

УДК 004.75

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.38.3.024](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.38.3.024)

## Алгоритмы и программные средства человеко-машинной обработки цифровых водяных знаков в видеопоследовательности

С.В. Морковин✉

*Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, Орел, Российская Федерация*  
*msw-c@ya.ru*✉

**Резюме.** Глобальная информатизация современного общества и непрерывный научно-технический прогресс способствуют стремительному увеличению объемов видео контента в глобальной компьютерной сети. В определенных случаях, при распространении уникальной авторской мультимедийной информации возникает задача однозначной идентификации источника или подтверждение подлинности контента. Одним из основных подходов, решающих данную проблему, является маркирование цифрового графического изображения посредством встраивания цифрового водяного знака. С целью минимизации искажений исходных графических данных, а также для скрытия факта наличия какой-либо защиты мультимедийной информации используется невидимый цифровой водяной знак. Цифровая стеганография является одним из решений, предоставляющих функционал встраивания невидимых робастных графических меток в цифровые изображения. В данном контексте применения цель стеганографии меняется – скрываемая информация становится «водяным знаком», с помощью которого возможно идентифицировать автора или владельца маркированного контента. Широко распространенным способом внедрения цифрового водяного знака является процедура последовательных преобразований в спектральной области изображения, с последующим внедрением цифрового водяного знака в спектр Фурье. При этом становится очевидным факт, что любые модификации данных в частотном спектре приводят к искажению исходного изображения и появлению демаскирующих признаков в виде артефактов. В статье рассматриваются алгоритмы и программные средства человеко-машинной обработки цифровых водяных знаков в видеопоследовательности, особенностью которых является непрерывное изменение координат и угла поворота внедряемого цифрового водяного знака.

**Ключевые слова:** цифровой водяной знак, видеоданные, робастность, видеопоток, мультимедийный контейнер, цифровое графическое изображение.

**Для цитирования:** Морковин С.В. Алгоритмы и программные средства человеко-машинной обработки цифровых водяных знаков в видеопоследовательности. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(3). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1243> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.38.3.024

## Algorithms and software tools for human-machine processing of digital watermarks in video sequences

S.V. Morkovin✉

*The Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation, Orel, Russian Federation*  
*msw-c@ya.ru*✉

**Abstract.** The global informatization of modern society and continuous scientific and technological progress contribute to a rapid increase in the volume of video content in the global computer network.

In some cases, the tasks of unambiguous identification of the source and content authentication arise when distributing unique author's multimedia information. One of the main approaches to solving this problem is to mark a digital graphic image with a digital watermark. In order to minimize the distortion of the original graphic data as well as to hide the presence of any protection of multimedia information, an invisible digital watermark is used. Digital steganography is one of the solutions that provide the means for embedding invisible robust graphic labels in digital images. In this context of application, the purpose of steganography changes – the hidden information becomes a "watermark" whereby it is possible to identify the author or owner of the labeled content. A widespread method of introducing a digital watermark is the procedure of successive transformations in the spectral region of the image followed by the introduction of a digital watermark to the Fourier spectrum. At the same time, it is obvious that any modifications of the data in the frequency spectrum lead to the distortion of the original image and the appearance of unmasking features in the form of artifacts. The article discusses algorithms and software tools for human-machine processing of digital watermarks in a video sequence, which is characterized by continuous change in the coordinates and rotation angle of the digital watermark being implemented.

**Keywords:** digital watermark, video data, robustness, video stream, multimedia container, digital graphic image.

**For citation:** Morkovin S.V. Algorithms and software tools for human-machine processing of digital watermarks in video sequences. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(3). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1243> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.38.3.024 (In Russ.).

## Введение

В статье рассмотрен метод встраивания робастных цифровых водяных знаков в частотную область видеопоследовательности, целью которых является повышение скрытности, робастности, а также показателей эффективности обнаружения и распознавания цифровых водяных знаков в видеоданных. Для достижения поставленной цели было решено несколько ключевых задач. Вначале было проведено исследование существующих подходов встраивания цифровых водяных знаков в видеоданные [1]. После чего был проведен анализ методов обеспечения робастности – устойчивости цифровых водяных знаков к преобразованию видео: перекодированию, сжатию, обрезке по времени и в пространстве. Рассмотрены актуальные тренды развития технологий обработки цифровых водяных знаков. Проанализированы открытые источники, предоставляющие современные подходы к внедрению цифровых водяных знаков в статичные изображения и видеоданные [2]. Произведен критический анализ их преимуществ и недостатков. Обоснована необходимость совершенствования рассмотренных методов внедрения цифровых водяных знаков в видеопоследовательность. Предлагаемые в статье алгоритмы и программные средства человеко-машинной обработки цифровых водяных знаков основаны на модификации существующих решений, обеспечивающей повышение показателя робастности встраиваемой метки при сохранении его невидимости в условиях различных внешних воздействий на маркированный контент.

Большая часть задач, решаемых в данной предметной области сконцентрирована на обработке фотографий, неподвижных изображений, а в случае обработки видеопоследовательности, каждый кадр обрабатывается как отдельное изображение без учета взаимосвязей и корреляции между соседними кадрами одного видеоряда [3]. В отличие от одиночных статичных изображений, инкапсуляция цифрового водяного знака в видеопоследовательность предоставляет следующие преимущества: изменения слабо заметны для зрительных органов, отдельные кадры могут быть менее четкими и более размытыми, минимальные изменения цвета и проявление умеренных артефактов

почти не выделяются. Технология внедрения цифровых водяных знаков является распространенным решением задачи маркирования уникального мультимедийного контента. При решении данной задачи одной из главных характеристик системы обработки цифрового водяного знака является робастность скрытых идентификационных данных, которые должны выполнять функцию однозначной идентификации автора контента после множества различных модификаций исходных видеоданных [4]. В то же время реализация скрытого маркирования видеоконтента не должна вносить существенные визуальные искажения в защищаемую информацию. Другим важнейшим параметром является устойчивость скрытого сообщения (водяного знака) – оно должно оставаться извлекаемым после различных воздействий и операций, которые могут быть выполнены с графическими данными, такими как фильтрация, сжатие, обрезка и т. п.

Целью работы является разработка алгоритмов и программных средств человеко-машинной обработки невидимых робастных цифровых водяных знаков в частотной области видеопоследовательности, в интересах повышения скрытности, робастности, а также показателя эффективности обнаружения и распознавания цифровых водяных знаков в видеопотоке.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ состояния проблемы обработки цифровых водяных знаков в видеопотоках, методов обеспечения робастности – устойчивости к потенциальным воздействиям на цифровой водяной знак.
2. Разработать метод внедрения робастных цифровых водяных знаков в видеопоследовательность на основе изменяемых координат маркирования спектральной области кадра.
3. Разработать алгоритм динамического координатно-переменного внедрения робастных цифровых водяных знаков в частотную область изображения.
4. Разработать алгоритм автоматизированного обнаружения цифровых водяных знаков, внедренных в частотную область видеопотока.

### **Материалы и методы**

В статье представлены материалы научной работы, в которой объектом исследования являлась подсистема хранения в системе обработки и хранения видеоданных. Предметом исследования являются алгоритмы и программные средства человеко-машинной обработки невидимых робастных цифровых водяных знаков. В основе описываемых решений лежит подход, отличительной особенностью которого от существующих является алгоритм изменения координат вставки в частотной области графического изображения. В процессе решения поставленных в научном исследовании задач использовались методы системного анализа и моделирования, теории множеств, теории вероятностей и математической статистики; технологии программирования и имитационного моделирования.

Для проведения исследований была разработана модель воздействий на видеопоследовательность, маркированную цифровым водяным знаком. Модель воздействий описывает потенциально возможные действия с видеоданными, приводящие к частичной или полной деструктуризации встроенного видео-маркера, что впоследствии исключает однозначную идентификацию маркированных данных информационной системы. Общая модель возможных потенциальных воздействий на цифровой водяной знак определяется объединением всех множеств воздействий и является универсальным множеством относительно разрабатываемого метода обработки цифровых водяных знаков в видеоданных. Полный перечень воздействий на цифровой

водяной знак относительно предметной области исследований: изменение размеров кадра, изменение разрешения изображения, сжатие; обрезка изображения, вырезание части кадра из общего изображения; кодирование и перекодирование, компрессия с помощью известных кодеков; изменение частоты кадров; вырезание временного отрезка, обрезка по времени; применение различных фильтров; конвертирование в монохромное видео [5].

Результаты моделирования воздействий на цифровой водяной знак и анализа методов предотвращения их последствий являются основой модифицированного метода маркирования видеопоследовательности. Модификация метода заключается в комплексировании способов и техник терминаторов воздействий, определяемых объектом исследования. Метод способен обеспечить робастность по отношению к введенной модели воздействий. Разработанный метод состоит из нескольких последовательных этапов. На первом этапе производится декомпозиция видеопоследовательности на цветовые составляющие:

$$i = \{r, g, b\}, \quad (1)$$

где  $i$  – цветовая составляющая,  $\{r, g, b\}$  – индекс красной, зеленой и синей составляющей соответственно.

После производится представление видеоданных в виде множества кадров-изображений-контейнеров с изображением  $k$ -го кадра  $i$ -й цветовой составляющей,  $K$  – общее количество кадров видеопотока [6]. Далее выполняется трансформация изображения из пространственного представления в спектральную область:

$$S_{Pi,k}(u, v) = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} I_{Ti,k}(x, y) \cdot e^{-i \cdot 2\pi \left( \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}, \quad (2)$$

где  $x$  и  $y$  – пространственные, а  $u$  и  $v$  – частотные координаты.

В дальнейшем применяется нормирование коэффициентов спектра для маркирования именно «значимых» и «весомых», областей спектра Фурье, что облегчает извлечение и вносит равнозначное зашумление по всему спектру изображения-контейнера [7]. Следующим этапом является процедура выделения энергетически «значимой» области спектра – области встраивания цифрового водяного знака. В процессе исследования были определены оптимальные зоны в частотной области для встраивания маркера. Предлагается внедрять маркер в область спектра низких частот, в большей степени, и средних частот – в меньшей. Далее осуществляется синтез цифрового водяного знака с информацией об идентификаторе пользователя информационной системы в виде монохромного изображения числа в шестнадцатеричном представлении. Определяются размеры шрифта строки метки с шестнадцатеричным числом, его яркости и координаты его центра, а также угол поворота относительно геометрического центра маркера. Предлагаются постоянные, в классических методах реализации подобных систем, значения координат центра маркера сделать переменными от кадра к кадру, а закон изменения координат определить как псевдослучайный. Такой подход позволит равномерно распределить шумы внедрения маркера по «значимой» области спектра Фурье [8]. Далее производится встраивание нормированного маркера  $DW_{i,k}(x, y)$  в преобразованное изображение-контейнер. На заключительных стадиях метода внедрения маркера выполняются функции, обратные первым трем этапам. Выполняется обратное преобразование спектрального представления изображения-контейнера с внедренным маркером, объединение множества статичных изображений кадров в потоковую видеопоследовательность каждого из цветовых каналов. Заключительным этапом вставки цифрового водяного

знака в видеопоследовательность является объединение цветowych потоковых составляющих в единый видеоряд. Пример внедрения маркера в спектральную область изображен на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Пример внедрения маркера в спектральную область  
 Figure 1 – Example of embedding a marker in the spectral region

Основная теоретическая часть исследования была сконцентрирована на процессе разработки комплекса алгоритмов динамического координатно-переменного внедрения и автоматического обнаружения невидимых робастных цифровых водяных знаков в частотной области видеопотока. Комплекс состоит из алгоритма встраивания невидимого робастного цифрового водяного знака в видеоданные на основе изменяемых координат маркера (Рисунок 2) и алгоритма распознавания невидимых робастных цифровых водяных знаков в частотной области видео (Рисунок 3).

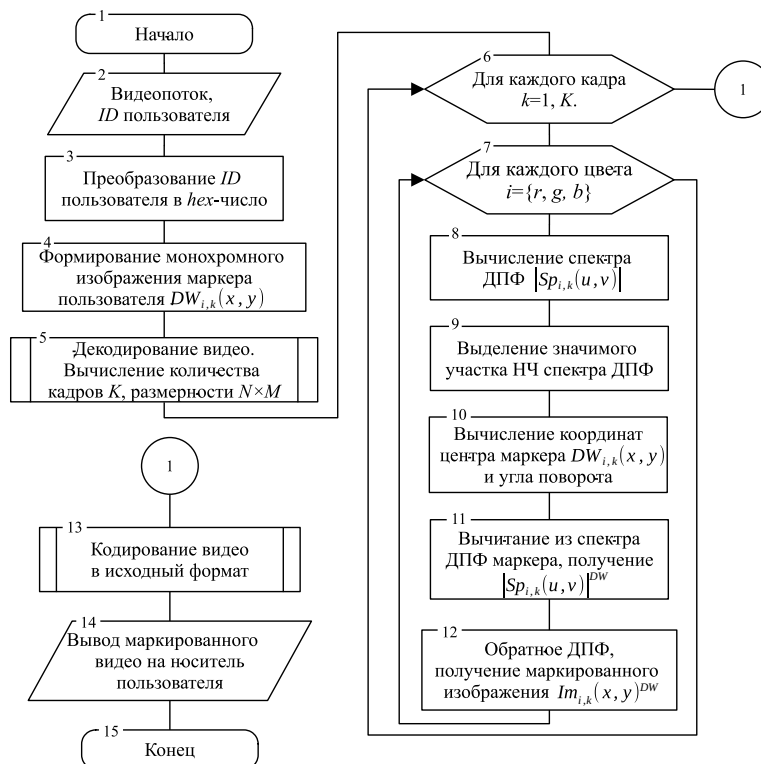


Рисунок 2 – Структурная схема алгоритма координатно-переменного внедрения маркера в частотную область видеопотока

Figure 2 – Block diagram of the coordinate-variable marker insertion algorithm in the frequency domain of the video stream

С целью спецификации комплекса разрабатываемых алгоритмов встраивания и обнаружения цифровых водяных знаков в видеоданных в спектральной области первоначально был осуществлен анализ входных данных. Работа алгоритма динамического координатно-переменного встраивания цифровых водяных знаков в частотную область видеопотока состоит из нескольких групп этапов. На первоначальных этапах происходит формирование изображения идентификатора пользователя  $ID_{hex}$  – маркера и декодирование видео.

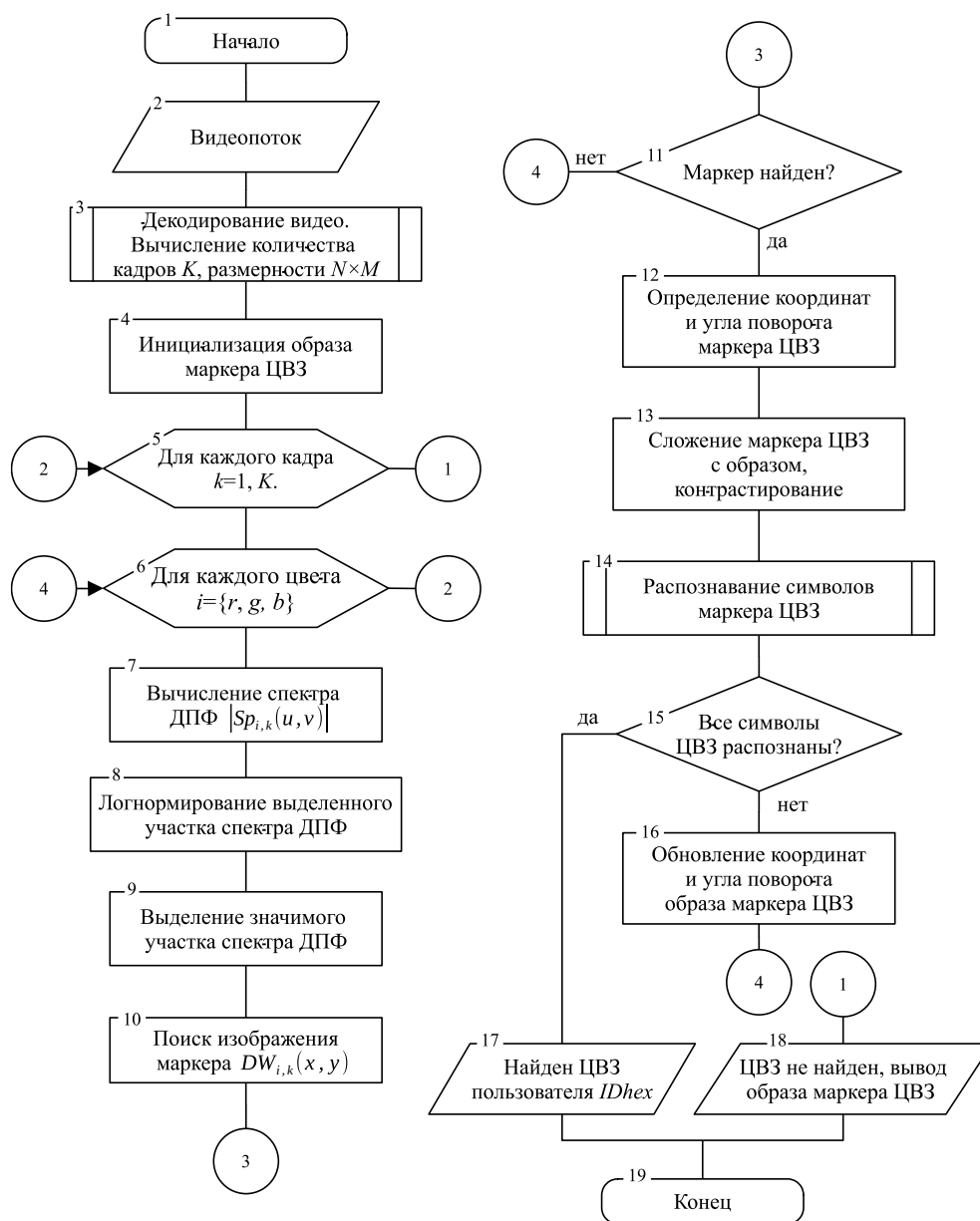


Рисунок 3 – Структурная схема алгоритма распознавания невидимых робастных цифровых водяных знаков в частотной области видеопотока

Figure 3 – Block diagram of the algorithm for recognizing invisible robust digital watermarks in the frequency domain of a video stream

Следующая группа – основная – осуществляет встраивание маркера в спектральную область каждого кадра каждой цветовой составляющей видеопотока. Процедура дополнена авторским методом выбора координат и угла поворота строки маркера для каждого из маркируемых изображений.

Выдвинута гипотеза, что использование координатно-переменного подхода по случайному или псевдослучайному закону выбора новых координат маркера для каждого цветового кадра видеопотока позволит достичь большей размытости влияния маркера на спектр контейнера, и, тем самым, большей его скрытности в пространственной области. Более того, предлагается изменять по случайному закону не только координаты маркера, но и угол его наклона. В алгоритме выбор осуществляется по закону псевдослучайной последовательности, сформированной числовым генератором М-последовательности (линейным рекуррентным регистром).

Завершается алгоритм процедурами обратного преобразования Фурье и кодирования видео в исходный формат [9]. Эмпирически была определена вычислительная сложность алгоритма встраивания, позволяющая оценить быстродействие и ресурсоемкость его практических реализаций. Оценка сложности составила  $O(n^3 \cdot \log(n))$ . В ходе анализа эффекта от внедрения координатно-переменного подхода к определению места встраивания цифрового водяного знака в видеопоток наблюдается факт увеличения робастности по сравнению со статическим положением маркера.

Следующим алгоритмом, входящим в состав разработанного комплекса, является – алгоритм автоматического обнаружения невидимых робастных цифровых водяных знаков в частотной области видеопотока. Структура алгоритма состоит из последовательных этапов. Первоначальные этапы посвящены декодированию видео и инициализации образа маркера, необходимой для реализации эффекта «накопления». В дальнейшем этот образ будет накапливать в себе информацию о найденных и идентифицированных областях маркера путем конкатенации с предыдущим значением образа и последующим контрастированием. Следующая группа функций осуществляет последовательную обработку спектральной области кадра каждой цветовой составляющей видеопотока. В ходе нее осуществляется нормирование спектра изображения, выделение значимой области и поиск в ней маркера в виде цифрового водяного знака [10]. В случае отрицательного результата функции поиска и аномального отклонения значений интенсивности спектральных составляющих, алгоритм переходит к обработке следующей цветовой составляющей кадра или к очередному кадру. Иначе, выполняется детектирование координат центра, геометрических размеров и угла поворота строки идентификатора, и выполняется авторская процедура «накопления» информации о маркере. Следующим этапом алгоритма является функция оптического распознавания выделенной строки. Задача поиска оптимальной процедуры оптического распознавания символов выходит за рамки настоящего исследования и может быть отнесена к перспективному направлению дальнейших исследований. В цикле обработки спектральной области каждого статичного изображения предусмотрен преждевременный выход из функции в случае возврата положительного результата распознавания маркера идентификатора пользователя информационной системы.

Отличительной особенностью алгоритма является рассмотрение возможности частичного распознавания маркера и допущение случая распознавания не всех символов маркерной строки, а некоторой ее части. На заключительных этапах пользователю информационной системы предоставляется распознанный идентификатор или сообщение об отсутствии маркера, встроенного в обрабатываемое видео, и вывод изображения образа идентификатора, накопленного в результате обработки. В дальнейшем процедура обнаружения и распознавания маркера в видеопотоке переходит из разряда автоматических в автоматизированную. Частично распознанный идентификатор маркера может быть распознан оператором системы обработки и хранения видеоданных.

## Результаты

В результате проводимых исследований разработаны алгоритмы и программные средства человеко-машинной обработки цифровых водяных знаков в видеопоследовательности на основе динамически изменяемых координат маркирования в спектральной области кадра. Определены граничные условия устойчивости маркеров в частотной области изображения, зависящие от пространственного расположения метки в спектре кадра, ее размера, динамики смены этого расположения и качества видео во временной области. Разработано специальное программное обеспечение внедрения робастной идентификационной информации пользователя в обрабатываемые им видеопоследовательности и обнаружения цифровых водяных знаков, внедренных в спектральную область видеопотока с помощью координатно-переменного метода. Разработанное средство человеко-машинной обработки цифровых водяных знаков функционирует под управлением 64-х разрядной операционной системы Linux. Исходный код проекта написан на языке высокого уровня C++, в интегрированной среде разработки CLion 2022.2. Проект имеет внешние зависимости в виде свободно распространяемых библиотек с открытым исходным кодом Boost-1.72 и OpenCV-3.8. Экспериментальные исследования по оценке показателей эффективности разработанного средства человеко-машинной обработки цифровых маркеров проводились на базе данных с видеофайлами на ПЭВМ с центральным процессором Intel Core i9 и 64 ГБ оперативной памяти. Объем базы данных равен 1000 видео с различным разрешением и различной длительностью в диапазоне от 4 до 500 с. Были получены следующие результаты: средняя скорость инкапсулирования от 4 кадр/с до 22 кадр/с, в зависимости от кодирующего видеопотока кодека; установлена линейная зависимость времени встраивания от длительности видео; время распознавания цифровых водяных знаков определено в пределах от 0,1 до 3,9 с, при воздействии различных возмущений; достаточная длительность видеофайла, для обеспечения требуемой вероятности распознавания цифровых водяных знаков при реализации рассмотренных в работе атак в пределах граничных значений робастности составляет 4 с.

## Обсуждение

В процессе анализа эффекта от внедрения координатно-переменного подхода к определению позиции встраивания цифровых водяных знаков в видеопоток наблюдается факт увеличения робастности по сравнению со статическим положением маркера. В меньшей мере, но обеспечивает дополнительное повышение устойчивости техника динамического изменения угла поворота маркера в частотной области.

Экспериментальные исследования результативности разработанных алгоритмов и программных средств человеко-машинной обработки цифровых водяных знаков в видеопоследовательности выявили значительный выигрыш в робастности цифровых водяных знаков от применения подхода псевдослучайного изменения координат маркера внедрения, который достигает 20 % по сравнению с широко распространенными классическими методами встраивания.

Эмпирическим путем была определена вычислительная сложность алгоритма встраивания цифровых водяных знаков, позволяющая оценить быстродействие и ресурсоемкость его практических реализаций. Оценка сложности составила  $O(n^3 \cdot \log(n))$ . Алгоритм автоматического обнаружения цифровых водяных знаков в частотной области имеет вычислительную сложность  $O(n^4)$ . Анализ эффективности алгоритма автоматического обнаружения меток в частотной области проводился экспериментально.



## Заключение

В статье рассмотрены результаты, полученные в процессе проведения исследований в области встраивания скрытых робастных цифровых водяных знаков в цифровую видеопоследовательность. В научном исследовании проведен критический анализ современных и актуальных подходов встраивания цифровых водяных знаков в видеоданные. Проанализированы методы повышения робастности – устойчивости цифровых водяных знаков к различным потенциальным внешним воздействиям на видео-контейнер с маркером: перекодированию, сжатию, обрезке по времени и в пространстве. В результате разработаны алгоритмы и программные средства человеко-машинной обработки цифровых водяных знаков в видеопоследовательности на основе изменяемых координат встраивания маркера в частотной области кадра. Определены граничные условия робастности цифровых водяных знаков в частотной области изображения, зависящие от пространственного расположения метки в спектре кадра, ее размера, динамики смены этого расположения и качества видео во временной области. Разработан модифицированный алгоритм динамического координатно-переменного внедрения робастных цифровых водяных знаков в частотную область изображения. Разработан обратный алгоритм извлечения маркера – автоматического обнаружения цифровых водяных знаков, внедренных в спектральную область видеопотока. Вопрос поиска оптимального метода графического распознавания текстовых символов в алгоритме автоматического обнаружения маркера выходит за рамки настоящего исследования и относится к перспективному направлению дальнейших исследований.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Moosazadeh M., Ekbatanifard G. A New DCT-Based Robust Image Watermarking Method Using Teaching-Learning-Based Optimization. *Journal of Information Security and Applications*. 2019;47:28–38.
2. Шумская О.О., Железны М.К. Адаптивный алгоритм встраивания информации в сжатые JPEG-изображения на основе операции замены. *Информационно-управляющие системы*. 2018;5:44–56. DOI: 0.31799/1684-8853-2018-5-44-56.
3. Xiang L., Wang X., Yang C., Liu P. A novel linguistic steganography based on synonym run-length encoding. *IEICE transactions on Information and Systems*. 2017;100(2):313–322.
4. Евсютин О.О., Кокурина А.С., Мещеряков Р.В. Стеганографическое встраивание дополнительных данных в снимки дистанционного зондирования земли с помощью метода QIM с переменным шагом квантования в частотной области. *Известия Томского политехнического университета*. 2019;330(8):155–162. DOI: 10.18799/24131830/2019/8/2221.
5. Ma H., Jia C., Li S., Zheng W., Wu D. Xmark: Dynamic Software Watermarking using Collatz Conjecture. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2019;14(11):2859–2874.
6. Шумская О.О., Будков В.Ю. Сравнительное исследование методов классификации в стегоанализе цифровых изображений. *Научный вестник НГТУ*. 2018;3(72):121–134. DOI: 10.17212/1814-1196-2018-3-121-134.
7. Hai N.M., Ogawa M., Tho Q. T. Packer identification based on metadata signature. In: Proceedings of the 7-th Software Security, Protection, and Reverse Engineering. *Software Security and Protection Workshop*. 2017;4:1–11. DOI: 10.1145/3151137.3160687.
8. Wang Y., Gong D., Lu B., Xiang F., Liu F. Exception handling-based dynamic software watermarking. *IEEE Access*. 2018;6:8882–8889.

9. Козачок А.В., Копылов С.А., Мещеряков Р.В., Евсютин О.О., Туан Л.М. Подход к извлечению робастного водяного знака из изображений, содержащих текст. *Труды СПИИРАН*. 2018;5(60):128–155. DOI: 10.15622/sp.60.5.
10. Zhong X., Huang P.C., Mastorakis S., Shih F.Y. An Automated and Robust Image Watermarking Scheme Based on Deep Neural Networks. *IEEE Access*. 2021;23:1951–1961.

## REFERENCES

1. Moosazadeh M., Ekbatanifard G. A New DCT-Based Robust Image Watermarking Method Using Teaching-Learning-Based Optimization. *Journal of Information Security and Applications*. 2019;47:28–38.
2. Shumskaya O.O., Zelezny M. K. Adaptive algorithm of replacement-based embedding of data into compressed JPEG images. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy = Information and Control Systems*. 2018;5:44–56. DOI: 0.31799/1684-8853-2018-5-44-56. (In Russ.).
3. Xiang L., Wang X., Yang C., Liu P. A novel linguistic steganography based on synonym run-length encoding. *IEICE transactions on Information and Systems*. 2017;100(2):313–322.
4. Evsyutin O.O., Kokurina A.S., Meshcheryakov R.V. Steganographic embedding of additional data into the images of earth remote sensing by QIM method with a variable quantization step in the frequency domain. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2019;330(8):155–162. DOI: 10.18799/24131830/2019/8/2221. (In Russ.).
5. Ma H., Jia C., Li S., Zheng W., Wu D. Xmark: Dynamic Software Watermarking using Collatz Conjecture. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2019;14(11):2859–2874.
6. Shumskaya O.O., Budkov V.Yu. Comparative study of classification methods in the steganalysis of digital images. *Nauchnyy vestnik NGTU = Science Bulletin of the Novosibirsk State Technical University*. 2018;3(72):121–134. DOI: 10.17212/1814-1196-2018-3-121-134. (In Russ.).
7. Hai N.M., Ogawa M., Tho Q.T. Packer identification based on metadata signature. In: Proceedings of the 7-th Software Security, Protection, and Reverse Engineering. *Software Security and Protection Workshop*. 2017;4:1–11. DOI: 10.1145/3151137.3160687.
8. Wang Y., Gong D., Lu B., Xiang F., Liu F. Exception handling-based dynamic software watermarking. *IEEE Access*. 2018;6:8882–8889.
9. Kozachok A.V., Kopylov S.A., Meshcheryakov R.V., Evsutin O.O., Tuan L.M. An approach to a robust watermark extraction from images containing text. *Trudy SPIIRAN = SPIIRAS Proceedings*. 2018;5(60):128–155. DOI: 10.15622/sp.60.5. (In Russ.).
10. Zhong X., Huang P.C., Mastorakis S., Shih F.Y. An Automated and Robust Image Watermarking Scheme Based on Deep Neural Networks. *IEEE Access*. 2021;23:1951–1961.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Морковин Сергей Владимирович**, Академия  
Федеральной службы охраны Российской  
Федерации, Орел, Российская Федерация.

e-mail: [mw-c@ya.ru](mailto:mw-c@ya.ru)

ORCID: [0000-0002-0000-682X](https://orcid.org/0000-0002-0000-682X)

**Sergey Vladimirovich Morkovin**, the  
Academy of the Federal Security Service of the  
Russian Federation, Orel, Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 20.09.2022; одобрена после рецензирования 25.09.2022;  
принята к публикации 29.09.2022.*

*The article was submitted 20.09.2022; approved after reviewing 25.09.2022;  
accepted for publication 29.09.2022.*