

# СТАТИСТИЧНИЙ СТЕГОАНАЛІЗ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВИСОКИХ МОМЕНТІВ РОЗПОДІЛУ ТА КРИТЕРІЮ ХІ-КВАДРАТ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

У роботі запропоновано метод універсального статистичного стегоаналізу цифрових зображень, що ґрунтується на аналізі високих моментів розподілу (асиметрії та ексцесу) та застосуванні критерію узгодження Хі-квадрат Пірсона. Обґрунтовано, що використання статистик вищого порядку дозволяє виявляти мікроскопічні деформації структури контейнера, які залишаються непомітними для традиційних методів при низькій щільності вбудовування. Запропонований підхід дозволяє автоматизувати процес детектування аномалій та не потребує апріорного знання про конкретний алгоритм стеганографічного приховування.

**Ключові слова:** пропан, бутан, густина, скраплений нафтовий газ, кількісний вміст компонентів.

## Abstract

This paper proposes a method for universal statistical steganalysis of digital images based on the analysis of higher-order moments (skewness and kurtosis) and the application of the Pearson's chi-square goodness-of-fit criterion. It is substantiated that the use of higher-order statistics allows for the detection of microscopic deformations in the container structure that remain undetected by traditional methods at low embedding rates. The proposed approach enables the automation of the anomaly detection process and does not require a priori knowledge of the specific steganographic embedding algorithm.

**Keywords:** steganalysis, steganography, higher-order moments, skewness, kurtosis, chi-square criterion.

## Вступ

У сучасному цифровому світі забезпечення конфіденційності даних стає критичним викликом. Цифрова стеганографія, на відміну від криптографії, маскує сам факт існування каналу зв'язку, що робить її небезпечним інструментом для несанкціонованого витоку інформації. Найбільш розповсюдженим типом контейнерів є цифрові зображення завдяки їхній високій інформаційній надлишковості. Сучасні алгоритми вбудовування стають дедалі досконалішими, успішно оминаючи візуальний аудит та базові структурні перевірки. За таких умов постає гостра потреба у розробці методів аналізу, заснованих на статистиках вищого порядку, які здатні фіксувати мікроскопічні деформації внутрішньої структури файлу.

## Результати дослідження

Природні цифрові зображення мають впорядковану розріджену структуру, яка підпорядковується певним ймовірнісним законам. Будь-яке стеганографічне втручання, особливо засноване на адитивному шумі (наприклад, метод LSB), неминуче руйнує цю впорядкованість, наближаючи статистичний профіль зображення до моделі з вищою ентропією [1].

Традиційні статистичні параметри, такі як математичне сподівання або дисперсія, часто залишаються незмінними після втручання, що робить їх малоефективними для детектування «тонких» вкладень. Натомість високі моменти розподілу – асиметрія та ексцес – виступають чутливими індикаторами аномалій

Асиметрія відображає ступінь перекосу розподілу навколо середнього значення. У «чистих» зображеннях розподіл є переважно симетричним, тоді як вбудовування сторонніх даних порушує цю гармонію.

Ексцес характеризує гостроту піка розподілу. Для природних зображень характерний високий ексцес. Процес стеганографічного вбудовування неминуче змінює ці статистичні характеристики, розмиваючи пік розподілу та змінюючи форму його хвостів, що стає надійною демаскуючою ознакою [2].

Для верифікації виявлених відхилень доцільно використовувати критерій узгодження Хі-квадрат Пірсона. Він виступає математичним інструментом, що дозволяє визначити, чи є виявлені аномалії

результатом втручання, чи вони є допустимими випадковими флуктуаціями конкретного контейнера. Для розуміння переваг обраного підходу варто розглянути класичні методи стегоаналізу. Візуальний аналіз базується на суб'єктивному огляді бітових зрізів зображення експертом, проте він є малоефективним при низькій щільності вбудовування. Аналіз гістограм першого порядку фокусується на підрахунку частот інтенсивностей пікселів, але легко оминається алгоритмами, що зберігають форму гістограми. RS-аналіз є більш складним кореляційним методом, що базується на оцінці груп пікселів, проте він має високу обчислювальну складність та вразливий до адаптивних методів приховування.

Для зручності варто винести характеристики обраного методу у порівнянні з класичними у таблицю нижче.

Таблиця 1 — Порівняльна характеристика методів стегоаналізу

Критерій порівняння	Візуальний аналіз	Аналіз гістограм (першого порядку)	RS-аналіз (кореляційний)	Обраний метод (Високі моменти + $\chi^2$ )
Об'єкт аналізу	Зовнішній вигляд	Частоти інтенсивностей	Кореляція бітів	Форма імовірнісної кривої
Чутливість до малого заповнення (<5%)	Нульова	Низька	Середня	Висока
Стійкість до адаптивних методів	Відсутня	Низька	Середня	Висока
Обчислювальна складність	Низька	Низька	Висока	Середня
Можливість автоматизації	Ні	Ні	Так	Так
Здатність до локалізації аномалій	Низька	Низька	Середня	Висока

Загальною вразливістю традиційних методів стегоаналізу, таких як візуальний огляд або аналіз гістограм першого порядку, є їхня низька ефективність при детектуванні вкладень малої ємності, що становить менше 5% від обсягу контейнера. Також можна помітити, що кожен наступний метод у таблиці намагається вирішити обмеження попередніх: якщо аналіз гістограм враховує лише частоти інтенсивностей, то RS-аналіз уже базується на кореляційних зв'язках між бітами. Проте RS-аналіз залишається чутливим лише до певних типів статистичних деформацій і часто виявляється малоефективним проти адаптивних стегосистем, які зберігають базові кореляції.

Обраний метод на основі високих моментів розподілу вирішує ці проблеми шляхом аналізу глибинної структури розподілу пікселів, фіксуючи зміни в асиметрії та ексцесі, які неминуче виникають при будь-якому сторонньому втручанні. Використання критерію Хі-квадрат у цій зв'язці виконує роль об'єктивного «судді», який дозволяє відрізнити цілеспрямоване вбудовування від природного шуму зображення, що значно підвищує достовірність аналізу порівняно з суб'єктивною експертною оцінкою. Хоча такий підхід вимагає дещо більших обчислювальних ресурсів, ніж прості статистичні перевірки, він забезпечує унікальну можливість локалізації зон втручання та високу стійкість до сучасних методів приховування даних

### Висновки

Таким чином, комбінація статистик вищого порядку та критерію Пірсона є найбільш збалансованим рішенням для проведення глибокої цифрової експертизи графічних об'єктів. На відміну від традиційних підходів, що фокусуються на візуальних змінах або гістограмах першого порядку, запропонований метод дозволяє ідентифікувати аномалії, які ретельно маскуються під природний шум контейнера. Аналіз асиметрії та ексцесу забезпечує високу чутливість до порушень спарсової структури зображення, що виникають навіть при мінімальних обсягах вбудовування даних. У свою чергу, інтеграція критерію Хі-квадрат Пірсона дозволяє верифікувати ці відхилення, надаючи аналітику математично обґрунтовану імовірнісну оцінку замість суб'єктивного висновку. Це робить метод універсальним інструментом стегоаналізу, який не потребує апріорного знання про конкретний алгоритм приховування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Olshausen B., Field D. Natural image statistics and efficient coding. *Network: Computation in Neural Systems*. Vol. 7, no. 2. P. 333–339. URL: <https://doi.org/10.1088/0954-898x/7/2/014> (date of access: 07.06.2026).
2. Ekhande S. S., Sonavane P. S. P., Kulkarni D. P. J. Universal Steganalysis Using Feature Selection Strategy for Higher Order Image Statistics. *International Journal of Computer Applications*. 2010. Vol. 1, no. 19. P. 53–56. URL: <https://doi.org/10.5120/404-600> (date of access: 07.06.2026).

**Курта Олександр Романович** — студент групи ІКІТС-22Б, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [oleksandrkurta0@gmail.com](mailto:oleksandrkurta0@gmail.com).

Науковий керівник: **Шиян Анатолій Антонович** — канд. фіз.-мат. наук, доцент, професор кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем, Вінницький національний технічний університет

**Kurta Oleksandr O.** — Faculty of Management and Information Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [oleksandrkurta0@gmail.com](mailto:oleksandrkurta0@gmail.com).

Supervisor: **Shyian Anatolii A.** — Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Professor of Department of management and information systems security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia