



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

# МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕГАНОАНАЛИЗА НЕПОДВИЖНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СО ВСТРОЕННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ В ВЕЙВЛЕТ ОБЛАСТИ

Соискатель Сивачев Алексей Вячеславович

05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная  
безопасность

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: д.т.н., проф. Коробейников Анатолий Григорьевич

## Цель и задачи исследования

**Целью** является повышение эффективности обнаружения скрытых каналов связи, основанных на встраивании информации в вейвлет область цифровых изображений с использованием стеганографии.

Для достижения поставленной цели в рамках диссертационного исследования необходимо решить **научную задачу** по разработке методов и алгоритмов для повышения эффективности стеганоанализа неподвижных цифровых изображений со встроенной информацией в вейвлет область цифровых изображений.

Научная задача допускает декомпозицию на следующие частные **задачи**:

- провести анализ существующих методов встраивания информации в область ДВП изображения;
- разработать методику сравнительного анализа эффективности методов стеганоанализа;
- провести анализ эффективности существующих методов стеганоанализа при обнаружении факта встраивания в ДВП область изображения;
- разработать методы повышения эффективности стеганоанализа цифровых изображений со встроенной информацией в ДВП области изображения.



## Объект и предмет исследования

**Объектом исследований** является методы стеганоанализа для обнаружения встраивания в вейвлет область неподвижных цифровых изображений.

**Предметом исследований** является эффективность методов стеганоанализа для обнаружения встраивания в вейвлет область неподвижных цифровых изображений.

## Актуальность и практическая значимость

**Актуальность.** Низкая эффективность существующих методов стеганоанализа при обнаружении факта встраивания в вейвлет область изображений.

**Практическая значимость.** Использование методов стеганоанализа, рассматриваемых в работе, в частности в системах защиты информации, позволяет противодействовать скрытым каналам передачи информации, основанных на скрытии информации в вейвлет области цифровых изображений и таким образом снизить вероятность реализации риска её несанкционированной утечки по таким каналам.

$$R = P_{\text{реал}} * U = (1 - P_{\text{обн}}) * U$$

$R$  – риск утечки информации по стеганографическому каналу,

$P_{\text{реал}}$  – вероятность реализации угрозы

$P_{\text{обн}}$  – вероятность обнаружения угрозы

$U$  – ущерб от реализации угрозы

## Положения выносимые на защиту и научная новизна

Выносимые на защиту положения	Новизна
<p>1.Метод повышения эффективности стеганоанализа отличающийся более высокой эффективностью обнаружения встраивания в области LH и HL за счет использования особенностей вейвлет преобразования</p>	<p>До настоящего времени один вейвлет не использовался для оценки значений параметров изображения, получаемых для другого вейвлета для повышения эффективности стеганоанализа.</p>
<p>2.Метод повышения эффективности стеганоанализа отличающийся более высокой эффективностью обнаружения встраивания в области LH и HL за счет использования взаимосвязи между областями одно- и двумерного дискретного вейвлет преобразования</p>	<p>В существующих методах стеганоанализа для вейвлет области изображения, как правило, используется двумерное дискретно-вейвлетное преобразование.</p>
<p>3.метод повышения эффективности стеганоанализа отличающийся более высокой эффективностью обнаружения встраивания в области LH и HL за счет использования особенностей частотной области изображения</p>	<p>До настоящего времени данные коэффициенты не использовались для стеганоанализа для обнаружения встраивания в вейвлет область изображения.</p>
<p>метод повышения эффективности стеганоанализа отличающийся более высокой эффективностью обнаружения встраивания в область LL за счет использования статистических методов стеганоанализа пространственной области</p>	<p>До настоящего времени статистические методы стеганоанализа не использовались для непосредственного анализа областей коэффициентов, получаемых при вейвлет преобразовании изображения</p>
<p>метод стеганоанализа, отличающийся более высокой эффективностью обнаружения встраивания в области LL, LH и HL за счет комбинированного использования разработанных методов повышения эффективности стеганоанализа</p>	<p>Комбинируемые методы повышения эффективности стеганоанализа разработаны в данной работе.</p>

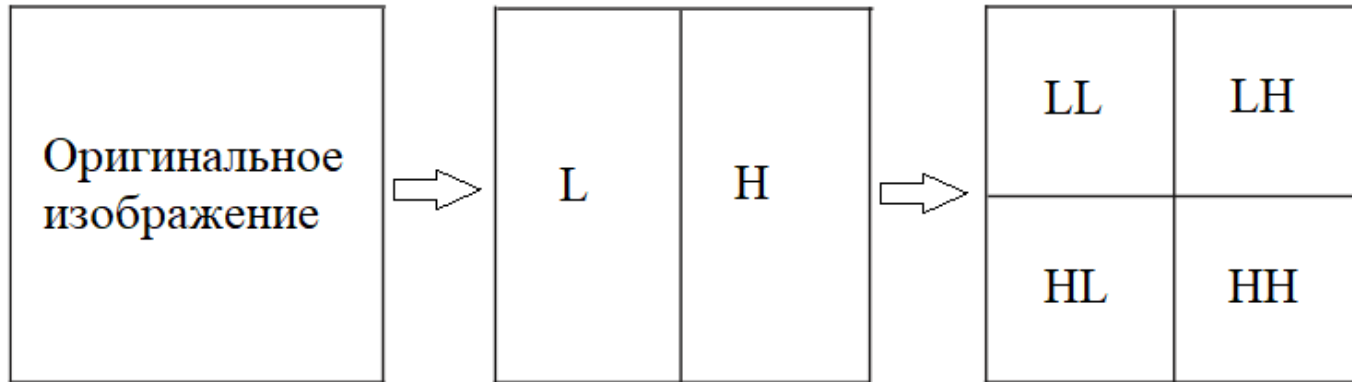


## Пункты паспорта специальности 05.13.19

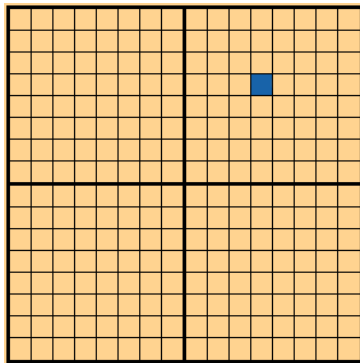
- 5.Методы, модели и средства выявления, идентификации и классификации угроз нарушения информационной безопасности объектов различного вида и класса.
- 6.Модели и методы формирования комплексов средств противодействия угрозам хищения (разрушения, модификации) информации и нарушения информационной безопасности для различного вида объектов защиты вне зависимости от области их функционирования.

## Методы встраивания информации

### Вейвлет преобразование

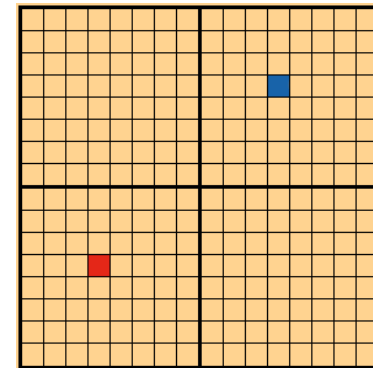


Варианты встраивания бита информации в плоскости коэффициентов вейвлет преобразования:



1-но коэффициентный метод

$$\begin{cases} \blacksquare \text{ mod } N = 0 \rightarrow \text{bit} = 0 \\ \blacksquare \text{ mod } N = 1 \rightarrow \text{bit} = 1 \end{cases}$$



2-х коэффициентный метод

$$\begin{cases} \blacksquare > \blacksquare \rightarrow \text{bit} = 0 \\ \blacksquare < \blacksquare \rightarrow \text{bit} = 1 \end{cases}$$

## Методы стеганоанализа на основе машинного обучения (продолжение)

Метод стеганоанализа	Исп. ДВП	Используемые параметры	Размерность feature vector
Gireesh Kumar T, Jithin R, Deepa D Shankar	3-х ур. ДВП	1, 2, 3 и 4 статистические моменты,	108
Hany Farid	4-х ур. ДВП	1, 2, 3 и 4 статистические моменты матрицы ошибки предсказания	72
Yun Q. Shi, Guorong Xuan, Dekun Zou, Jianjiong Gao, Chengyun Yang, Zhenping Zhang, Peiqi Chai, Wen Chen, Chunhua Chen	3-х ур. ДВП	1, 2, 3 статистические моменты LL, HL, LH, HH, 1, 2, 3 статистические моменты для ошибки предсказания	162
Changxin Liu, Chunjuan Ouyang, Ming Guo, Huijuan Chen	3-х ур. ДВП	1, 2, 3 и 4 статистические моменты. Градиентная энергия и энтропия изображения, а также оценка погрешности между реальными и предсказанными значениями коэффициентов областей HL, LH и HH	72



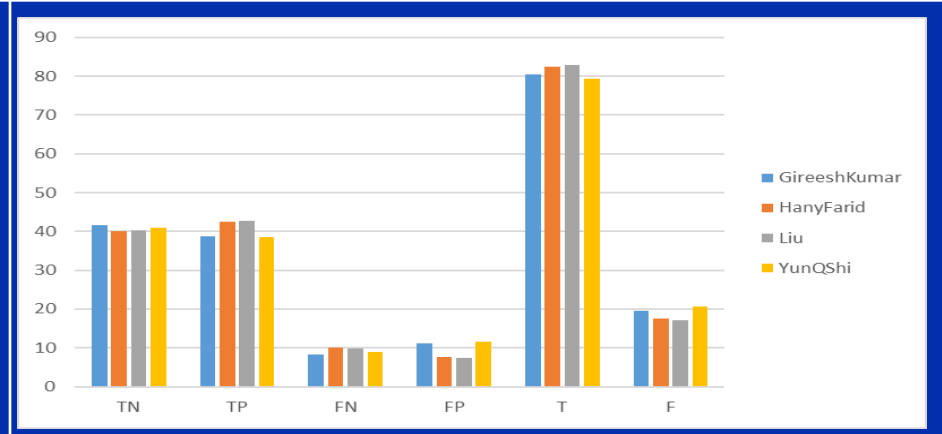
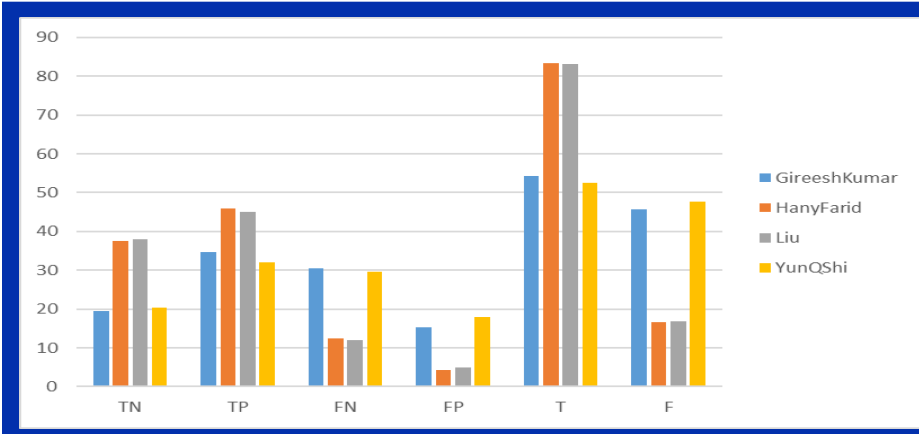


# Методика сравнительного анализа эффективности методов стеганоанализа



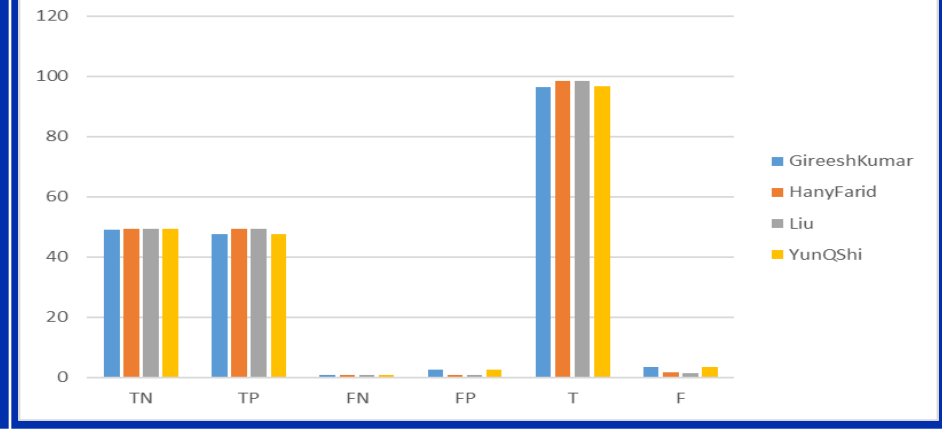
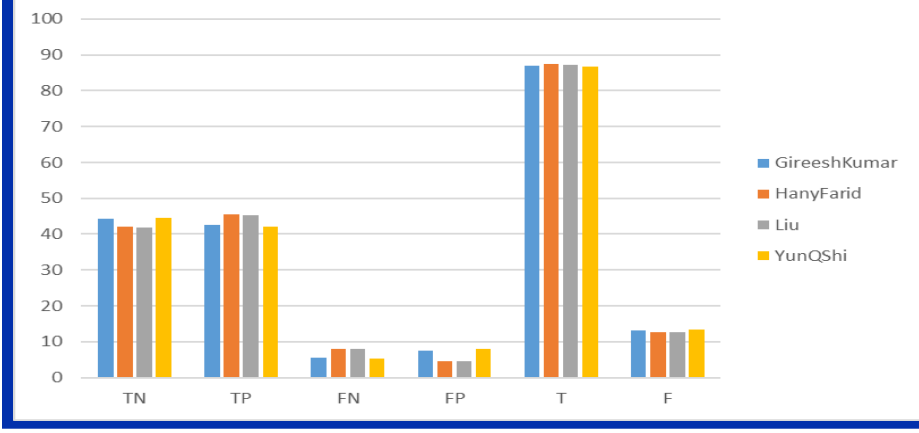


# Методика сравнительного анализа эффективности методов стеганоанализа (продолжение)



Эффективность стеганоанализа для LL области при объеме встраивания 20%

Эффективность стеганоанализа для LN области при объеме встраивания 20%



Эффективность стеганоанализа для NL области при объеме встраивания 20%

Эффективность стеганоанализа для NN области при объеме встраивания 20%

## Методика сравнительного анализа эффективности методов стеганоанализа (продолжение)

LL	HL
8,36% - 35,90%	9,00% - 15,74%
LH	HH
14,64% - 23,10%	1,36% - 5,18%

Количество (%) неверно классифицированных **ОРИГИНАЛЬНЫХ** изображений с 20% объемом встраивания

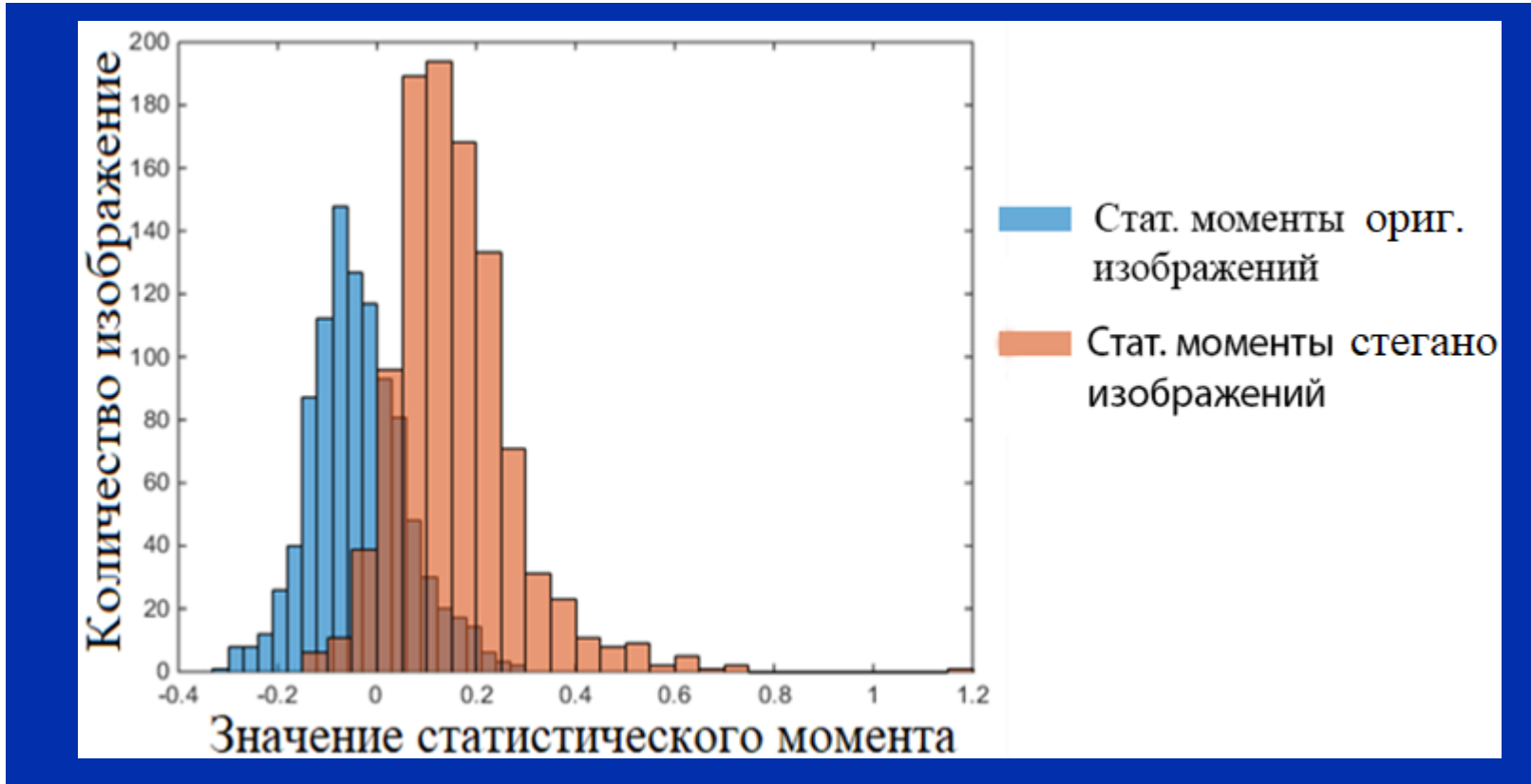
Минимум от 1,36% до 14,64% в зависимости от области

LL	HL
23,82% - 60,90%	11,22% - 16,18%
LH	HH
16,60% - 19,58%	1,43% - 1,75%

Количество (%) неверно классифицированных **СТЕГАНО** изображений с 20% объемом встраивания

Минимум от 1,43% до 23,82% в зависимости от области

## Причины недостаточной эффективности методов стеганоанализа



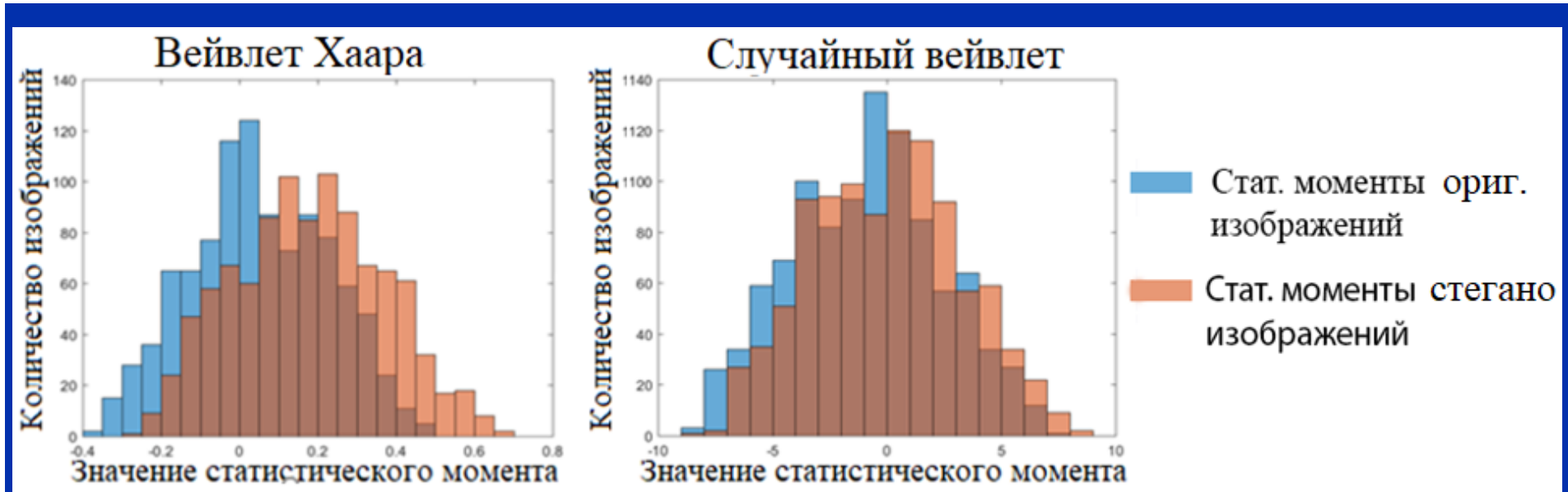
Распределение значений статистических моментов для HL области

Причина низкой эффективности обнаружения факта встраивания в область ДВП - невозможность однозначного разделения значений параметров для оригинальных и стего изображений.



## Положение 1 Метод повышения эффективности стеганоанализа путем использования особенностей вейвлет преобразования

Используемый вейвлет оказывает заметное влияние на изменение значений статистических моментов вследствие стеганографического встраивания.



Распределение значений статистических моментов для HL области

При этом значения статистических моментов, получаемые при использовании двух разных вейвлетов, имеют зависимость между собой.



## Положение 1 Метод повышения эффективности стеганоанализа путем использования особенностей вейвлет преобразования (продолжение)

Критерии для искомого вейвлета:

1. Оценка степени чувствительности вейвлета (статистических моментов областей LL, HL, LH, HH) к факту встраивания в область ДВП изображения:

$$G_1 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |M_i - M'_i|}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}},$$

2. Оценка степени взаимосвязи между значениями статистических моментов, получаемых посредством вейвлета Хаара и искомого вейвлета:

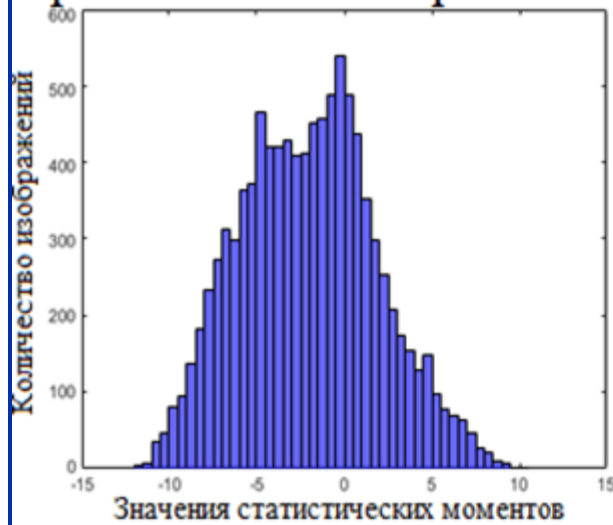
$$G_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |M_i^{haar} - M_i^{haar'}|$$

## Положение 1 Метод повышения эффективности стеганоанализа путем использования особенностей вейвлет преобразования (продолжение)

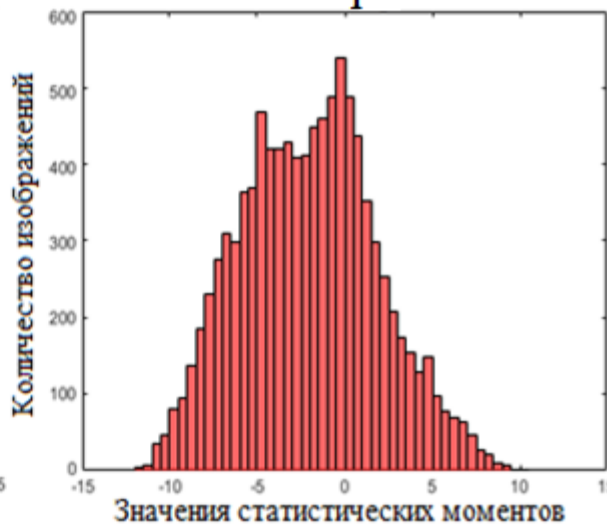
В результате был определен следующий вейвлет, максимально удовлетворяющим вышеуказанным критериям, имеющих следующие коэффициенты:

$$W = \begin{pmatrix} 0.417 & 0.916 & 0.011 & 0.389 & 0.579 & 0.527 & 1.007 \\ 0.417 & 0.916 & 0.011 & -0.389 & 0.579 & -0.527 & -1.007 \end{pmatrix}$$

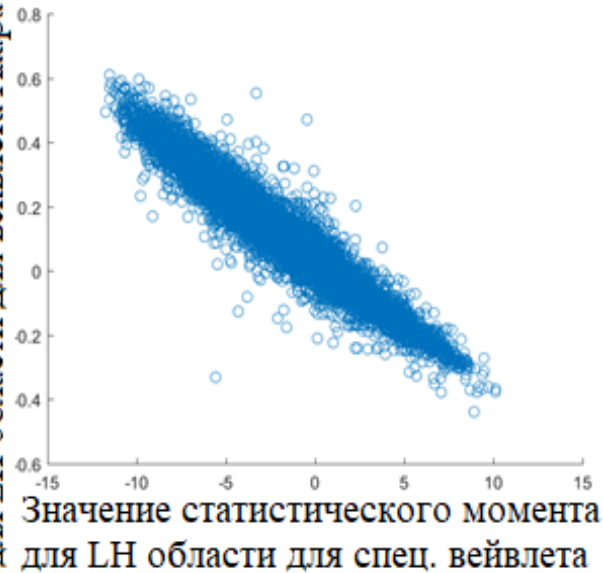
Оригинальные изображения



Стегано изображения



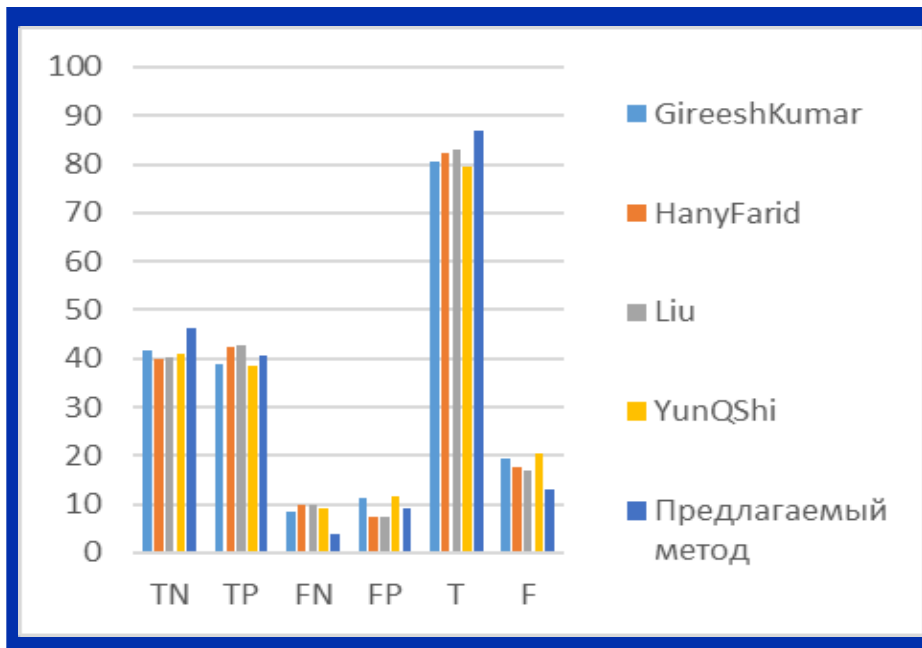
Значение статистического момента для LH области для вейвлета Хаара



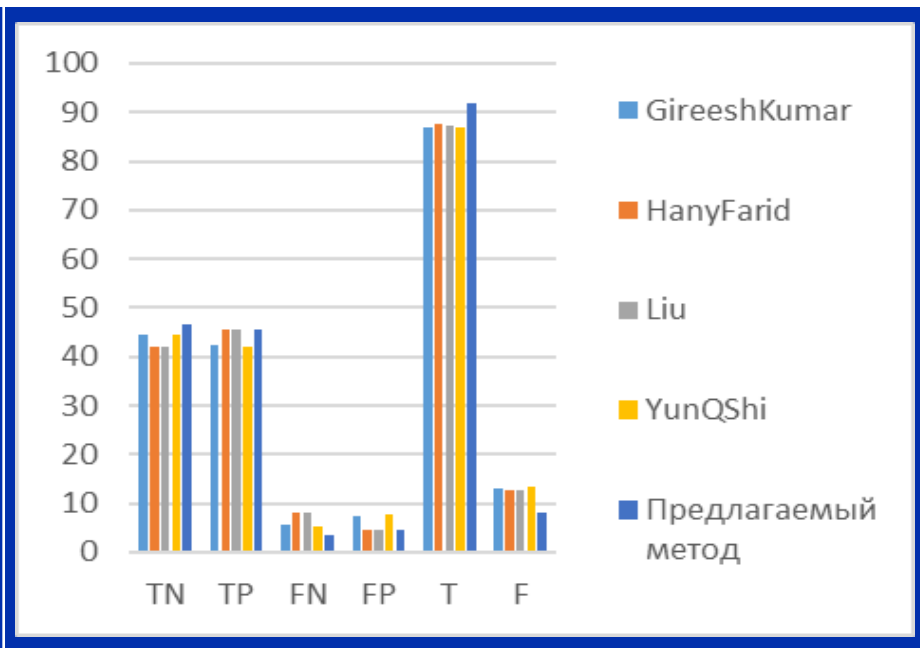
Распределение значений стат. моментов для спец. вейвлета

Взаимосвязь значений статистических моментов

## Положение 1 Метод повышения эффективности стеганоанализа путем использования особенностей вейвлет преобразования (продолжение)



Эффективность стеганоанализа для LH области при 20% объеме встраивания



Эффективность стеганоанализа для HL области при 20% объеме встраивания

Увеличение эффективности с использованием предложенной закономерности в среднем составило 4,46 - 4,91 %% для областей HL и LH.



## Положение 2 Метод повышения эффективности стеганоанализа путем использования взаимосвязи между областями одно- и дву- мерного ДВП

Существует взаимосвязь между:

- значениями статистических моментов для областей HL и LH

- значениями статистических моментов для матриц коэффициентов, получаемых на основе областей L и H соответственно по формулам:

$$Dif_x(L) = L_{1D}(x + 1, y) - L_{1D}(x, y);$$

$$Dif_y(L) = L_{1D}(x, y + 1) - L_{1D}(x, y);$$

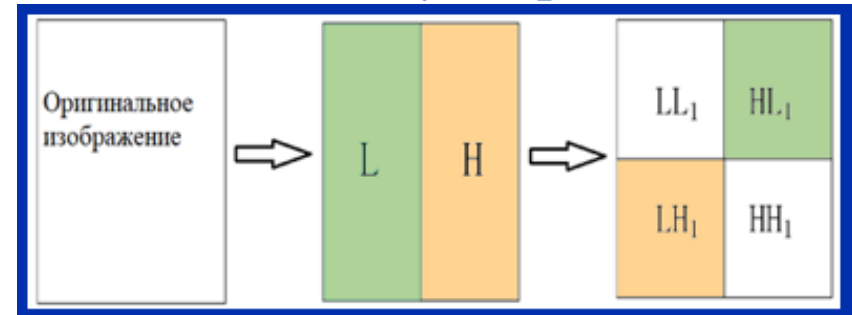
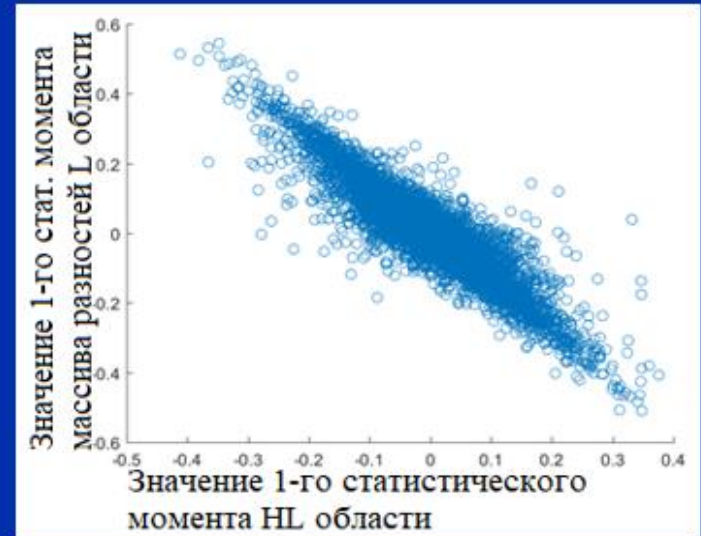


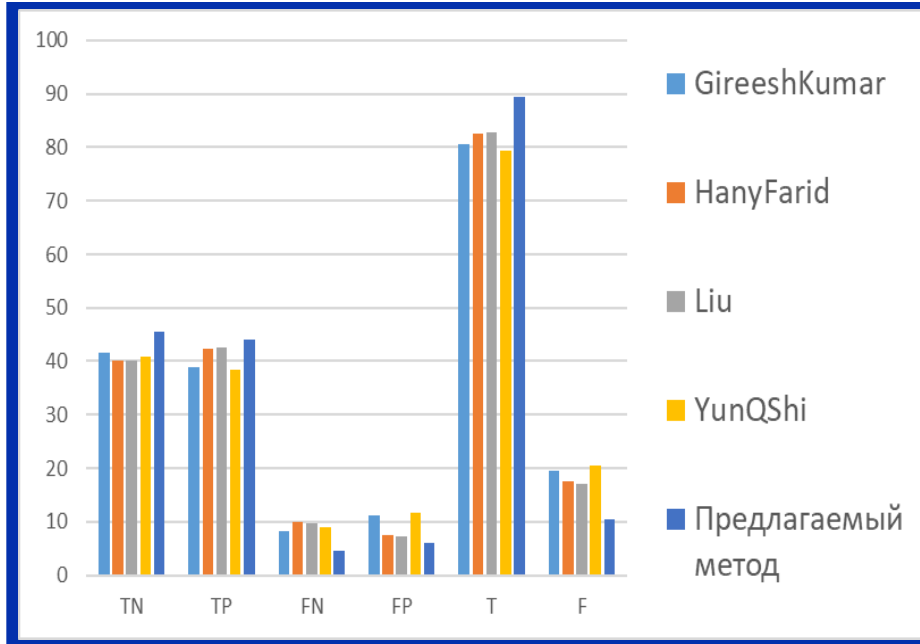
Схема ДВП изображения (цветом отмечены взаимосвязанные области)



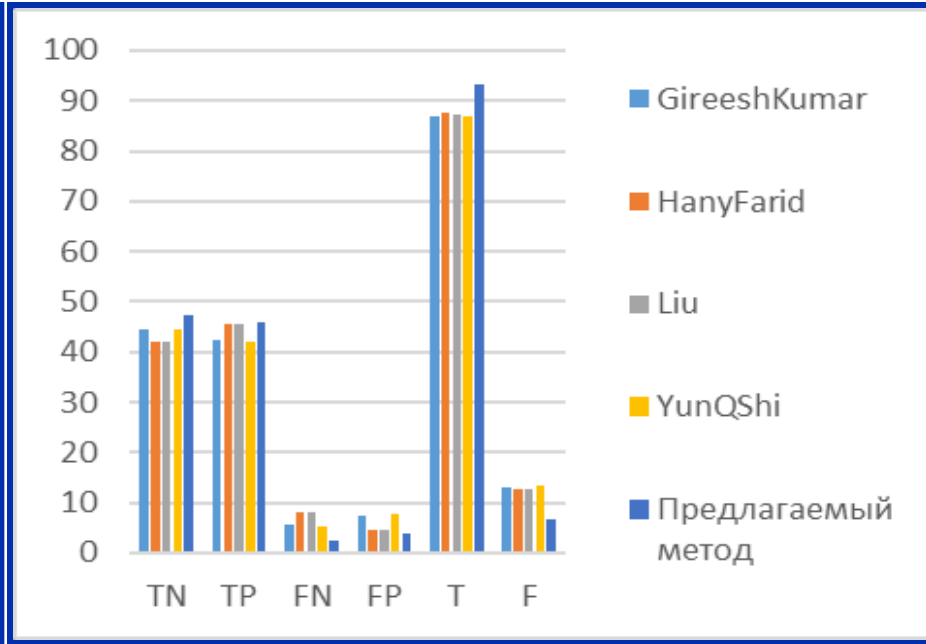
Взаимосвязь значений стат. моментов



## Положение 2 Метод повышения эффективности стеганоанализа путем использования взаимосвязи между областями одно- и двумерного ДВП (продолжение)



Эффективность стеганоанализа для LH области при 20% объеме встраивания



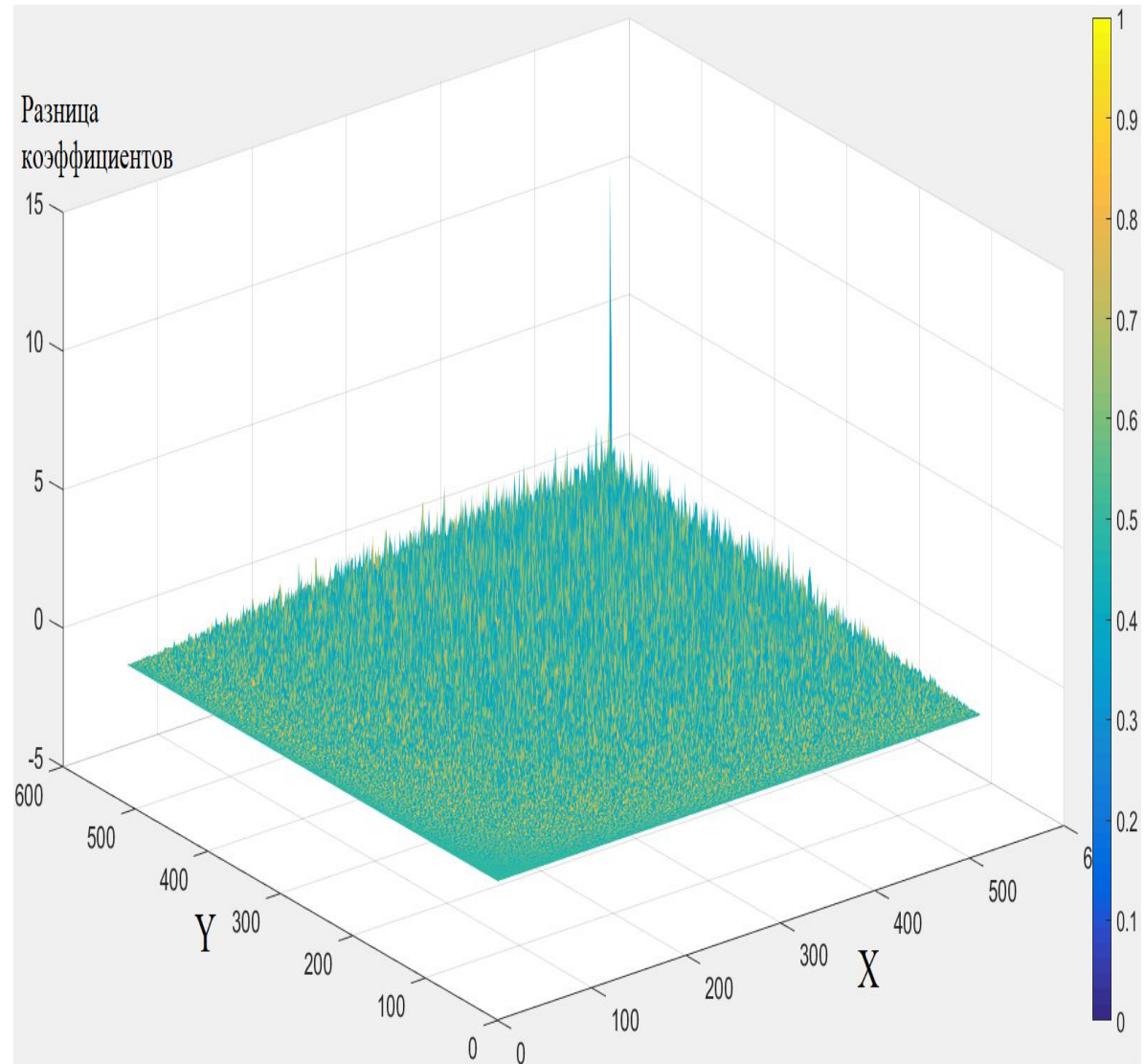
Эффективность стеганоанализа для HL области при 20% объеме встраивания

Увеличение эффективности с использованием предложенной закономерности в среднем составило 7,15 - 7,38 %% для областей HL и LH.

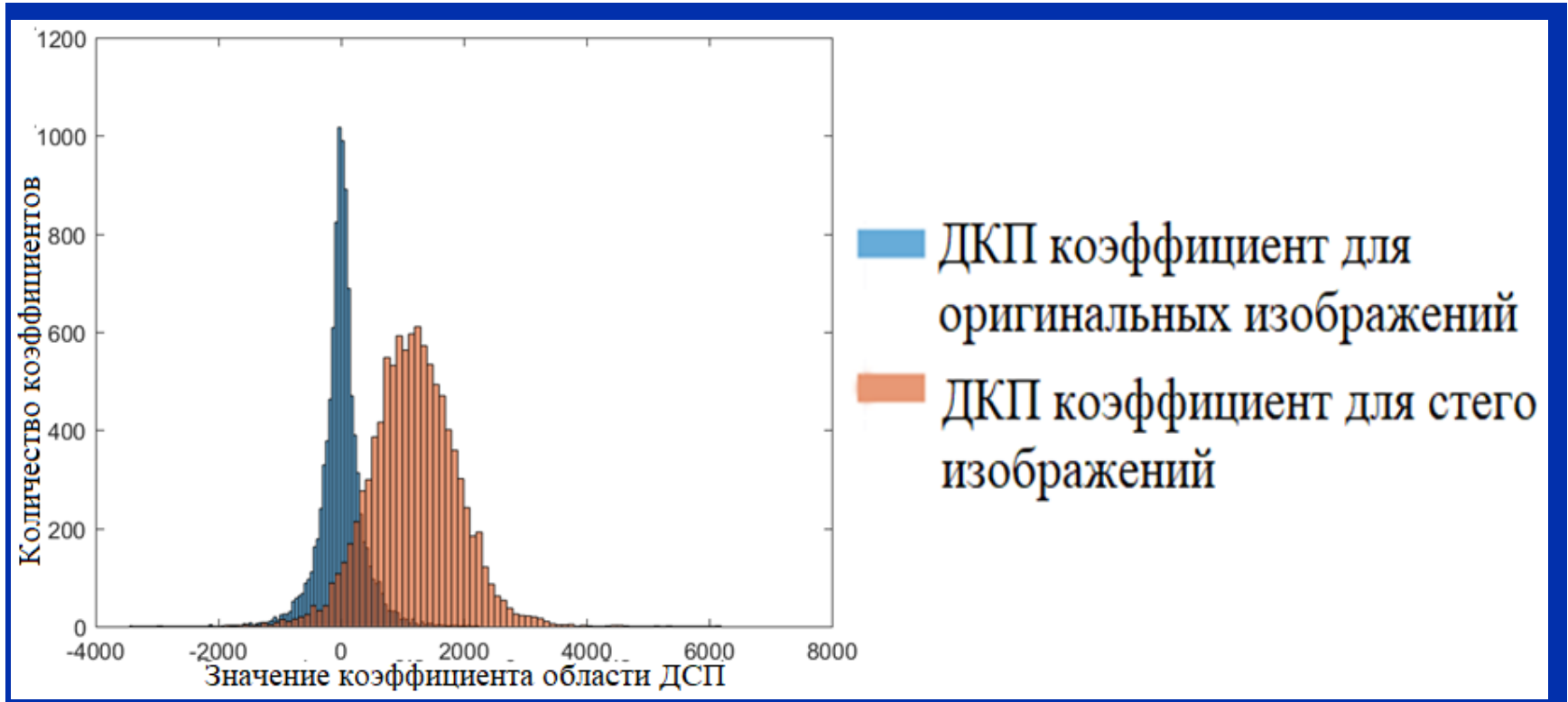


## Положение 3 Метод повышения эффективности стеганоанализа путем использования дополнительных параметров частотной области изображения

Изменение абсолютного большинства коэффициентов области ДКП в следствие встраивания в область ДВП лежит в пределах от -2 до 2, но значение одного из коэффициентов меняется заметно сильнее.

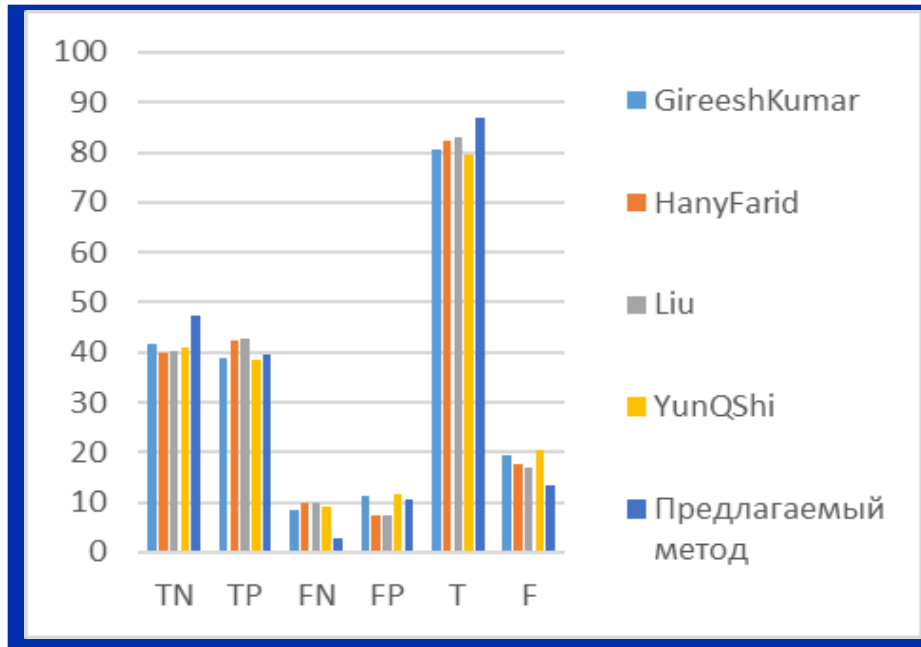


### Положение 3 Метод повышения эффективности стеганоанализа путем использования дополнительных параметров частотной области изображения (продолжение)

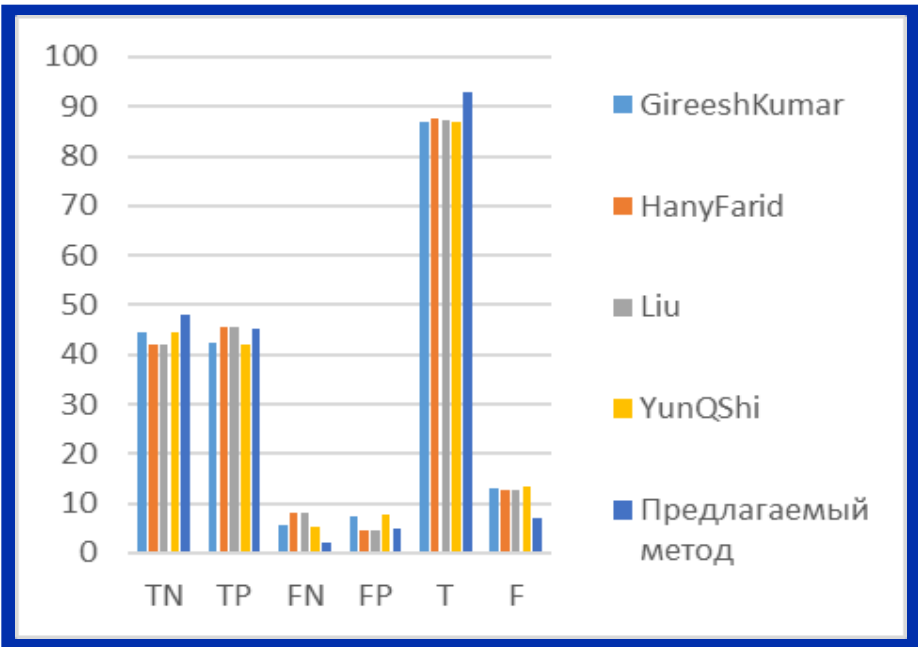


Распределение значений ДКП коэффициента

## Положение 3 Метод повышения эффективности стеганоанализа путем использования дополнительных параметров частотной области изображения (продолжение)



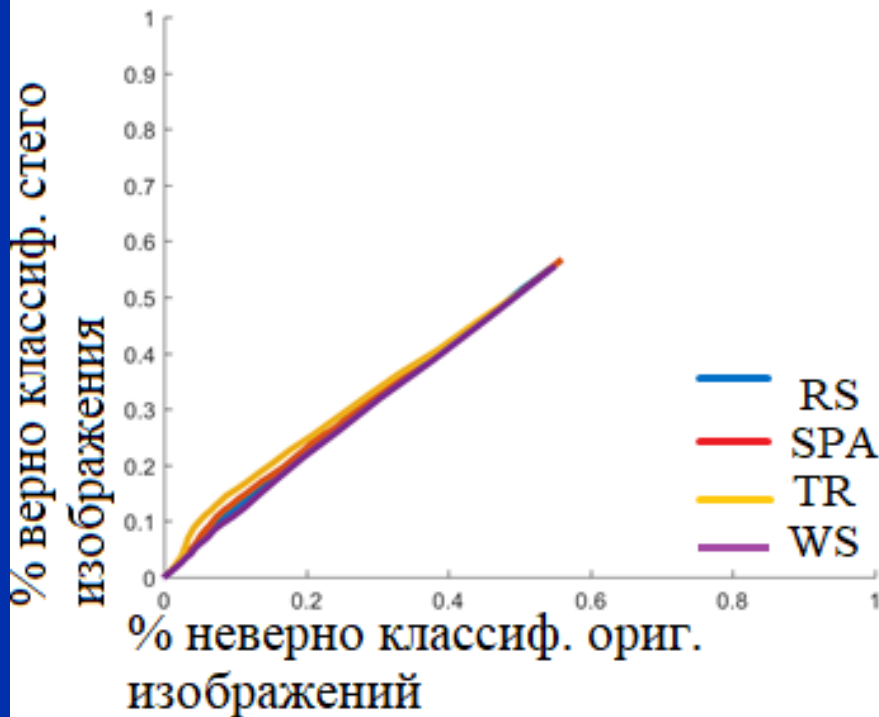
Эффективность стеганоанализа для LH области при 20% объеме встраивания



Эффективность стеганоанализа для HL области при 20% объеме встраивания

Увеличение эффективности с использованием предложенной закономерности составило 3,13 - 5,31 %% для областей HL и LH.

## Положение 4 Метод эффективного стеганоанализа встраивания в область LL за счет использования статистических методов стеганоанализа



Исходное изображение

LL область

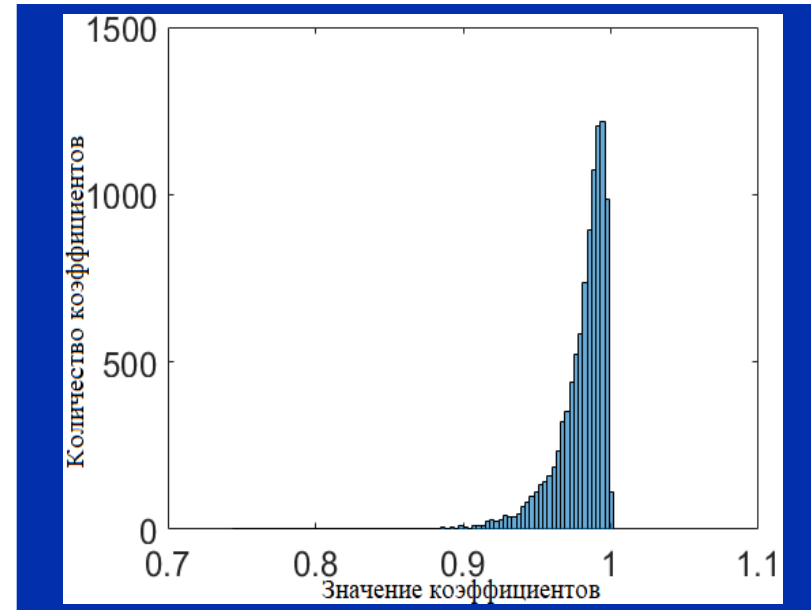
Низкочастотная область LL ДВП изображения по своим характеристикам очень сильно похожа на оригинальное цифровое изображение

График соотношения количества верно определенных стегано изображений от ложно определенных как стегано изображения для изображений содержащих встраивание в LL область

## Положение 4 Метод эффективного стеганоанализа встраивания в область LL за счет использования статистических методов стеганоанализа (продолжение)

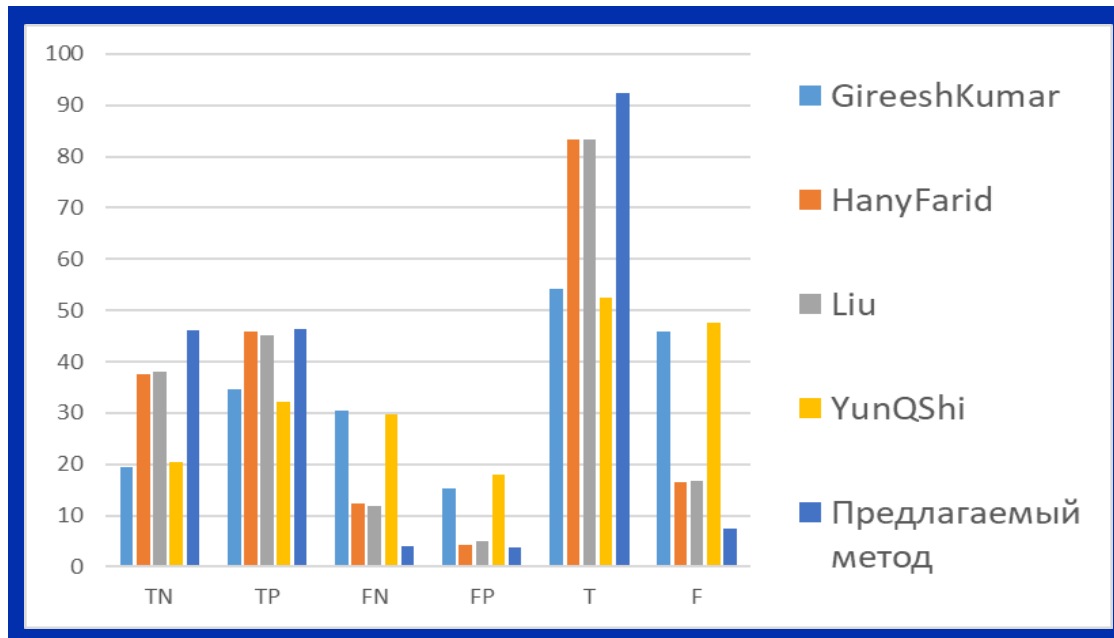
Для оценки степени схожести исходного изображения и низкочастотной области LL использовался коэффициент корреляции между исходным изображением и низкочастотной областью LL, получаемый по формуле:

$$k = \frac{\sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (IMG(x, y) - \overline{IMG}) * (W(RND(\frac{x}{2}), RND(\frac{y}{2})) - \bar{W})}{\sqrt{(\sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (IMG(x, y) - \overline{IMG})^2) * (\sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (W(RND(\frac{x}{2}), RND(\frac{y}{2})) - \bar{W})^2)}}$$



Гистограмма распределения коэффициента корреляции

## Положение 4 Метод эффективного стеганоанализа встраивания в область LL за счет использования статистических методов стеганоанализа



Эффективность стеганоанализа для LL области при 20% объеме встраивания

Увеличение эффективности с использованием статистических методов составило 9,52 % для области LL.



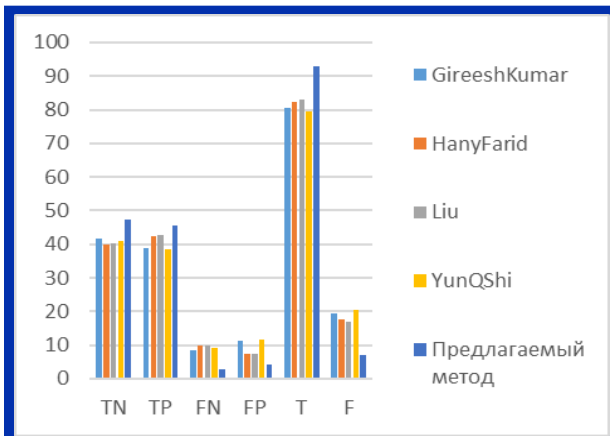
## Комбинированное применение методов повышения эффективности стеганоанализа



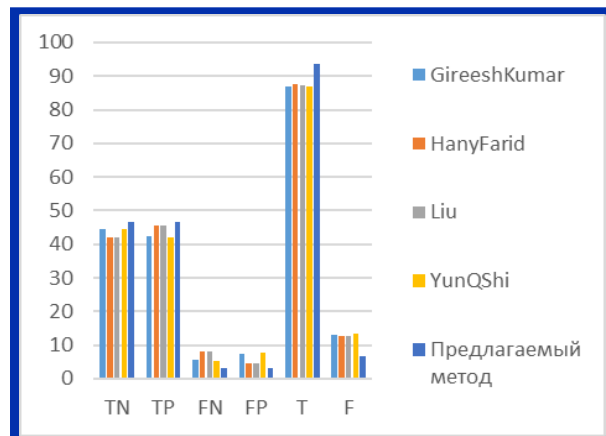
## Комбинированное применение методов повышения эффективности стеганоанализа (продолжение)

За счет совместного использования методов, предложенных в диссертационной работе, можно добиться:

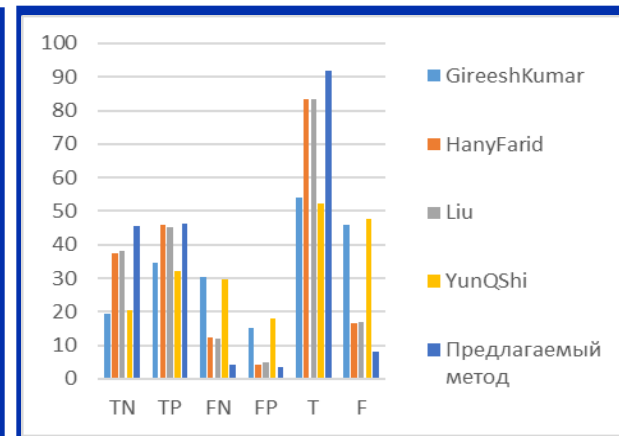
- повышения эффективности для LL области на 9,52%
- повышения эффективности для LH области на 9,73%
- повышения эффективности для HL области на 7,85%



Эффективность стеганоанализа для LH области при 20% встраивания



Эффективность стеганоанализа для HL области при 20% встраивания



Эффективность стеганоанализа для LL области при 20% встраивания



## Заключение

- Разработана методика сравнительного анализа эффективности методов стеганоанализа на основе машинного обучения;
- Разработан метод повышения эффективности стеганоанализа в области ДВП с помощью использования взаимосвязи между областями одно- и двумерного ДВП;
- Разработан метод повышения эффективности стеганоанализа в области ДВП посредством анализа параметров частотной области изображения;
- Разработан метод повышения эффективности методов стеганоанализа путем оптимизации параметров вейвлет преобразования;
- Разработан метод повышения эффективности стеганоанализа в области ДВП посредством использования статистических методов стеганоанализа для анализа областей ДВП коэффициентов.
- Разработан метод стеганоанализа обеспечивающий высокую эффективность стеганоанализа при обнаружении встраивания в области LL, LH, HL

## Публикации по теме диссертации

### **6 статей в журналах, входящих в перечень ВАК:**

- Сивачев А.В. Повышение эффективности стеганоанализа в области ДВП изображения посредством анализа параметров частотной области изображения // Кибернетика и программирование. — 2018. - № 2. - С.29-37. URL: [http://e-notabene.ru/kp/article\\_25564.html](http://e-notabene.ru/kp/article_25564.html)
- Сивачев А.В. Эффективность статистических методов стеганоанализа при обнаружении встраивания в вейвлет область изображения, Вопросы кибербезопасности - 2018. № X. – С. XX-XX
- Сивачев А.В., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В. Повышение точности методов стеганоанализа путем оптимизации параметров вейвлет-преобразования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 1. С. 113–121.
- Сивачев А.В., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Башмаков Д.А. Повышение точности стеганоанализа в области ДВП путем использования взаимосвязи между областями двумерного и одномерного разложений // Кибернетика и программирование. — 2017. - № 2. - С.78-87. URL: [http://e-notabene.ru/kp/article\\_22412.html](http://e-notabene.ru/kp/article_22412.html)
- Сивачев А.В., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Башмаков Д.А. Эффективность стеганоанализа на основе методов машинного обучения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики – 2017. – № 3. – С.457-466.
- Башмаков Д.А., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Сивачев А.В. Применение матриц соседства пикселей для улучшения точности стеганоанализа неподвижных цифровых изображений с однородным фоном // Кибернетика и программирование. — 2018. - № 1. - С.64-72

### **1 статья в журнале индексируемом Scopus:**

- Sivachev A., Prokhozhev N., Mikhailichenko O., Bashmakov D., Korobeynikov A.G. Passive Steganalysis Evaluation: Reliabilities of Modern Quantitative Steganalysis Algorithms [Текст] // Advances in Intelligent Systems and Computing – 2016. Vol. 451. – pp. 89-94

### **7 публикации в различных других изданиях.**

**Спасибо за внимание**