

УДК 004.94

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.29.2.022](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.29.2.022)

Моделирование и разработка системы внедрения и распознавания скрытых изображений

О.И. Маслова¹, Г.В. Шагрова²

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»,
Ставрополь, Российская Федерация*

Резюме: Если раньше проблема подлинности касалась только полиграфической продукции (ценные бумаги, документы, билеты, деньги и др.), то сегодня защита документов, представленных в цифровом виде (отсканированные документы, фотографии и иные мультимедийные документы), является не менее актуальной. Следовательно, создание систем внедрения скрытой информации, в защищаемые документы, различными методами является актуальной задачей, т.к. позволит обезопасить документы, а также в спорных ситуациях подтвердить их подлинность, либо авторские права. В данной работе разработана математическая модель системы внедрения и распознавания скрытых изображений, отличающаяся от аналогов возможностью расширения множества используемых функций внедрения и распознавания. В отличие от известной унифицированной модели системы встраивания информации в цифровые сигналы, в работе предложена модель, позволяющая реализовать модульный принцип построения системы распознавания изображений, содержащих скрытую информацию, внедренную различными методами. Также на основе построенной модели системы, разработана информационная система внедрения и распознавания скрытых изображений, состоящая из трех взаимосвязанных программных модулей. Данная система представляет собой графическую оболочку к моделям, разработанную на языке MATLAB. Данный подход позволяет интегрировать систему, добавлять новые или вносить изменения в существующие модули, вносить изменения в разработанную модель.

Ключевые слова: скрытое изображение, вейвлет-анализ, распознавание скрытых изображений, разложение по сингулярным числам, система внедрения изображений.

Для цитирования: Маслова О.И., Шагрова Г.В. Моделирование и разработка системы внедрения и распознавания скрытых изображений. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(2). https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/MaslovaShagrova_2_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.022

Modeling and development of a system for implementing and recognizing latent images

O.I. Maslova, G.V. Shagrova

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"North-Caucasus Federal University", Stavropol, Russian Federation*

Abstract: If earlier the problem of authenticity concerned only printing products (securities, documents, tickets, money, etc.), today the protection of documents presented in digital form (scanned documents, photographs and other multimedia documents) is no less relevant. Therefore, the creation of systems for embedding hidden information in secured documents by various methods is an urgent task, because It will allow you to protect documents, as well as in disputed situations, confirm their authenticity or copyright. In this work, a mathematical model of the system for embedding and recognizing hidden images is developed, which differs from its analogues in the possibility of expanding the many used

functions for embedding and recognition. In contrast to the well-known unified model of a system for embedding information in digital signals, a model is proposed that allows implementing the modular principle of constructing a system for recognizing images containing hidden information introduced by various methods. Also, on the basis of the constructed system model, an information system for the implementation and recognition of hidden images, consisting of three interconnected software modules, was developed. This system is a graphical shell for models developed in MATLAB. This approach allows you to integrate the system, add new ones or make changes to existing modules, make changes to the developed model.

Keywords: latent image, wavelet analysis, recognition of hidden images, decomposition by singular numbers, image embedding system.

For citation: Maslova O.I., Shagrova G.V. Modeling and development of a system for implementing and recognizing latent images. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(2). Available from: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/MaslovaShagrova_2_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.022 (In Russ).

Введение

Сегодня, в век информационных технологий и прогрессивного развития Интернета, появляются новые возможности и новые проблемы, ранее не существовавшие. Одной из таких возможностей стал процесс обмена цифровыми документами, который на сегодняшний день, является очень простой задачей и для многих представляет собой неотъемлемую часть их работы. Если раньше проблема подлинности касалась только полиграфической продукции (ценные бумаги, документы, билеты, деньги и др.), то сегодня защита документов, представленных в цифровом виде (отсканированные документы, фотографии и иные мультимедийные документы), является не менее актуальной.

В зависимости от формы представления документов (полиграфическая продукция, цифровые документы) существуют разные способы их защиты. Защиту полиграфической продукции производят еще на стадии дизайна с помощью нанесения специальных красок, меток, текстурных элементов, которые повторяются в некотором регулярном порядке [1] и др. Для защиты документов в цифровом виде существует также несколько подходов: использование цифровых водяных знаков, внедрение скрытых изображений и др [2,3,4].

С каждым годом количество документов в цифровом виде растет, связано это с тем, что все больше организаций переходят на электронный документооборот, т.к. это упрощает и ускоряет их работу. В свою очередь, появляются новые виды мошенничества, связанные с кражей и подделкой цифровых документов, а это значит, что создание систем внедрения скрытой информации, в защищаемые документы, различными методами является актуальной задачей, т.к. позволит обезопасить документы, а также в спорных ситуациях подтвердить их подлинность, либо авторские права.

Основной пик издания работ, посвященных системам внедрения информации, пришелся на период 1998-2008 гг., но многие из этих авторов сменили область своей деятельности. Им на смену пришли исследователи, которые провели весьма содержательный обзор известных схем, а также предложили собственную модель [5,6]. На сегодняшний день развитие данного направления не стоит на месте, современные модели систем предлагают авторы в работах [7,8]. В отличие от вышеперечисленных работ, предлагается создание модели открытой модульной системы внедрения и

распознавания скрытых изображений, которая позволит описать процессы их внедрения и визуализации, а также позволит изучать и сравнивать различные методы внедрения и распознавания скрытых изображений, для определения наиболее робастных.

Целями данной статьи являются:

- Построение модели системы внедрения и распознавания скрытых изображений, позволяющей описать процессы их внедрения и визуализации;
- Разработка системы внедрения и распознавания, позволяющей визуализировать скрытые изображения и оценить качество визуализации.
- Разработка системы внедрения и распознавания, позволяющей визуализировать скрытые изображения и оценить качество визуализации.

Материалы и методы (Materials and Methods)

В работах [7,8] предложены модели систем встраивания и распознавания изображений.

В отличие от этих моделей в работе предлагается разработка информационной системы, позволяющая расширять множество используемых методов внедрения и визуализации скрытой информации.

Математическая модель системы внедрения и распознавания скрытых изображений S описывается следующим образом $\{S = \{H, R, K\}$, где H – процесс внедрения скрываемого изображения, R – процесс распознавания скрытого изображения, K – процесс оценки качества внедрения и распознавания.

При описании модели использован подход, предложенный в работе [8] для обозначения m -мерных матриц неопределённых размеров из элементов некоторого числового множества.

Информационная система состоит из следующих функциональных блоков и этапов построения разработанной математической модели:

- 1) Блок 1 «Внедрение скрываемой информации в изображение». Принцип работы данного блока заключается в том, что на вход подаются исходное изображение, внедряемое и функция (т.е. метод внедрения скрытой информации, реализованный в виде функции), выбранная из определенного множества функций, после преобразования на выходе получаем изображение со скрытой информацией. Модель процесса внедрения скрываемой информации в изображение имеет вид:

$$H : \langle I, G, F \rangle \rightarrow L, \quad | \quad I \subseteq R, G \subseteq R, L \subseteq R \quad (1)$$

где H – процесс внедрения скрываемого изображения, I – m -мерная матрица, элементы которой определены на множестве $I \subseteq R$ (исходное изображение), G – m -мерная матрица, элементы которой определены на множестве $G \subseteq R$ (скрываемое изображение), F – множество функций, L – m -мерная матрица, элементы которой определены на множестве $L \subseteq R$ (изображение, содержащее скрытую информацию).

- 2) Блок 2 «Распознавание скрытых изображений».

Процесс распознавания можно представить в виде двух моделей, в зависимости от выбранной функции (метода распознавания, реализованного в виде функции). В первом случае требуется подать на вход исходное изображение, изображение со скрытой информацией и выбрать соответствующую функцию (метод). Во втором случае, для распознавания скрытого изображения, исходное изображение не требуется, достаточно изображения со скрытой информацией и функции (метода распознавания).

Модели процесса распознавания скрытых изображений:

$$R : \langle I, L, F' \rangle \rightarrow W \mid I \subseteq R, L \subseteq R, W \subseteq R \quad (2)$$

$$R : \langle L, F' \rangle \rightarrow W \mid L \subseteq R, W \subseteq R \quad (3)$$

где R – процесс распознавания скрытого изображения, I – m -мерная матрица, элементы которой определены на множестве $I \subseteq R$ (исходное изображение), W – m -мерная матрица, элементы которой определены на множестве $W \subseteq R$ (выявленное изображение), L – m -мерная матрица, элементы которой определены на множестве $L \subseteq R$ (изображение, содержащее скрытую информацию), F' – множество функций.

- 3) Блок 3 «Оценка критериев качества распознавания скрытых изображений». выявленное изображение передается в блок оценки критериев качества распознавания скрытых изображений. Блок оценки заключается в реализации двух процессов:

– процесс анализа качества распознавания скрытого изображения, на вход которого подается выявленное изображение и внедряемое изображение (внутренняя информация), в результате на выходе получают значения показателей L_k , по которым производится оценка качества распознавания;

– процесс анализа качества внедрения скрываемого изображения, на вход которого подаются контейнер (исходное изображение) и изображение содержащее скрытую информацию, на выходе получают значения показателей I_k , по которым производится оценка качества внедрения скрываемого изображения;

Процесс оценки качества внедрения и распознавания скрытых изображений также можно представить в виде модели:

$$K : \langle I, L, k \rangle \rightarrow I_k, L_k \mid I \subseteq R, L \subseteq R \quad (4)$$

где K – процесс оценки качества внедрения и распознавания, I – m -мерная матрица, элементы которой определены на множестве $I \subseteq R$ (исходное изображение), L – m -мерная матрица, элементы которой определены на множестве $L \subseteq R$ (изображение со скрытой информацией), I_k – значения показателей качества внедрения, L_k – значения показателей качества распознавания, k – выбранный элемент множества критериев.

Отобразим разработанную математическую модель внедрения и распознавания скрытых изображений в виде системы (5):

$$S = \begin{cases} H : \langle I, G, F \rangle \rightarrow L, \mid I \subseteq R, G \subseteq R, L \subseteq R \\ R : \langle I, L, F' \rangle \rightarrow W \mid I \subseteq R, L \subseteq R, W \subseteq R \\ R : \langle L, F' \rangle \rightarrow W \mid L \subseteq R, W \subseteq R \\ K : \langle I, L, k \rangle \rightarrow I_k, L_k \mid I \subseteq R, L \subseteq R \end{cases} \quad (5)$$

Результаты (Results)

Далее на основе математической модели построим модель системы внедрения и распознавания скрытых изображений. Общая схема модели системы представлена на рисунке 1.

На схеме пунктирными линиями выделены блоки встраивания, распознавания и оценки качества скрытых изображений. Стрелками обозначаются потоки данных, а прямоугольниками процессы обработки этих данных.

Ниже перечислены основные обозначения:

- Блок 1 – программный модуль внедрения скрытой информации
 Блок 2 – программный модуль распознавания скрытых изображений
 Блок 3 – программный модуль оценки критериев качества изображений
 I – исходное изображение;
 G – скрываемое изображение;
 F – метод, используемый для внедрения изображения;
 F' – метод распознавания скрытого изображения
 W – выявленное изображение;
 L – изображение, содержащее скрытую информацию (изображение);
 H – процесс внедрения скрываемого изображения;
 T – передача данных (загрузка в программу);
 K_r – анализ качества распознавания скрытого изображения;
 K_h – анализ качества внедрения скрываемого изображения;
 k – критерии;
 I_k – значения показателей качества внедрения;
 L_k – значения показателей качества распознавания.

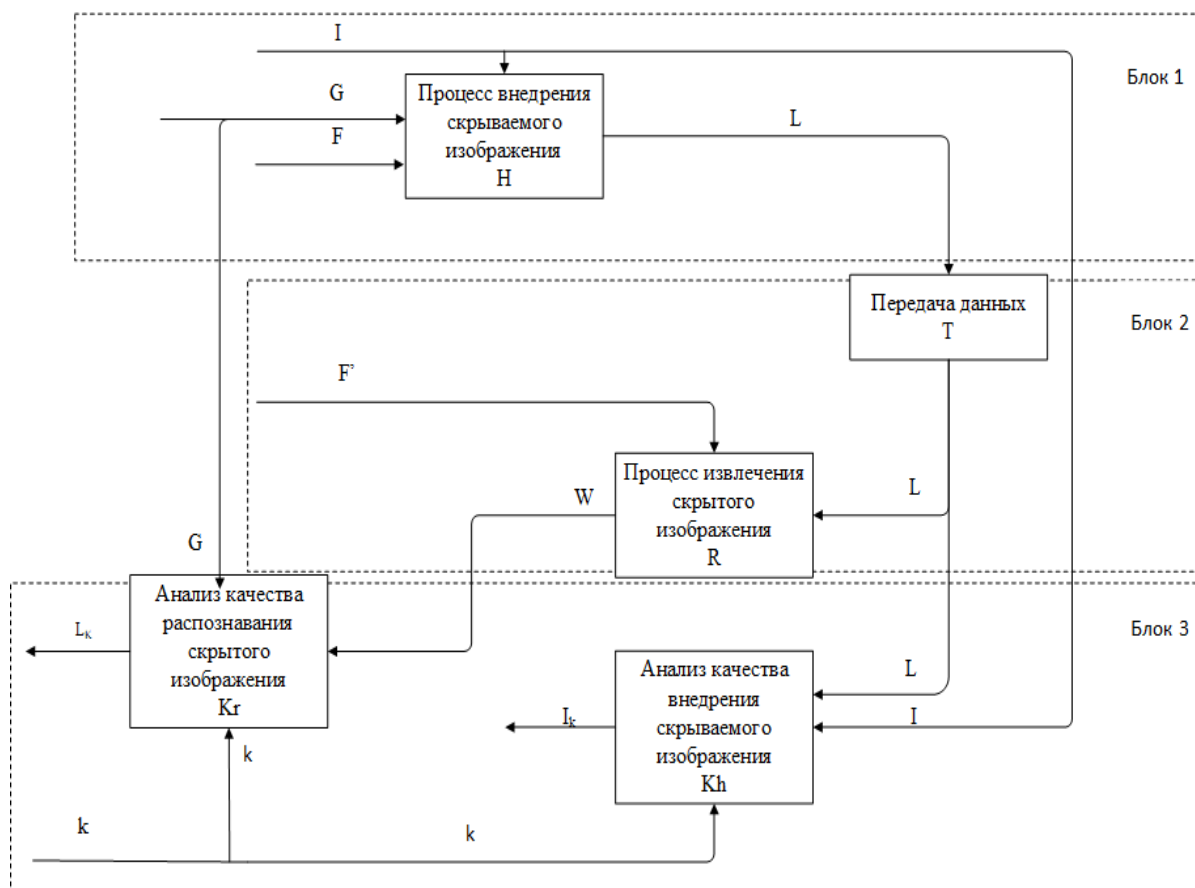


Рисунок 1. – Схема модели системы распознавания скрытых изображений
 Figure 1 – Scheme of the model of the system of implementation and recognition of hidden images

В отличие от унифицированной модели системы встраивания информации в цифровые сигналы [8], в работе предложена модель, позволяющая реализовать модульный принцип построения системы распознавания изображений, содержащих скрытую информацию, внедренную различными методами.

Обсуждение (Discussion)

На основе построенной модели системы разработана информационная система внедрения и распознавания скрытых изображений, состоящая из трех взаимосвязанных программных модулей:

- 1) Программный модуль для внедрения скрытой информации в изображения.
- 2) Программный модуль распознавания скрытых изображений.
- 3) Программный модуль для расчета критериев оценки качества изображений, содержащих скрытую информацию.

Разработанная система представляет собой графическую оболочку к моделям, подготовленную на языке MATLAB. Данный подход позволяет интегрировать разработанную систему, добавлять новые или вносить изменения в существующие модули, вносить изменения в разработанную модель.

В модуле для внедрения скрытой информации нужно выбрать один из трех реализованных методов:

1. Метод [3], основанный на растривании изображения, обозначен как «метод 1»;
2. Метод [4], основанный на растривании изображения, обозначен как «метод 2»;
3. Метод внедрения скрытой информации на основе дискретного вейвлет-преобразования и сингулярного разложения изображения, [9] обозначен как «метод 3».

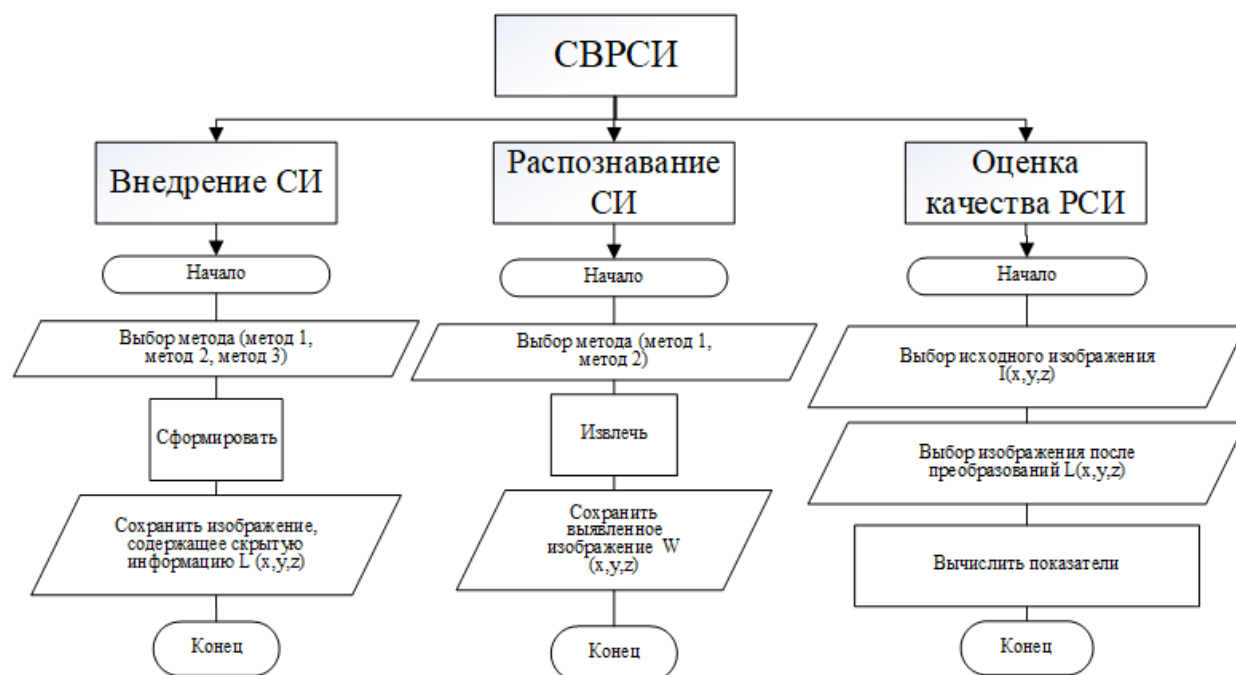


Рисунок 2 – Обобщенная схема системы внедрения и распознавания
 Figure 2 – Generalized scheme of the implementation and recognition system

В зависимости от выбранного метода следует загрузить изображения (исходное, внедряемое и растровую структуру для метода 1) и нажать кнопку «Сформировать». В окне предварительного просмотра появится сформированное изображение со скрытой информацией, которое можно сохранить.

Модуль распознавания скрытых изображений, включает в себя два алгоритма. Один алгоритм распознавания основан на пакетном вейвлет-преобразовании изображения со скрытой информации, обозначен как «метод 1» [10], другой алгоритм основан на применении дискретного вейвлет-преобразования и сингулярном разложении матриц обозначен как «метод 2» [9].

В модуле оценки качества изображений реализован расчет критериев оценки качества изображений, таких как пиковое отношение сигнал/шум, индекс структурного сходства и коэффициент корреляции Пирсона. Производят загрузку сравниваемых изображений (исходное изображение и изображение после преобразований), нажимают кнопку «Вычислить показатели», после чего начинается расчет сразу всех показателей, через некоторое время можно оценить результат расчетов.

Формулы, по которым производится расчет критериев оценки качества изображений, представлены ниже:

Пиковое отношение сигнала к шуму, обозначается аббревиатурой *PSNR*, вычисляется в децибелах (dB) и определяется по формуле :

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2 * M * N}{\sum_{x,y}^{M,N} (I(x,y) - L(x,y))^2} \quad (6)$$

где $I(x, y)$ и $L(x, y)$ - исходное и скрываемое изображения; x, y – координаты пикселей; M, N – высота и ширина изображения [11].

Индекс структурного сходства *SSIM* вычисляется по более сложным алгоритмам, чем *PSNR*, и считается более точно учитывающим особенности восприятия человека.

Значение индекса структурного сходства основано на вычислении трех показателей, а именно, показателя яркости $l(x, y)$, контрастного показателя $c(x, y)$ и структурного $s(x, y)$. Общее значение – это мультипликативная комбинация трех показателей.

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma, \quad (7)$$

где α, β, γ – весовые степени, показывающие вклад каждой из составляющих $l(x, y)$, $c(x, y)$, $s(x, y)$ в оценку.

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, \quad (8)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, \quad (9)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (10)$$

где x – исходное изображение $I(x, y)$, y – изображение, содержащее скрытую информацию $L(x, y)$. $\mu_x = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \omega_i x_i$ – среднее значение для исходного изображения размером M пикселей, $\sigma_x^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \mu_x)^2$ – стандартное отклонение исходного изображения. $\sigma_{xy} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)$ – корреляционный момент. $C_1, C_3 = C_2/2$ – выравнивающие коэффициенты.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (11)$$

Коэффициент корреляции Пирсона, r , широко используется в статистическом анализе, распознавании и обработке изображений. Вычисление коэффициента включает в себя сравнение двух изображений для целей, связанных с распознаванием объектов и определением отличий. Для цифровых изображений коэффициент корреляции Пирсона определяется как:

$$r = \frac{\sum_i (x_i - x_m)(y_i - y_m)}{\sqrt{\sum_i (x_i - x_m)^2} \sqrt{\sum_i (y_i - y_m)^2}} \quad (9)$$

где x_i – интенсивность i -го пикселя в изображении 1, y_i – интенсивность i -го пикселя в изображении 2, x_m – средняя интенсивность изображения 1, а y_m – средняя интенсивность изображения 2.

Коэффициент корреляции имеет значение $r = 1$, если оба изображения абсолютно одинаковы, $r = 0$, если они полностью некоррелированы, и $r = -1$.

Заключение

В данной работе на основе известных математических моделей [7,8] была разработана математическая модель системы внедрения и распознавания скрытых изображений, отличающаяся от аналогов возможностью расширения множества используемых функций внедрения и распознавания. В отличие от унифицированной модели системы встраивания информации в цифровые сигналы [8], в работе предложена модель, позволяющая реализовать модульный принцип построения системы распознавания изображений, содержащих скрытую информацию, внедренную различными методами. На основе построенной модели системы разработана информационная система внедрения и распознавания скрытых изображений, состоящая из трех взаимосвязанных программных модулей. Разработанная система представляет собой графическую оболочку к моделям, подготовленную на языке MATLAB. Данный подход позволяет интегрировать разработанную систему, добавлять новые или вносить изменения в существующие модули, вносить изменения в разработанную модель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосеев В.А., Митекин В.А. Метод извлечения водяных знаков из текстурированных полиграфических документов. *Компьютерная оптика*. 2014;38(4):825-832.
2. Шевелев, А.А. Создание латентных изображений с использованием стохастических растровых структур. *Технология і техніка друкарства*. 2009;1-2(23-24):226-233.
3. Топчиев, И. Н. Программный модуль для фильтрации изображений визуализированных магнитных сигналограмм. *Стратегическое планирование инновационной деятельности и способы коммерциализации научно-технической продукции*. Издательский дом «Астраханский университет». 2008;1:5–8.
4. Жарких А.А., Шагрова Г.В., Дроздова В.И. Математическое моделирование и численный метод контроля латентных изображений. *Вестник СевКавГТИ*. 2017;30(3):118-121.
5. Nyeem, H. Developing a digital image watermarking model. *International Conference on Digital Image Computing Techniques and Applications*. 2011;1(19):468-473.
6. Nyeem, H. Digital image watermarking: its formal model, fundamental properties and possible attacks. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 2014;1(1):1-22.
7. Жарких, А.А. Система распознавания латентных изображений для робототехнического комплекса. *Актуальные проблемы современной науки: IV*

- Международная научно-практическая конференция. Изд-во СевКавГТИ, 2015;2:164-167.*
8. Федосеев В.А. Унифицированная модель систем встраивания информации в цифровые сигналы. *Компьютерная оптика*, 2016;40(1):87-98.
 9. Maslova O.I, Shagrova G.V. An algorithm for implementation and recognition of hidden images based on discrete waves of transformation and singular decomposition of matrices. *Студенческая наука для развития информационного общества. X Всероссийская науч.-техн. Конференция с международным участием. Изд-во СКФУ. 2019;2:444-452.*
 10. Жарких А.А., Шагрова Г.В., Маслова О.И. Пакетное вейвлет-разложение и анализ латентного изображения, полученного методом вариации направления линий. *Современная наука и инновации*. 2018;24(4):11-19.
 11. Cohen, A.S. The gaussian watermarking game. *IEEE Transactions on Information Theory*. 2002;6(48):1639-1667.

REFERENCES

1. Fedoseev V.A., Mitekin V.A. Metod izvlecheniya vodyanykh znakov iz teksturirovannykh poligraficheskikh dokumentov. *Komp'yuternaya optika*. 2014;38(4):825-832.
2. Shevelev, A.A. Sozdanie latentnykh izobrazhenii s ispol'zovaniem stokhasticheskikh rastrovnykh struktur. *Tekhnologiya i tekhnika drukarstva*. 2009;1-2(23-24):226-233.
3. Topchiev, I. N. Programmnyi modul' dlya fil'tratsii izobrazhenii vizualizirovannykh magnitnykh signalogramm. *Strategicheskoe planirovanie innovatsionnoi deyatel'nosti i sposoby kommersializatsii nauchno-tekhnicheskoi produktsii. Izdatel'skii dom «Astrakhanskii universitet»*. 2008;1:5-8.
4. Zharkikh A.A., Shagrova G.V., Drozdova V.I. Matematicheskoe modelirovanie i chislennyi metod kontrolya latentnykh izobrazhenii. *Vestnik SevKavGTI*. 2017;30(3):118-121.
5. Nyeem, H. Developing a digital image watermarking model. *International Conference on Digital Image Computing Techniques and Applications*. 2011;1(19):468-473.
6. Nyeem, H. Digital image watermarking: its formal model, fundamental properties and possible attacks. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 2014;1(1):1-22.
7. Zharkikh, A.A. Sistema raspoznavaniya latentnykh izobrazhenii dlya robototekhnicheskogo kompleksa. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki: IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konfe-rentsiya. Izd-vo SevKavGTI*. 2015;2:164-167.
8. Fedoseev V.A. Unifitsirovannaya model' sistem vstraivaniya informatsii v tsifrovye signaly. *Komp'yuternaya optika*. 2016;40(1):87-98.
9. Maslova O.I, Shagrova G.V. An algorithm for implementation and recognition of hidden images based on discrete waves of transformation and singular decomposition of matrices. *Студенческая наука для развития информационного общества. X Всероссийской науч.-техн. Конференции с международным участием. Изд-во СКФУ. 2019;2:444-452.*
10. Zharkikh A.A., Shagrova G.V., Maslova O.I. Paketnoe veyvlet-razlozhenie i analiz latentnogo izobrazheniya, poluchennogo metodom variatsii napravleniya linii. *Sovremennaya nauka i innovatsii*. 2018;24(4):11-19.
11. Cohen, A.S. The gaussian watermarking game. *IEEE Transactions on Information Theory*. 2002;6(48):1639-1667.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Маслова Оксана Игоревна, студент магистратуры, «Информационные системы и технологии» по направлению «Информационные системы в науке и производстве», Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ), Ставрополь, Российская Федерация.

Email: oksmaslova@inbox.ru

ORCID: [0000-0002-9972-5735](https://orcid.org/0000-0002-9972-5735)

Шагрова Галина Вячеславовна, доктор физико-математических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий института информационных технологий и телекоммуникаций, Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ), Ставрополь, Российская Федерация.

E-mail: g_shagrova@mail.ru

Maslova Oksana, Graduate Student, «Information Systems And Technologies» In The Direction Of «Information Systems In Science And Production», North Caucasian Federal University (NCFU), Stavropol, Russian Federation.

Shagrova Galina, Doctor Of Physico-Mathematical Sciences, Professor Of Chair Information Systems And Technologies, Institute Of Information Technologies And Telecommunications, North Caucasian Federal University (NCFU), Stavropol, Russian Federation.