



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

---

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

---

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

---

# РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

## *К НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ*

### *НА ТЕМУ:*

### *«Классификация методов сжатия изображений»*

Студент ИУ7-52Б  
(Группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

В. М. Короткая  
(И. О. Фамилия)

Руководитель

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

К. А. Кивва  
(И. О. Фамилия)

2022 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>1 Анализ предметной области</b>	<b>4</b>
1.1 Цифровое изображение (Digital Image) . . . . .	4
1.2 Сжатие изображений . . . . .	4
1.3 Вывод . . . . .	6
<b>2 Классификация существующих решений</b>	<b>7</b>
2.1 Существующие решения . . . . .	7
2.1.1 RLE . . . . .	7
2.1.2 Метод Хаффмана . . . . .	7
2.1.3 LZW . . . . .	9
2.1.4 JPEG . . . . .	10
2.1.5 Фрактальное сжатие . . . . .	12
2.2 Классификация методов сжатия изображений . . . . .	14
2.3 Вывод . . . . .	15
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>16</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	<b>18</b>

# ВВЕДЕНИЕ

Профессионально-техническая и социально-культурная среда современного человека становится все более электронной, а главной характеристикой этого процесса является огромный объем цифровых данных, который создается, хранится и циркулирует в этой среде. Поскольку значительная часть этих данных является графической, аудио или видеоинформацией, требования к техническим параметрам средств связи и системам хранения становятся чрезвычайно высокими. Поэтому эффективное функционирование и развитие коммуникативно-компьютерных систем хранения, обработки, передачи и поиска мультимедийной информации невозможно без использования методов сжатия, многообразие которых требует их корректного сравнения и классификации.

Целью данной работы является классификация существующих методов сжатия изображений.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- проанализировать предметную область;
- изучить существующие методы сжатия изображений;
- провести классификацию методов сжатия изображений.

# 1 Анализ предметной области

Изображения и иллюстрации стали использоваться повсеместно — возникла проблема, связанная с их большим размером. В последние годы решению этой проблемы уделяется достаточно серьезное внимание. Разработано большое количество различных алгоритмов архивации графики: использовались как видоизмененные универсальные, так и абсолютно новые алгоритмы, ориентированные только на изображения. Более того, были разработаны алгоритмы, ориентированные только на конкретный класс изображений.

Для того, чтобы вести речь об изображениях, необходимо определить, что под ними понимается.

## 1.1 Цифровое изображение (Digital Image)

Цифровое изображение представляет собой изображение, полученное путем оцифровки аналогового изображения с использованием пикселей в качестве основных элементов, и может быть сохранено и обработано цифровым компьютером или цифровой схемой. [1]

В зависимости от способа описания, изображение может быть растровым или векторным.

**Растровое изображение** — изображение, представляющее собой сетку пикселей.

**Векторное изображение** — изображение, получающееся путём математического описания элементарных геометрических объектов, обычно называемых примитивами, таких как точки, линии, сплайны, кривые Безье, круги и окружности, многоугольники.

В данной работе речь пойдет о растровых изображениях.

## 1.2 Сжатие изображения

Цель сжатия изображения — уменьшить объем данных, необходимых для представления цифровых изображений. Основным принципом уменьшения объема данных является удаление лишних данных. С математической точки зрения этот процесс фактически преобразует двумерную матрицу пикселей в статистически не связанный набор данных. [2]

Задача сжатия изображения состоит из двух основных частей: кодирова-

ние и декодирование. Общая схема процесса сжатия изображения представлена на рисунке 1.1.

Рассмотрим этапы процедуры сжатия данных в общем виде. Любой метод сжатия реализует три основных этапа (рис. 1.1):

- кодирование или первичное сжатие;
- вторичное сжатие;
- декодирование или восстановление изображения.

На первом этапе выполняется преобразование исходных данных из одной формы представления в другую. В частности, при сжатии изображений в зависимости от вида алгоритма сжатия может быть выполнен переход от исходного изображения (матрица пикселей) к преобразованному изображению (матрица компонент спектра, набор коэффициентов преобразования или описание объектов изображения). [3]

На втором этапе компоненты преобразования квантуются и приводятся к виду удобному для статистического кодирования, а затем кодируются. [2]

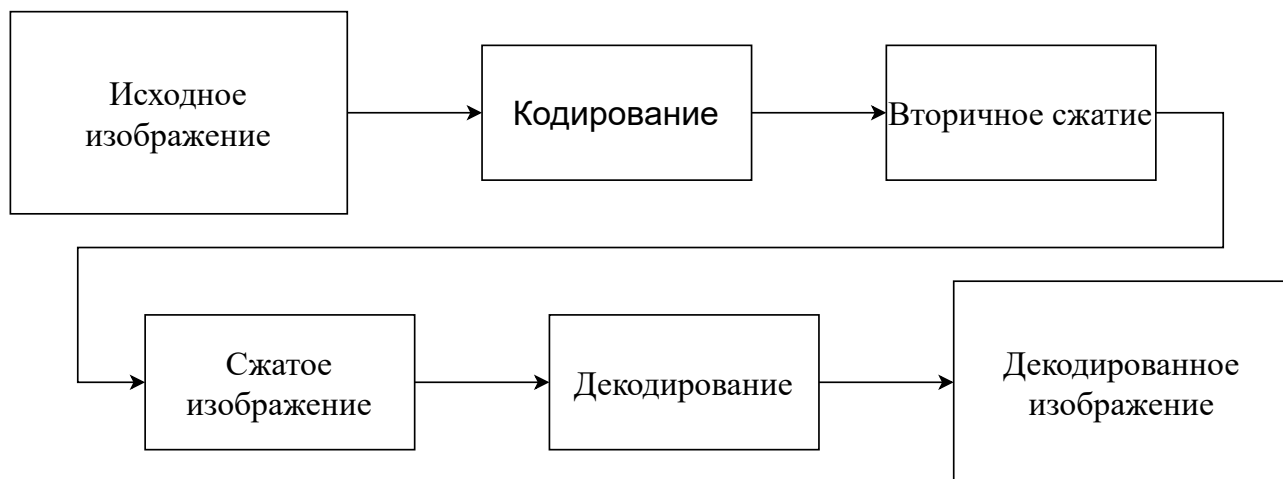


Рисунок 1.1 – Основные этапы сжатия цифровых изображений

Основная величина, характеризующие метод сжатия — коэффициент сжатия.

$$K_c = \frac{V_1}{V_2}, \quad (1.1)$$

где  $V_1$  — объем изображения до сжатия,  $V_2$  — объем изображения после сжатия.

Этот параметр определяет во сколько раз файл, хранящий сжатое изображение, меньше файла, хранящего исходное изображение. Величины  $V_1$  и  $V_2$  выражаются в байтах.  $K_c$  — величина безразмерная.

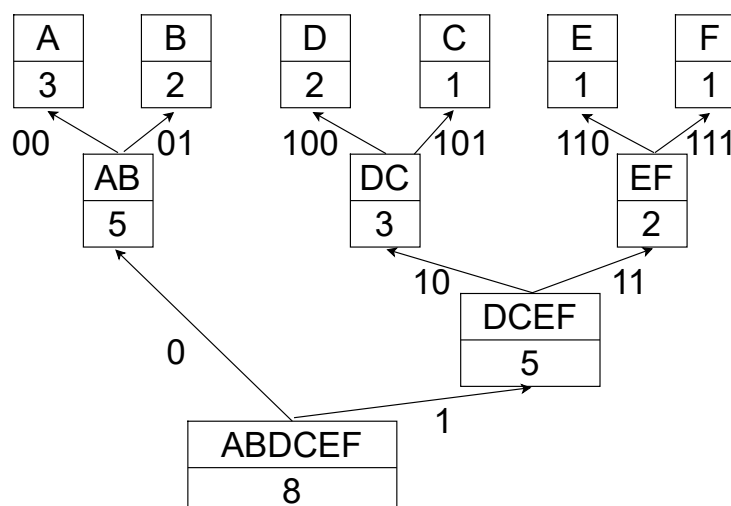
### 1.3 Вывод

В данном разделе определены основные термины: цифровое изображение, растровое изображение и векторное изображение. Так же рассмотрено понятие — сжатие изображения.



A	B	B	D	A	C	E	D	A	F
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Символ	A	B	C	D	E	F
Частота	3	2	1	2	1	1



Символ	A	B	C	D	E	F
Код	00	01	100	101	110	111

A	B	B	D	A	C	E	D	A	F
00	01	01	101	00	100	110	101	00	111

Рисунок 2.2 – Пример работы метода Хаффмана.

Применительно к сжатию изображений в основе такого метода лежит учет частоты появления одинаковых байт в изображении. При этом пикселям исходного изображения, которые встречаются большее число раз, сопоставляется код меньшей длины, а встречающимся редко — код большей длины (т.е. формируется префиксный код переменной длины). Для сбора статистики требуется два прохода по файлу — один для просмотра и сбора статистической информации, второй — для кодирования. [6]

При использовании такого метода требуется запись в файл и таблицы соответствия кодируемых пикселей и кодирующих цепочек. Такое кодирование применяется в качестве последнего этапа архивации в JPEG. Методы Хаффмана дают достаточно высокую скорость и умеренно хорошее качество сжатия.



Основным существенным недостатком этого метода кодирования является то, что он кодирует символы с помощью целого количества бит, что снижает степень сжатия и сводит на нет точное предсказание вероятностей, которое дают некоторые отличные современные алгоритмы моделирования. [6]

### 2.1.3 LZW

LZW (Lempel Ziv Welch) — алгоритм сжатия данных созданный Авраамом Лемпелем (Abraham Lempel), Яаковом Зивом (Jacob Ziv) и Терри Велчем (Terry Welch).

Суть данного алгоритма состоит в следующем: упаковщик постоянно хранит некоторое количество последних обработанных символов в буфере. По мере обработки входного потока вновь поступившие символы попадают в конец буфера, сдвигая предшествующие символы и вытесняя самые старые. Размеры этого буфера, называемого также скользящим словарем, варьируются в разных реализациях кодирующих систем. Затем, после построения таблиц, выделяют (путем поиска в словаре) самую длинную начальную подстроку входного потока, совпадающую с одной из подстрок в словаре, и выдают на выход пару (length, distance), где length — длина найденной в словаре подстроки, а distance — расстояние от нее до входной подстроки (то есть фактически индекс подстроки в буфере, вычитенный из его размера). Если такая подстрока не найдена, в выходной поток просто копируется очередной символ входного потока. [7]

Существует довольно большое семейство LZ-подобных алгоритмов, различающихся, например, методом поиска повторяющихся цепочек. Один из достаточно простых вариантов этого алгоритма, например, предполагает, что во входном потоке идет либо пара <счетчик, смещение относительно текущей позиции>, либо просто <счетчик> 'пропускаемых' байт и сами значения байтов.

При разархивации для пары <счетчик, смещение> копируются <счетчик> байт из выходного массива, полученного в результате разархивации, на <смещение> байт раньше, а <счетчик> (т.е. число равное счетчику) значений "пропускаемых" байт просто копируются в выходной массив из входного потока.

Данный алгоритм является несимметричным по времени, поскольку требует полного перебора буфера при поиске одинаковых подстрок. К достоинствам LZ можно отнести чрезвычайную простоту алгоритма декомпрессии.

### 2.1.4 JPEG

JPEG (Joint Photographic Experts Group) — формат хранения фотографических изображений, отличающийся хорошим качеством восстановленного изображения. Процесс сжатия изображения JPEG достаточно сложен и часто для достижения приемлемой производительности требует специальной аппаратуры. Схема процедуры сжатия изображений по стандарту JPEG приведена на ниже. [8]

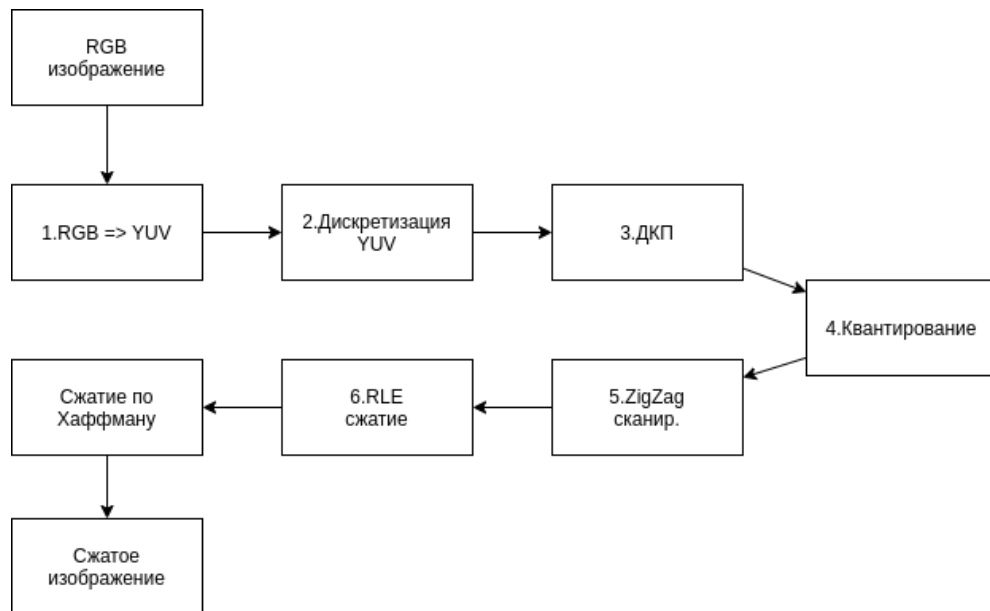


Рисунок 2.3 – Основные этапы процедура сжатия по стандарту JPEG.

#### 1. RGB => YUV.

Преобразование RGB в YUV (Y-компонента — яркость, две остальные — голубая и красная компоненты). Цветное изображение в RGB представляется в виде

$$X_C = a_1 X_R + a_2 X_G + a_3 X_B, \quad (2.1)$$

где

$a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  — калориметрические коэффициенты.

Для получения YUV используют формулу

$$Y = \sqrt{a_1 X_R^2 + a_2 X_G^2 + a_3 X_B^2} \quad (2.2)$$

$$U = X_B \quad (2.3)$$

$$V = X_R. \quad (2.4)$$

## 2. Дискретизация YUV.

Исходное изображение разбивается на блоки, размером  $8 \times 8$  пикселей. На этом этапе используется то, что яркостная и цветовая составляющие изображения хранятся отдельно. Для увеличения степени сжатия дискретизация проводится для разных составляющих с разной частотой – изображение делится по компоненте Y, а для компонент U и V цветовая информация берется через строку и через столбец. Таким образом, сразу получаем степень сжатия в два раза, а на качестве изображения это сказывается не сильно.

## 3. ДКП.

Основным этапом работы алгоритма является дискретное косинусное преобразование (ДКП), позволяющее переходить от пространственного представления изображения к спектральному. Обработка каждого блока выполняется независимо и заключается в применении к каждой рабочей матрице формулы [JPEG2]

$$F(u, v) = \frac{1}{4}C(u)C(v) \left[ \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right], \quad (2.5)$$

где

$$C(z) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{если } z = 0 \\ 1, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (2.6)$$

В получившейся матрице коэффициентов низкочастотные компоненты расположены ближе к левому верхнему углу, а высокочастотные — справа и внизу. Для восстановления сжатого изображения гораздо более важны значения низких частот, чем значения высоких, потому что медленные изменения цвета в изображении более заметны, чем быстрые.

## 4. Квантование.

Именно на этом этапе происходит самая значительная потеря информации. Квантование представляет собой деление каждого полученного после ДКП блока коэффициентов на матрицу квантования поэлементно. Для каж-

дой компоненты матрица квантования своя. Значение коэффициентов этой матрицы определяет степень сжатия изображения. Поскольку для U и V компонентов квантование может быть более грубым, чем для Y компонента, на последнем этапе процесса сжатие U и V компонентов происходит в большей степени. После квантования большинство значений в блоке становятся нулями, сохраняются только небольшое количество наиболее значимых коэффициентов, к тому же эти значения относительно невелики. Квантование также обеспечивает возможность последующего эффективного сжатия данных при помощи любого способа сжатия без потерь.

#### 5. ZigZag сканирование.

Для этого блок  $8 \times 8$  обходим при помощи зигзаг-сканирования, все коэффициенты вытягиваются в цепочку. В начале этой цепочки находятся коэффициенты, соответствующие низким частотам, а в конце — высоким.

#### 6. RLE (рассмотрен выше).

#### 7. Метод Хаффмана (рассмотрен выше).

JPEG — один из самых популярных алгоритмов сжатия. Он обеспечивает высокую эффективность сжатия при приемлемом уровне потерь. JPEG применяется, в основном, к фотореалистичным изображениям. Основной плюс этого алгоритма — это высокие коэффициенты сжатия изображений. К минусам можно отнести высокую вычислительную сложность и специфические искажения — эффект Гиббса. Этот эффект проявляется в том, что линии JPEG изображений с четкими контурами начинают заметно «дрожать». Так, например, если изображение содержит какие-либо подписи, то подобный эффект может возникнуть вокруг символов.

### 2.1.5 Фрактальное сжатие

Различные методы сжатия изображений основываются на устранении тех или иных форм избыточности, в частности, фрактальные методы рассматривают самоподобие как источник избыточности. Считается, что самоподобие является свойством почти всех природных объектов и их изображений, и, следовательно, устранение этой формы избыточности может значительно уменьшить объем данных, необходимых для описания природного объекта или его изображения.[9]

Фрактал — это структура, выделенная при анализе изображения и обла-

дающая схожей формой независимо от ее размеров. Например, в изображении кроны дерева фрактал — изображение листа. Фрактальное сжатие изображений основано на гипотезе, согласно которой в любом изображении можно обнаружить локальное самоподобие различных его частей.[10]

При фрактальном сжатии изображение представляется в более компактной форме — с помощью коэффициентов системы итерируемых функций (IFS). IFS представляет собой набор трехмерных аффинных преобразований, переводящих одно изображение в другое. Преобразованию подвергаются точки в трехмерном пространстве (x-координата, y-координата, яркость). Фактически фрактальная компрессия — это поиск самоподобных областей в изображении и определение для них параметров аффинных преобразований. [11]

Наиболее распространенным примером фрактального изображения, сгенерированного с помощью IFS является изображение папоротника, использованное для создания данного изображения (Рисунок 2.4), состоит из 4-х аффинных преобразований. Каждое преобразование кодируется считанными байтами, хотя исходное изображение может быть любого размера. Таким образом, можно заключить, что фрактальная компрессия — это поиск самоподобных областей и определение для них параметров аффинных преобразований.



Рисунок 2.4 – Изображение папоротника, сгенерированного с помощью IFS.

## 2.2 Классификация методов сжатия изображений

Все способы сжатия можно разделить на две категории: обратимое (без потерь) и необратимое (с потерями) сжатие.

### Методы сжатия без потерь

Во время сжатия и распаковки информация не теряется. Она в основном используется для архивирования изображений. Ее особенностью является отсутствие потери информации, но степень сжатия ограничена.

- упаковка пикселей (RLE);
- методы, базирующиеся на словаре (LZW);
- методы, базирующиеся на кодировании строк бит переменной длины (Метод Хаффмана).

### Методы сжатия с потерями

Уничтожение части информации для получения высокой степени сжатия. Этот тип сжатия обычно используется в приложениях цифрового телевидения, передачи изображений и мультимедиа. Он характеризуется игнорированием вторичной информации, которая не чувствительна к человеческому зрению. Коэффициент сжатия, также известный как сжатие с потерями.

- JPEG-сжатие;
- фрактальное сжатие.

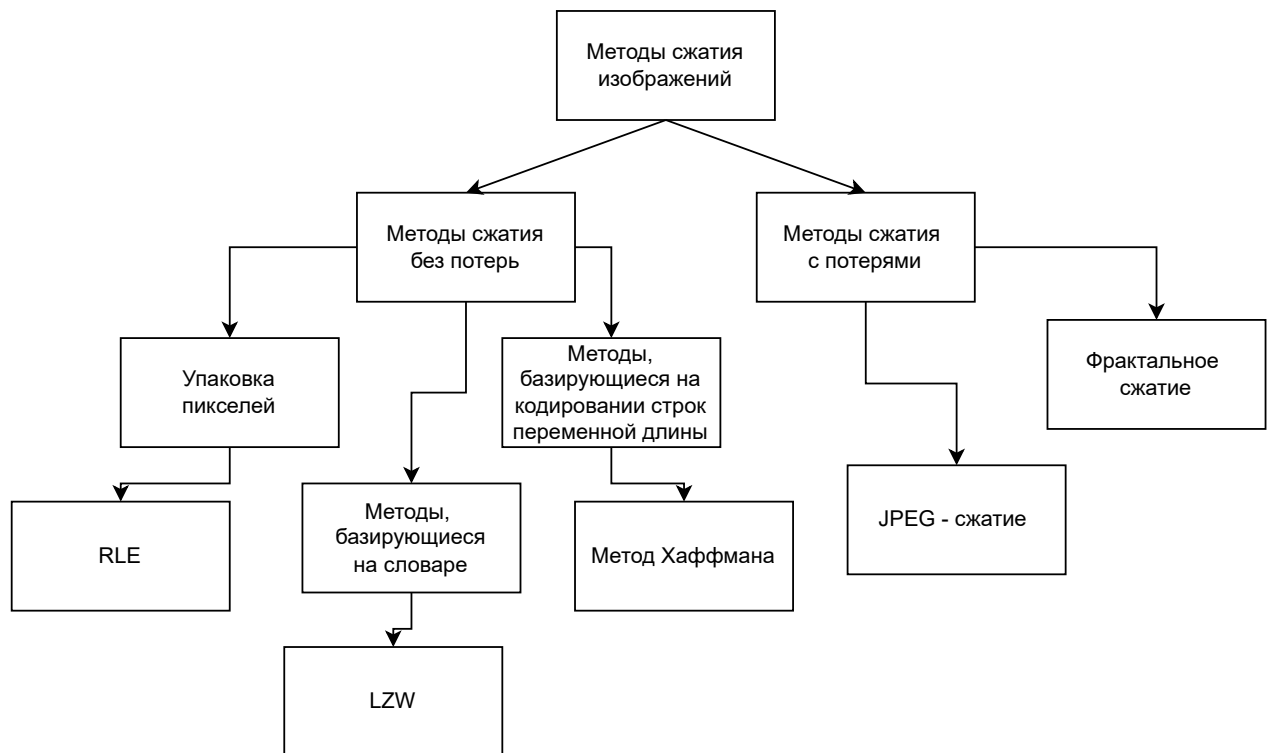


Рисунок 2.5 – Классификация методов сжатия изображений.

## 2.3 Вывод

В данном разделе рассмотрены методы сжатия изображений, показаны их плюсы и минусы. А так же проведена классификация данных методов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описана часть применяемых сегодня методы сжатия изображений. Выбор того или иного метода зависит от области, где будут применяться сжатые изображения, и от характеристик этих изображений. На пример фрактальное сжатие подходит для изображений, которые разбиваются на схожие структуры. JPEG хорошо применим к фотореалистичным изображениям. Метод Хаффмана чаще всего является этапом в других методах. RLE имеет низкую степень сжатия, но при этом высокую скорость сжатия. LZW имеет свое преимущество в декодировании.

Каждый из методов имеет множество вариаций, но в работе приведены только основные принципы работы алгоритмов. И дана их классификация.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Голуб Ю. И.* ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ // СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. — 2021. — С. 13.
2. *Горячкин Б. С. Попова И. А.* ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КАЧЕСТВО ПОЛУЧЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ // Информационные технологии. — 2020. — С. 3.
3. *Нуралин Д. Г.* СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ АЛГОРИТМ ХАФФМАНА // ВЕСТНИК НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ. — 2020. — С. 8.
4. *Бакулина М. П.* МЕТОД ЭФФЕКТИВНОГО СЖАТИЯ БОЛЬШИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАССИВОВ //. — 2020. — С. 9.
5. *Дудников Е. А. Алексеев К. Н.* ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ КОДИРОВАНИЕ ПЛОТНЫХ ПОТОКОВ ДАННЫХ МЕТОДОМ ХАФФМАНА НА ПЛИС // German International Journal of Modern Science №9. — 2021. — С. 9.
6. *Kostikov V. A. Maslova M. A.* COMPRESSION OF ENCRYPTED AND HIDDEN DATA. FIXING THE AVERAGE TIME WHEN PERFORMING THE HUFFMAN CODING ALGORITHM // Research result. Information technologies. — 2021. — Т. 6, № 4.
7. *Молодкин И. А. Шурыгин Е. М.* Характеристики алгоритма сжатия данных без потерь на основе псевдорегулярных чисел // Intellectual Technologies on Transport. — 2019. — С. 12.
8. *Куркина М. В. Пономарев И. В.* Стеганографические методы, устойчивые к JPEG сжатию // Известия АлтГУ. Математика и механика. — 2021. — С. 10.
9. *Шепиль Р. О.* СЖАТИЕ ДАННЫХ И КАК УСТРОЕНЫ АРХИВАТОРЫ // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». — 2020. — С. 9.

10. *Сахибназарова В. Б. Кудрина М. А.* ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ И МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». — 2018. — С. 7.
11. *Чекина М. Д.* РЕАЛИЗАЦИЯ ФРАКТАЛЬНОГО СЖАТИЯ И ДЕКОМПРЕССИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНО-КОВЕЙЕРНЫМ СПОСОБОМ НА РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2020. — С. 7.
12. *Иванов В. Г.* АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ // Herald of the National Technical University "KhPI". — 2018. — С. 10.