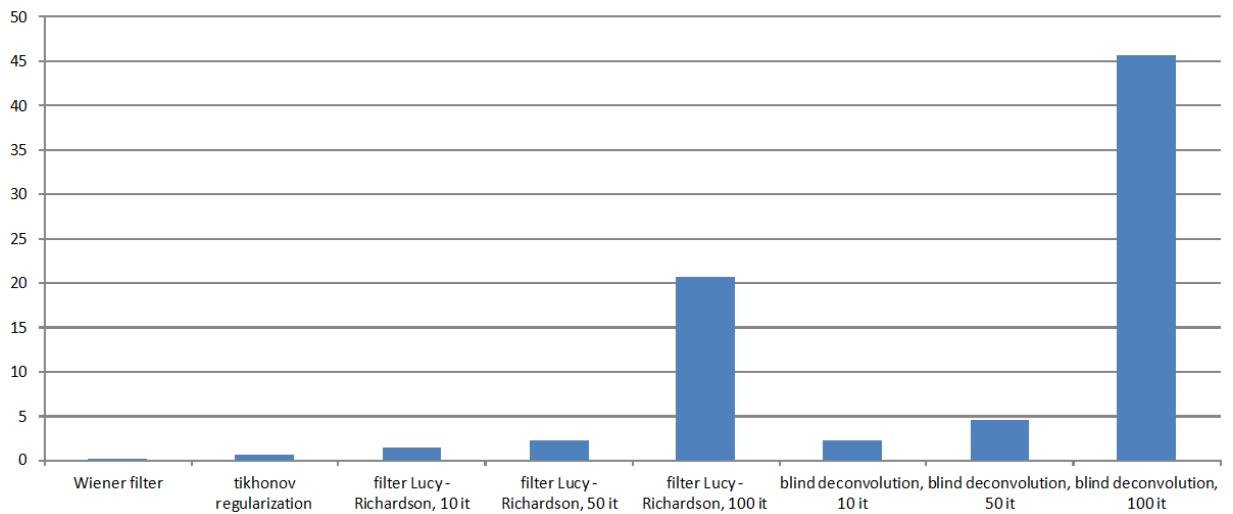


Рис. 3.24: Время работы каждого метода в секундах

вывод, что при выборе метода восстановления необходимо ориентироваться не только на качество восстановления, но и на время работы алгоритма. Например, если смаэ небольшой, то лучше использовать фильтр Винера, так как он восстановит изображение быстрее, чем итерационные методы. Даже по качеству результаты итерационных и неитерационных методов сравнимы и близки на небольших смаэах. Но когда смаэ большой, придётся использовать метод Люси-Ричарсона или слепой деконволюции, несмотря на вычислительные затраты. Для итерационных методов необходимо верно подобрать число итераций, потому что, как было отмечено выше, при слишком большом числе итераций на изображение будут наложены различные артефакты и информация может быть потеряна.

## 3.2 Восстановление реальных искажённых изображений

На основании проведённых экспериментов, а также выводов, которые были приведены в разделах 3.1.3 и 3.1.4, можно составить общий метод, который учитывает параметры искажения для восстановления изображения. Изобразим это алгоритм на блок-схеме (рисунок 3.25).

Количество итераций для метода Люси-Ричардсона и слепой деконволюции выбираются следующим образом: для смазов до 20 пикселей – 20 итераций, от 20 до 25 – 25 итераций, от 25 до 30 пикселей – 50 итераций, для больших смазов – 100 итераций.

Работу этого алгоритма опишем функцией `restoration_image`, со следующим синтаксисом:

```
F = restoration_image(I, value, angle, s),
```

где `I` – искажённое изображение, `value` – величина смазы, `angle` – угол смаза, `s` – среднеквадратичное отклонение шума ( $\sigma_\eta$ ). Первый параметр является обязательным, остальные нет. Результаты работы метода представлены на рисунках 3.26 и 3.27.

Рассмотрим искажённое изображение на рисунке 3.26а. Видно, что смаз горизонтальный, и буквы на клавиатуре смешены на 10 – 15 пикселей (размер изображения  $570 \times 426$ ). Воспользуемся этими предположениями для восстановления изображения. Используем функцию `restoration_image` со следующими параметрами:

```
F = restoration_image(I, 15, 0)
```

Результат работы этой функции изображён на рисунке 3.26б. Среднеквадратичное отклонение шума на этом изображении –  $\sigma_\eta = 0.0017$ . Эта величина тоже учитывалась при восстановлении изображения. Теперь мы можем прочесть буквы на изображении, следовательно, параметры смазы, которые были указаны, верны.

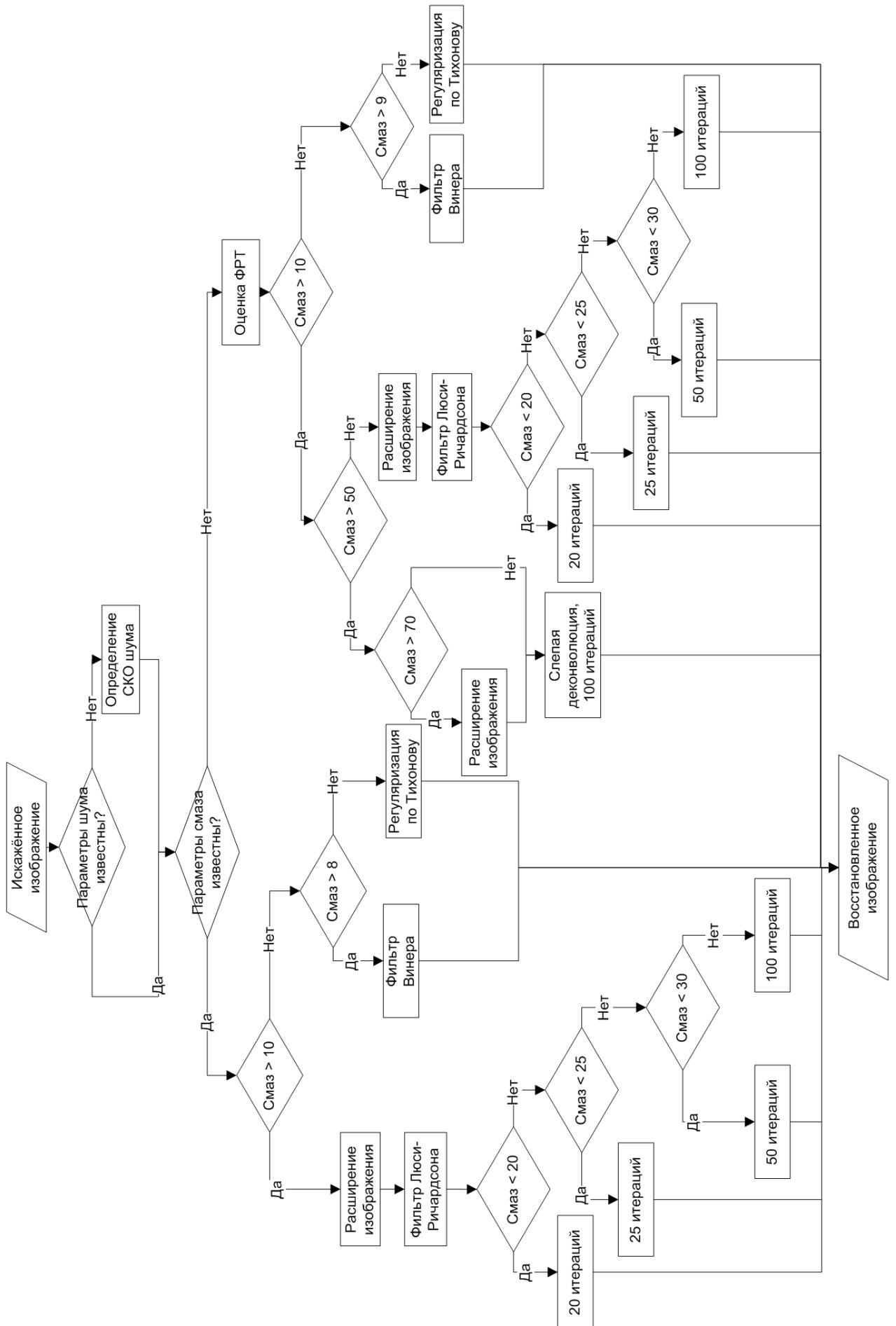
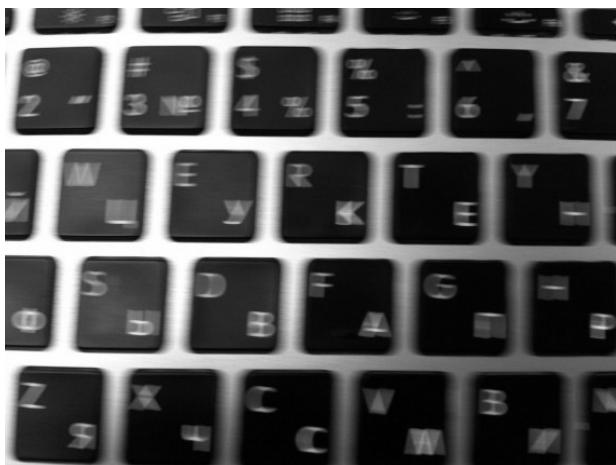
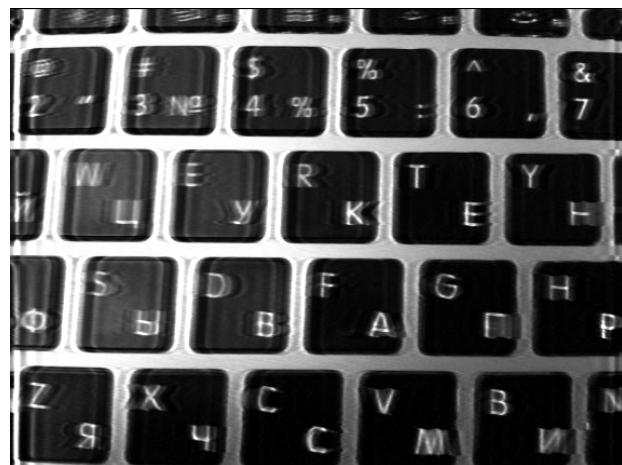


Рис. 3.25: Блок-схема алгоритма



a)



b)

Рис. 3.26: a) Искажённое изображение, b) Восстановленное изображение

Исследуем восстановление изображения с таким искажением (см. рисунок 3.27а), что его делали будет трудно угадать (в случае изображения на рисунке 3.26а



a)



b)

Рис. 3.27: a) Искажённое изображение, b) Восстановленное изображение

буквы можно было различить интуитивно). В данном случае сложно предсказать величину смазы, поэтому будем использовать функцию `restoration_image` в следующем виде:

```
F = restoration_image(I)
```

Во время выполнения этой функции были найдены некоторые параметры искажения, которые отражены в таблице 3.4.

Результат изображенный на рисунке 3.27b был достигнут при выполнении 25 итераций метода Люси-Ричардсона, что соответствует алгоритму, который был описан выше и описан блок-схемой, изображённой на рисунке 3.25. Качество вос-

Параметр	Значение
Величина смаза	23
Угол смаза	45
$\sigma_\eta$	0.0012

Таблица 3.4: Параметры искажения

становления удовлетворяет нашим требованиям, мы можем прочесть и распознать номер автомобиля.

### 3.3 Выводы

- Были исследованы результаты восстановления искажённых изображений различными методами с различными параметрами.
- Предложена программная реализация общего метода, учитывающего параметры искажения и выбирающего метод восстановления на основе этих данных.
- В главе 3 были приведены результаты восстановления искажённого изображения. Дополнительные результаты обработки приведены в Приложении 1 и Приложении 2.

# Заключение

В данной работе были рассмотрены методы восстановления изображений, подвергнутых линейному смазу и способы определения параметров искажения. На основе выводов был предложен алгоритм, позволяющий восстановить изображение и самостоятельно подбирающий метод для конкретного искажения.

Нахождение линейного смаза производится с помощью кепстра изображения (см. пункт 1.2), а параметры шума определяются с помощью спектральных свойств изображения (см. пункт 1.3).

Все предложенные методы, нахождение параметров смаза, шума и восстановления изображения с подбором алгоритма, были реализованы в среде MATLAB и представлены в Приложении А. Результаты их работы продемонстрированы:

- Определение параметров смаза – пункт 3.1.1 и таблицы 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4.
- Определение параметров шума – рисунок 3.2 и таблицы 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4.
- Алгоритм восстановления изображения с подбором метода – рисунок 3.26 и рисунок 3.27.

При восстановлении изображений, можно столкнуться со следующей проблемой: если камера зафиксирует движение на дороге, в ситуации, когда будет проезжать автомобиль, возникнет смаз. Проблема заключается в том, что этот смаз будет наблюдаться только на подвижных частях изображения. Для дальнейшего исследования поставлена задача детектирования движущихся объектов на изображении и их восстановление.

# Литература

- [1] Айфичер Э. С., Джервис Б. У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание // М.: Издательский дом "Вильямс", 2004.
- [2] Бъемон Ж., Лагендейк Л., Мерсеро Р.М. Итерационные методы улучшения изображений // ТИИЭР, № 5, 1990.
- [3] Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений // М.: Техносфера, 2006.
- [4] Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB // М.: Техносфера, 2006.
- [5] Грузман И.С., Киричук В.С. и др Цифровая обработка изображений в информационных системах // Н.: Издательство НГТУ, 2002.
- [6] Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Книга 2 // М.: Мир, 1982.
- [7] Умняшкин С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов: Учебное пособие // М.: Техносфера, 2012.
- [8] Форсайт Д. А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход // М.: Издательский дом "Вильямс", 2004.
- [9] Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение // М.: Бином, 2006.
- [10] Jansson P. A. Deconvolution of Images and Spectra // Elsevier, New York, 1997.
- [11] Lucy L. B. An iterative technique for the rectification of observed distributions // The Astronomical journal, vol. 79, №6, 1974.
- [12] Oppenheim A. V., Schafer R. W. Digital Signal Processing, ch.10 // Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1974.
- [13] Richardson W. H. Bayesian-Based Iterative Method of Image Restoration // Journal of the optical society of America, vol. 62, №1, 1972.

# Приложение 1. Программная реализация методов

```
1 function [NSR sko] = find_noise(J)
2     [N M] = size(J);
3     S = fft2(J); % image spectrum
4     w = round(N/100); % will consider the 1/100 part of the spectrum
5     h = round(M/100);
6     c_x = round(N/2);
7     c_y = round(M/2);
8     W = S((c_x-round(w/2)):(c_x+round(w/2)), (c_y - round(h/2):c_y + ...
9         round(h/2)));
10    [N_w M_w] = size(W); %dimensions of the area under consideration
11    sko = 0;
12    for i = 1:N_w
13        for j = 1:M_w
14            sko = sko + abs(W(i, j))^2;
15        end
16    end
17    sko = (sqrt((sko/(N_w*M_w))/(N*M))); %sko
18    I_Res = ifft2(S - sko);
19    NSR = (sko^2/var(I_Res(:))); %nsr
20 end
```

```
1 function [value angle] = find_PSF(I)
2
3 [N M] = size(I);
4 cepstrum = (ifft2(100*log(1+abs(fft2(I))))); %cepstrum image
5 mask = ones(N, M);
6 mask(1:3, 1:3)=0;
7 cepstrum_no0 = cepstrum.*mask;
8 g = -fftshift(cepstrum_no0); %consider the function -g(x, y)
9 c_x = round(N/2)+1;
10 c_y = round(M/2)+1;
11 f = g(1:N, c_y:M); %exclude from consideration one half of the image
12 [x y] = find(f == max(max(f))); %find the maximum of the function -g(x, y)
13 if (x > c_x)
14     prot = abs(x - c_x);
15     pril = abs(y - 1);
16     value = round(sqrt(prot^2 + pril^2)); %value of blurring
17     angle = 180 - round(atan(prot/pril)*180/pi); %angle of blurring
18 end
19 if (x < c_x)
20     prot = abs(x - c_x);
```

```

21     pril = abs(y - 1);
22     value = round(sqrt(prot^2 + pril^2)); %value of blurring
23     angle = round(atan(prot/pril)*180/pi); %angle of blurring
24 end
25 if (x == c_x)
26     value = y - 1; %value of blurring
27     angle = 0; %angle of blurring
28 end
29 if (y == 1)
30     value = abs(x(1) - c_x); %value of blurring
31     angle = 90; %angle of blurring
32 end
33 fprintf('Parameters found blur: (%d, %d)\n', value, angle);
34
35 end

```

```

1 function I_rec = restoration_image(varargin)
2
3 [I, value, angle, s_n] = parse_inputs(varargin{:});
4 [N M] = size(I);
5 t = 'k';
6 if isempty([value angle])
7     [value angle] = find_PSF(I); %finding the parameters of blurring
8     t = 'f';
9 end
10 PSF = fspecial('motion', value, angle);
11 if isempty(s_n)
12     [SNR_find S_find] = find_noise(I); %finding the noise parameters
13     s_n = S_find; %SKO noise
14     snr = SNR_find;
15 end
16 if (t == 'f') %case of finding the parameters of distortion
17     if (value > 10)
18         if (value > 50)
19             if (value > 70)
20                 Ir = extension(I); %extension image
21             end
22             DAMPAR = (s_n)/10;
23             LIM = ceil(size(PSF, 1)/4);
24             WEICHT = zeros(N, M);
25             WEICHT(LIM + 1:end - LIM, LIM+1:end-LIM) = 1;
26             FUN=inline('PSF+P1', 'PSF', 'P1');
27             Ir_rec = deconvblind(Ir, PSF, 100, DAMPAR, WEICHT, FUN, 0); ...
28                 %blind deconvolution, 100 iterations
29             I_rec = reduction(Ir_rec); %return to its original size
30         else
31             DAMPAR = (s_n)/10;
32             LIM = ceil(size(PSF, 1)/4);
33             WEICHT = zeros(N, M);
34             WEICHT(LIM + 1:end - LIM, LIM+1:end-LIM) = 1;
35             Ir = extension(I); %extension image
36             if (value < 20)
37                 it = 20; %20 iterations
38             else
39                 if (value < 25)
40                     it = 25; %25 iterations
41                 else
42                     if (value < 30)
43                         it = 50; %50 iterations
44                     else
45                         it = 100; %100 iterations

```

```

45             end
46         end
47     end
48     Ir_rec = deconvlucy(Ir, PSF, it, DAMPAR, [], WEICHT); %Filter ...
49     %Lucy-Richardson
50     I_rec = reduction(Ir_rec); %return to its original size
51 end
52 else
53     if (value > 9)
54         I_rec = deconvwnr(I, PSF, snr); %Wiener filter
55     else
56         nu = N*M*s_n^2;
57         I_rec = deconvreg(I, PSF, nu, [1e-9 1e9]); %Tikhonov ...
58         regularization
59     end
60 end
61 else %case of known parameters of distortion
62     if (value > 10)
63         DAMPAR = (s_n)/10;
64         LIM = ceil(size(PSF, 1)/4);
65         WEICHT = zeros(N, M);
66         WEICHT(LIM + 1:end - LIM, LIM+1:end-LIM) = 1;
67         Ir = extension(I); %extension image
68         if (value < 20)
69             it = 20; %20 iterations
70         else
71             if (value < 25)
72                 it = 25; %25 iterations
73             else
74                 if (value < 30)
75                     it = 50; %50 iterations
76                 else
77                     it = 100; %100 iterations
78                 end
79             end
80         end
81         Ir_rec = deconvlucy(Ir, PSF, it, DAMPAR, [], WEICHT); %Filter ...
82         %Lucy-Richardson
83         I_rec = reduction(Ir_rec); %return to its original size
84     else
85         if (value > 8)
86             I_rec = deconvwnr(I, PSF, snr); %Wiener filter
87         else
88             nu = N*M*s_n^2;
89             I_rec = deconvreg(I, PSF, nu, [1e-9 1e9]); %Tikhonov ...
90             regularization
91         end
92     end
93 %%%%%%
94 % Function: parse_inputs
95 function [I, a, b, s_n] = parse_inputs(varargin)
96
97 a = [];
98 b = [];
99 s_n = [];
100 for n = 2:nargin,
101     if ~isa(varargin{n}, 'double'),
102         eid = 'Images:restoration_image:invalidParameterClass';
103         error(eid, 'Invalid class for input parameter %d: must be double.', n);

```

```

105    elseif ~isreal(varargin{n}),
106        eid = 'Images:restoration_image:expectedReal';
107        error(eid, 'Input parameter %d must consist of real values.', n);
108    elseif ~all(isfinite(varargin{n}(:))),
109        eid = 'Images:restoration_image:expectedFinite';
110        error(eid, 'Input parameter %d must consist of finite values.', n);
111    end;
112 end;
113
114 I = varargin{1};
115 switch nargin
116 case 3,
117     a = varargin{2};
118     b = varargin{3};
119 case 4,
120     a = varargin{2};
121     b = varargin{3};
122     s_n = varargin{4};
123 end
124 end
125
126 %%%%%%
127 % Function: extension
128 function Ir = extension(I)
129 [N1 M1] = size(I);
130 Ir = zeros(N1 + 200, M1 + 200);
131 Ir(101:N1 + 100, 101:M1 + 100) = I;
132 for i = 1:100
133     Ir(i, 101:M1 + 100) = I(1, :);
134 end
135 for i = 1:100
136     Ir(N1 + 100 + i, 101:M1 + 100) = I(N, :);
137 end
138 for i = 1:100
139     Ir(:, i) = Ir(:, 101);
140 end
141 for i = 1:100
142     Ir(:, i + M1 + 100) = Ir(:, M1 + 100);
143 end
144 end
145
146 %%%%%%
147 % Function: reduction
148 function I = reduction(Ir)
149 I = Ir(101:end-100, 101:end-100)
150 end

```

## Приложение 2. Результаты обработки изображения (fox.jpg)



Рис. 3.1: Исходное изображение размером  $480 \times 640$



Рис. 3.2: Искажённое изображение (смаз: величина – 10, угол – 20, шум:  $m_{\eta} = 0$ ,  $\sigma_{\eta} = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-13.1\text{дБ}$ )



a)



b)



c)

Рис. 3.3: Восстановление искажённого изображения 3.2: а) Фильтр Винера б) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 30 в) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 0.3

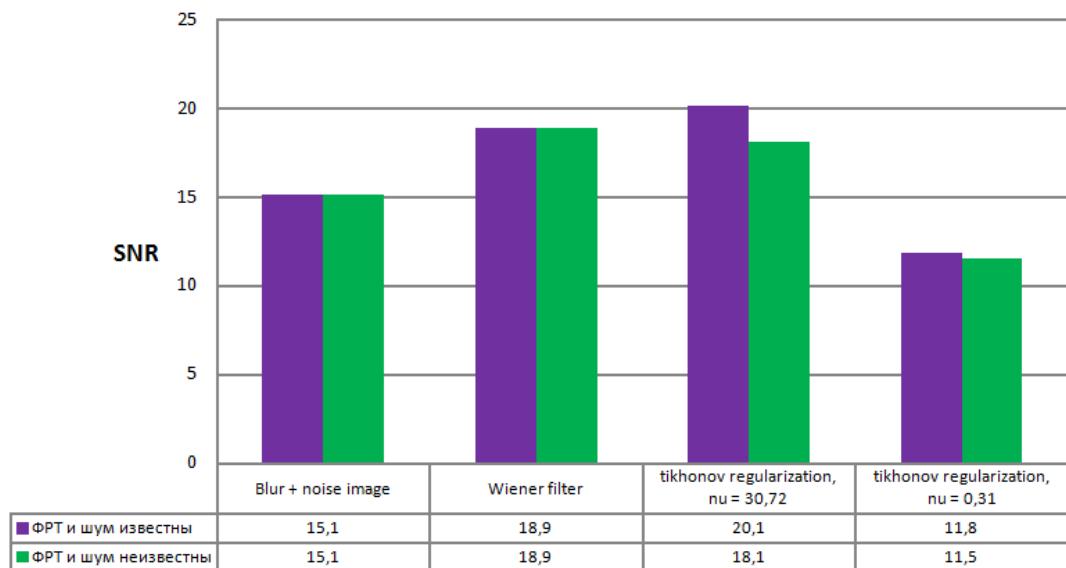


Рис. 3.4: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.3) для смаза в 10 пикселей с углом  $20^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-13.1\text{dB}$



a)



d)



b)



e)



c)



f)

Рис. 3.5: Восстановление искажённого изображения 3.2: Фильтр Люси-Ричардсона: а) 10 итераций, б) 50 итераций, в) 100 итераций. Метод слепой деконволюции: д) 10 итераций, е) 50 итераций, ф) 100 итераций

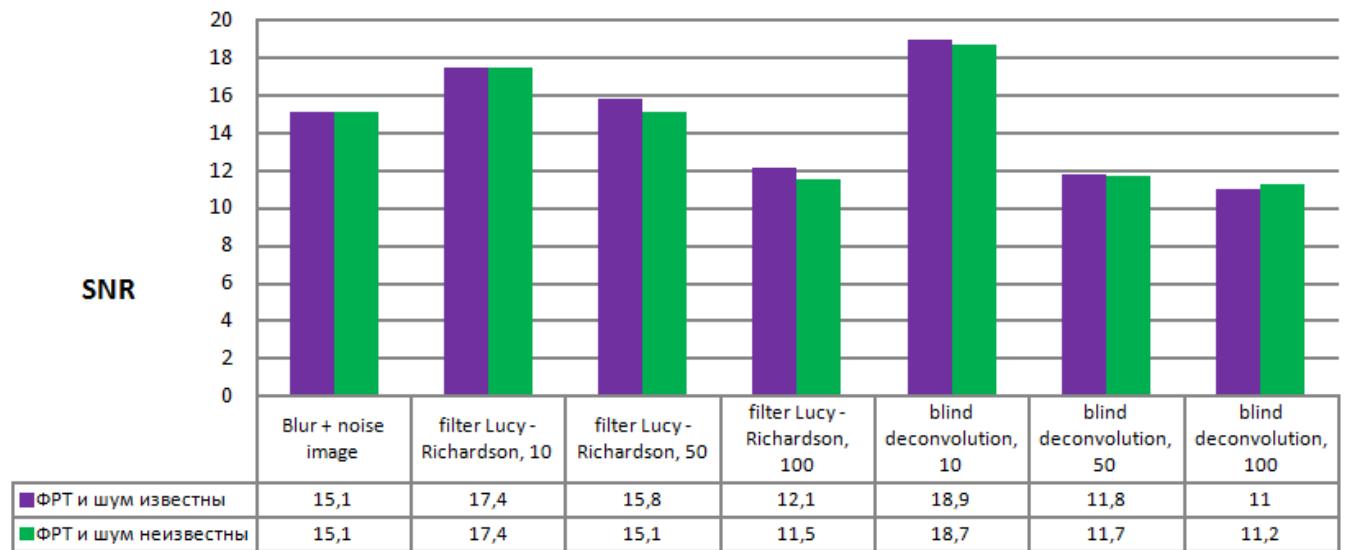


Рис. 3.6: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.5) для смаза в 10 пикселей с углом  $20^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-13.1\text{дБ}$

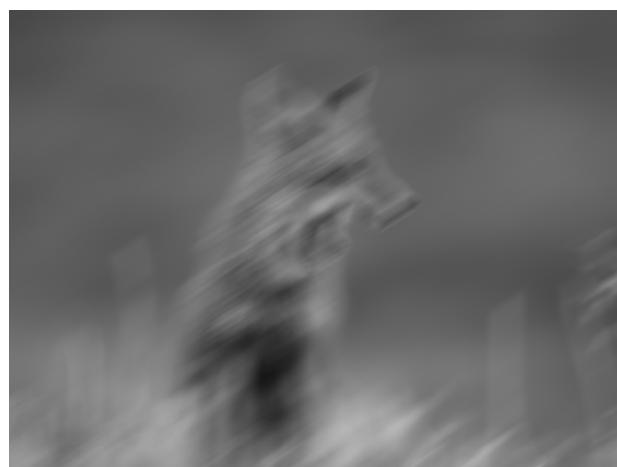
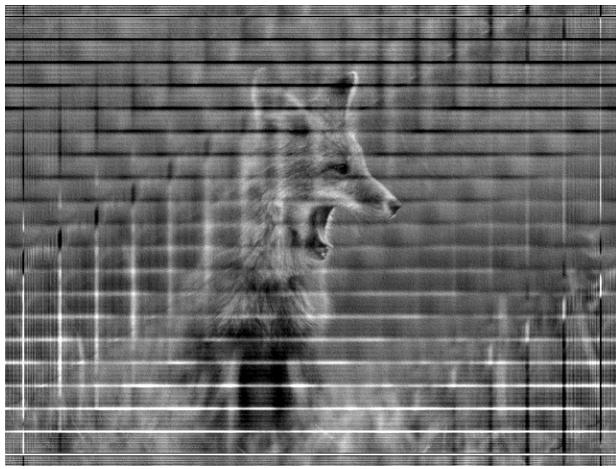
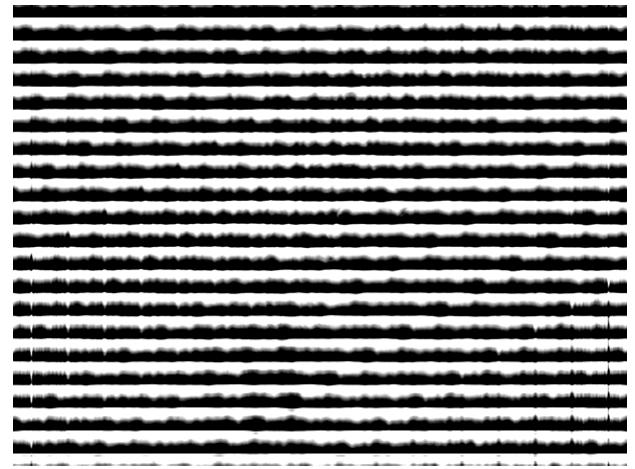


Рис. 3.7: Искажённое изображение (смаз: величина – 45, угол – 32, шум:  $m_\eta = 0$ ,  $\sigma_\eta = 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-22.9\text{дБ}$ )



a)



b)



c)

Рис. 3.8: Восстановление искажённого изображения 3.7: а) Фильтр Винера б) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 0.30 в) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 0.003

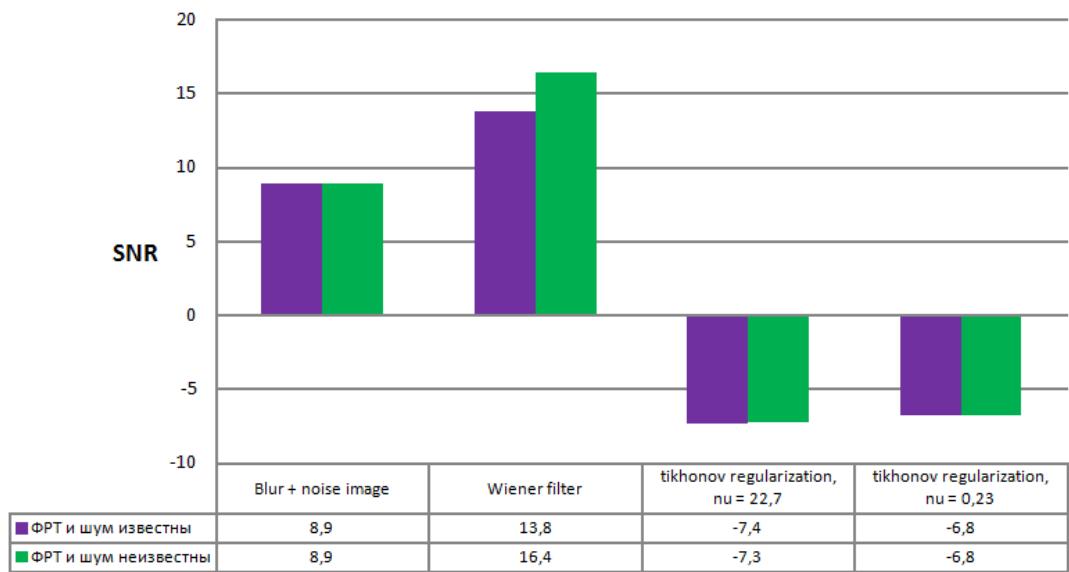


Рис. 3.9: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.8) для смазы в 45 пикселей с углом  $32^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-22.9\text{dB}$



a)



d)



b)



e)



c)



f)

Рис. 3.10: Восстановление искажённого изображения 3.7: Фильтр Люси-Ричардсона: а) 10 итераций, б) 50 итераций, в) 100 итераций. Метод слепой деконволюции: д) 10 итераций, е) 50 итераций, ф) 100 итераций

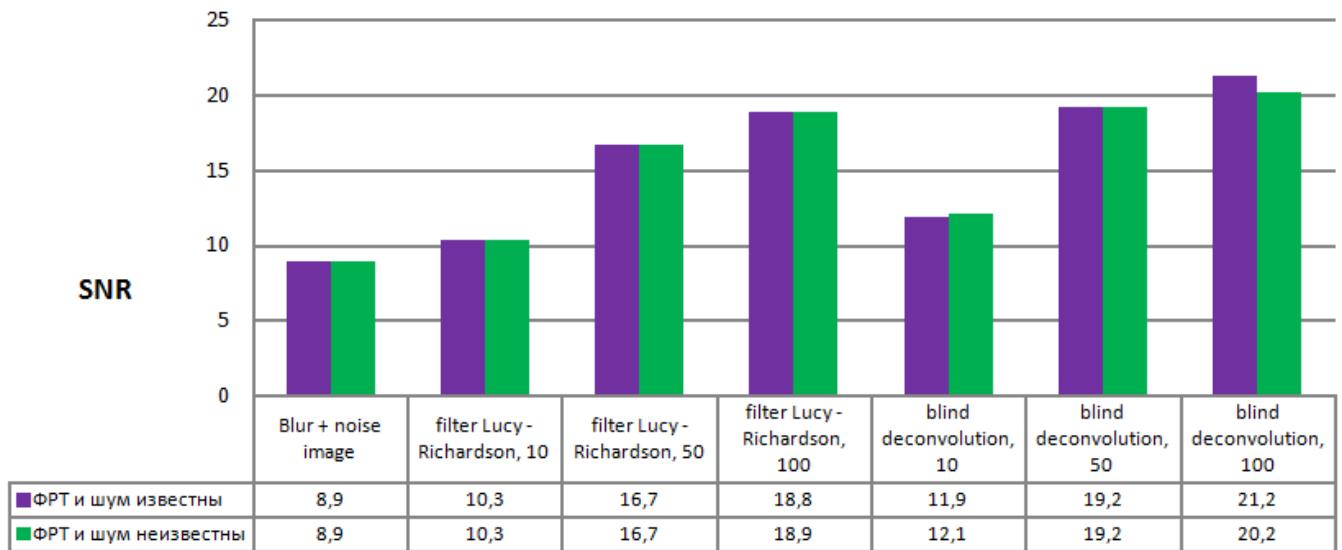


Рис. 3.11: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.10) для смаза в 45 пикселей с углом  $32^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-22.9\text{дБ}$



Рис. 3.12: Искажённое изображение (смаз: величина – 5, угол – 56, шум:  $m_\eta = 0$ ,  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-18.3\text{дБ}$ )



a)



b)



c)

Рис. 3.13: Восстановление искажённого изображения 3.12: а) Фильтр Винера б) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 2.7 в) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 0.027

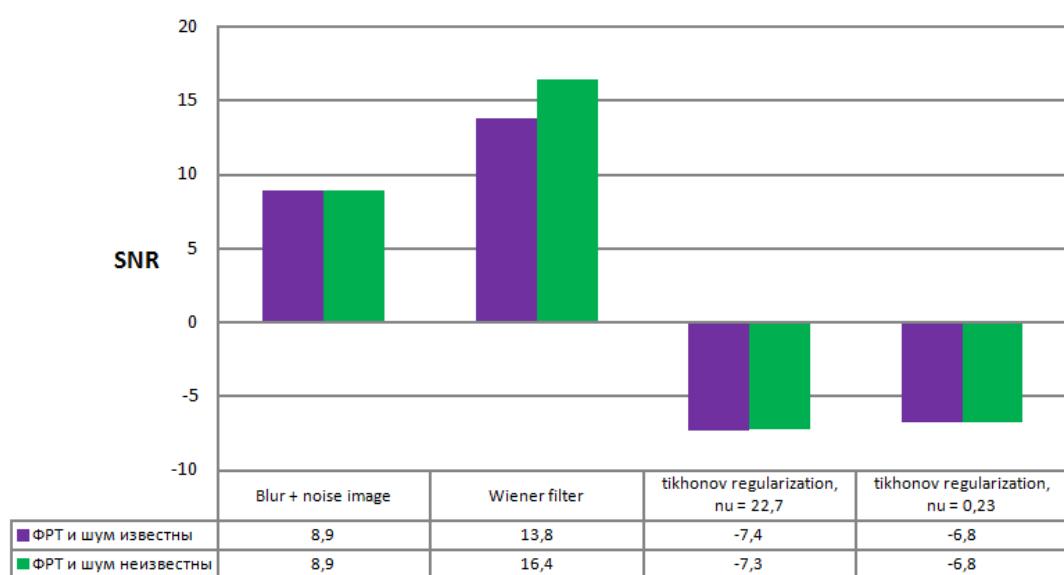


Рис. 3.14: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.13) для смаза в 5 пикселей с углом  $56^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-18.3\text{dB}$



a)



d)



b)



e)



c)



f)

Рис. 3.15: Восстановление искажённого изображения 3.12: Фильтр Люси-Ричардсона: а) 10 итераций, б) 50 итераций, в) 100 итераций. Метод слепой деконволюции: д) 10 итераций, е) 50 итераций, ф) 100 итераций

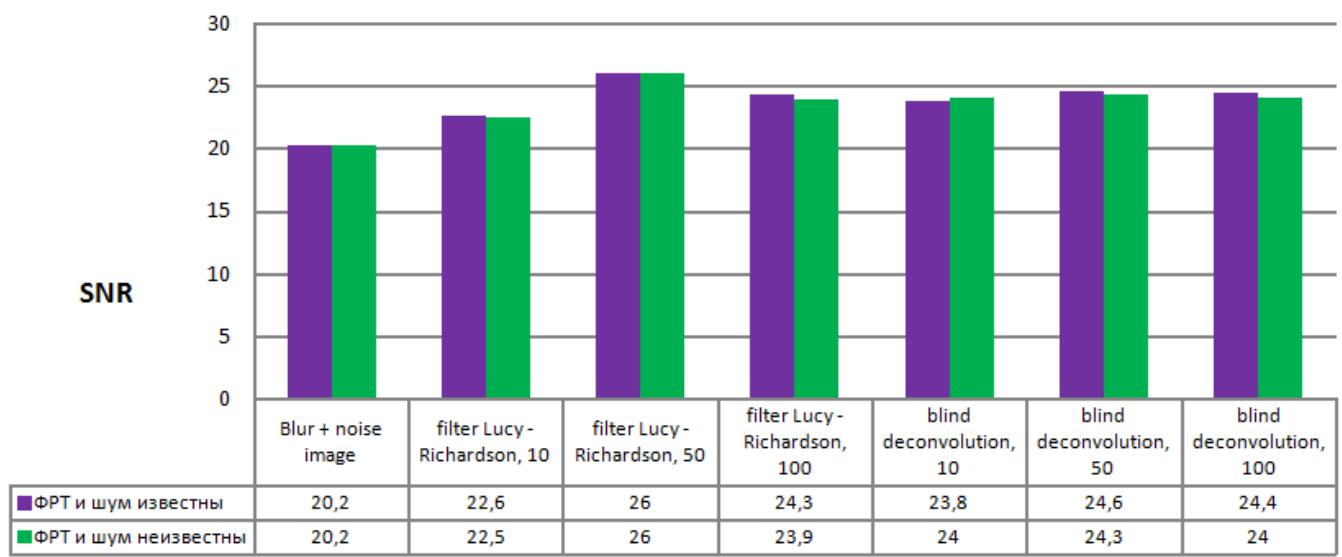


Рис. 3.16: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.15) для смаза в 5 пикселей с углом  $56^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-18.3\text{дБ}$

# Приложение 3. Результаты обработки изображения (document.jpg)

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрукт»

**ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска**

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»

*Ананасов*

О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен

*Фиников*

16 июня 2009 года

Рис. 3.17: Исходное изображение размером  $432 \times 524$

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрут»

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрут»

*Ананасов*

О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен

*Фиников*

16 июня 2009 года

Рис. 3.18: Искажённое изображение (смаз: величина – 10, угол – 20, шум:  $m_\eta = 0$ ,  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-21.6\text{дБ}$ )

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрут»

**ПРИКАЗ № 51/к**  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону 12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
**ПРИКАЗЫВАЮ:**

- Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Филикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
- Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
- С настоящим приказом ознакомить И.П. Филикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрут» *Ананасов* О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен *Филиков* 16 июня 2009 года

a)

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрут»

**ПРИКАЗ № 51/к**  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону 12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
**ПРИКАЗЫВАЮ:**

- Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Филикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
- Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
- С настоящим приказом ознакомить И.П. Филикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрут» *Ананасов* О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен *Филиков* 16 июня 2009 года

b)

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрут»

**ПРИКАЗ № 51/к**  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону 12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
**ПРИКАЗЫВАЮ:**

- Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Филикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
- Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
- С настоящим приказом ознакомить И.П. Филикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрут» *Ананасов* О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен *Филиков* 16 июня 2009 года

c)

Рис. 3.19: Восстановление искажённого изображения 3.18: a) Фильтр Винера b) Регуляризация по Тихонову,  $\text{NOISEPOWER} = 22$  c) Регуляризация по Тихонову,  $\text{NOISEPOWER} = 0.22$

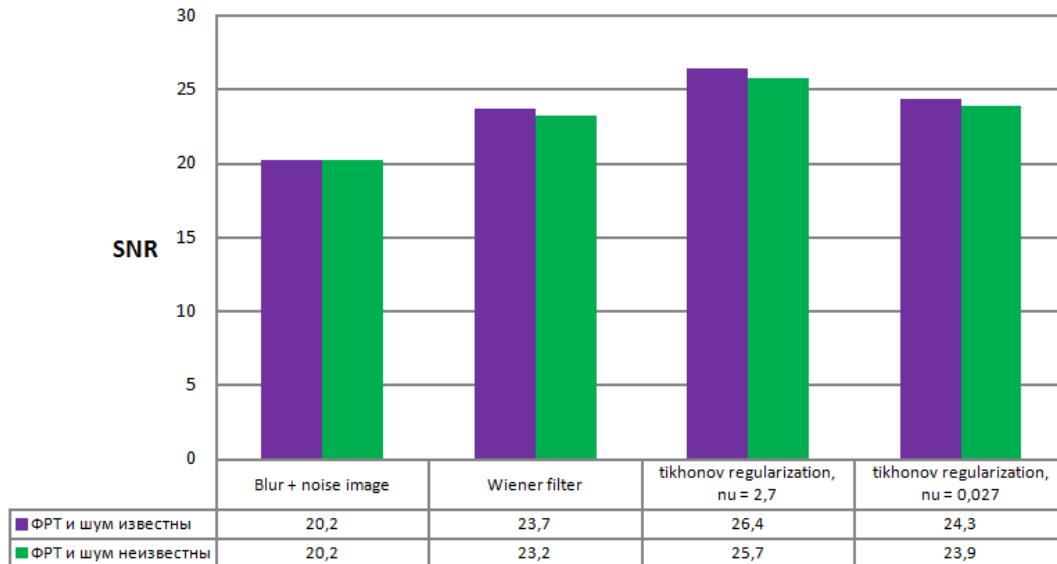


Рис. 3.20: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.19) для смаза в 10 пикселей с углом  $20^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-21.6\text{dB}$

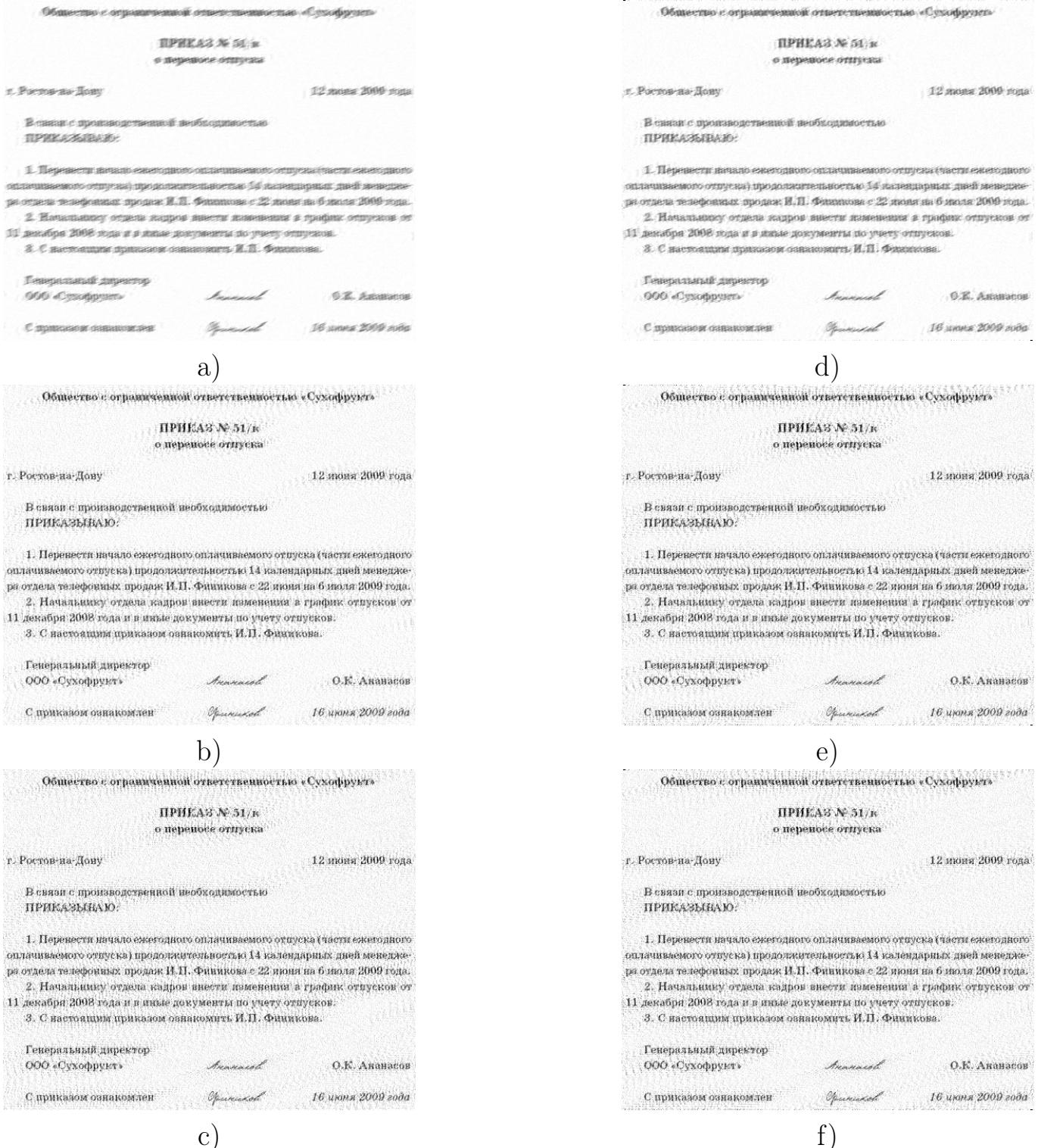


Рис. 3.21: Восстановлениеискажённого изображения 3.17: Фильтр Люси-Ричардсона: а) 10 итераций, б) 50 итераций, в) 100 итераций. Метод слепой деконволюции: д) 10 итераций, е) 50 итераций, ф) 100 итераций

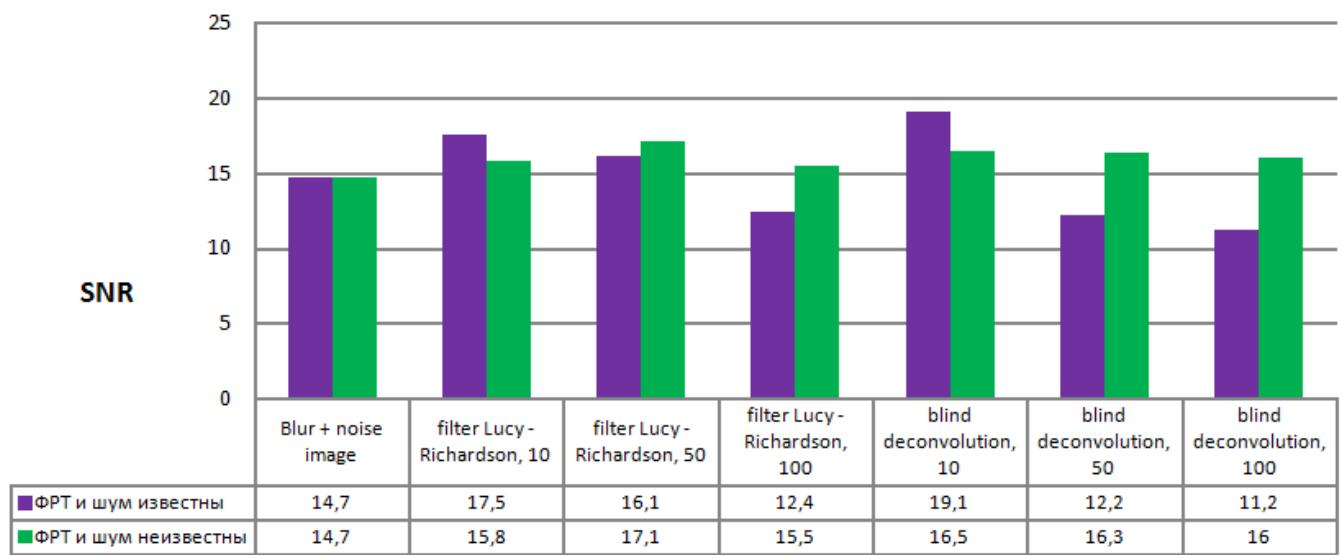


Рис. 3.22: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.21) для смаза в 10 пикселей с углом  $20^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-2}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-21.6\text{дБ}$

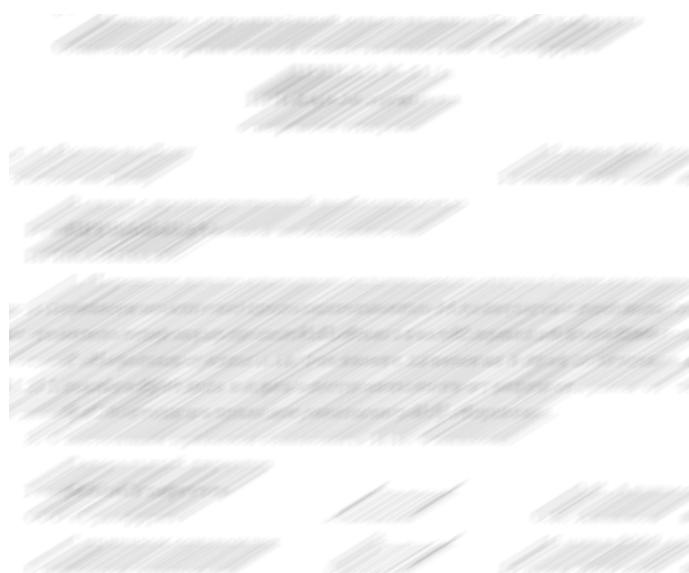


Рис. 3.23: Искажённое изображение (смаз: величина – 45, угол – 32, шум:  $m_\eta = 0$ ,  $\sigma_\eta = 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-31.8\text{дБ}$ )

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года;
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков с 1 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»*Ананасов*

О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен

*Орлов*

16 июня 2009 года

a)

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года;
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков с 1 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»*Ананасов*

О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен

*Орлов*

16 июня 2009 года

b)

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года;
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков с 1 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»*Ананасов*

О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен

*Орлов*

16 июня 2009 года

c)

Рис. 3.24: Восстановление искажённого изображения 3.23: а) Фильтр Винера б) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 0.22 в) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 0.0022

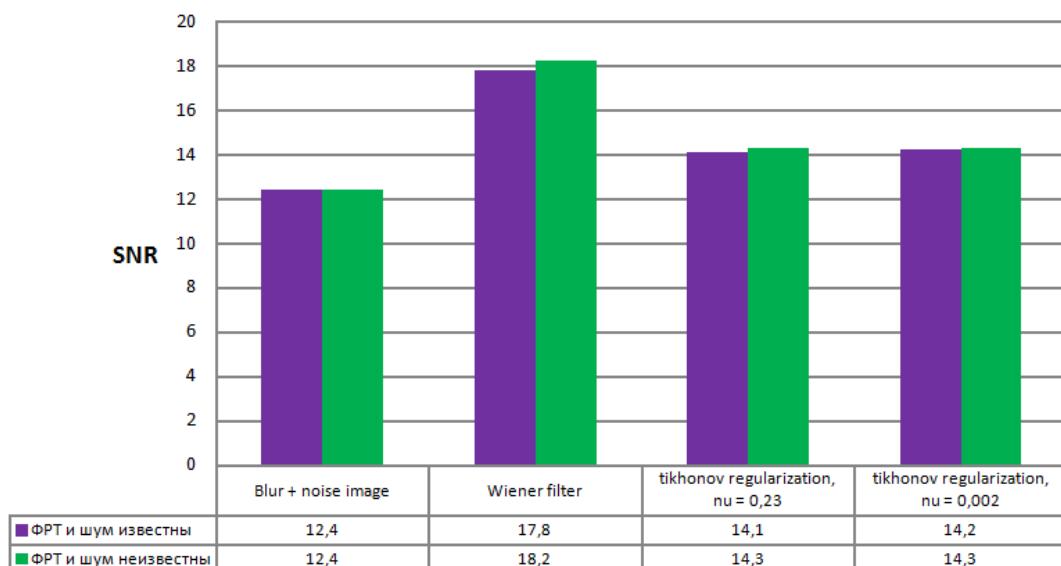


Рис. 3.25: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.24) для смаза в 45 пикселей с углом  $32^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-31.8\text{dB}$



a)

**Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрут»**

**ПРИКАЗ № 51/к**  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону 12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
**ПРИКАЗЫВАЮ:**

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней межведомственного отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года;
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в графах отпусков от 15 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрут»  
Иванов О.К. Аванесов

С приказом ознакомлен  
Фиников И.П. 16 июня 2009 года

b)

**Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрут»**

**ПРИКАЗ № 51/к**  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону 12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
**ПРИКАЗЫВАЮ:**

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней межведомственного отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года;
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в графах отпусков от 15 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрут»  
Иванов О.К. Аванесов

С приказом ознакомлен  
Фиников И.П. 16 июня 2009 года

c)



d)

**Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрут»**

**ПРИКАЗ № 51/к**  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону 12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
**ПРИКАЗЫВАЮ:**

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней межведомственного отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года;
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в графах отпусков от 15 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрут»  
Иванов О.К. Аванесов

С приказом ознакомлен  
Фиников И.П. 16 июня 2009 года

e)

**Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрут»**

**ПРИКАЗ № 51/к**  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону 12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
**ПРИКАЗЫВАЮ:**

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней межведомственного отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года;
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в графах отпусков от 15 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрут»  
Иванов О.К. Аванесов

С приказом ознакомлен  
Фиников И.П. 16 июня 2009 года

f)

Рис. 3.26: Восстановление искажённого изображения 3.23: Фильтр Люси-Ричардсона: а) 10 итераций, б) 50 итераций, в) 100 итераций. Метод слепой деконволюции: д) 10 итераций, е) 50 итераций, ф) 100 итераций

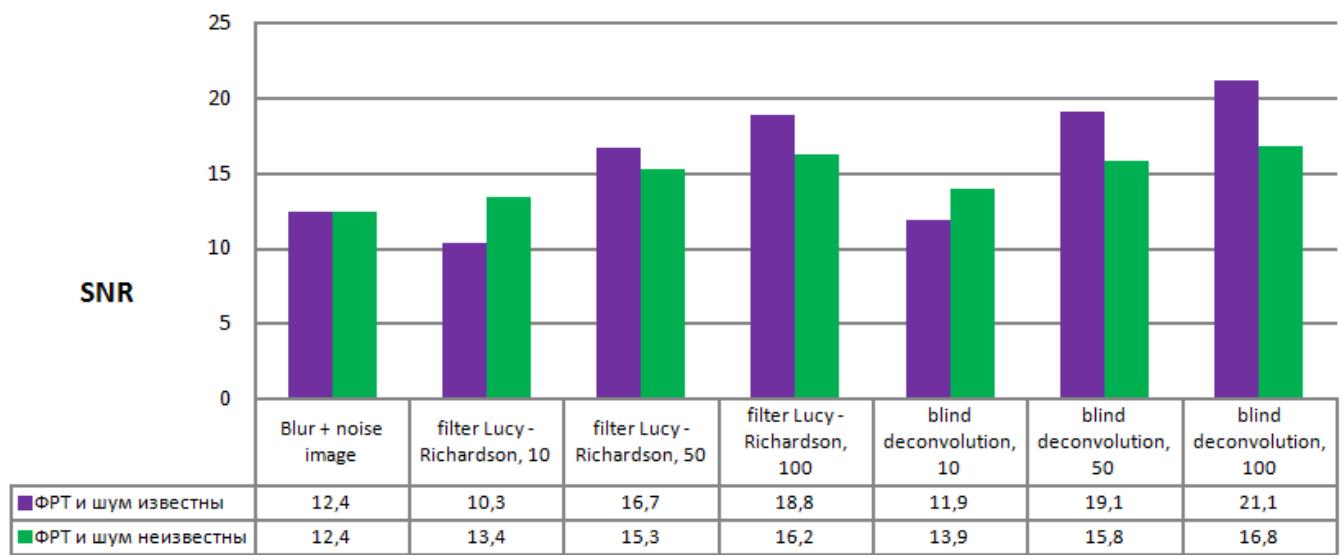


Рис. 3.27: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.26) для смаза в 45 пикселей с углом  $32^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-31.8\text{dB}$

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрукт»

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финникова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финникова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»

*Аннасов*

О.К. Аннасов

С приказом ознакомлен

*Финников*

16 июня 2009 года

Рис. 3.28: Искажённое изображение (смаз: величина – 5, угол – 56, шум:  $m_\eta = 0$ ,  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-27.1\text{dB}$ )

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»*Ананасов*

О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен

*Фиников*

16 июня 2009 года

a)

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»*Ананасов*

О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен

*Фиников*

16 июня 2009 года

b)

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»*Ананасов*

О.К. Ананасов

С приказом ознакомлен

*Фиников*

16 июня 2009 года

c)

Рис. 3.29: Восстановление искажённого изображения 3.28: а) Фильтр Винера б) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 2.03 в) Регуляризация по Тихонову, NOISEPOWER = 0.0203

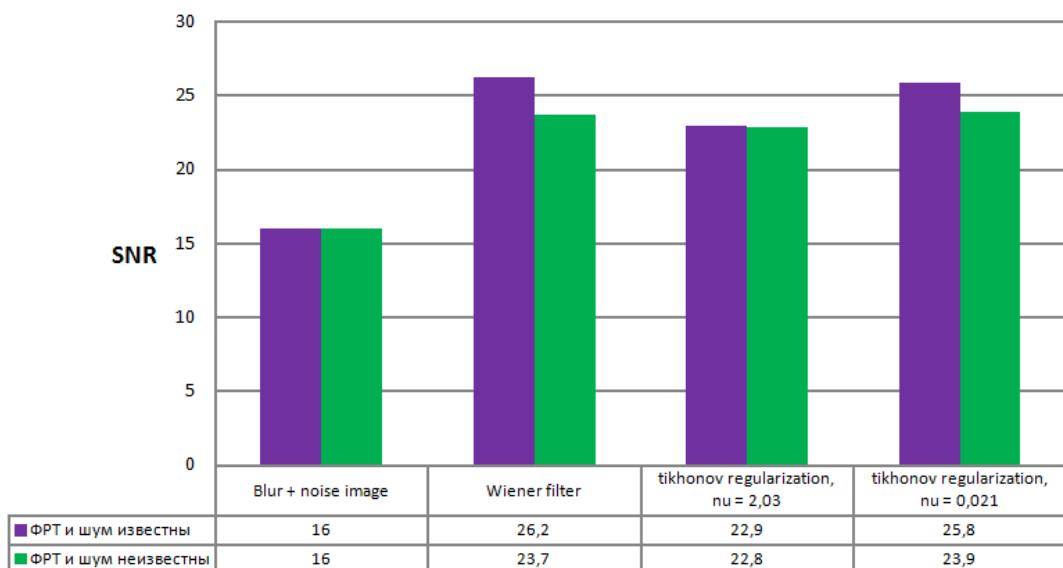


Рис. 3.30: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.29) для смаза в 5 пикселей с углом  $56^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-27.1\text{dB}$

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрукт»

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»  
*Ананасов* О.К. Ананасов  
С приказом ознакомлен  
*Фиников* 16 июня 2009 года

a)

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрукт»

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»  
*Ананасов* О.К. Ананасов  
С приказом ознакомлен  
*Фиников* 16 июня 2009 года

b)

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрукт»

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»  
*Ананасов* О.К. Ананасов  
С приказом ознакомлен  
*Фиников* 16 июня 2009 года

c)

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрукт»

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»  
*Ананасов* О.К. Ананасов  
С приказом ознакомлен  
*Фиников* 16 июня 2009 года

d)

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрукт»

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»  
*Ананасов* О.К. Ананасов  
С приказом ознакомлен  
*Фиников* 16 июня 2009 года

e)

Общество с ограниченной ответственностью «Сухофрукт»

ПРИКАЗ № 51/к  
о переносе отпуска

г. Ростов-на-Дону

12 июня 2009 года

В связи с производственной необходимостью  
ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Перенести начало ежегодного оплачиваемого отпуска (части ежегодного оплачиваемого отпуска) продолжительностью 14 календарных дней менеджера отдела телефонных продаж И.П. Финикова с 22 июня на 6 июля 2009 года.
2. Начальнику отдела кадров внести изменения в график отпусков от 11 декабря 2008 года и в иные документы по учету отпусков.
3. С настоящим приказом ознакомить И.П. Финикова.

Генеральный директор  
ООО «Сухофрукт»  
*Ананасов* О.К. Ананасов  
С приказом ознакомлен  
*Фиников* 16 июня 2009 года

f)

Рис. 3.31: Восстановлениеискажённого изображения 3.28: Фильтр Люси-Ричардсона: а) 10 итераций, б) 50 итераций, в) 100 итераций. Метод слепой деконволюции: д) 10 итераций, е) 50 итераций, ж) 100 итераций

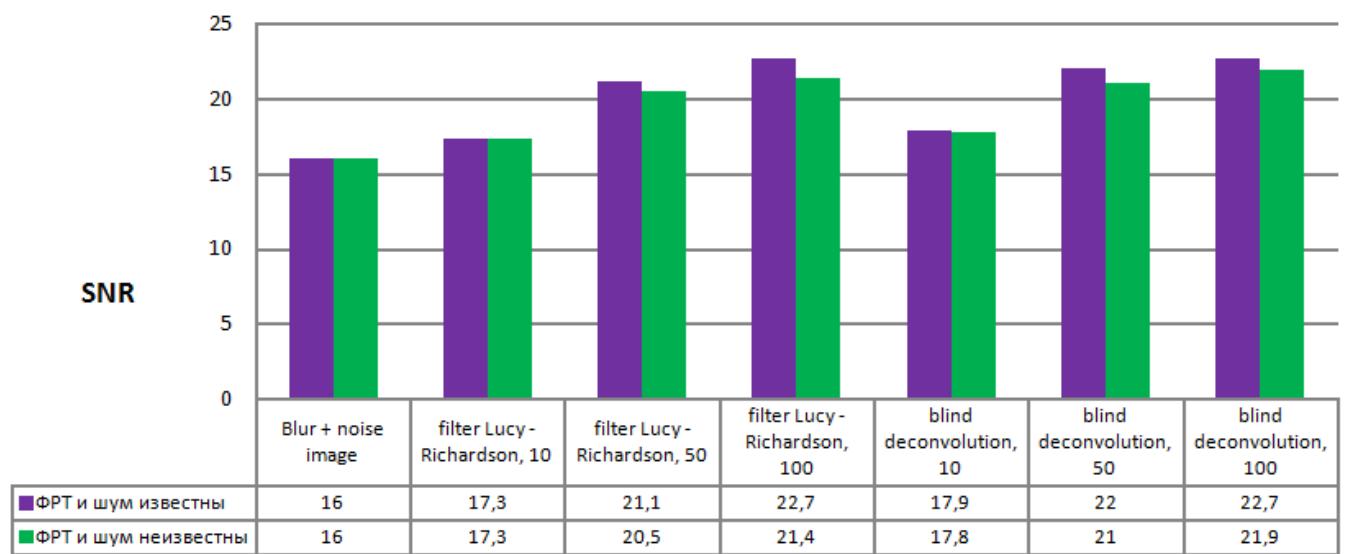


Рис. 3.32: NSR восстановленных изображений (рисунок 3.31) для смаза в 5 пикселей с углом  $56^0$  и шумом с параметрами  $m_\eta = 0$  и  $\sigma_\eta = 3 * 10^{-3}$ , уровень шума относительно изображения равен  $-27.1\text{дБ}$