

Правительство Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова

Хафизова Татьяна Артемовна

**ОТЧЕТ**  
**О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ № 5**  
**ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ КРИПТОГРАФИИ И**  
**СТЕГАНОГРАФИИ»**

*Встраивание цифровых водяных знаков в частотную область цифровых  
изображений*

студента образовательной программы «Информационная безопасность»  
по направлению подготовки 10.03.01 Информационная безопасность

Руководитель  
Заведующий кафедрой  
информационной безопасности  
киберфизических систем  
к.т.н., доцент кафедры ИБ

---

О.О. Евсютин

Москва, 2025 год

# Оглавление

Задание .....	3
Глава 1 Теоретические основы встраивания информации в цифровые изображения .....	4
1.1 Цифровое маркирование изображений . . . . .	4
1.2 Особенности встраивания ЦВЗ . . . . .	4
1.3 Описание алгоритма . . . . .	5
1.3.1 Предобработка контейнера и ЦВЗ . . . . .	6
1.3.2 Встраивание ЦВЗ в пустой контейнер . . . . .	8
1.3.3 Восстановление изображения со встроенным ЦВЗ из ДКП блоков	10
1.3.4 Извлечение ЦВЗ из стегоконтейнера . . . . .	10
1.4 Выбор метрик для проведения стегоанализа . . . . .	11
1.5 Атака на алгоритм встраивания ЦВЗ с использованием ДКП . . . . .	12
1.6 Выводы . . . . .	12
Глава 2 Реализация алгоритма встраивания ЦВЗ, основанного на ДКП.....	13
2.0.1 Встраивание ЦВЗ . . . . .	13
2.0.2 Извлечение ЦВЗ . . . . .	17
2.1 Выводы . . . . .	18
Глава 3 Оценка качества работы алгоритма.....	19
3.0.1 Анализ незаметности ЦВЗ . . . . .	19
3.0.2 Анализ незаметности ЦВЗ после проведения атаки — сжатия JPEG	19
3.1 Выводы . . . . .	21
Заключение .....	22
Список литературы .....	23

## Задание

1. написать программную реализацию одного из двух рассмотренных; методов встраивания ЦВЗ в частотную область цифровых изображений по выбору студента;
2. провести вычислительные эксперименты с полученной программной реализацией и сделать выводы об эффективности рассмотренного метода встраивания;
3. подготовить отчет о выполнении работы.

Программа должна обладать следующей функциональностью:

4. при встраивании:
    - принимать на вход изображение-контейнер;
    - принимать на вход ЦВЗ для встраивания;
    - рассчитывать показатели качества встраивания;
  5. при извлечении:
    - принимать на вход изображение, содержащее ЦВЗ;
    - при необходимости принимать на вход исходное изображение-контейнер;
  6. осуществлять встраивание или извлечение информации по выбору пользователя.
- Вычислительные эксперименты с полученной программной реализацией должны включать следующее:
7. оценку незаметности встраивания;
  8. оценку робастности: извлечение ЦВЗ из изображений в условиях отсутствия атак и при наличии нескольких типичных атак (обязательно JPEG-сжатие с несколькими степенями сжатия).

# Глава 1 Теоретические основы встраивания информации в цифровые изображения

## 1.1. Цифровое маркирование изображений

Одним из цифровых стенографических методов защиты мультимедийного материала является цифровое маркирование ("digital watermarking"), которое заключается во встраивании цифрового водяного знака (ЦВЗ), то есть некоторой дополнительной информации. ЦВЗ используется для защиты от копирования, аутентификации, скрытой аннотации документов и скрытой связи.

В данной работе предоставлен метод встраивания цифрового водяного знака в изображение. В дальнейшем изображение без ЦВЗ будем называть пустым контейнером, а картинку после встраивания информации — стегоконтейнером. Скрытым сообщением в нашем случае будет сам цифровой знак.

Основными требованиями к алгоритмам, согласно [1, стр.17], являются 3 пункта. Во-первых, стойкость — способность сохранить изначальный вид после воздействия атак. Во-вторых, необнаруживаемость — возможность противостоять методам стегоанализа. В-третьих, невидимость — способность не вносить видимых человеческим глазом изменений, то есть сохранение яркости, контрастности, размера, форм.

## 1.2. Особенности встраивания ЦВЗ

ЦВЗ различаются по степени устойчивости к искажениям: хрупкие ЦВЗ разрушаются при любом изменении контейнера, обычно используются для проверки подлинности, полухрупкие могут выдержать некоторые разрешенные преобразования, например JPEG-сжатие, а робастные (стойкие) ЦВЗ обнаружимы после существенных искажений контейнера, и нужны для отслеживания незаконного распространения и защиты авторских прав.

Автор диссертации [1, стр.19] отмечает результаты исследования, в котором проводился анализ атак на системы цифрового маркирования. Так, выделяется два класса атак: системные атаки и неавторизованное воздействие. Первые используют ошибки

в работе стегонаграфической системы, например мозаичная атака (когда изображение разбивается на слишком маленькие контейнеры, не способные хранить ЦВЗ). Вторые заключаются в поиске встроенного ЦВЗ, его извлечения либо изменения до состояния, когда детектор не видит ЦВЗ, и встраивания своей маркировки злоумышленником. Примером могут являться атаки — JPEG и JPEG2000 сжатия.

JPEG сжатие основано на использовании дискретного косинусного преобразования (ДКП или DCT). Главной идеей данной атаки является искажение фрагментов стегоконтейнера и удаление информации в высокочастотных коэффициентах.

По области встраивания ЦВЗ автор выделяет пространственные (цветовые искажения и изменение яркости), частотные (дискретные преобразования) и основанные на моментах изображений алгоритмы (влияние на дескрипторы, то есть цвет, форму, текстуру, изображения).

В данной работе рассматривается частотный алгоритм, основанный на дискретном косинусном преобразовании исходного изображения. Положительной особенностью данного метода является высокая устойчивость к компрессии и шуму, однако недостатком является высокая вычислительная сложность.

### 1.3. Описание алгоритма

Выше было отмечено, что предложенным алгоритмом является использование дискретного косинусного преобразования пустого контейнера.

В процессе реализации предложенного алгоритма было отмечено, что во время встраивания бинарного ЦВЗ с использованием метода корреляции соседних блоков [2] вычислительная сложность оказалась слишком большой. Так, время встраивания ЦВЗ с расширением 2 пикселя было сравнительно меньше, чем встраивание 16 битов цифрового водяного знака. Поэтому был предложен метод встраивания по формуле И.Коха [1, стр. 37].

Стегонаграфическая схема работы алгоритма представлена на Рисунке 1.



*Рисунок 1.1 – Стегосхема*

### 1.3.1. Предобработка контейнера и ЦВЗ

В предложенном алгоритме перед непосредственным встраиванием цифрового водяного знака в исходное изображение требуется произвести предобработку контейнера и ЦВЗ.

На этапе предобработки значения пикселей RGB изображения, находящиеся в интервале от 0 до 255 необходимо преобразовать таким образом, чтобы они находились в промежутке от -128 до 127. Для этого от каждого значения пикселя необходимо отнять 128.

В качестве алгоритма перехода исходного RGB изображения к его частотному представлению используется метод ДКП, отдельного для каждого из 3 слоев (синий, зеленый, красный). Контейнер расширения N разбивается на блоки размером  $8 \times 8$  пикселей. Каждый блок подвергается ДКП, осуществляемому по формуле:

$$g_{u,v} = \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x,y) \cos \left( \frac{(2x+1)u\pi}{16} \right) \cos \left( \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right) \quad (1.1)$$

где  $0 \leq x, y \leq 7$ ,  $f(xy)$  — элементы блока контейнера,  $C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & f = 0, \\ 1, & f > 0. \end{cases}$

Коэффициент в верхнем левом углу является средним значением всех 64 пикселей блока и называется DC-коэффициентом. Остальные 63 коэффициента называются AC-коэффициентами.

Ниже на рисунке 2 показано, каким образом блок ДКП-коэффициентов делится на частотные области. Обход ДКП-коэффициентов осуществляется по зигзагу. Для сокрытия битов ЦВЗ используется только один (любой заранее определенный) средне-частотный коэффициент в каждом блоке.

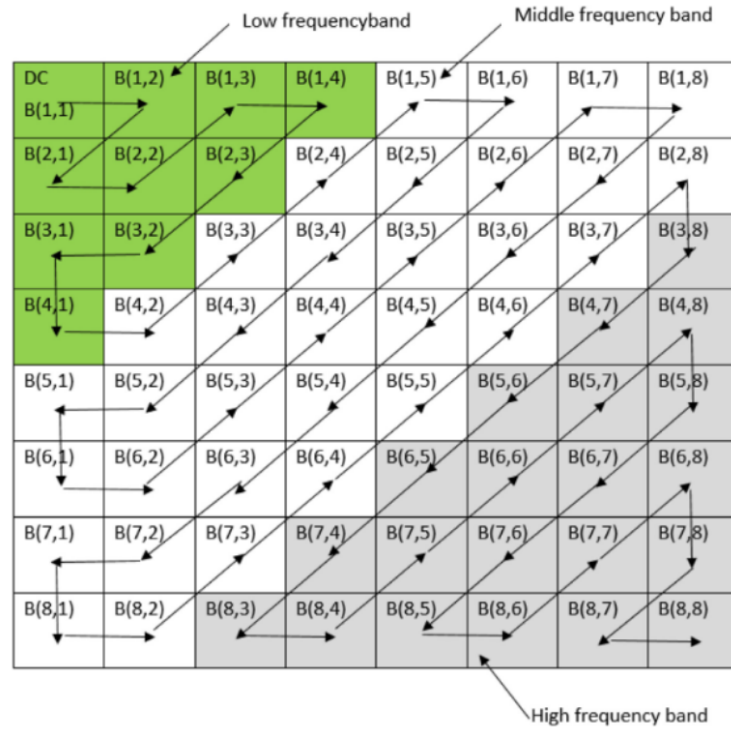


Рисунок 1.2 – Низкие, средние и высокие частоты коэффициентов ДКП

Предобработка бинарного водяного знака заключается в некотором перемешивающем преобразовании. Популярным методом перемешивания битов ЦВЗ является преобразование Арнольда [1, стр.75]. Данное преобразование изменяет координаты пикселей, создавая запутанную версию исходного ЦВЗ. Оно выполняется по следующей формуле:

$$\begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} \right) \bmod \frac{N}{8} \quad (1.2)$$

где  $i, j$  — это исходные координаты пикселя;

$i', j'$  — новые координаты пикселя;

$\frac{N}{8}$  — порядок матрицы ЦВЗ.

### 1.3.2. Встраивание ЦВЗ в пустой контейнер

В предложенном методе [2] авторы используют метод нахождения корреляции соседних блоков.

Они вводят понятие разностной величины  $\Delta$  для установления соотношений между соседними блоками пикселей. Разностная величина вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta = B_{P,Q}(x, y) - B_{P,Q+1}(x, y) \quad (1.3)$$

В представленных выражениях  $B_{P,Q}(x, y)$  — это выбранный для встраивания бита ЦВЗ коэффициент, находящийся в блоке  $B_{P,Q}$  в ячейке с координатами  $(x, y)$ . Из данного коэффициента вычитается соответствующий коэффициент соседнего блока.

Встраивание битов ЦВЗ выполняется в зависимости от значения  $\Delta$  и бита водяного знака. При встраивании используются два параметра  $T$  и  $K$ , которые определяют упомянутые ранее интервалы, соответствующие нулевому и единичному битам ЦВЗ. По умолчанию  $T = 80$  и  $K = 12$ .

Если бит **ЦВЗ равен 1**, то возможны следующие варианты при встраивании информации:

1.  $\Delta > T - K$

Тогда, пока  $\Delta > T - K$ , необходимо выполнять



$$B_{P,Q}(x, y) = B_{P,Q}(x, y) - M(B_{P,Q}),$$

$$\Delta = B_{P,Q}(x, y) - B_{P,Q+1}(x, y).$$

$$2. K > \Delta > -\frac{T}{2}$$

Тогда, пока  $\Delta < K$ , необходимо выполнять

$$B_{P,Q}(x, y) = B_{P,Q}(x, y) + M(B_{P,Q}),$$

$$\Delta = B_{P,Q}(x, y) - B_{P,Q+1}(x, y).$$

$$3. \Delta < -\frac{T}{2}$$

Тогда, пока  $\Delta > -T - K$ , необходимо выполнять

$$B_{P,Q}(x, y) = B_{P,Q}(x, y) - M(B_{P,Q}),$$

$$\Delta = B_{P,Q}(x, y) - B_{P,Q+1}(x, y).$$

Если бит **ЦВЗ** равен **0**, то возможны следующие варианты при встраивании информации:

$$1. \Delta > -\frac{T}{2}$$

Тогда, пока  $\Delta \leq T + K$ , необходимо выполнять

$$B_{P,Q}(x, y) = B_{P,Q}(x, y) + M(B_{P,Q}),$$

$$\Delta = B_{P,Q}(x, y) - B_{P,Q+1}(x, y).$$

$$2. -K < \Delta < \frac{T}{2}$$

Тогда, пока  $\Delta \geq -K$ , необходимо выполнять

$$B_{P,Q}(x, y) = B_{P,Q}(x, y) - M(B_{P,Q}),$$

$$\Delta = B_{P,Q}(x, y) - B_{P,Q+1}(x, y).$$

$$3. \Delta < K - T$$

Тогда, пока  $\Delta \geq -K$ , необходимо выполнять

$$B_{P,Q}(x, y) = B_{P,Q}(x, y) + M(B_{P,Q}),$$

$$\Delta = B_{P,Q}(x, y) - B_{P,Q+1}(x, y).$$

Однако, после реализации данного метода было замечено, что время, затраченное на внедрение ЦВЗ в контейнер слишком большое, так для цифрового водяного знака расширением больше 4 пикселей требовалось не менее 1 секунды, а ЦВЗ  $16 \times 16$  обрабатывался несколько минут.

Тогда был сделан вывод о том, что задача о нахождении разностных величин и изменении контейнеров обладает непредсказуемой вычислительной сложностью, то есть относится к классу неполиномиальных алгоритмов, а это означает, что мы не можем

точно гарантировать внедрение ЦВЗ в течение малого времени. Основной причиной такого поведения является различная степень гладкости текстуры [1, стр.47] у разных изображений.

Так, был предложен метод, основанный на использовании формулы И.Коха [1, стр. 37]:

$$c'_i = c_i + \alpha \times w_i \quad (1.4)$$

где  $c'_i$  — модифицированный пиксель контейнера из ДКП коэффициентов;

$c_i$  — пиксель контейнера из ДКП коэффициентов;

$w_i$  — пиксель преобразованного ЦВЗ;

$\alpha$  — коэффициент усиления.

### 1.3.3. Восстановление изображения со встроенным ЦВЗ из ДКП блоков

После того, как все биты ЦВЗ будут встроены в блоки изображения, необходимо выполнить обратное ДКП:

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C_i C_j g(u, v) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{16}\right) \quad (1.5)$$

где  $0 \leq u, v \leq 7$ ,  $g(u, v)$  — значение пикселя матрицы ДКП,  $C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & f = 0, \\ 1, & f > 0. \end{cases}$

Затем округлить полученные значения до целых, а после прибавить к каждому из них 128, чтобы вернуть значения пикселей в диапазон от 0 до 255.

### 1.3.4. Извлечение ЦВЗ из стегоконтейнера

Для извлечения цифрового водяного знака сначала требуется уменьшить значение каждого пикселя на 128, затем провести обратное косинусное преобразование (формула 1.5) каждого из блоков  $8 \times 8$  пикселей.

Последним шагом нужно привести измененный цифровой знак к изначальному виду, для этого применить обратное преобразование Арнольда по формуле:

$$\begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} \right) \mod \frac{N}{8} \quad (1.6)$$

где  $i, j$  — это исходные координаты пикселя;

$i', j'$  — новые координаты пикселя;

$\frac{N}{8}$  — порядок матрицы ЦВЗ.

## 1.4. Выбор метрик для проведения стегоанализа

Для исследования качества встраивания цифрового водяного знака в контейнер и робастности в данной работе будут использоваться следующие метрики:

- пиковое отношение сигнала к шуму PSNR (peak signal-to-noise ratio, измеряется в dB):

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2 * N^2}{\sum_{x,y}^N (f(x, y) - f'(x, y))^2} \quad (1.7)$$

где  $N$  — расширение контейнера;

$f(x, y)$  — значения пикселя пустого контейнера с координатами  $(x, y)$ ;

$f'(x, y)$  — значения пикселя стегоконтейнера с координатами  $(x, y)$ .

Согласно [1, стр.39], PSNR показатель незаметно встроенного ЦВЗ не должен превышать 43 dB.

- нормализованная кросс-корреляция (NCC — normalized cross-correlation или коэффициент корреляции Пирсона) [3]:

$$NCC = \frac{\sum_{x,y}^N ((f(x, y) - f_{avg}) * (f'(x, y) - f'_{avg}))}{\sqrt{\sum_{x,y}^N ((f(x, y) - f_{avg})^2) * \sqrt{\sum_{x,y}^N (f'(x, y) - f'_{avg})^2}}} \quad (1.8)$$

где  $N$  — расширение контейнера,

$f(x, y)$  — значения пикселя пустого контейнера с координатами  $(x, y)$ ;

$f'(x, y)$  — значения пикселя стегоконтейнера с координатами  $(x, y)$ ;

$f_{avg}$  — среднее значение пикселей пустого контейнера;

$f'_{avg}$  — среднее значение пикселей стегоконтейнера.

В источнике [1] сказано, что значения данного коэффициента определены на промежутке  $[-1, 1]$ , и устойчивым к атакам стегоконтейнером можно считать,

если он имеет значение NCC не менее 0,5. Чем меньше разница значений пикселей, тем большее значение имеет данный коэффициент.

### **1.5. Атака на алгоритм встраивания ЦВЗ с использованием ДКП**

Дискретное косинусное преобразование используется в алгоритме сжатия JPEG, поэтому при сжатии стегоконтейнера может потеряться информация.

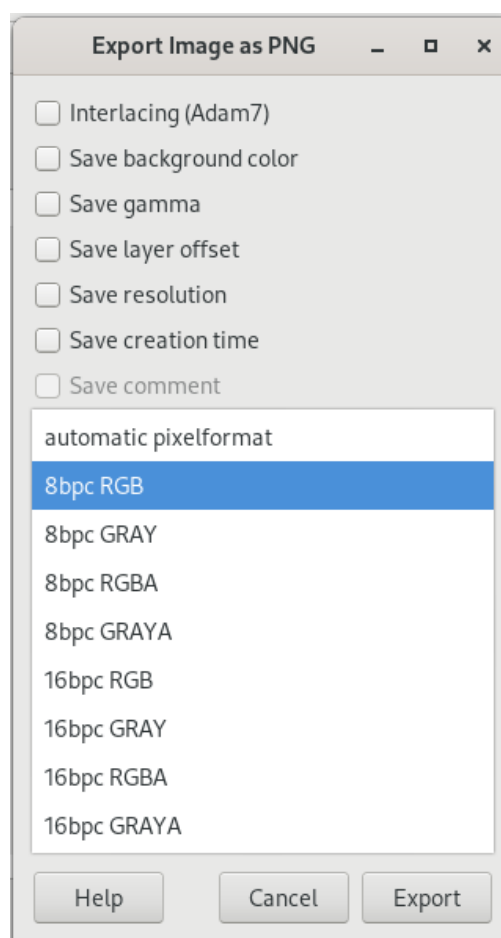
### **1.6. Выводы**

1. В предложенном алгоритме встраивания цифрового водяного знака в контейнер используется дискретное косинусное преобразование, которое позволяет скрывать биты информации не напрямую в значениях пикселей изображения, а в их частотном преобразовании.
2. Метод встраивания информации в корреляционные значения соседних блоков показал неэффективность для изображений, имеющих гладкую текстуру, поэтому был предложен способ встраивания по формуле И. Коха.
3. ДКП имеют уязвимость к сжатию JPEG.
4. Для улучшения скрытия ЦВЗ используется преобразование Арнольда.
5. Были определены метрики для стегоанализа данного метода цифрового маркирования — PSNR и NCC.

## Глава 2 Реализация алгоритма встраивания ЦВЗ, основанного на ДКП

### 2.0.1. Встраивание ЦВЗ

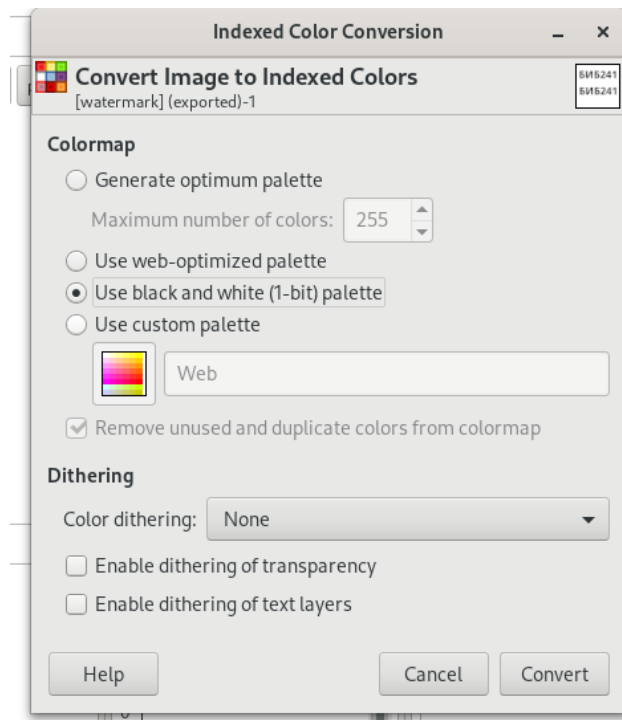
На рисунке 2.1 показано как с помощью программы Gimp экспортировать изображение в контейнер формата 8 bit rgb.



*Рисунок 2.1 – Создание картинки RGB*

Также требуется создать цифровой водяной знак в виде бинарного изображения. Это так же можно сделать в Gimp (рисунок 2.2)

Как отмечалось ранее, эксперименты с встраиванием ЦВЗ предложенным методом показали, что скорость работы алгоритма сильно зависит от плавности перехода пикселей. На рисунках 2.3 а) и 2.3 б) показаны картинки с резким переходом цветов пикселей 8bit rgb с расширением 16 пикселей до встраивания ЦВЗ и после. На рисун-



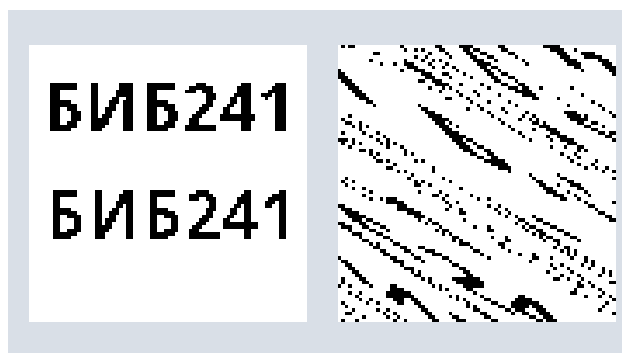
*Рисунок 2.2 – Создание картинки RGB*

ке 2.3 в) изображение того же расширения, но с плавным переходом. Для него метод корреляции соседних блоков не позволяет встроить цифровой водяной знак.



*Рисунок 2.3 – Изображения с разной плавность перехода цвета пикселей*

На этапе предобработки ЦВЗ был использован метод преобразования Арнольда (формула 1.1). Цифровой водяной знак расширением 80 пикселей до и после обработки изображен на рисунке 2.4.



*Рисунок 2.4 – ЦВЗ до и после преобразования Арнольда*

Далее пустой контейнер разбивался на блоки  $8 \times 8$  пикселей. К каждому блоку переменялось ДКП (формула 1.1), по формуле И.Коха (формула 1.4) встраивался ЦВЗ и делалось обратное дискретное косинусное преобразование (формула 1.5).

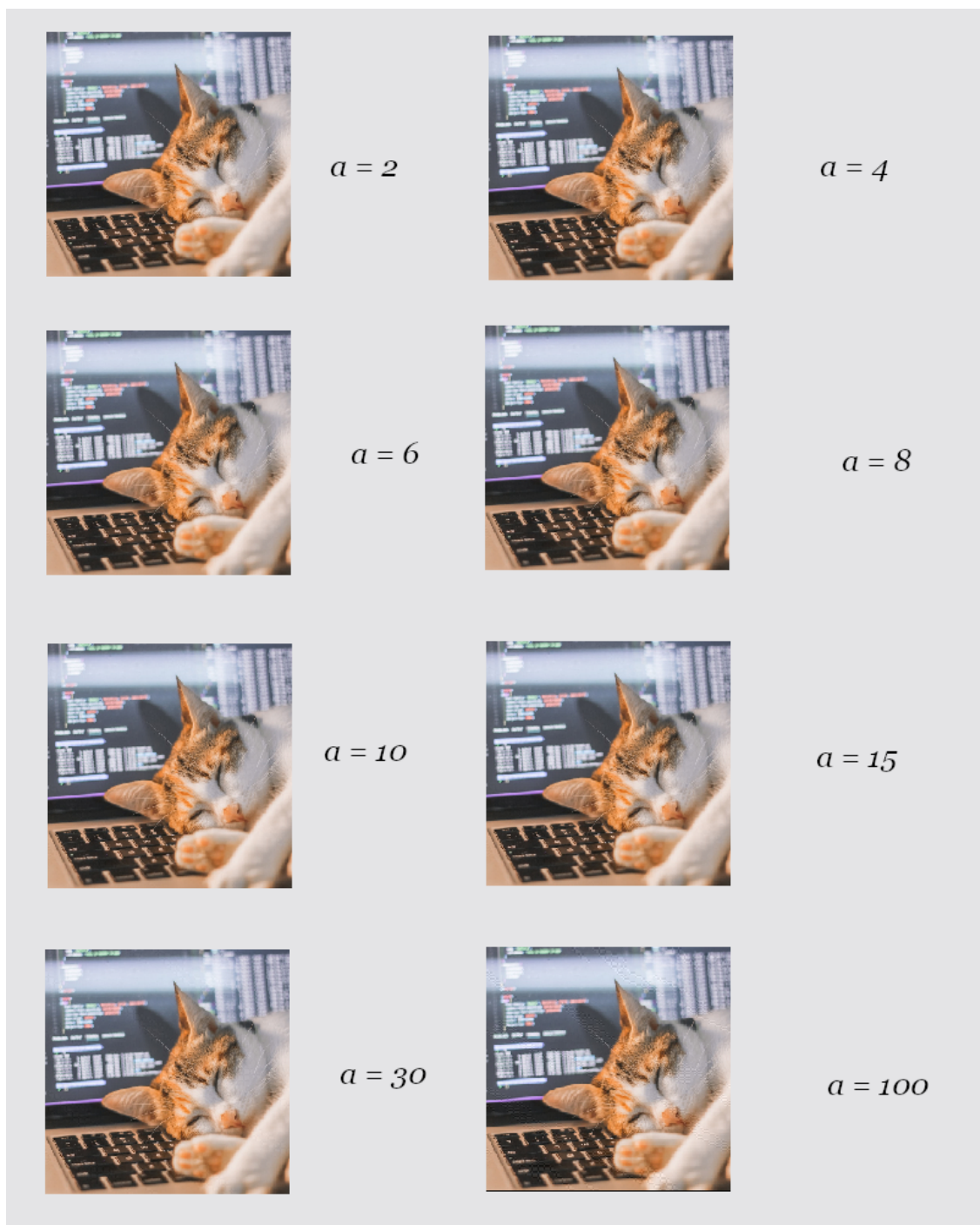
Остановимся подробнее на выборе коэффициента для формулы И.Коха. Данная формула была придумана в первую очередь для цветных либо монохромных ЦВЗ, а так как в данной работе используется бинарный цифровой водяной знак, её можно просто понимать, как добавление некоторого числа, если бит ЦВЗ равен 1, и отсутствия изменений в значении пикселя, если бит равен 0.

Таким образом, чем больше значение коэффициента усиления, тем сильнее меняется значение пикселя. Учитывая данный факт, необходимо выбрать такой коэффициент, который смог бы с большой точностью говорить о том, что был встроен пиксель ЦВЗ.

Поскольку в предложенном алгоритме используется ДКП, существует вероятность потери данных при выборе слишком маленького значения коэффициента, например 1, 2 или 3. Однако и слишком большое значение окажет сильное влияние на визуальное качество стегоконтейнера, так как при обратном ДКП измениться значение целого блока, то есть 64 пикселей.

На мой взгляд, наиболее оптимальным значением коэффициента усиления будет являться промежуток чисел от 4 до 8.

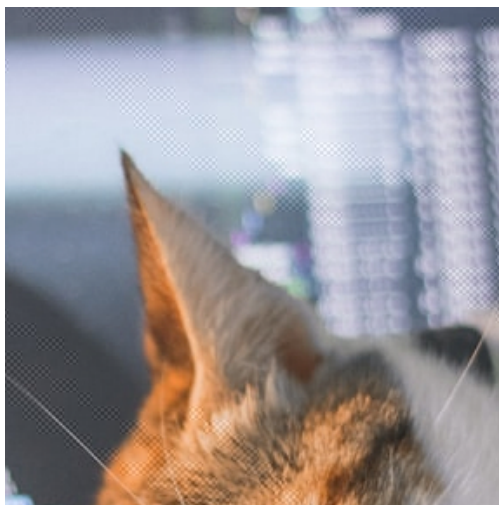
Визуальное сравнение стегоконтейнеров с различными значениями коэффициентов усиления представлено на рисунке 2.5.



*Рисунок 2.5 – Разные значения коэффициента усиления*



Следы встраивания ЦВЗ при слишком большом значении коэффициента можно увидеть на рисунке 2.6.



*Рисунок 2.6 – Приближенное изображение при  $\alpha = 100$*

### 2.0.2. Извлечение ЦВЗ

Для того чтобы извлечь цифровой водяной знак нужно произвести обратное ДКП (формула 1.5) к пустому контейнеру и стегоконтейнеру.

После сравнить значения пикселей исходного изображения и маркированного. Так как из-за вычислительных погрешностей во время дискретных преобразований могут возникнуть небольшие отклонения значения (по результатам опытов разность обычно не превышает 3), будем считать, что бит скрыт если разность больше 3. В целом, значения пикселей со встроенными битами ЦВЗ будут отличаться на  $\alpha$ . Поэтому было предложено значение коэффициента усиления от 4 до 8.

И далее по формуле 1.6 производим обратное преобразование Арнольда и получаем цифровой водяной знак.

Пример извлечения ЦВЗ при значении коэффициента усиления равном 6 представлен на рисунке 2.7.



*Рисунок 2.7 – ЦВЗ до и после восстановления*

## 2.1. Выводы

1. Был реализован алгоритм встраивания цифрового водяного знака при различных значениях коэффициента усиления, а также алгоритм его извлечения.
2. Экспериментальным путем было установлено наиболее оптимальное значение коэффициента усиления — промежуток чисел от 4 до 8.

## Глава 3 Оценка качества работы алгоритма

### 3.0.1. Анализ незаметности ЦВЗ

В качестве примеров для стегоанализа были взяты стегоконтейнеры с коэффициентами усиления 4, 8, 100. Ранее отмечалось, что визуально стегоконтейнер со значением  $\alpha = 100$  явно выдает наличие ЦВЗ и что лучшими значениями коэффициента усиления являются числа от 4 до 8.

Были рассчитаны значения метрик для данных стегоконтейнеров:

1.  $\alpha = 4$ :

$$PSNR = 15.125163764386203$$

$$NCC = 0.9999539127905516$$

2.  $\alpha = 8$ :

$$PSNR = 14.824983471207995$$

$$NCC = 0.9999358866684656$$

3.  $\alpha = 100$ :

$$PSNR = 10.082760011992452$$

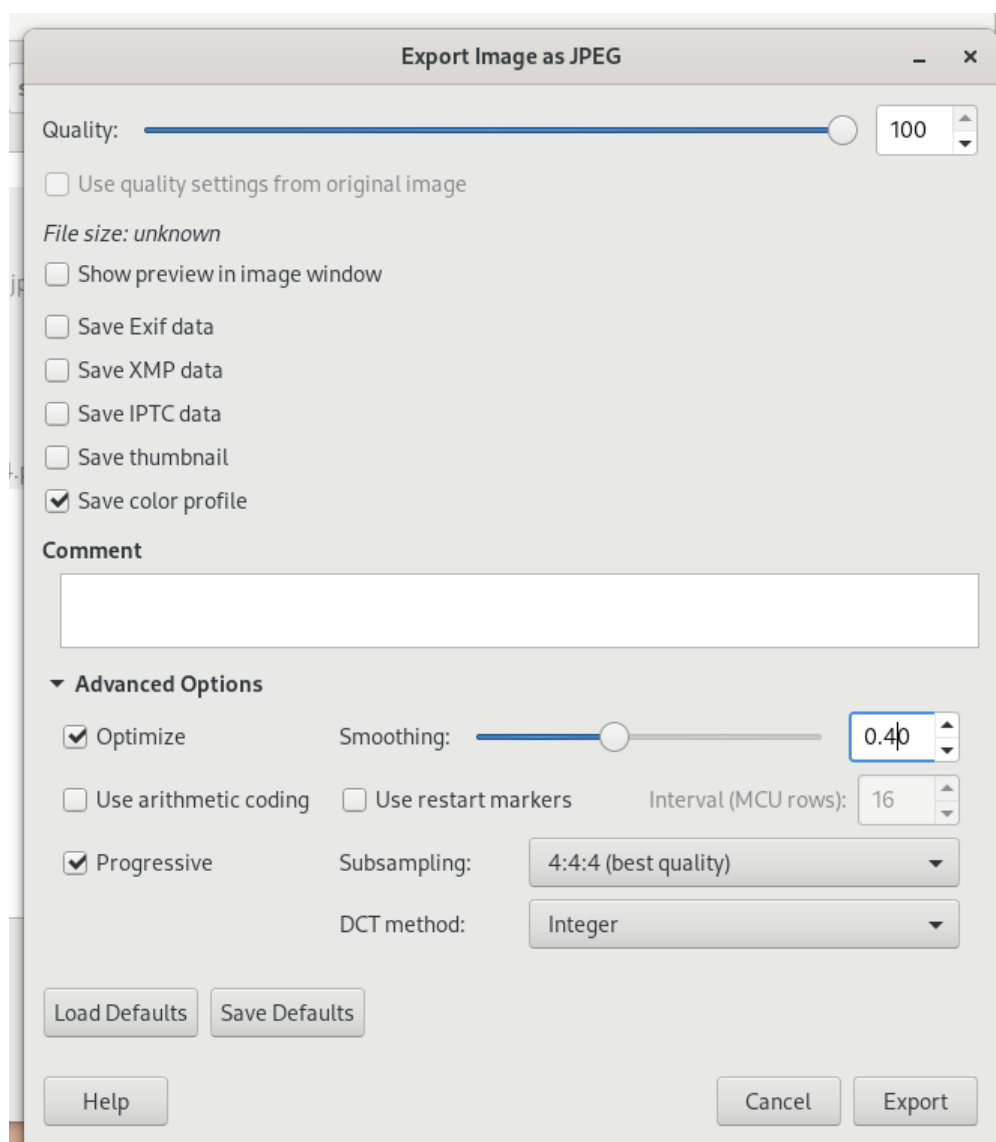
$$NCC = 0.9970793137026833$$

Для всех трех случаев значение  $PSNR < 43$  dB и  $NCC \rightarrow 1$ .

Таким образом, можно сделать вывод о том, что полученные значения метрик удовлетворяют стандартным величинам, однако полностью полагаться на стегодетектор нельзя, все же зрительный анализ показал явное присутствие дефектов на стегоконтейнере при  $\alpha = 100$ .

### 3.0.2. Анализ незаметности ЦВЗ после проведения атаки — сжатия JPEG

Сжатие JPEG проводилось с помощью программы GIMP (рисунок 3.1).



*Рисунок 3.1 – Сжатие JPEG в GIMP*

На рисунке 3.2 представлены 4 водяных знака, восстановленных из стегоконтейнера. Самый левый ЦВЗ получен из несжатого изображения. Далее три знака, которые были получены путем восстановления из изображения, которое подверглось JPEG сжатию 0.2 , 0.4 и 0.6 уровней.



*Рисунок 3.2 – Цифровые водяные знаки, восстановленные из немодифицированного стегоконтейнера и после атаки сжатия*

Значения метрик для данных стегоконтейнеров, подвергшихся атакам JPEG сжатия различных уровней:

1. уровень сжатия 0.2:

$$PSNR = 13.81866378172658$$

$$NCC = 0.9998373164252435$$

2. уровень сжатия 0.4:

$$PSNR = 12.818164810718931$$

$$NCC = 0.9996386798454241$$

3. уровень сжатия 0.6:

$$PSNR = 12.242813065501073$$

$$NCC = 0.9993557392067136$$

### 3.1. Выводы

1. Предложенный метод встраивания цифрового водяного знака с помощью дискретного косинусного преобразования имеет уязвимость к JPEG сжатию. Данная атака заключается в том, что алгоритм сжатия основан на ДКП, поэтому большая часть информации теряется.
2. В результате проделанных экспериментов, был сделан вывод о том, что данный стегоконтейнер не способен сохранить ЦВЗ при JPEG сжатии 0.4 уровня и больше.

## Заключение

В данной практической работе был реализован алгоритм встраивания цифрового водяного знака с последующим его извлечением на основе дискретного косинусного преобразования.

Резюмируя вышесказанное, следует подчеркнуть, что метод корреляции соседних блоков является неэффективным для встраивания информации в изображения гладкой текстуры. Существует другой метод маркирования контейнеров, который основывается на формуле И. Коха.

Данный алгоритм может быть подвержен атаке типа JPEG сжатия, и после некоторого уровня степени сжатия полностью теряется возможность восстановления цифрового водяного знака.

## Список литературы

- [1] Батура, Владимир Александрович: Методы и алгоритмы повышения устойчивости цифровых водяных знаков, внедряемых в статические изображения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.19, Санкт-Петербург, 2015
- [2] Ko H.-J., Huang C.-T., Horng G., Shiuh-Jeng W. Robust and blind image watermarking in DCT domain using inter-block coefficient correlation // Information Sciences. – 2020. – Vol. 517. – P. 128–147.
- [3] Pearson correlation coefficient // wikipedia.org URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pearson correlation coefficient](https://en.wikipedia.org/wiki/Pearson_correlation_coefficient) (дата обращения: 04.06.2025).