

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2026-1\(97\)-403-411](https://doi.org/10.26642/ten-2026-1(97)-403-411)
УДК 621.317

А.Г. Ступак, аспірант
Ю.О. Подчашинський, д.т.н., проф.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Оцінка якості відновлених після стиснення за методом JPEG2000 медичних діагностичних зображень

Оцінювання якості медичних діагностичних зображень, відновлених після стиснення, є критично важливим завданням при розробці та валідації методів та алгоритмів стиснення, передачі, архівації та попередньої обробки інформації в медичних інформаційних системах. Під час аналізу методів та алгоритмів стиснення з втратами інформації для статичних і динамічних медичних зображень потрібно визначити, наскільки суттєвим є вплив процедури стиснення на відновлене зображення. Методи та алгоритми стиснення на основі вейвлет-перетворення дають можливість зменшити обсяг цифрових даних медичних діагностичних зображень без втрати критично важливої інформації для даного застосування зображень. Тому у статті детально розглянуто структурні та вейвлетні метрики, які краще описують збереження контурів, структур та текстур медичних діагностичних зображень.

Досліджено чисельні метрики оцінки якості медичних діагностичних зображень, відновлених після стиснення за методом JPEG2000, в інформаційних системах медичного застосування. Розглянуто різні види метрик. Проведено експериментальні дослідження вейвлет-стиснення цифрових медичних відеозображень. Отримані результати показали, що метод JPEG2000 є найбільш ефективним форматом для стиснення медичних діагностичних зображень. Цей метод та алгоритм забезпечує збереження критично важливої діагностичної інформації. Метод та алгоритм стиснення та кодування JPEG2000 добре узгоджується з вейвлетним підходом до аналізу медичної діагностичної інформацією та чисельними метриками оцінки якості. Класична метрика на основі пікового відношення сигнал/шум має обмежену інформативність та слабку кореляцію з візуальною якістю. Чисельна метрика на основі комплексних вейвлетів, реалізована за допомогою алгоритму дискретного вейвлет-перетворення, є найбільш стійкою до геометричних та фазових спотворень під час стиснення зображень за методом JPEG2000. Найкращі результати показала адаптована структурна метрика метрика, що забезпечує оптимальний баланс і стабільна для всіх типів зображень, та її швидкий обчислювальний варіант. Вказані чисельні метрики зберігають точність, значно швидші і краще підходять для оцінки якості медичних діагностичних зображень, наприклад отриманих в ході МРТ діагностики.

Ключові слова: стиснення зображення; метод стиснення JPEG2000; медичні діагностичні зображення; вейвлет-перетворення; оцінка якості зображення.

Актуальність теми. Кожний рік зростає обсяг медичних даних, що вимагає використання ефективних методів їх стиснення для зберігання та подальшої обробки. Відомі методи та алгоритми стиснення на основі вейвлет-перетворення дають можливість зменшити обсяг даних медичних діагностичних зображень без втрати критично важливої інформації. Наприклад, метод та алгоритм стиснення JPEG2000 може забезпечувати покращення на 20 % ефективності стиснення у порівнянні з найбільш розповсюдженим методом стиснення JPEG на основі дискретного косинусного перетворення. Оцінювання якості медичних діагностичних зображень, відновлених після стиснення, є критично важливим завданням при розробці та валідації методів та алгоритмів стиснення, передачі, архівації та попередньої обробки медичної інформації. Класичні енергетичні та амплітудні метрики, зокрема пікове відношення сигнал/шум, не завжди узгоджуються з візуальною та діагностичною значущістю спотворень медичної діагностичної інформації. Тому у статті детально розглянуто структурні та вейвлетні метрики, які краще описують збереження анатомічних меж і текстур медичних зображень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Методи цифрової обробки зображень розглянуто у роботі В. Jeahne [1]. Системи медичної візуалізації розглянуто у роботі А. Maier, S. Steidl [2]. Методи стиснення зображень розглянуто у роботах [3–12].

Метою статті є дослідження та порівняльний аналіз чисельних метрик оцінки якості медичних діагностичних зображень, відновлених після стиснення за методом JPEG2000, з використанням вейвлет-перетворення в інформаційних системах медичного застосування.

Викладення основного матеріалу. У наш час стрімко зростає впровадження цифрових методів отримання, обробки і зберігання зображень в інформаційних системах медичного застосування.

Важливою є оцінки якості відновлених після стиснення зображень в інформаційних системах медичного застосування. Під час аналізу алгоритмів стиснення з втратами як статичних, так і динамічних медичних зображень потрібно визначити, наскільки впливає відновлене зображення на зорові відчуття. Краще всього буде застосування експертів для отримання оцінки якості відновлених медичних зображень. Але при значній кількості зображень потрібно багато часу і потрібно задіяти багато експертів. Тому, щоб значно зменшити трудомісткість і час отримання оцінки якості стиснутих і відновлених медичних зображень, доцільно застосувати математичні метрики. Такі метрики дозволяють оцінити якість зображень, що максимально наближена до оцінки експертів. Метрика в обробці зображень – функція, яка визначає відстань від оцінюваного зображення до еталонного або ідеального зображення в просторі зображень. Існує багато об'єктивних метрик, які можна поділити на три види – еталонні, не еталонні і псевдоеталонні [13]. Порівняльна таблиця метрик зображень наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця метрик якості відновлених після стиснення зображень

Вид метрики	Вихідне зображення	Особливості вихідного зображення	Якість оцінки
Еталонні (повнореференсні)	Розглядається як опорне або еталонне	Не зашумлене і має ідеальну якість	Найбільш наближена до експертної оцінки
Нееталонні (не референсні)	Опорне або еталонне зображення відсутнє	Тестові зображення з певними характеристиками	Приблизна. Найскладніші в реалізації, орієнтовані на конкретний вид спотворення
Псевдоеталонні (напівреференсні)	Є зображення з деякою вибірковою інформацією про нього	Обсяг інформації про зображення менший у порівнянні з еталонним зображенням	Приблизна

Будемо розглядати еталонні метрики, тому що вони застосовуються для оцінки якості стиснення статичних і динамічних зображень.

На сьогоднішній день на практиці найбільш поширені такі еталонні метрики: пікове відношення сигнал/шум (ПСШ), середньоквадратична помилка (СКП), індекс структурної подібності (ІСП), індекс структурної подібності на основі комплексних вейвлетів (КВ-ІСП), адаптована вейвлетна структурна метрика (АВС), швидка адаптована вейвлетна структурна метрика (шАВС) [13, 15]. Метрика КВ-ІСП показує найближчі до експертної оцінки результати [13, 14].

Метрика ПСШ використовується для визначення якості відновлення зображення при будь-якому методі компресії.

Для обчислення ПСШ спочатку розраховується середньоквадратична похибка:

$$СКП = \frac{\sum_{M,N} [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2}{M \cdot N}; \quad (1)$$

$$ПСШ = 10 \lg \left(\frac{R^2}{СКП} \right); \quad (2)$$

де M і N – це кількість рядків і стовпців у вхідних зображеннях, R – максимальне відхилення в типі даних вхідного зображення і має значення «255», що відповідає 8-бітним зображенням у градаціях сірого.

Високе значення ПСШ свідчить про малу середньоквадратичну помилку між оригінальним та відновленим зображенням, тобто про високу якість відновлення. Зазвичай для медичних зображень вважається прийнятним значення ПСШ понад 30 дБ, тоді як значення понад 40 дБ свідчать про дуже високу точність відновлення.

Метрика ІСП використовується для кількісної оцінки візуальної якості відновленого зображення з урахуванням трьох основних компонентів: яскравості, контрасту та структури і дозволяє об'єктивно порівнювати оригінальні та відновлені зображення, враховуючи сприйняття людського ока:

$$ICP = \left[\frac{2\mu_x\mu_y}{\mu_x^2 + \mu_y^2} \right] \cdot \left[\frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \right]; \quad ICP = S_L \cdot S_V. \quad (3)$$

Індекс S_L враховує яскравість, а S_V локальну коваріацію, μ і σ – відповідно середнє значення та стандартне відхилення, які обчислюються для відповідних вікон зображення.

$$\mu_x = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K x_i, \quad \mu_y = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K y_i, \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (x_i - \mu_x)^2}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (y_i - \mu_y)^2}. \quad (4)$$

ІСП дозволяє оцінити не тільки піксельні відмінності, але й якість відновлення структурних деталей, що особливо важливо для медичних зображень.

Метрика KB-ІСП являє собою розширену версією метрики ІСП, що використовує орієнтоване комплексне вейвлет-перетворення [13]. Вираз для материнського вейвлету для симетричного комплексного вейвлет-перетворення [14]:

$$\omega(u) = g(u)e^{j\omega_c u}$$

де ω_c – центральна частота фільтра, $g(u)$ – симетрична функція, що повільно змінюється. Сімейство материнських вейвлет-функцій є сукупністю зрушених та масштабованих версій материнського вейвлету і задається виразом [14]:

$$\omega_{cs,p}(u) = \frac{1}{\sqrt{s}} \omega\left(\frac{u-p}{s}\right) = \frac{1}{\sqrt{s}} g\left(\frac{u-p}{s}\right) e^{j\omega_c(u-p)/s}, \quad (5)$$

де $s \in \mathbb{R}^+$ – рівень масштабу, $p \in \mathbb{R}$ – рівень зсуву.

Неперервне вейвлет-перетворення для неперервного сигналу $x(u)$ задається виразом [2]:

$$X(s, p) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) \sqrt{s} G(s\omega - \omega_c) e^{j\omega p} d\omega, \quad (6)$$

де $X(\omega)$ і $G(\omega)$ – перетворення Фур'є функцій $x(u)$ і $g(u)$.

При обчисленні метрики KB-ІСП виконується порівняння ділянок (вікон) зображень (які попередньо обчислені комплексним вейвлет-перетворенням) по компонентах Q (величина) і F (зсув фази) відповідних орієнтованих піддіапазонів оригінального (вихідного) та оцінюваного зображень [14, 15]:

$$Q(c_x, c_y) = \frac{2 \sum_{i=1}^N |c_{x,i}| |c_{y,i}| + K}{\sum_{i=1}^N |c_{x,i}|^2 + \sum_{i=1}^N |c_{y,i}|^2 + K}; \quad F(c_x, c_y) = \frac{2 \left| \sum_{i=1}^N c_{x,i} c_{y,i}^* \right| + K}{2 \sum_{i=1}^N |c_{x,i} c_{y,i}^*| + K}, \quad (7)$$

де N – кількість вейвлет-коефіцієнтів у ковзному квадратному вікні розміром $L \times L$ пікселів, $c_{x,i}$ і $c_{y,i}$ i -й комплексні вейвлет-коефіцієнти ковзного вікна оригінального та оцінюваного зображень ($c_{y,i}^*$ позначає спряжене комплексне число коефіцієнта $c_{y,i}$), K – коефіцієнт, що запобігає діленню на нуль.

Метрика KB-ІСП для вікна розраховується за виразом [14, 15]:

$$KB - ICP(c_x, c_y) = Q(c_x, c_y) F(c_x, c_y). \quad (8)$$

Кінцеве значення метрики KB-ІСП лежить в інтервалі $[0...1]$ і обчислюється як середнє значення показників KB-ІСП усіх ділянок (вікон), отриманих у результаті покрокового переміщення квадратного вікна на заданому рівні S комплексного вейвлет-перетворення оцінюваного та оригінального зображень:

$$M[KB - ICP_s] = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z KB - ICP(c_x, c_y), \quad (9)$$

де Z – кількість вікон, що покривають зображення.

Метрика ABC розраховується за виразом:

$$ABC = 0,7 \cdot ICP + 0,3 \cdot KB - ICP. \quad (10)$$

Було виконано оцінку двох різних типів медичних зображень за допомогою розглянутих метрик. Усі зображення попередньо приведено до єдиного формату 256×256 пікселів у відтінках сірого. Стиснення виконувалося у форматі JPEG2000 з параметром `quality_mode = rates` і рівнем `rate = 8`. Параметри для обчислення значень метрики наведено в таблиці 2 [14]. Метрика шABC використовує той самий KB-ІСП, але ІСП рахується на розрідженій сітці.

Параметри для обчислення значень метрик

Параметр	Метрики		
	КВ-ІСП	АВС	шАВС
Крок зміщення вікна, піксель	$H = 1$	$H = 1$	$H = 7$
Розмір ковзного вікна, пікселів	7×7	7×7	7×7
Рівень вейвлет-розкладання	$S = 2$	$S = 3$	$S = 3$
Кількість орієнтованих під діапазонів	$K = 16$	$K = 8$	$K = 8$

У таблиці 3 наведена зведена таблиця оцінок метрик для медичних зображень типу мамографія і магнітно-резонансна томографія (МРТ).

Таблиця 3

Зведена таблиця оцінок метрик різних типів медичних зображень

№	Модалність	ПСШ, дБ	ІСП	КВ-ІСП	АВС	шАВС	Розмір, КБ
1	Мамографія	48,32	0,9931	0,9770	0,9883	0,9919	7,9
2	Мамографія	51,11	0,9951	0,9832	0,9915	0,9940	8,0
3	Мамографія	52,74	0,9973	0,9811	0,9924	0,9938	8,0
4	МРТ	35,66	0,9101	0,9261	0,9149	0,9558	7,9
5	МРТ	36,48	0,9228	0,9244	0,9232	0,9586	7,8
6	МРТ	38,37	0,9551	0,8920	0,9361	0,9617	8,0
7	МРТ	37,90	0,9514	0,8965	0,9349	0,9627	8,0
8	МРТ	38,75	0,9538	0,8794	0,9315	0,9561	7,6

Отримані результати демонструють суттєві відмінності в поведінці метрик залежно від типу медичних зображень та характеру спотворень.

Як видно з таблиці 3, значення ПСШ для мамографічних зображень перевищують 48–52 дБ, що формально відповідає дуже високій якості. Проте, як відомо, ПСШ не враховує просторову структуру сигналу і має слабку кореляцію з візуальним сприйняттям [14].

Метрика ІСП, яка враховує локальну статистику яскравості та контрасту, демонструє значення $>0,99$ для мамографії, що підтверджує збереження структурних характеристик [15].

Для МРТ – зображень ІСП знижується до 0,91–0,95, що суттєво нижче, ніж для мамографії. Це пояснюється наявністю тонких текстурних структур, високою просторовою частотністю і чутливістю до локальних спотворень, що узгоджується з відомими обмеженнями ІСП при оцінці складних текстур [14].

Метрика КВ-ІСП демонструє більш стабільну поведінку для МРТ (0,87–0,93), навіть коли ІСП знижується. Це можна пояснити тим, що КВ-ІСП враховує інформацію про фазу сигналу, є інваріантною до малих зсувів і використовує орієнтовані під діапазони. Такі властивості досягаються завдяки використанню подвійного деревоподібного комплексного вейвлет-перетворення DT-CWT [14, 15]. Особливо це видно для зображень 6–8, де ІСП $\approx 0,95$, але КВ-ІСП падає до $\approx 0,88$ –0,89, що свідчить про втрату фазової узгодженості при збереженні глобальної структури.

Метрика АВС (0,93–0,99) демонструє найбільш збалансовану поведінку серед усіх розглянутих підходів. Метрика ІСП забезпечує глобальну структурну оцінку а КВ-ІСП додає фазову стабільність. У результаті метрика АВС згладжує нестабільність ІСП і компенсує втрати КВ-ІСП. Дані висновки узгоджуються з підходами комбінованих метрик якості [14].

Метрика шАВС показує, що для МРТ вона навіть вища за АВС ($\approx 0,95$ –0,96) за рахунок зменшення впливу локальних шумів через зниження частоти дискретизації і згладжування дрібних артефактів.

Тобто шАВС фактично виконує регуляризацію оцінки якості, що робить її корисною для попереднього ранжування і систем реального часу.

На рисунках 1–3 наведено графіки різних метрик стиснутих медичних зображень.

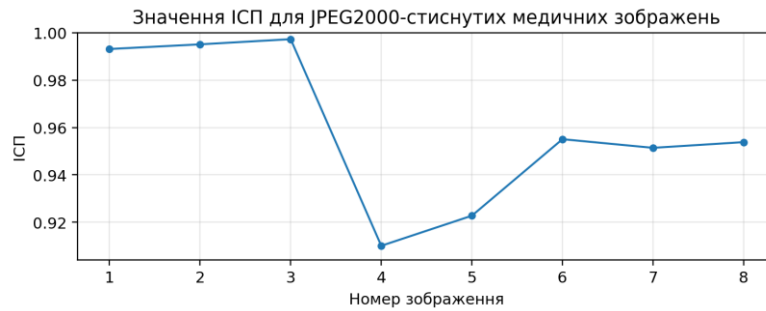


Рис. 1. Значення ІСП для JPEG2000-стиснутих медичних зображень

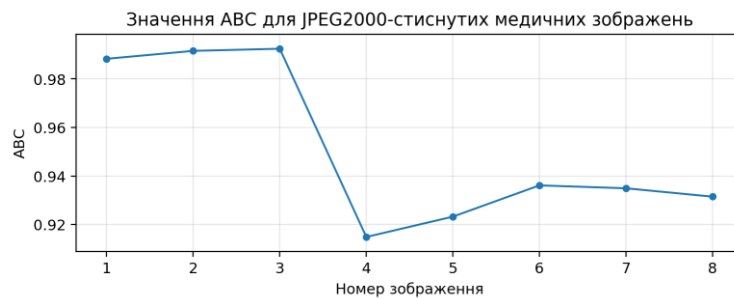
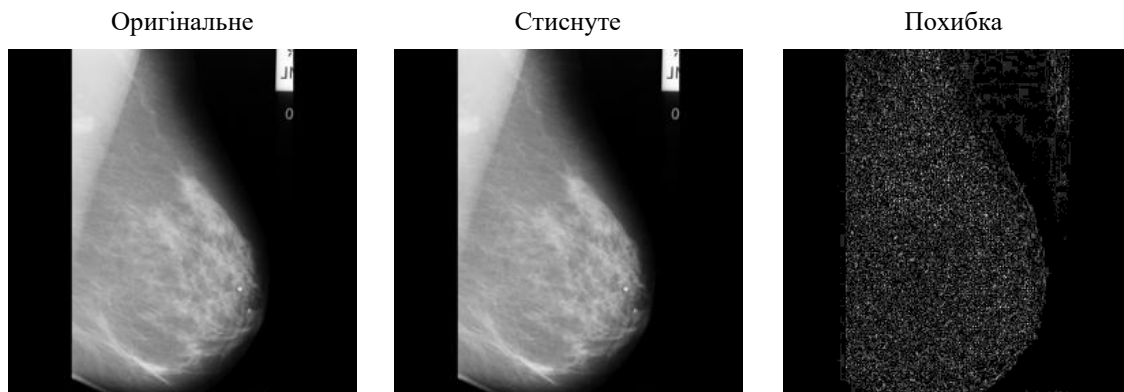


Рис. 2. Значення АВС для JPEG2000-стиснутих медичних зображень



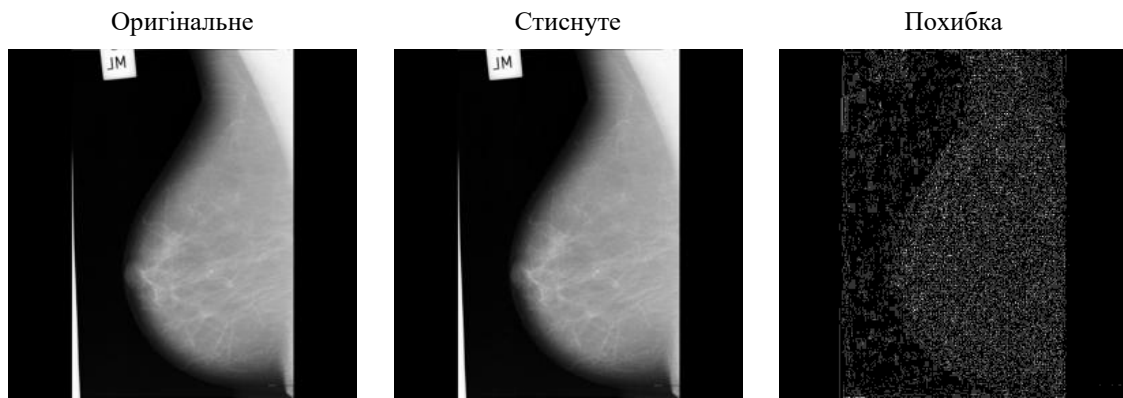
Рис. 3. Значення шАВС для JPEG2000-стиснутих медичних зображень

На рисунках 4–11 наведено оригінальні і стиснуті медичні зображення, а також похибка. Аналіз блоків зображень «Оригінальне/Стиснуте/Похибка» показує, що для мамографії похибка локалізована та слабка, для МРТ – більш дифузна і артефакти JPEG2000 мають вейвлетну природу.



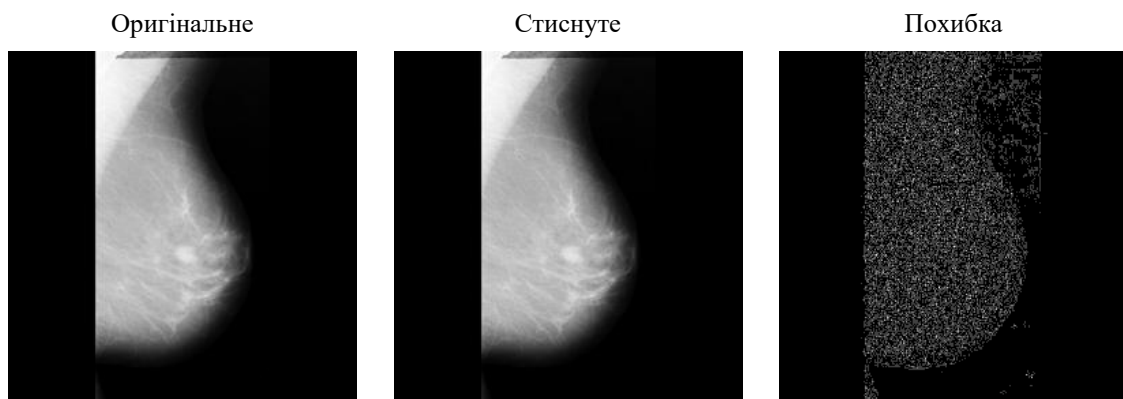
ПСШ = 48,32 дБ; ІСП = 0,9931; КВ-ІСП = 0,9770; АВС = 0,9883; шАВС = 0,9919

Рис. 4. Зображення 1: mdb008.png



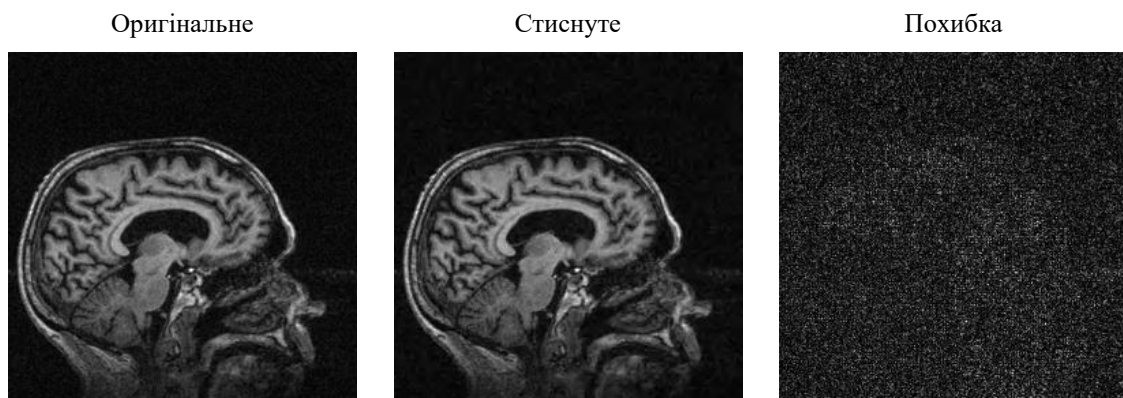
$ПСШ = 51,11$ дБ; $ІСП = 0,9951$; $КВ-ІСП = 0,9832$; $АВС = 0,9915$; $шАВС = 0,9940$

Рис. 5. Зображення 2: *mdb009.png*



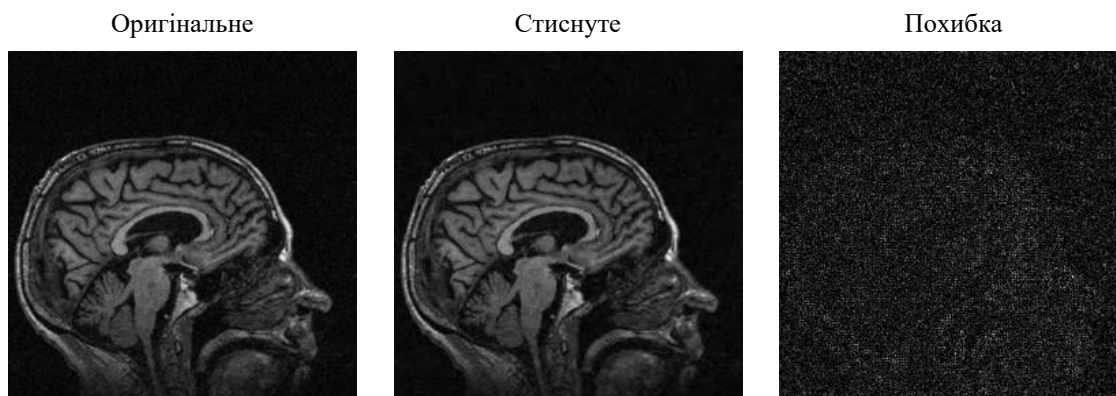
$ПСШ = 52,74$ дБ; $ІСП = 0,9973$; $КВ-ІСП = 0,9811$; $АВС = 0,9924$; $шАВС = 0,9938$

Рис. 6. Зображення 3: *mdb010.png*



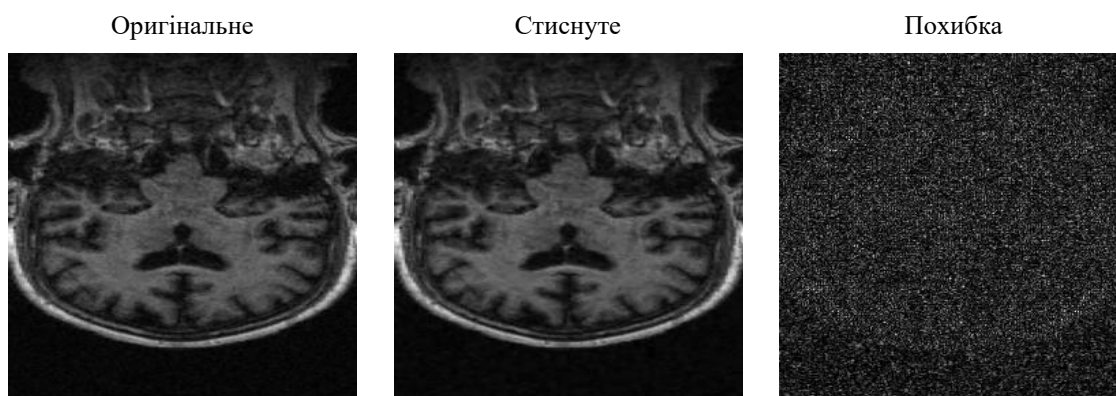
$ПСШ = 35,66$ дБ; $ІСП = 0,9101$; $КВ-ІСП = 0,9261$; $АВС = 0,9149$; $шАВС = 0,9558$

Рис. 7. Зображення 4: *OAS2_0001_MR2_z_slice_129.jpg*



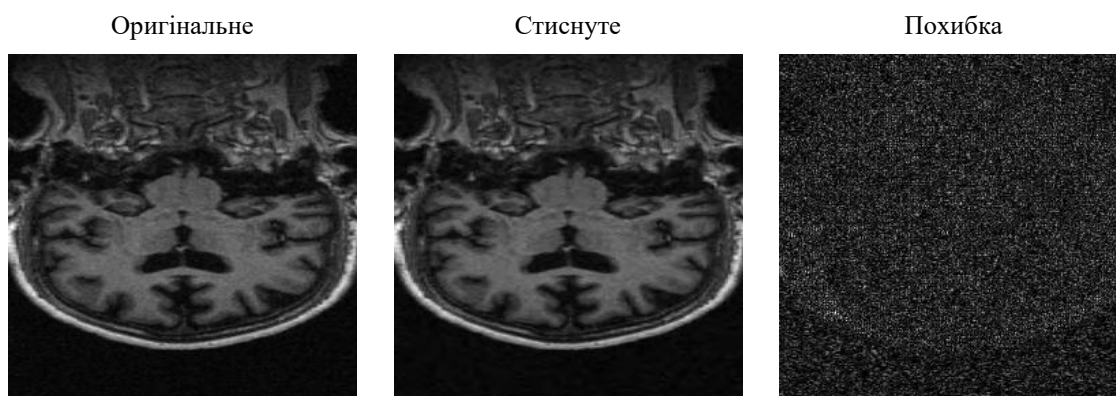
$ПСШ = 36,48$ дБ; $ІСП = 0,9228$; $КВ-ІСП = 0,9244$; $АВС = 0,9232$; $шАВС = 0,9586$

Рис. 8. Зображення 5: *OAS2_0001_MR2_z_slice_137.jpg*



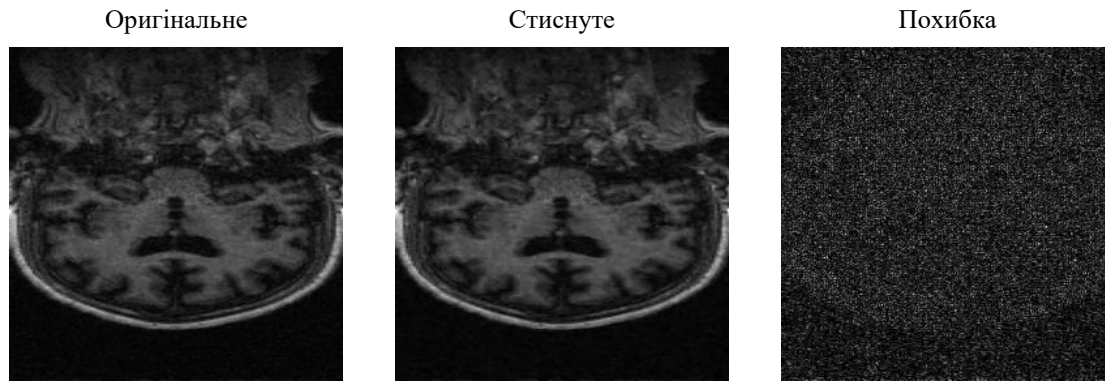
$ПСШ = 38,37$ дБ; $ІСП = 0,9551$; $КВ-ІСП = 0,8920$; $АВС = 0,9361$; $шАВС = 0,9617$

Рис. 9. Зображення 6: *OAS2_0002_MR1_x_slice_117.jpg*



$ПСШ = 37,90$ дБ; $ІСП = 0,9514$; $КВ-ІСП = 0,8965$; $АВС = 0,9349$; $шАВС = 0,9627$

Рис. 10. Зображення 7: *OAS2_0002_MR1_x_slice_122.jpg*



$ПСШ = 38,75$ дБ; $ІСП = 0,9538$; $КВ-ІСП = 0,8794$; $АВС = 0,9315$; $шАВС = 0,9561$

Рис. 11. Зображення 8: *OAS2_0002_MR1_x_slice_125.jpg*

Висновки. Досліджено чисельні метрики оцінки якості медичних діагностичних зображень, відновлених після стиснення за методом JPEG2000, в інформаційних системах медичного застосування. Розглянуто різні види метрик. Проведено експериментальні дослідження вейвлет-стиснення цифрових медичних відеозображень. Отримані результати показали, що метод JPEG2000 є найбільш ефективним форматом для стиснення медичних діагностичних зображень. Цей метод та алгоритм забезпечує збереження критично важливої діагностичної інформації. Метод та алгоритм стиснення та кодування JPEG2000 добре узгоджується з вейвлетним підходом до аналізу медичної діагностичної інформацією та чисельними метриками оцінки якості КВ-ІСП, АВС і шАВС. Метрика КВ-ІСП, реалізована через DT-CWT, забезпечує більш інформативну оцінку можливих викривлень структури та текстури зображень порівняно з класичною ІСП. Метрика АВС демонструє найбільш збалансовану оцінку за різними критеріями якості, а метрика шАВС є ефективною швидкою альтернативою для попереднього ранжування зображень згідно наявних викривлень.

Класична метрика ПСШ має обмежену інформативність та слабку кореляцію з візуальною якістю; метрика ІСП забезпечує адекватну оцінку для простих структур, але втрачає точність для складних текстур. Чисельна метрика КВ-ІСП, реалізована через DT-CWT, є найбільш стійкою до геометричних та фазових спотворень під час стиснення зображень за методом JPEG2000. Найкращі результати показала метрика АВС, що забезпечує оптимальний баланс і стабільна для всіх типів зображень та метрика шАВС, яка зберігає точність, значно швидша і краще підходить для медичних діагностичних зображень, наприклад отриманих в ході МРТ діагностики.

Список використаної літератури:

1. *Jeahne B.* Practical Handbook on Image Processing for Scientific and Technical Applications / *B.Jeahne*. – 2nd ed. – CRC Press LLC, 2004. – 571 p.
2. *Medical imaging systems: An introductory guide / A.Maier, S.Steidl, V.Christlein, J.Hornegger*. – Springer, 2018. – 269 p.
3. *Salomon D.* A guide to data compression methods / *D.Salomon*. – Springer Science+Business Media : NY, 2002. – 295 p.
4. *Gacovski Z.* Information and Coding Theory in Computer Science / *Z.Gacovski*. – Arcler Press, 2023. – 416 p.
5. *McAnlis C.* Understanding Compression: Data Compression for Modern Developers / *C.McAnlis, A.Haucky*. – O'Reilly Media, Inc., 2016. – 217 p.
6. *Wu F.* Advances in Visual Data Compression and Communication: Meeting the Requirements of New Applications / *F.Wu*. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2015. – 482 p.
7. *Welstead S.* Fractal and Wavelet Image Compression / *S.Welstead*. – SPIE, 1999. – 254 p.
8. *Umbaugh S.E.* Digital Image Enhancement, Restoration and Compression / *S.E. Umbaugh*. – 4th ed. – CRC Press, 2023. – 470 p.
9. *Подчаїнський Ю.О.* Стиснення та перетворення цифрових відеозображень з вимірювальною інформацією про геометричні параметри об'єктів : монографія / *Ю.О. Подчаїнський*. – Житомир : ЖДТУ, 2019. – 200 с.
10. *Podchashynskiy Y.* Analysis of video image compression methods with partial information loss for medical information and measurement systems / *Y.Podchashynskiy, A.Stupak, L.Chepiuk* // Technical Engineering. – 2024. – № 2 (94). – P. 199–207. DOI: 10.26642/ten-2024-2(94)-199-207.
11. Застосування вейвлет-перетворення до стиснення зображень в інформаційно-вимірювальних системах медичного застосування / *А.Г. Ступак, Ю.О. Подчаїнський, Л.О. Четюк, О.А. Левківський* // Технічна інженерія. – 2025. – № 1 (95). – С. 304–311. DOI: 10.26642/ten-2025-1(95)-304-311.
12. *Wang Z.* Modern image quality assessment / *Z.Wang, A.C. Bovik*. – NY : Morgan & Claypool, 2006. – 157 p.
13. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / *Z.Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli* // IEEE Transactions on Image Processing. – 2004. – Vol. 13, № 4. – P. 600–612.
14. *Chandler D.M.* VSNR: A WaveletBased Visual SignaltoNoise Ratio for Natural Images / *D.M. Chandler, S.S. Hemami* // IEEE Transactions on image processing. – 2007. – Vol. 16, № 9. – P. 2284–2298.

References:

1. Jeahne, B. (2004), *Practical Handbook on Image Processing for Scientific and Technical Applications*, 2nd ed., CRC Press LLC, 571 p.
2. Maier, A., Steidl, S., Christlein, V. and Hornegger, J. (2018), *Medical imaging systems: An introductory guide*, Springer, 269 p.
3. Salomon, D. (2002), *A guide to data compression methods*, Springer Science+Business Media, NY, 295 p.
4. Gacovski, Z. (2023), *Information and Coding Theory in Computer Science*, Arcler Press, 416 p.
5. McAnlis, C. and Haecky, A. (2016), *Understanding Compression: Data Compression for Modern Developers*, O'Reilly Media, Inc., 217 p.
6. Wu, F. (2015), *Advances in Visual Data Compression and Communication: Meeting the Requirements of New Applications*, CRC Press Taylor & Francis Group, 482 p.
7. Welstead, S. (1999), *Fractal and Wavelet Image Compression*, SPIE, 254 p.
8. Scott, E. (2023), *Umbaugh Digital Image Enhancement, Restoration and Compression*, 4th ed., CRC Press, 470 p.
9. Podchashynskiy, Yu.O. (2019), *Stysnennia ta peretvorennia tsyfrovyykh videozobrazhen z vymiriuvalnoiu informatsiieiu pro heometrychni parametry ob'ektiv*, monohrafiia, ZhDTU, Zhytomyr, 200 p.
10. Podchashynskiy, Y., Stupak, A. and Chepiuk, L. (2024), «Analysis of video image compression methods with partial information loss for medical information and measurement systems», *Technical Engineering*, No. 2 (94), pp. 199–207, doi: 10.26642/ten-2024-2(94)-199-207.
11. Stupak, A.H., Podchashynskiy, Yu.O., Chepiuk, L.O. and Levkivskiy, O.A. (2025), «Zastosuvannia veivlet-peretvorennia do stysnennia zobrazhen v informatsiino-vymiriuvalnykh systemakh medychnoho zastosuvannia», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 1 (95), pp. 304–311, doi: 10.26642/ten-2025-1(95)-304-311.
12. Wang, Z. and Bovik, A.C. (2006), *Modern image quality assessment*, Morgan & Claypool, NY, 157 p.
13. Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R. and Simoncelli, E.P. (2004), «Image quality assessment: From error visibility to structural similarity», *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 13, No. 4, pp. 600–612.
14. Chandler, D.M. and Hemami, S.S. (2007), «VSNR: A WaveletBased Visual SignaltoNoise Ratio for Natural Images», *IEEE Transactions on image processing*, Vol. 16, No. 9, pp. 2284–2298.

Ступак Антон Геннадійович – аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційні та інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень.

Подчашинський Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-8344-6061>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія; засоби вимірювання;
- системний аналіз складних технічних систем.

Stupak A.G., Podchashynskiy Yu.O.

Quality assessment of medical diagnostic images restored after compression using the JPEG2000 method

Evaluation of the quality of medical diagnostic images restored after compression is a critically important task in the development and validation of methods and algorithms for compression, transmission, archiving and preprocessing of information in medical information systems. When analyzing lossy compression methods and algorithms for static and dynamic medical images, it is necessary to determine how significant the impact of the compression procedure is on the restored image. Compression methods and algorithms based on wavelet transform make it possible to reduce the volume of digital data of medical diagnostic images without losing critical information for a given image application. Therefore, the article examines in detail structural and wavelet metrics that better describe the preservation of contours, structures and textures of medical diagnostic images. Numerical metrics for assessing the quality of medical diagnostic images restored after compression using the JPEG2000 method in medical information systems are investigated. Different types of metrics are considered. Experimental studies of wavelet compression of digital medical video images were conducted. The results obtained showed that the JPEG2000 method is the most effective format for compressing medical diagnostic images. This method and algorithm ensure the preservation of critically important diagnostic information. The JPEG2000 compression and coding method and algorithm are well consistent with the wavelet approach to the analysis of medical diagnostic information and numerical quality assessment metrics. The classical metric based on the peak signal-to-noise ratio has limited informativeness and weak correlation with visual quality. The numerical metric based on complex wavelets, implemented using the discrete wavelet transform algorithm, is the most resistant to geometric and phase distortions during image compression using the JPEG2000 method. The best results were shown by the adapted structural metric, a metric that provides an optimal balance and is stable for all types of images, and its fast computational version. These numerical metrics retain accuracy, are significantly faster, and are better suited for assessing the quality of medical diagnostic images, such as those obtained during MRI diagnostics.

Keywords: image compression; JPEG2000 compression method; medical diagnostic images; wavelet transform; image quality assessment.

Стаття надійшла до редакції 12.01.2026.