



Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Навчально-науковий центр заочної форми навчання  
Кафедра Медіасистеми та технології  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія  
Тип програми Освітньо-професійна  
Освітня програма Комп'ютерні технології  
та системи видавничо-поліграфічних виробництв  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри МСТ \_\_\_\_\_  
(підпис)

« 24 » жовтня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові Гордєєва Андрія Сергійовича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження технологій апсемплінгу  
для репродукування зображень з низькою роздільною здатністю  
затверджена наказом по університету від 24 жовтня 2022р. № 167 Стз

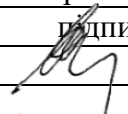
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 14 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи  
Національні та міжнародні стандарти оцінки якості кольорових зображень; Методи та принципи друккарської підготовки графічної інформації; Вихідні дані до друккарського видання; тощо

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі  
1 Аналіз стану проблеми точності відтворення кольору в сучасному поліграфічному репродукційному процесі; 2 Розробка методики апсемплінгу в поліграфічних системах; 3 Планування та аналіз результатів дослідження; 3.1 Обґрунтування обраного напрямку роботи; 3.2 Методика проведення досліджень; 3.3 Результати експериментальних досліджень; Економічна частина; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій  
1. Вимоги до точності інструментального вимірювання кольору. 2 Методи інструментального вимірювання кольору. 3 Методи апсемплінгу в системі управління кольором. 4 Актуальність вирішення проблеми апсемплінгу колірною охоплення в поліграфії. 5 Постановка задач дослідження. 6 Аналіз впливу алгоритмів перерахунку колірних координат. 7 Використання методу апсемплінгу для відновлення зображень. Економічна частина; Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

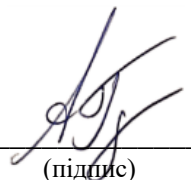
Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	проф. Ткаченко В.П.		
Економічна частина	проф. Полозова Т.В.		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз стану проблеми точності відтворення кольору в сучасному поліграфічному репродукційному процесі	31.10.2022	
2	Розробка методики апсемплінгу в поліграфічних системах	05.11.2022	
3	Планування та аналіз результатів дослідження	10.11.2022	
4	Методика проведення досліджень	15.11.2022	
5	Результати експериментальних досліджень	20.11.2022	
6	Аналіз результатів досліджень	25.11.2022	
7	Економічна частина	30.11.2022	
8	Оформлення пояснювальної записки	05.12.2022	
9	Оформлення графічної частини	08.12.2022	

Дата видачі завдання 24 жовтня 2022р.

Студент

  
(підпис)

Гордєєв А.С.

Керівник роботи

  
(підпис)

проф. Ткаченко В.П.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 75 с., 9 табл., 20 рис., 4 дод., 30 джерел.

КОЛЬОРОВІ ЗОБРАЖЕННЯ, АПСЕМПЛІНГ, МЕТРИКА PSNR, КОНТРАСТ ЗОБРАЖЕННЯ, ТЕСТОВІ ШКАЛИ, ПЛАШКА, ЗОНА РОЗМИТТЯ, ПІКСЕЛІ.

Метою роботи є визначення ефективного методу апсемплінгу кольорових зображень для наступного їх якісного репродукування. Робота передбачає опрацювання тематичного теоретичного матеріалу та сприяє пошуку творчих рішень в питаннях підвищення якості продукції, що виготовляється цифровим способом друку.

В роботі розглянуті теоретична та експериментальна складові, що включають в себе теоретичні розрахунки та аналіз впливу алгоритмів перерахунку колірних координат для відновлення кольорових зображень. Існуюче в даний час програмне забезпечення може полегшити його завдання, однак рекомендації щодо застосування того чи іншого алгоритму носять занадто загальний характер. Порівняльний аналізу методів апсемплінгу з використанням сучасного програмного забезпечення за критерієм розмаїття зображення дозволив порівняти ефективність апсемплінгу кольорових зображень для методів Adobe Photoshop та GIMP за допомогою метрики PSNR.

Розроблений алгоритм налаштування цифрового обладнання для якісного репродукування колірних зображень після операції апсемплінгу дозволяє зробити висновок про те, що негативні наслідки руйнування контурів растрового зображення, що виникає при масштабуванні вихідного файлу, зникають під час друку заливкою фарбою.

## ABSTRACT

Explanatory note of the qualification work: 75 p., 9 tabl., 20 pic., 4 app., 30 sources.

COLOR IMAGES, UPSAMPLING, PSNR METRIC, IMAGE CONTRAST, TEST SCALES, SOLID, BLUR ZONE, PIXELS.

The aim of the work is to determine an effective method of upsampling of color images for their subsequent high-quality reproduction. The work provides for the development of thematic theoretical material and contributes to the search for creative solutions to improve the quality of products reproduced by digital printing.

The paper considers the theoretical and experimental components, including theoretical calculations and analysis of the influence of algorithms for recalculating color coordinates for restoring color images. The software that currently exists can make it easier, but the recommendations for using one or another algorithm are too general. A comparative analysis of upsampling methods using modern software by the image contrast criterion made it possible to compare the efficiency of color image upsampling for Adobe Photoshop and GIMP methods using the PSNR metric.

The developed algorithm for setting up digital equipment for high-quality reproduction of color images after upsepling allows us to conclude that the negative consequences of the destruction of the contours of a bitmap image that occurs when scaling the source file disappear when printing due to filling with ink.

## ЗМІСТ

	С.
ВСТУП .....	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ КОЛЬОРУ В СУЧАСНОМУ ПОЛІГРАФІЧНОМУ РЕПРОДУКЦІЙНОМУ ПРОЦЕСІ.....	12
1.1 Вимоги до точності інструментального вимірювання кольору.....	12
1.2 Методи інструментального вимірювання кольору.....	14
1.3 Методи апсемплінгу в системі управління кольором .....	17
1.4 Актуальність вирішення проблеми апсемплінгу колірною охоплення в поліграфії. Визначення об'єкта і предмета дослідження.....	25
1.5 Постановка задач дослідження.....	27
2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ АПСЕМПЛІНГУ В ПОЛІГРАФІЧНИХ СИСТЕМАХ .....	29
2.1 Аналіз впливу алгоритмів перерахунку колірних координат .....	29
2.2 Використання методу апсемплінгу для відновлення зображень.....	34
2.3 Використання метрик для візуальної оцінки якості апсемплінгу зображень .....	36
3 ПЛАНУВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	41
3.1 Обґрунтування обраного напрямку роботи.....	41
3.2 Методика проведення досліджень .....	45
3.3 Результати експериментальних досліджень.....	48
3.3.1 Збільшення зображень за допомогою Adobe Photoshop .....	48
3.3.2 Налаштування параметрів друку на струменевому принтері Canon.....	51
3.3.3 Аналіз ефективності апсемплінгу для кольорових зображень.....	53
3.4 Аналіз результатів досліджень: проведення порівняльного аналізу методів апсемплінгу за критерієм розмаїття зображення.....	59
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	62
4.1 Характеристика науково-дослідного рішення.....	62

4.2 Етапи виконання НДР, їх трудомісткість та заробітна плата.....	62
4.3 Розрахунок одноразових витрат на розробку НДР .....	65
4.4 Оцінка результатів науково-дослідної роботи.....	69
4.5 Визначення економічної ефективності результатів НДР.....	70
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	73
ДОДАТОК А Результати апсемплінгу зображення з 750x1000 пікселів до 3000x4000 пікселів у графічному редакторі Adobe Photoshop .....	76
ДОДАТОК Б Результати апсемплінгу зображення у графічному редакторі GIMP.....	80
ДОДАТОК В Результати апсемплінгу зображення у графічному редакторі Image Enlarger.....	82
ДОДАТОК Г Результати збільшення зображення за допомогою ресамплінгу в графічному редакторі Adobe Photoshop .....	84

## ВСТУП

Кілька років тому відбулося масове впровадження комп'ютерних систем в поліграфічні додрукарські процеси. Технологічні операції стали виконуватися в різному співвідношенні автором, видавництвом і друкарнею. Має місце відсутність регламенту виконання операцій. Ці та інші причини призвели до порушення ustalених виробничих відносин, що існували в галузі раніше. Як наслідок, якість друкованої продукції часто не задовольняє замовника, особливо у відношенні кольору.

У процесі обробки зображень для поліграфічного репродукування відбуваються перетворення колірних просторів. Первинний колірний простір RGB перетворюється в колориметрично колірний простір LAB, потім в колірний простір CMYK - простір поліграфічного синтезу. Найбільш важливим у процесі колірного перетворення є перетворення з колориметричного колірного простору LAB в колірний простір CMYK. Колориметричний простір LAB має необмежений колірний обхват, тобто може відображати всі кольори, які існують в природі. Колірний простір CMYK має обмежений колірний обхват, який залежить від застосовуваних складових поліграфічного процесу - паперу, фарб, від налаштувань друкованого процесу. Ці фактори повинні бути враховані, коли у систему обробки вводиться інформація про реальний CMYK, що використовується в даному процесі.

У більшості випадків при переході від колориметричного простору в простір поліграфічного синтезу відбувається стиснення інформації від колірного охоплення оригіналу до зменшеного колірного охоплення відбитка.

Така ситуація створила передумови для створення систем управління кольором (CMS - Color Management System), покликаних вирішувати завдання забезпечення якості кольоровідтворення в умовах сучасної

територіальної розімкнутості виробничого циклу. Міжнародний консорціум за кольором (ICC - International Color Consortium) у середині дев'яностих років запропонував стандарт, який дозволяє визначати колірні параметри різних пристроїв, що беруть участь як у до друкованих, так і в друкованих процесах.

Система управління кольором (CMS) добре справляється із завданням точного відтворення кольору якщо все обладнання якісно відкаліброване і вихідний сигнал за своїм діапазоном більше або дорівнює вхідному.

У числі інших завдань, актуальною є задача досягнення відповідності кольорів, які формуються на різних пристроях друкарського процесу. Колір на екрані монітора повинен відповідати кольору на відбитку, одержуваного на принтері. Крім того, при наявності на підприємстві декількох моніторів і принтерів, потрібно забезпечити колірне відповідність між ними. Природно, що одні й ті ж RGB значення на двох різних моніторах формують різний колір, так само як одні й ті ж CMYK значення на двох різних принтерах. Без CMS цю ситуацію виправити крайньої складно і трудомістко.

Крім узгодження кольору між різними пристроями, існує також необхідність оптимального перетворення колірного змісту оригіналу. Справа в тому, що тріадний друкарський процес в більшості випадків не в змозі відтворити кольору, що містяться в оригіналі через те, що колірний обхват тріади поліграфічних фарб значно менше охоплення сканера. Очевидно, що ті кольори оригіналу, які не входять до охоплення тріади неминуче «загубляться», що рівносильне явному браку при друкуванні. Тому оригінал необхідно піддавати перетворенню – апсемплингу.

Існуюче в даний час програмне забезпечення, яке повинно допомагати нам здійснювати стиснення колірного охоплення, може полегшити його завдання, однак рекомендації щодо застосування того чи іншого алгоритму носять занадто загальний характер. Неясно, які повинні бути і якими є параметри стиснення в залежності від умов процесу, наскільки задовільно це стиснення для оригіналів з різною семантикою. Необхідно вивчити реальні

перетворення в залежності від умов проведення процесу, з'ясувати, які реальні можливості дають алгоритми перерахунку при різного ступеня стиснення в залежності від умов проведення процесу перетворення: зіставити результати, які одержують при автоматичному перетворенні з результатами, можливими при ручному адресної корекції кольору. Потрібна розробка моделі постадійного перетворення кольорових зображень.

Мета та задачі дослідження. Основною метою дипломної роботи є визначення ефективного методу апсемплінгу кольорових зображень для наступного їх якісного репродукування.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз впливу алгоритмів перерахунку колірних координат для відновлення зображень;
- дослідити візуальні метрики для оцінки якості декомпозиції зображень;
- провести порівняльний аналіз методів апсемплінгу з використанням сучасного програмного забезпечення за критерієм розмаїття зображення;
- розробити алгоритм налаштування цифрового обладнання для якісного репродукування колірних зображень після операції апсемплінгу.

Зокрема, завданням даної роботи є вивчення реальної роботи різних методів апсемплінгу. Необхідно вивчити вплив алгоритмів апсемплінгу на відтворення зображення; зіставити можливості сучасного програмного забезпечення (алгоритмів стиснення) з методами, які може запропонувати оператор; порівняти практично отримані результати на відбитку з даними оригінального зображення, щоб визначити можливості і задовільності роботи алгоритмів апсемплінгу.

Об'єктом дослідження є процеси відтворення колірної інформації у поліграфічних системах.

Предметом дослідження є інформаційна модель, методи та інформаційні технології апсемплінгу колірних даних в сучасних репродукційних поліграфічних системах.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що вперше було систематизовано і побудовано процес потоків даних в репродукційній системі що дозволяє проаналізувати та узагальнити інформацію про різні параметри процесу апсемплінгу і виявити ті з них, зміни які можливо досягти необхідної якості відтворення колірної інформації.

Практичне значення дослідження полягає в тому що розроблена інформаційна модель дозволить реалізувати технологію апсемплінгу, залежно від мети репродукційного процесу, що підвищує точність перетворення колірної інформації оригіналів та, відповідно, якість виробництва друкованих видань.

# 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ КОЛЬОРУ В СУЧАСНОМУ ПОЛІГРАФІЧНОМУ РЕПРОДУКЦІЙНОМУ ПРОЦЕСІ

## 1.1 Вимоги до точності інструментального вимірювання кольору

Цифрова обробка зображень – напрямок, що включає широкий спектр методів різноманітних додатків. В основному завданням обробки є підвищення (або збереження після обробки, наприклад, стиснення з втратами) якості зображень, насамперед візуального [1-3]. У цьому найцікавіший і важливий практичний випадок – це обробка кольорових зображень [1, 4].

Щоб адекватно характеризувати візуальне якість зображень до і після обробки, потрібні спеціалізовані, звані HVS (human visual system, тобто які враховують особливості зору людини) метрики [2, 5, 6]. Крім того, необхідні спеціалізовані бази кольорових зображень, що дозволяють в результаті проведення експериментів з великою кількістю добровольців порівнювати ці метрики між собою, оцінювати їх ефективність, виявляти переваги та недоліки метрик, визначати шляхи їх модифікації [2, 7, 8] тощо. Першою з таких баз була створена база спотворених зображень LIVE [8], а в наступні роки було створено ще кілька баз кольорових зображень, включаючи TID2008 [7, 9], Тоуама [10] та інші.

База TID2008 [7, 9] на даний момент вона містить найбільшу кількість зображень з різними типами перешкод та спотворень, найбільшу кількість типів спотворень та найбільш точні усереднені оцінки візуальної якості (MOS – mean opinion score). Завдяки цьому база TID2008 фактично стала основним засобом тестування нових HVS-метрик [11], причому як універсальних, тобто призначених для всіх можливих (врахованих) типів спотворень, так і спеціальних, призначених для застосування в конкретних додатках, наприклад, стисненні з втратами [12]. Власне забезпечення

можливості розробки універсальних метрик (за наявності еталона) та їх тестування і було основною метою створення TID2008. Якщо базі LIVE враховано 5 типів спотворень, то TID2008 число типів спотворень – 17, тобто перевірка адекватності метрик візуальної якості може бути здійснено ретельніше.

Однак, як показав досвід використання TID2008 протягом чотирьох років, що минули з моменту її створення та забезпечення доступності для інших користувачів, база виявилася корисною і для інших застосувань.

Два недоліки бази TID2008 зазначені вище. Перший – відсутність спотворених зображень із невисоким рівнем (мало помітних) перешкод та спотворень. У цьому плані, дотримуючись методики створення TID2008, слід, мабуть, згенерувати і додати до нової бази зображення, для яких ПОСШ було б близько 33 дБ.

Другий недолік - в основі відсутні зображення з деякими типами спотворень, важливими для сучасних практичних програм. Серед таких типів спотворень можна назвати такі:

- одночасна присутність двох та більше типів спотворень; як приклад можна назвати шум і спотворення внаслідок стиснення з втратами [59, 60], одночасна присутність адитивних перешкод та дефокусування [61, 62], блокові ефекти та дефокусування [61, 63] тощо;

- сигнально-залежні перешкоди різного виду, зокрема, суто мультиплікативні перешкоди, квазіпуассонівські перешкоди, змішані перешкоди (наприклад, адитивний та імпульсний шуми) [64] тощо; Результати останніх досліджень [64] свідчать про те, що сприйняття зображень, спотворених такими типами перешкод далеко не однозначно укладається в традиційні уявлення, зокрема, далеко не завжди виконується закон Вебер-Фехнер [65].

Природно, що типи перешкод та спотворень, які в результаті ретельного аналізу потреб сучасних додатків будуть обрані для моделювання

та обліку в новій базі, повинні бути згенеровані таким чином, щоб забезпечити всі п'ять рівнів спотворень.

Однією із проблем, що виникне після створення такої нової бази, є отримання нових оцінок MOS. Це трудомістка процедура, в ході якої хотілося б повною мірою використовувати отримані раніше результати порівняння між собою зображень з типами спотворень, що вже є в TID2008. Тому доведеться розробити процедуру проведення порівнянь зображень з новими типами та рівнями спотворень між собою та зі спотвореними зображеннями, що вже є в базі TID2008.

## 1.2 Методи інструментального вимірювання кольору

При вирішенні цілого ряду наукових і практичних завдань, наприклад, при контролі якості кольоровідтворення у пресі або на виробництві, потрібно здійснювати точні вимірювання характеристик досліджуваного кольору, таких як його колірні координати, спектр випромінювання, оптичну щільність і т.д.

Використання для цих цілей апарату людського зору не дозволяє ефективно вирішувати поставлені завдання, оскільки зір людини, по-перше, є завжди суб'єктивним, і, по-друге, око людини маючи можливість бачити тонкі відмінності кольору між двома кольоровими зразками не може при цьому використовуватися для виконання абсолютних колірних вимірювань.

Тому для цих цілей були розроблені спеціальні прилади колориметри і спектрофотометри. Обидва ці типи приладів вимірюють світловий потік випромінювання, що позначилась від поверхні об'єкта (для непрозорих зразків), що пройшов через нього (для прозорих зразків) або випускається їм (для самосвітних зразків).

Спектрофотометри є найбільш точними приладами для вимірювання кольору. Вони визначають коефіцієнти спектрального відбиття і пропускання зразка, а також дозволяють вимірювати спектри випромінювання

самосвітних предметів. Для цього за допомогою монохроматора або набору інтерференційних фільтрів вимірюваний потік випромінювання, розкладається на окремі спектральні складові для яких оцінюється їх інтенсивності в кінцевому інтервалі довжин хвиль. Таким чином виходить набір значень інтенсивності світлового випромінювання, виміряних в досить вузьких смугах спектру, що є апроксимацією всього спектру випромінювання.

Точність, з якою спектрофотометр вимірює спектр випромінювання, визначається таким чином шириною одиничного інтервалу довжин хвиль  $\Delta\lambda$ , в якому оцінюється величина потоку випромінювання. Зазвичай величини  $\Delta\lambda = 10$  нм достатньо, щоб з високим ступенем точності проводити вимірювання спектрів будь-яких випромінювань. Більш точні спектрофотометри можуть проводити вимірювання спектру і в більш вузьких інтервалах  $\Delta\lambda = 5$  нм і  $\Delta\lambda = 1$  нм, однак така точність для більшості вимірювань буде вже зайвою.

Іншими параметрами, які оцінюють якість спектрофотометра, є діапазон довжин хвиль, в межах якого може працювати спектрофотометр, відтворюваність вимірювань, можливість вимірювання зразків в різних умовах освітлення і спостереження. Для більшості випадків оцінюється спектр світлового випромінювання у видимому діапазоні довжин хвиль від 380 до 730 нм, хоча для деяких спеціальних випадків буває необхідно також оцінити ультрафіолетову та інфрачервону складову випромінювання. Спектрофотометри вимірюють тільки спектр випромінювання. Всі інші характеристики випромінювання розраховуються за спектральними даними.

Колориметри безпосередньо вимірюють колірні координати випромінювання, без визначення його спектру. Для цього вимірюваний світловий потік проходить через систему спеціальних світлофільтрів, що виділяють з нього червону, зелену і синю спектральні складові (для обчислення колірних координат RGB), або через спеціальні спектральні маски, які призводять спектральний розподіл випромінювання по формі до

кривих складання стандартного колориметричного спостерігача (для обчислення координат XYZ). Така конструкція значимо здешевлює вартість колориметра в порівнянні з спектрофотометром, однак також тягне за собою зниження точності приладу і різко обмежує діапазон його застосування. Оскільки колориметр визначає колірні координати зразка за інтенсивністю трьох світлових потоків і не оцінює весь спектр випромінювання, внаслідок метамерії можливі ситуації, коли два колірних зразка, що мають різні спектральні розподілу випромінювання і фізично не рівні один одному, будуть визначені колориметрії як не мають відмінності. Тому колориметри використовуються як правило в більш дешевих кольоровимірювальних системах. Наприклад, – комерційних системах калібрування моніторів, для яких помилки і неточності, допущені колориметрії, виявляються несуттєвими. У промисловості і для наукових цілей, а також у випадках, коли критично важливою є точність вимірювання, переважним виявляється використання замість спектрофотометра.

Завдяки введенню нормує коефіцієнта здійснюється перерахунок колірних координат таким чином, щоб для об'єктів, що є ідеальним розсіювачем, значення координати Y завжди було дорівнює 100 (або наближалось до 100 для матеріалів, коефіцієнт відбиття яких наближається до коефіцієнта відображення ідеального розсіювача).

У багатьох випадках явище метамерії може призводити до небажаних наслідків коли, приміром, два зразки кольору, які повинні мати різний колір, при певному освітленні стають однаковими або те чи інше промислове виріб змінює свій колір при розгляданні його з використанням різних джерел світла. У науці про колір це явище прийнято позначати терміном спектрохромне зрушення. Особливо небезпечні спектрохромне зрушення у пресі, коли друкарська фарба змінює свій колір при певному освітленні і, наприклад, чорно-біле зображення починає набувати зеленуватий або слабкий пурпуровий відтінок кольору, або порушується баланс кольорів повнокольорового зображення.

Вище було зазначено, що причиною метамерії є нездатність апарату людського зору правильно визначати деякі кольори через наявність у нього лише трьох типів цветоощуваючих клітин, кожен з яких чутливий тільки в певній частині спектру світлового випромінювання. При цьому два різних кольори, що мають різний спектр випромінювання і є, як кажуть, колориметрически різними, будуть здаватися людині мають однаковий колір, або один і той же матеріал, що має один і той же спектральний коефіцієнт відбиття, при висвітленні його різними джерелами мають різне спектральне розподіл може змінювати свій колір.

Явище метамерії вивчали цілий ряд дослідників, якими були розроблені різні оцінки для обчислення індексу метамерного відповідності  $M$ , службовця критерієм метамерної близькості двох кольорів [1] (точний англійський термін, використаний МКО, звучить як Metamerism Index - індекс метамерності). За рекомендацією МКО цей коефіцієнт визначається за критерієм цветоразлічія  $\Delta E$ , розрахованому для даного колірною зразка при висвітленні його середньоденним світлом (стандартний випромінювач D65 МКО) і штучними джерелами світла, наприклад світлом лампи розжарювання (стандартний випромінювач А МКО) або світлом люмінесцентної лампи (стандартні випромінювачі F МКО).

### 1.3 Методи апсемплінгу в системі управління кольором

Кількість зображень, що використовуються для різних додатків (у системах моніторингу земної поверхні та дистанційного зондування (ДЗ), у комплексах стеження та медичної діагностики, побутових цифрових фотоапаратах тощо), стрімко зростає [1, 2]. Одночасно збільшуються типові розміри зображень, покращується роздільна здатність систем формування зображень. Розширюються і додатки відео, тобто послідовностей зображень [2], дедалі більше звичними та доступними стають мультимедійні та Інтернет-технології.

Багатовимірні масиви даних, що отримуються при цьому, необхідно зберігати і/або передавати по лініях і мережах зв'язку, пропускна здатність яких, як правило, обмежена. У зв'язку з цим широко застосовуються методи стиснення багатовимірних даних [3]. Методи стиснення без втрат часто не забезпечують необхідні значення коефіцієнта стиснення (КС), які виявляються лише трохи більшими за одиницю [2, 3]. Тому практично все ширше використовують методи стискування з втратами, здатні, у принципі, забезпечити значення КС до кількох десятків. При цьому переважна більшість сучасних методів стиснення зображень і відео з втратами, як стандартних [3, 4], так і більш ефективних [5, 6], ґрунтуються на використанні двовимірних та багатовимірних ортогональних перетворень, насамперед, вейвлетного та дискретного косинусного перетворення (ДКП). ДКП фактично стало основою стандартів стиснення кольорових зображень та відео [1-3] завдяки багатьом достоїнствам, зокрема, високій швидкодії та хорошій декорелюючій здатності. Саме на основі ДКП створені методи стиснення зображень у градаціях сірого (кодери [6-8]), що дозволяють при тій же мірі стиснення забезпечити більш високу якість стиснених зображень або, що еквівалентно, забезпечити помітно вищі значення КС при фіксованій якості відповідно до заданого критерієм [9].

Разом з тим, для всіх методів стиснення на основі ДКП характерні деякі недоліки, основним з яких є присутність блокових ефектів (effects або blocking artifacts) [2]. Основними причинами їх появи у зображеннях та відео після декомпресії є виконання стиснення в блоках (8x8 пікселів для стандартів стиснення, 32x32 пікселя для кодера AGU [6, 7] або блоків різного розміру прямокутної форми для кодера ADCT [8]) та квантування ДКП-коефіцієнта, що відповідає середньому в блоках. Блокові ефекти помітні краях блоків, особливо на однорідних ділянках зображень при великих значеннях КС. Для блоків, які захоплюють різкі перепади, з'являються ефекти Гіббса. Блокові ефекти починають проявлятися (візуально) при

коефіцієнтах стиснення порядку 10 чорно-білих зображень і порядку 20 ... 25 для кольорових зображень [10].

Оскільки блокові ефекти спостерігаються для зображень, стиснутих стандартом JPEG [11], використання якого почалося близько 20 років тому, проблемі усунення блокових ефектів ( апсемплінгу при пост-обробці зображень після декомпресії) приділялася достатня увага [12].

Одна з причин постійного інтересу до методів усунення блокових ефектів полягає в тому, що до методів та алгоритмів усунення блокових ефектів пред'являється досить широке коло вимог, що часто взаємно суперечать один одному. Перелічимо основні їх [13]:

- вони повинні ефективно усувати блокові ефекти одночасно зі збереженням основних кордонів та чіткості зображення;
- не повинні вноситись нові артефакти, зокрема, змащення та спотворення текстури;
- має забезпечуватись прийнятна швидкодія обробки, а часто і можливість впровадження алгоритмів у стандартні пристрої декодування;
- бажано, щоб методи були застосовні за досить широких межах зміни коефіцієнта стиснення і не передбачали введення користувачем деяких емпіричних параметрів (порогів) залежно від КС.

Зараз існують спеціальні фірми, що займаються лише обробкою зображень і їх підготовкою до поліграфічного відтворення, а також існують підприємства, що займаються лише безпосередньо друкарськими та післядрукарськими процесами.

При такому підході до виробничого процесу неминуче виникнення труднощів у взаємодії окремих ланок технологічного ланцюга, в тому числі і на етапі обробки образотворчої інформації.

На цьому етапі утворилася нагальна потреба в системах управління кольором, здатних звести до мінімуму труднощів такого роду. Це призвело до кардинального поліпшення систем обробки образотворчої інформації в цілому.

Калібрування кольору є звичайною процедурою при фотографуванні природних об'єктів, і існує достатньо інструментів, що гарантують точне цифрове зображення або аналогове відтворення (друк на папері, екранні або дисплейні проектори і т. д.). Колірні моделі, отримані як фотограмметрично, так і за допомогою сканерів, ще не досягли такого розвитку і часто будуються без уваги до колориметричної якості результату [1, 2].

У роботі [3] пропонується колірні моделі, які враховують зважені за помітністю різниці кольорів і баланс площ у колірному просторі CIE Lab. Експериментальні результати показують, що комбінації кольорів зі схожою насиченістю, але характерною легкістю призводять до гармонійних зображень, у той час як прості кольорові плями відповідно до місцевого контексту сприяють створенню зображень, що гармонують з навколишнім середовищем. Застосування техніки, що представляє багаті можливості для трансформації колірної інформації, ставить завдання вибору технології перетворення кольору в залежності від властивостей оригіналу.

Роботи [4, 5] розглядають проблему охоплення кольорів зображень зроблених під водою. Зображення, зроблені під водою, страждають на спотворення кольору і погану видимість, тому що світло поглинається і розсіюється, коли воно проходить через воду. Для вирішення цих проблем пропонується метод покращення підводного зображення за допомогою інтегрованих колірних моделей RGB та LAB (RLCM). Спочатку в колірній моделі RGB аналізуються основні причини зсуву кольорів підводного зображення, а потім канали поганого кольору коригуються за допомогою спеціальних функцій, які створюються шляхом розрахунку відмінностей між каналами хорошого і поганого кольору. У колірній моделі LAB локальний контраст каналу L посилюється гистограмою з локальним посиленням та стратегією відсічення експозиції, тоді як різниця між каналами A та B компенсується вирівнюванням посилення. Крім того, в процес поліпшення гистограми включена стратегія нормалізованої керованої фільтрації для пом'якшення впливу шуму. Зрештою, зображення інвертується з колірної

моделі LAB в колірну модель RGB, і в кожному каналі реалізується стратегія підвищення різкості деталей для отримання високоякісного підводного зображення.

Останнім часом помітну увагу привертає передача кольору, яка відіграє ключову роль у редагуванні зображень. На сьогоднішній день це залишається проблемою через різні труднощі, такі як трудомістке ручне коригування та проблеми з попередньою сегментацією. У роботі [6] пропонується змодельовати перенесення кольору в рамках імовірнісної моделі та подати її як завдання оцінки параметрів. Зокрема, передане зображення зв'язується із зображенням як приклад моделі гаусової суміші (GMM) і розглядається колір переданого зображення як центроїди GMM. У цьому використовується алгоритм максимізації очікувань (EM) (E-крок і M-крок) оптимізації. Такий підхід дозволяє генерувати кілька результатів передачі кольору зі збільшенням ітерацій EM.

Точне вимірювання корельованої колірної температури (CCT), яка представляє колір джерела світла, має вирішальне значення у фотометричних дослідженнях. Дослідження [7, 8, 9] показують, що значення CCT у навколишньому середовищі надає різноманітний та важливий вплив на людське сприйняття та поведінку. Значення CCT навколишнього середовища можна точно виміряти за допомогою спектрорадіометрів, які являють собою спеціальні та відносно дорогі вимірювальні пристрої, призначені для точного вимірювання яскравості та кольоровості світла. Крім того, значення CCT можуть бути оцінені з меншою точністю з використанням різних перетворень колірного простору та зумовлених моделей замість спектрорадіометричних пристроїв.

У роботах [7, 8] пропонується альтернативний підхід до цих двох методів вимірювання CCT у навколишньому середовищі. Значення CCT середовищ були визначені ближчими до результатів спектрорадіометричних вимірювань завдяки моделі глибокої регресії, розробленої в рамках даного дослідження з використанням лише RGB-камер. Продуктивність

запропонованого підходу порівнювалася з альтернативними методами розрахунку ССТ, описаними в літературі, з використанням тестових зображень реальної сцени.

У роботі [10] робиться аналіз кольору в цифрових зображеннях які нещодавно набули популярності в дослідженнях рослин внаслідок зниження вартості пристроїв обробки зображень, збільшення роздільної здатності зображень та можливостей обробки та аналізу. Автори розробили універсальний код із відкритим вихідним кодом, який можна використовувати для створення моделей, що характеризують певні підмножини кольорів у цифрових зображеннях. Метод заснований на створенні моделі на основі статистичної регресії даних, отриманих в результаті аналізу пікселів RGB. Оскільки модель перебуває під наглядом людини, людський фактор включений у процес. Метод і код можна використовувати як основу для інших підходів (наприклад, у сільському чи лісовому господарстві) або для подальшого розвитку.

Завдання кольорового репродукування, незалежно від способу відтворення і характеру оригіналу, полягає в отриманні зображень, оптимальних по перенесенню кольорів з точки зору споживача.

Нюбергом І.Д. [26] були сформульовані визначення для трьох видів точності:

- фізично точна репродукція;
- фізіологічно точна репродукція;
- психологічно точна репродукція.

Відповідно до його теорії, оригінал та репродукція в колориметричному аспекті можуть бути представлені тілами колірною охоплення в колірному просторі. Кожній точці тіл відповідає випромінювання, що характеризується абсолютним спектральним розподілом енергії.

Фізично точна репродукція з точки зору передачі кольору забезпечує збіг, але спектрального складу випромінювання в кожній точці оригіналу і репродукції.

Фізіологічна точність заснована на використанні явища метамерізма, яке полягає в однаковому дії на око світлових пучків, різних за спектральному складу. Фізіологічно точна репродукція забезпечує збіг за кольором (але не за абсолютним спектральному розподілу, енергії) в кожній точці оригіналу і репродукції. У плані візуальної оцінки фізіологічно точна і фізично точна репродукція - еквівалентні [18, 12].

Третій вид точності кольоровідтворення - психологічна точність - поки не сформульований однозначно і повністю.

У зв'язку з цим необхідно дати чітке визначення поняттям «психологічна точність» і «психологічний вплив» і ввести між ними розмежування.

«Психологічний вплив» - це певний настрій, що викликається переглядом кольорового зображення, кольори якого дуже сильно змінені по відношенню до об'єкта відтворення, за рахунок чого досягається певний ефект, найчастіше рекламний. Для створення певного психологічного впливу окремі або всі кольори зображення можуть бути перекручені до зовсім нереальних, не властивих даних об'єктів. Такі трансформації окремих областей колірному простору або всього тіла колірному охоплення характерні для певного класу оригіналів - рекламної продукції, плакатів, афіш, упаковок і т. д. Тобто зображень, кольори яких призначені для створення певного настрою, емоцій [7, 11].

Поняття «психологічна точність відтворення кольорів» можна визначити наступним чином. Кольори «психологічно точного зображення», що представляє репродукцію сюжету, оцінюваного людиною по пам'яті, трансформовані так, що при розгляданні зображення створюється враження реалістичності. З точки зору «психологічної точності кольоровідтворення» неприпустимі зміни одного або декількох кольорів зображення в дуже

великих межах колірному простору при збереженні постійними інших кольорів зображення. Кольори психологічно точних зображень в загальному випадку можуть бути представлені не точками, а деякими областями колірному простору.

Перетворення колірної інформації, спрямовані на досягнення психологічної точності або на створення певного психологічного впливу, часто вимагають також організації колірному простору з урахуванням характеру і взаємного розташування ілюстрацій, що розміщуються на даній смузі. При компонуванні ілюстрацій на шпальтах видання в багатьох випадках бажано, щоб всі вони були витримані в певному колориті [16, 30].

Це означає, що якщо на ілюстраціях смуги є спотворення колірному балансу, вони повинні бути однакові для всіх зображень цієї смуги (на додаток до рішень з адресною корекцією). У такому випадку смуга буде сприйматися хорошою за якістю навіть при значних відхиленнях балансу. Аналогічні вимоги до перекручувань квітів окремих однотипних об'єктів, які можуть бути неоптимальними, але приблизно однаковими в межах однієї смуги. Дотримання «балансу смуги» може бути більш складним, ніж більш різноманітні з техніки і засобів виконання оригінали [17].

Оригінали другого класу, кольоровідтворення яких має визначатися психологічною точністю, складають найбільш значну частку всіх відтворюваних засобами поліграфії оригіналів. Для визначення більш повних та об'єктивних критеріїв психологічної точності потрібно кількісно і якісно доповнити дані про допустимі трансформаціях кольорових зображень. Крім доповнення класифікації зображувальних оригіналів, необхідно ввести єдину термінологію репродукованих кольорів і класифікувати найбільш часто відтворюючі сюжети [13, 16].

Кольори найбільш часто репродукованих об'єктів можуть бути пам'ятними та/або сюжетно-важливими [3, 27].

Пам'ятні кольору– кольору природних і штучних об'єктів, які зберігаються в пам'яті людини і які, за відсутності реальних об'єктів, людина

може ототожнити з кольором пред'явленого йому кольорового зразка. Відомо, що середньопам'ятні кольори можуть істотно відрізнятися від відповідних натуральних кольорів та їх переважне відтворення можна розглядати як допуск на передачу кольору. Тому колориметричні (або денситометричні) характеристики натуральних пам'ятних кольорів не завжди можуть служити достатнім критерієм для визначення допусків на кольоровідтворення з точки зору психологічної точності [6, 30].

#### 1.4 Актуальність вирішення проблеми апсемплінгу колірною охоплення в поліграфії. Визначення об'єкта і предмета дослідження

Сучасні методи апсемплінгу можна класифікувати на чотири основні категорії: фільтраційні [13-20], оціночно-теоретичні підходи [21-24], що ґрунтуються на апроксимації поліноміальними площинами [12, 25, 26], що працюють в області ДКП [27].

Для першого класу методів використовуються як лінійні, і нелінійні фільтри, включаючи локально адаптивні [17, 18]. Говорити про працездатність і застосування цих методів складно, оскільки жодні кількісні оцінки ефективності апсемплінга в роботах [17, 18] не наведені. Пізніше були розроблені складніші, але при цьому і розумніші підходи до пост-фільтрації, наприклад [10, 28-30]. Було усвідомлено, що застосування фільтра до будь-яких типів пікселів, особливо до текстурних ділянок, недоцільно, оскільки застосування будь-якого фільтра призводить до внесення додаткових спотворень.

У роботі [13] наведені деякі кількісні дані, що дозволяють порівняти ефективність (у термінах пікового співвідношення сигнал-шум - PSNR) та інші характеристики декількох відомих методів апсемплінгу. Серед методів, що мають високу швидкодію, найкращі (загалом) результати забезпечують методи [14, 18].

Найбільш великі дані порівняльного аналізу ефективності методів апсемплінгу наведено у роботі [28]. Аналіз проводиться для набору стандартних тестових зображень у градаціях сірого для КС близько 22...53, тобто при суттєвому прояві блочних ефектів. Розглядаються методи постфільтрації, які у стандартах H.263, MPEG4, і навіть запропоновані у роботах [15], [21] і [30]. Результати аналізу свідчать про те, що в стандартах (H.263, MPEG4) впроваджено непогані методи апсемплінгу, які практично завжди покращують якість зображень відповідно до критерію PSNR. Методи, засновані на складній постфільтрації [28, 31], як правило, забезпечують найбільший вигрощ, який, однак, ніколи не перевищує 1 дБ. Вигрощ, як правило, максимальний для досить простих за контекстом зображень (Lena, Peppers) і менше для більш складних зображень (Baboon).

Алгоритми апсемплінгу, що належать до другої та третьої груп (оціночно-теоретичні [21] і засновані на апроксимації поліноміальними площинами [15]), не належать до найкращих. Більш перспективні, розроблені останні 10- 15 років, методи апсемплінгу з урахуванням ортогональних перетворень, зокрема, ДКП [28-30]. Показано, що при великих ступенях стиснення вигрощ, згідно з критерієм PSNR, може досягати 1,4 дБ при тому, що методи [22, 24] мають досить високу швидкодію.

Однією з їх переваг є те, що при апсемплінгу використовується ДКП, яке одночасно служить основою декомпресії, завдяки чому є можливість підвищити швидкодію. Додатково швидкодія може бути підвищена, якщо обробка здійснюється з частковим перекриттям блоків або не для всіх можливих положень.

Разом з тим, більшість методів апсемплінгу розроблено та протестовано для зображень у градаціях сірого або компоненти Y (інтенсивності) кольорових зображень стосовно JPEG або JPEG-подібних (працюючих у блоках 8x8 пікселів) методів стиснення з втратами. Крім того, хоча метою апсемплінгу є підвищення візуальної якості зображень після декомпресії, при аналізі ефективності, як і раніше, широко використовується

метрика PSNR і візуальний аналіз. Метрики візуальної якості останнім часом активно застосовуються при розробці та аналізі ефективності методів стиснення зображень [9] та відео [36, 37] в цілому, але не для оцінки ефективності власне апсемплінгу. Одним із небагатьох винятків є робота [38], де аналіз проведено з використанням метрики SSIM [39] і показано, що її значення завдяки постобробці можуть зростати на 0,05 ... 0,07.

Враховуючи вище сказане щодо актуальність вирішення проблеми апсемплінгу кольорових зображень в поліграфії, можна констатувати.

Спеціалізована література в основному звертається лише до теоретичного опису можливостей алгоритмів перерахунку кольорних просторів. Ні в одному з літературних джерел немає описів якого-небудь практичного підтвердження вірності теоретичних передумов. Не ясно, чи проводилися будь-які експерименти з метою з'ясувати, чи збігається теорія з практикою.

Хоча деякі з програмних продуктів і мають можливість обробляти графічну інформацію у відповідності з цими чотирма алгоритмами (зокрема мова йде про програмний продукт Photoshop компаній Adobe Inc.), але поки що недостатньо ясні реальні закономірності перетворень і ефективність різних методів. Оскільки також ефективність використання законів стиснення різна для різноманітних оригіналів з різною семантикою, то необхідна експериментальна перевірка такої ефективності.

### 1.5 Постановка задач дослідження

Основною метою дипломної роботи є визначення ефективного методу апсемплінгу кольорових зображень для наступного їхнього репродукування.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

– розробити модель перетворення кольорової інформації з урахуванням фактичних умов перегляду готової поліграфічної продукції для отримання бажаних кольорів на відбитку;

- виділити у цільовому колірному просторі ділянки пріоритетного відтворення з метою підвищення точності репродукування під час побудови профілів кольоровідтворюючих пристроїв;

- дослідити алгоритми стиснення з використанням сучасного програмного забезпечення;

- дослідити реальні можливості проведення процесів стиснення колірною охоплення різними методами і розробити рекомендації для різних систем відтворення.

Зокрема, завданням даної роботи є вивчення реальної роботи різних методів стиснення. Необхідно вивчити вплив алгоритмів стиснення на відтворення зображення; зіставити можливості сучасного програмного забезпечення (алгоритмів стиснення) з методами, які може запропонувати оператор; порівняти практично отримані результати на відбитку з даними оригінального зображення, щоб визначити можливості і задовільності роботи алгоритмів стиснення.

## 2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ АПСЕМПЛІНГУ В ПОЛІГРАФІЧНИХ СИСТЕМАХ

### 2.1 Аналіз впливу алгоритмів перерахунку колірних координат

Часто відбувається ціла серія перетворень: зображення з кольорового простору сканера перетвориться у колірний простір в якому здійснюється обробка зображення та в якому воно зберігається у файлі; для відображення зображення перетворюється з робочого колірного простору у колірний простір монітора; для отримання тиражний копії зображення з робочого колірного простору перетворюється в колірний простір друкованого верстата або будь-якого іншого пристрою, що використовується для кінцевого відтворення зображення. CMS допускає перетворення зображення з одного колірного простір в інше і з цього кольорового простору у третю будь-яке число разів.

Як правило через розбіжність колірних обхватів різних пристроїв деякі кольори відтворити буде неможливо. У цьому випадку або кольори будуть замінитися іншими, які можливо відтворити на цьому пристрої і викликають у спостерігача схожі кольорові відчуття.

Тому стандарт ICC передбачає наявність чотирьох різних алгоритмів перерахунку за допомогою яких можна, можливо узгодити подання кольору між різними кольоровими просторами.

Стиснення інформації на стадії друкованих процесів може відбуватися як автоматично (за допомогою вбудованих у програмне забезпечення алгоритмів перерахунку колірних просторів), так і вручну оператором корекції кольору.

Для проведення порівняльного аналізу в роботі [21] використовувалися методи стиснення із втратами JPEG (розбиття зображення на однакові блоки

8x8 пікселів) та ADCT [8] (розбиття зображення на прямокутні блоки різного розміру).

Ступінь стиснення ADCT (QT) вибиралася таким чином, щоб забезпечити такий самий ступінь стиснення зображення, як і відповідне значення Q для JPEG. При кодуванні зображень використовувалася версія ADCT, орієнтована на забезпечення максимальної візуальної якості (з нерівномірною таблицею квантування) [9].

Як методи усунення блочного ефекту використовувалися метод, заснований на ДКП з адаптивною зміною форми блоків [12, 20] (SA-DCT) і метод придушення блочного ефекту, що використовується в кодері ADCT (DB), а також прискорені варіанти цих двох методів: fast SA-DCT, x4DB, x7DB, x64DB. Тут позначення "x4 DB" і "x7 DB" означають модифікації методу DB, прискорені відповідно в 4 і 7 разів за рахунок використання при фільтрації зміщення сусідніх положень блоків на число пікселів більше одиниці.

При придушенні блочного ефекту в кодері ADCT використовується фільтр на основі ДКП в блоках 8x8 з порогом обнуління коефіцієнтів, що дорівнює половині кроку квантування коефіцієнтів ДКП, заданого при стисненні зображення [6].

ДКП-фільтрація з твердим порогом проводиться з використанням наступних операцій. До кожного блоку розраховуються ГКП-коефіцієнти. Потім виробляють обнуління ДКП-коефіцієнтів, амплітуда яких вбирається у відповідний поріг, і виконують зворотне ДКП-перетворення. В результаті для всіх пікселів блоку набувають відфільтровані значення. Якщо цей піксель зображення належить кільком різним блокам, відфільтровані значення осереднюються.

У граничному випадку (алгоритм DB) використовується максимальний ступінь перекриття блоків, тобто сусідні блоки зсунуті один щодо одного тільки на один піксель. Якщо потрібно прискорити фільтрацію, вона здійснюється не для всіх можливих положень блоків, а тільки для тих

індексів  $m$  і  $n$  яких (координати верхнього лівого кута блоку) відповідають вихідним умовам.

В якості тестового зображення використовувалися чотири аерофотозйомки в градаціях сірого (рис. 2.1) [21]. Метрика PSNR найбільш широко використовується на практиці, а MSSIM та PSNR-HVS-M показують найбільші значення кореляції із сприйняттям людини при оцінці візуальної якості результатів стиснення та фільтрації.

Для оцінки візуальної якості придушення блокових ефектів на кольорових зображеннях використовувалися метрики PSNR і PSNR-HMA [25].

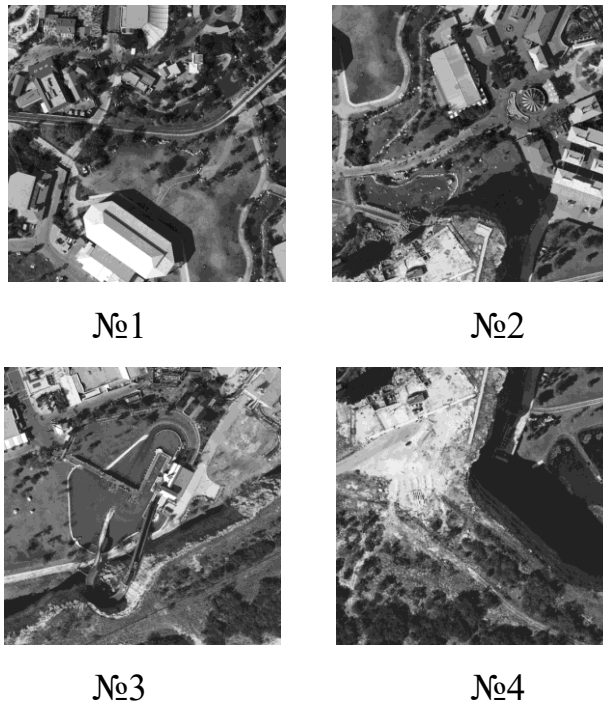


Рисунок 2.1 – Тестові аерофотозйомки у відтінках сірого кольору

У фотографії роздільна здатність відображає рівень деталізації зображення, який визначається такими факторами, як точність фокусування, якість об'єктива і кількість пікселів датчика камери. Однак роздільна здатність також може стосуватися більш конкретних аспектів, таких як роздільна здатність об'єктива, кількість пікселів на дюйм у друкованій версії та загальна кількість пікселів цифрового зображення.

Більшість основних програм постобробки дозволяє збільшити кількість пікселів зображення. Трудність полягає в тому, щоб отримати якісь значущі деталі (або ілюзію). Залежно від програмного забезпечення, у кращому випадку зображення буде просто виглядати не у фокусі, зате без пікселів, що кидаються в очі (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Проста постобробка зображень

Неможливо отримати те ж саме докладне, як верхнє зображення з оригіналу з низькою роздільною здатністю. Але це не означає, що ситуація безнадійна. Щоб допомогти збільшити роздільну здатність зображення (у даному випадку, число пікселів) в процесі постобробки роблять операцію апсемплінгу.

Складність апсемплінгу полягає в тому, як згенерувати нові зразки даних та заповнити їх зображеннями з високою роздільною здатністю. Використання штучного інтелекту дозволяє проводити розпикселізацію зображення. Дослідники [14] показали роботу такої системи, яка генерує

зображення з підвищенням частоти дискретизації у 64 рази порівняно з оригіналом з низьким дозволом. У розробці використали алгоритм дослідження прихованого простору. Система показала, що зображення може відрізнитися від оригіналу. Тобто алгоритм «вигадує» особу (рис. 2.3).

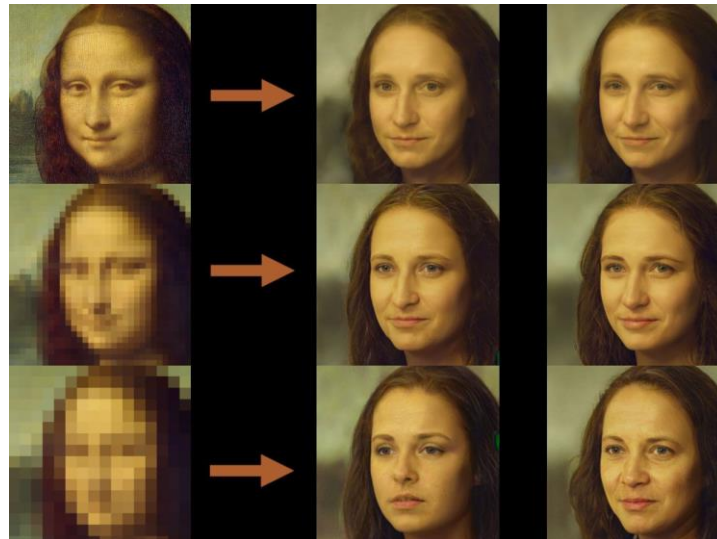


Рисунок 2.3 - Відтворення зображення за допомогою технології штучного інтелекту

Синтія Рудін, професор комп'ютерних наук в Університеті Дьюка в Даремі, Північна Кароліна, прокоментувала розробку: «Ми довели, що ви не можете розпізнати обличчя за розмитими зображеннями, тому що тут дуже багато можливостей. Таким чином, масштабування та покращення, що перевищує певний пороговий рівень, не може існувати» [14].

У 2019 році вчені Массачусетського технологічного інституту розробили метод, що дозволяє відновлювати приховане відео, використовуючи тіні та відображення. Алгоритм аналізує взаємодію тіней та геометрії на відео та прогнозує «перенесення світла». Так, якщо в кімнаті встановлена відеокамера, він допоможе реконструювати відео невидимого кута приміщення.

## 2.2 Використання методу апсемплінгу для відновлення зображень

Багато мережевих структур спроектовані так, щоб бути симетричними, це можна резюмувати як два етапи «кодування-декодування». На етапі кодування основним завданням є отримання карти ознак і субдискретизація шару за шаром для збереження найважливіших особливостей. На етапі декодування семантична реконструкція в основному заснована на карті ознак, тому остаточна карта ознак може бути відновлена до вихідного розміру. Підвищуюча дискретизація є найчастіше використовуваним методом на етапі декодування.

Складність апсемплінгу полягає в тому, як згенерувати нові зразки даних та заповнити їх зображеннями з високою роздільною здатністю. У процесі перетворення зображення виникають дві основні проблеми:

- відображення відповідних точок положення, оскільки різниця у вигляді зображення неминуче призведе до зміни значення пікселя;
- після картування координат, як визначити кордон і однорідну область і заповнити область, що залишилася.

Практичну реалізацію апсемплінгу можна виконати у різних програмах обробки графічної інформації. Наприклад, у Photoshop необхідно вибрати Image > Image Size, ввести бажані розміри у пікселях та вибрати метод апсемплінгу (у Photoshop CC необхідно вибрати Preserve Details 2.0.). Після цього можна трохи підвищити різкість фотографії залежно від зображення (рис. 2.4).

Найвідоміший із редакторів для роботи з роздільною здатністю зображення (крім Photoshop ) називається Genuine Fractals. Пізніше його перейменували на Perfect Resize , а тепер це ON1 Resize (рис. 2.5).

Той факт, що це автономне програмне забезпечення не означає, що воно найкраще. Як можна побачити в порівнянні нижче, алгоритм Preserve Details 2.0 у Photoshop CC помітно перевершує ON1 Resize. Однак, якщо у вас немає Photoshop CC, ви можете спробувати деякі з цих спеціалізованих програм для зміни розміру зображення.



Рисунок 2.4 – Використання методу апсемплінгу у Photoshop

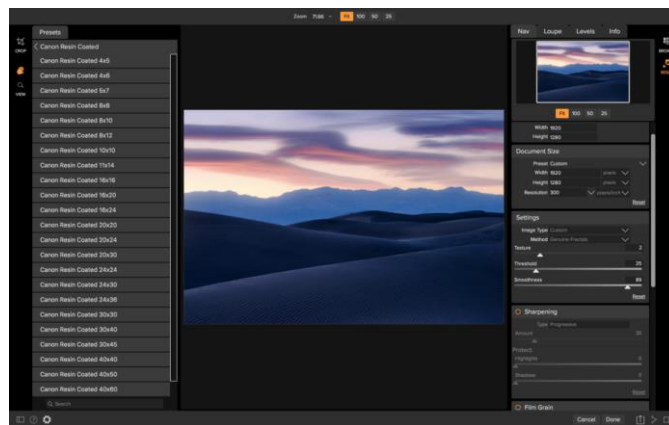


Рисунок 2.5 – Налаштування зміни розміру зображення в ON1

Крім цього, хорошим варіантом є GIMP – безкоштовне програмне забезпечення для редагування фотографій з відкритим вихідним кодом, яке є однією з найпопулярніших альтернатив, причому не тільки для апсемплінгу (рис. 2.6).

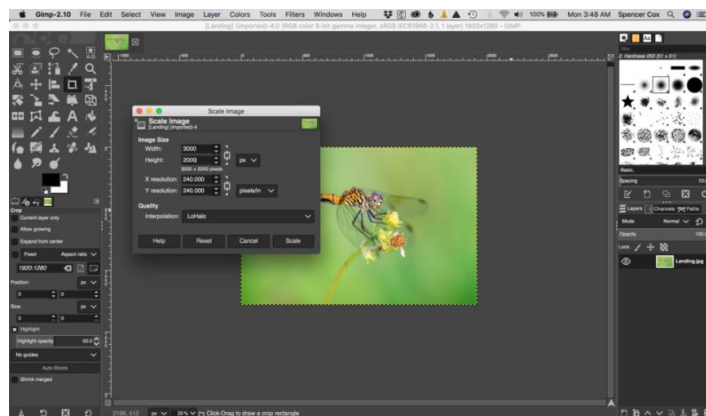


Рисунок 2.6 – Апсемплінг в GIMP

Деякі компанії вже займаються розробкою ПЗ, яке має підвищувати дозвіл за рахунок аналізу зображення та розпізнавання елементів на ньому, на відміну від дурних обчислень значення найближчих пікселів (як це зараз працює).

Над цим працюють Google та Adobe, і, можливо, ми зможемо побачити деякі продукти, які впроваджують ці технології найближчим часом. Завдяки останньому алгоритму апсемплінгу Adobe Photoshop CC, протестованому нижче, можливо вже бачити натяки на те, на що це буде схоже в майбутньому. Однак деякі з них є досить обмеженими алгоритмами, які фокусуються тільки на певному типі зображення, наприклад на обличчях під певним кутом.

### 2.3 Використання метрик для візуальної оцінки якості апсемплінгу зображень

Багато авторів при аналізі адекватності метрик візуальної якості та MOS використовують коефіцієнт кореляції Пірсона (ККП), що змушує їх проводити попередній фітінг (апроксимацію та лінеаризацію) даних. На наш погляд такий підхід не зовсім вірний.

По-перше, можна використовувати різні методи фітінгу і в результаті отримувати різні значення ККП для однієї і тієї ж метрики. При цьому неясно, який із методів фітінгу є найкращим.

По-друге, основною з вимог до метрики візуальної якості є монотонність її поведінки, тобто значення метрики має зростати (рідше спадати, як для метрики DC Tune [21]), якщо візуальна якість зображень стає вищою.

На нашу думку, для користувача важливіше знати, які значення метрики відповідають якимось властивостям спотворених зображень. Наприклад, для метрики MSSIM [6] відомо, що її значення перевищують 0,995, то спотворення у зображенні практично гарантовано візуально

непомітні [22]. Аналогічно спотворення візуально непомітні, якщо для цього зображення значення метрики PSNR-HVS-M перевищують 42 дБ [5]. Це важливі властивості, що спостерігаються для різних зображень і типів спотворень, оскільки для багатьох додатків, наприклад, при стисненні з втратами, значення метрики візуальної якості розраховуються і потім враховуються в ланцюзі зворотного зв'язку для встановлення параметрів алгоритму обробки (наприклад, кроку квантування кодера) [13]. Зазначеними властивостями не має ПОСШ, для якого, наприклад, значення, що дорівнює 35 дБ, відповідає непомітності спотворень для одних зображень та типів спотворень, але при цьому для інших спотворень та зображень спотворення візуально помітні.

Зазначимо, що значення метрики MSSIM [6] змінюються від 0 до 1, а значення метрики PSNR-HVS-M [5] вимірюються в дБ. Ці відмінності властивостей зазначених метрик не заважають досвідченому користувачеві судити про візуальну якість аналізованого зображення за конкретними значеннями цих метрик і стверджувати, що, наприклад, зображення MSSIM порядку 0,7 або PSNR-HVS-M порядку 20 дБ мають низьку візуальну якість.

Розрахунок КРКС для окремих груп (піднаборів) спотворень дозволив виявити недоліки ряду існуючих метрик візуальної якості. Наприклад, до піднабору Actual [9] були включені 1, 3, 6-11 типи спотворень, які характерні для основних додатків ЦОІ (якість вихідних зображень та результати їх стиснення та фільтрації). Для цього піднабору КРКС досить високий для різних метрик. Наприклад, він дорівнює 0,868 для MSSIM, 0,882 для SSIM [24] та 0,929 для PSNR-HVS-M. Разом з тим для піднабору Exotic [9], який включає типи спотворень 6, 14 і 15, значення КРКС для цих метрик відповідно дорівнюють 0,478, 0,311 і 0,364, тобто, очевидно, є незадовільними. Це свідчить про неадекватність розглянутих вище метрик для ситуацій, коли зображення мають типи спотворень 6, 14 та 15. Аналогічна ситуація має місце і для типів спотворень 16 та 17 [15]. Отже, стає зрозумілим, яких типів спотворень необхідно «адаптувати» загалом

«хороші» метрики MSSIM, SSIM і PSNR-HVS-M у тому, щоб підвищити їх універсальність, тобто збільшити КРКС для всієї бази.

Відповідну роботу з модифікації метрик PSNR-HVS і PSNR-HVS-M було проведено в [16]. Отримані нові метрики PSNR-НА та PSNR-НМА характеризуються набагато вищими значеннями КРКС для піднаборів, що включають типи спотворень 12-17 у різних варіаціях [16] (Exotic, Exotic2, Exotic3). В результаті значення КРКС для метрик PSNR-НА і PSNR-НМА виявилися рівними 0,868 і 0,848, у той час, як для метрик PSNR-HVS і PSNR-HVS-M вони були, відповідно, рівні 0,554 і 0,559.

Тут слід зазначити, що при розробці метрик PSNR-НА і PSNR-НМА була врахована також різна чутливість зору людини до спотворень у різних колірних компонентах зображень. Аналогічно авторам роботи [17] вдалося врахувати зазначену особливість і розробити метрику CMSSIM, для якої значення КРКС істотно більше, ніж КРКС для MSSIM і SSIM, при таких типах спотворень, як адитивний білий гаусов шум, адитивний шум у колірних компонентах, високочастотний шум, імпульсний шум. Ці результати свідчать, що облік різної чутливості зору людини до спотворень у різних колірних компонентах зображень є одним із напрямків подальшого вдосконалення метрик візуальної якості (нагадаємо, що багато метрик розроблено для аналізу якості одноканальних зображень, а для кольорових зображень їх значення обчислюються простим усередненням значень метрики за кольоровими компонентами).

Одночасно наведені вище результати також вказують на те, що для розробки універсальних метрик візуальної якості необхідно одночасно враховувати велику кількість особливостей зору людини. Зокрема, підвищена увага останнім часом приділяється обліку підвищеної уваги людини до спотворень у областях високої локальної активності зображень, тобто на околицях кордонів та малорозмірних об'єктів. Якщо метрики SSIM КРКС всім спотворень бази TID2008 дорівнює 0,8087 [17], то метрики IW-SSIM, враховує зазначену вище особливість зору, КРКС виявляється рівним 0,8559 [17],

тобто помітно вище. Аналогічні поліпшення при розгляді спотворень типу адитивних гауссів білий шум спостерігаються і для метрик  $wPSNR$ ,  $wPSNR - HVS$  і  $wPSNR - HVS-M$  порівняно з метриками  $PSNR$ ,  $PSNR-HVS$  та  $PSNR-HVS-M$  відповідно.

Інший шлях підвищення універсальності метрик візуальної якості (забезпечення підвищення КРКС для всіх типів спотворень бази) – розробка комбінованих метрик [17], для яких покращення характеристик досягається завдяки агрегуванню кількох «хороших» метрик візуальної якості. У роботі [17] реалізована агрегація метрик  $PSNR-HVS-M$ ,  $PSNR-HVS$ ,  $PSNR-NA$ ,  $PSNR-NMA$ ,  $FSIM$  та спеціальним чином розрахованих СКОш з використанням попереднього класифікатора типів спотворень. В результаті для всіх спотворень бази TID2008 досягнуто КРКС, що дорівнює 0,947, що на даний момент є найкращим результатом щодо забезпечення універсальності метрики візуальної якості.

Водночас цей шлях удосконалення метрик пов'язаний із певними ризиками та недоліками. По-перше, навчання комбінованої метрики зазвичай проводиться для однієї бази, що не гарантує найкращих результатів при застосуванні отриманої метрики для іншої бази, чи конкретної групи типів спотворень. По-друге, розроблені метрики виходять досить складними та вимагають значного обсягу обчислень, що не завжди прийнятно на практиці, оскільки для низки додатків важливе значення має швидкодія обчислення метрики візуальної якості [2, 20]. По-третє, не виключено, що комбіновані метрики доведеться перенавчати або знову оптимізувати їх параметри, якщо будуть запропоновані нові ефективні прості метрики візуальної якості або доведеться враховувати нові, раніше не враховані типи спотворень.

Нарешті, ще одна сучасна тенденція розробки та застосування метрик візуальної якості полягає у наступному. Зазвичай метрики розраховуються всього зображення загалом. При цьому деякі метрики отримують в результаті обробки всіх значень зображення як єдиного цілого, а інші метрики розраховують як результат підсумовування деяких величин в блоках

відносно невеликого розміру [5, 18]. В останньому випадку з'являється можливість будувати та аналізувати карти метрик візуальної якості [14]. Певною мірою такий підхід пов'язаний з метриками візуальної якості, орієнтованими на детектування слабо візуально помітних спотворень [2]. Отримання та аналіз таких карток сприяє більш якісному дослідженню ефективності методів фільтрації кольорових зображень [14]. Зокрема, з використанням зображень з бази TID2008 показано, що навіть найкращі фільтри можуть локально погіршувати візуальну якість зображень [14].

Ще одне застосування TID2008 – аналіз ефективності методів впровадження водяних знаків [27, 28]. Корисність бази для цієї програми обумовлена наявністю в ній великої кількості кольорових зображень різного ступеня складності, як текстурних, і щодо простих.

З іншого боку, такий підхід не зовсім вірним. Правильніше, на наш погляд, створювати спеціалізовані бази спотворених зображень для тестування та оптимізації метрик візуальної якості без еталона. Одна така база, названа NRTID, була нещодавно створена нами з урахуванням досвіду створення TID2008 та специфіки оцінки візуальної якості зображень за відсутності еталона [4].

Особливістю NRTID є присутність у ній зображень різного розміру, що пов'язані з впливом цього чинника оцінку візуального якості зображення. Крім того, специфіка зображень NRTID полягає в тому, що на багатьох з них одночасно присутні кілька типів спотворень, наприклад, дефокусування і ефекти стиснення з втратами. До речі, відсутність зображень з одночасною присутністю декількох типів спотворень TID2008 також є її недоліком.

## 3 ПЛАНУВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Обґрунтування обраного напрямку роботи

Підвищення якості зображення – дуже об'ємна тема. Для покращення якості фото в Photoshop можуть застосовуватися корекція кольору, посилення різкості, ретуш і багато інших операцій. Усі вони вимагають певних навичок та володіння особливими техніками.

Говорячи про якість будь-якого зображення, ми говоримо про дозвіл. Змінюючи розміри зображення, ми повинні змінити значення пікселів за шириною та/або висотою. У разі зменшення розміру Photoshop перераховує пікселі в зображенні в сторону зменшення. Але цей процес не оборотний. Якщо потрібно все повернути назад або зробити ще більше, то запуститься новий процес - апсемплінг. У разі збільшення розміру Adobe Photoshop вираховує яких пікселів не вистачає та додає їх на підставі складних алгоритмів обробки. Цей процес не може бути якісним, тому при збільшенні зображення якість втрачається. Картинка втрачає чіткість деталей, стає розмитою.

Основні артефакти, які виникають при масштабуванні, такі:

- Ringing – виникнення хвилі біля різкої межі зображення;
- Overshooting - виникнення 2 та 3 хвиль;
- Aliasing – “сходовий ефект” – нерівності зображення на різких діагональних межах зображення;
- Unsharpening – розмивання – недостатня чіткість зображення після масштабування. Очевидно, що підвищення чіткості зазвичай призводить до збільшення інших артефактів і навпаки – придушення артефактів придушує також і чіткість;
- Sub-pixel shift – субпіксельне зрушення зображення, пов'язане, як правило, з особливостями реалізації алгоритму. Практично не впливає на візуальну якість, проте суттєво впливає на формальну метрику.

Для того, щоб оцінити ефективність застосування технології апсемплінгу для встановлення якості кольорових зображень, необхідно провести порівняльний аналіз якості тест-сторінки з використанням адаптивної обробки файлів. Ключовими показниками порівняння будуть чіткість, різкість та контрастність зображення під час використання різного програмного забезпечення.

Розглянемо визначення для кожного із зазначених показників:

- чіткість зображення – характеристика передачі деталей зображення (ОСТ 29.40-2003);
- різкість зображення – характеристика, що визначається шириною зони переходу (розмиття) на межі деталей у зображенні (ОСТ 29.40-2003);
- контраст зображення – відношення яскравості найсвітлішої ділянки зображення до темної яскравості. Таким чином, контрастне зображення – це зображення з перепадом яскравостей.

Усі необхідні вимірювання проводилися за допомогою інструменту Measure Tool програми Adobe Photoshop.

За допомогою інструменту Measure Tool можна виміряти розміри будь-яких областей, використовуючи інструмент "Лінійка" або інструмент виділення. Також цей інструмент дозволяє обчислювати висоту, ширину, площу та периметр одного або кількох зображень. Дані вимірювання зберігаються на панелі «Журнал вимірювання». Стовпці панелі «Журнал вимірів» можна налаштувати, дані в межах стовпця можна відсортувати, а також експортувати їх із журналу до текстового файлу Unicode з роздільниками табуляцією.

Встановлення шкали вимірювань задає певну кількість пікселів у зображенні, що дорівнює кількості одиниць вимірювання шкали, наприклад дюймам, міліметрам або мікронам. Після створення шкали можна вимірювати області та приймати результати та журнал розрахунків у вибраних одиницях вимірювання шкали. Можна створити кілька стилів шкал вимірювання, але одночасно до документа може застосовуватися лише одна шкала.

Спеціально для порівняння алгоритмів масштабування було побудовано 5 штучних векторних зображень, які зазвичай називають «світами» (рис.3.1-3.2).

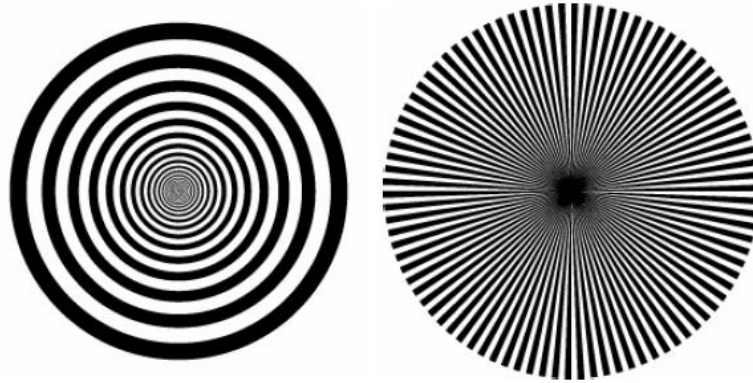


Рисунок 3.1 – Тестові зображення 1 і 2 для оцінки якості наближення контрастних кордонів, ringing та aliasing на них

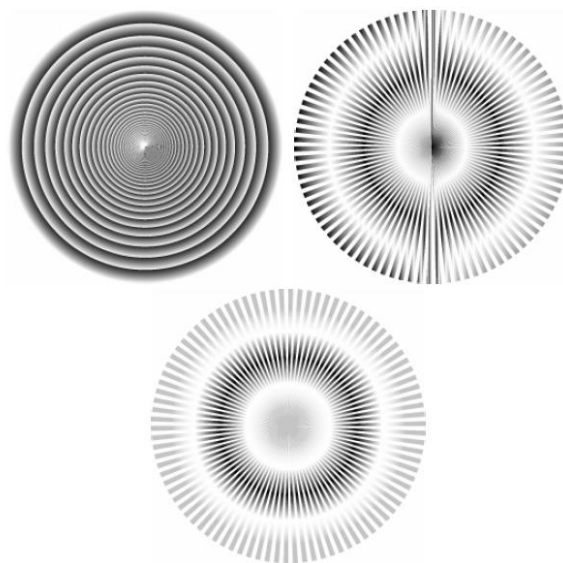


Рисунок 3.2 – Тестові зображення 3, 4 та 5 для оцінки систематичного субпіксельного зсуву в різних напрямках у різних частинах зображень та оцінки наближення неконтрастних деталей

Відповідні векторні зображення були отримані в таких роздільних здатності: 256x256, 512x512, 800x800, 1024x1024.

Крім 5 векторних зображень було також використано фотографію високої якості (1024x1024) (рис. 3.3) та тестове зображення для кольорового струминного

принтера Canon Pixma G540 (Test\_profile\_for\_Canon\_G540) завантажено з офіційного сайту: <https://www.canon.ua/printers/pixma-g540/> (рис. 3.4).



Рисунок 3.3 – Вихідне зображення

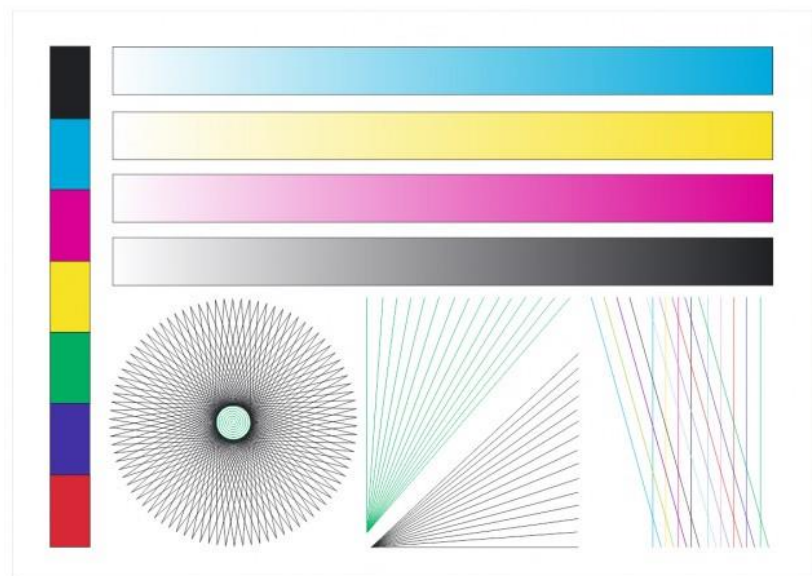


Рисунок 3.4 – Тестове зображення для оцінки збереження дрібних деталей та діагональних кордонів у реальних зображеннях

Відповідні векторні зображення масштабувалися вгору та вниз у кратну та нерозову кількість разів між отриманими раніше дозволами. Для

оцінки якості масштабування використовувалась метрика PSNR. Тобто класична PSNR, що застосовується до яскравості зображення:

Оцінка якості масштабування фотографій проводилася за іншою методикою. Вони масштабувалися вниз, а потім відновлювалися вгору і далі вимірювалася PSNR між вихідним зображенням, що вийшло.

### 3.2 Методика проведення досліджень

Виконання роботи містить два основні етапи: підготовчий та дослідницький. Перший етап включає обробку літератури з досліджуваної проблеми, збір теоретичних і практичних матеріалів дослідження. Результатом виконання цього етапу є отримання цифрового повнокольорового зображення, отриманого за допомогою фотокамери смартфона Samsung A30s. Це зображення оброблятиметься різними технологіями апсемплінгу з використанням різних графічних редакторів.

Графічні редактори виконують апсемплінг зображення за допомогою методів інтерполяції, присвоюючи новим пікселам значення кольору, отримані з урахуванням значень кольору існуючих пікселів. У роботі розглядалися такі технології апсемплінгу .

Найближчий сусід – швидкий, але менш точний метод, який відтворює пікселі зображення. Цей метод використовується в ілюстраціях, що містять не згладжені краї, щоб зберегти чіткі межі та створити файл меншого розміру.

Білінійний – метод, що додає пікселі шляхом усереднення значень кольору навколишніх пікселів.

Бікубічний - повільніший, але точніший метод, заснований на перевірці значень навколишніх пікселів. За рахунок використання більш складних обчислень бікубічна інтерполяція дає більш плавні переходи кольорів, ніж інтерполяція по сусідніх пікселів або білінійна інтерполяція.

Бікубічне згладжування - метод збільшення зображень, заснований на бікубічній інтерполяції, але призначений для більш згладжених результатів.

Другий етап включає проведення вимірювань параметрів якості зображень, описаних у пункті 3.1, таких як ширина ліній набору для прямих і виворітних ліній, ширина зони розмиття кордонів «плашка-напівтон», оцінка присутності артефактів на межах деталей, контрасту фотографії, на основі яких можна зробити висновки щодо відповідності вимірюваних параметрів для шкали на етапах відновлення зображень.

Далі, на основі отриманих даних, буде проводитись порівняння різних способів апсемплінгу та визначення величини позитивного або негативного впливу адаптивної обробки на якість відтворення контурів та деталей растрової графіки. Цифрові дані будуть оброблятися за допомогою системи комп'ютерної алгебри Mathcad Prime 7.0.0.

Метрика PSNR є піковим відношенням сигналу до шуму (англ. peak signal-to-noise ratio) і є інженерним терміном, що означає співвідношення між максимумом можливого значення сигналу і потужністю шуму, що спотворює значення сигналу. Оскільки багато сигналів мають широкий динамічний діапазон, PSNR зазвичай вимірюється в логарифмічній шкалі децибел. PSNR найчастіше використовується для вимірювання рівня спотворень під час стиснення зображень. Найпростіше визначити через середньоквадратичне відхилення (MSE), яке для двох монохромних зображень I і K розміру  $m \times n$ , одне з яких вважається зашумленим наближенням іншого, обчислюється так:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2. \quad (3.1)$$

PSNR визначається так:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right), \quad (3.2)$$

де  $MAX_I$  – це максимальне значення, яке приймається пікселем зображення. Коли пікселі мають розрядність 8 біт,  $MAX_I = 255$ .

Для кольорових зображень із трьома компонентами RGB на піксель застосовується таке ж визначення PSNR, але MSE вважається за всіма трьома компонентами (і ділиться на потрійний розмір зображення). Дана метрика, по суті, аналогічна середньоквадратичному відхиленню, проте користуватися нею зручніше за рахунок логарифмічного масштабу шкали. Їй притаманні ті самі недоліки, що й середньоквадратичне відхилення. Слід зазначити, що «хороший» PSNR не завжди гарантує хорошу якість зображення, через те, що зорова система людини має нелінійну поведінку.

Чим більше схожість між образами, тим менша величина MSE, отже, більше PSNR. Число PSNR безрозмірне, оскільки одиницями вимірювання і чисельника, і знаменника є величини пікселів. Проте через використання логарифмів говориться, що число PSNR вимірюється в децибелах.

Використання логарифмів згладжує MSE, робить цю величину менш чутливою. Наприклад, розподіл MSE на 10 означає множення PSNR на 2. Зазначимо, що PSNR немає абсолютного значення. Безглуздо говорити, що й PSNR дорівнює, скажімо, 25, це добре. Величини PSNR використовуються лише для порівняння продуктивності різних методів стиснення та вивчення впливу різних параметрів на продуктивність того чи іншого алгоритму. Наприклад, комітет MPEG використовує суб'єктивний поріг  $PSNR=0.5$  дБ при включенні кодової оптимізації, оскільки вважає, що поліпшення цієї величини буде помітно оку. Зазвичай величина PSNR варіюється в межах від 20 до 40.

Методика проведення експериментів ось у чому.

1. Тестове зображення та тестові шкали стискаються на 400%.
2. Стислі зображення та шкали відновлюються різними методами у графічних редакторах Adobe Photoshop та GIMP з кроком 20% до вихідного стану.

3. Роздрукуємо відновлені файли на кольоровому струминному принтері Canon Pixma G540.

4. Проводимо вимірювання параметрів тестових шкал, описаних у пункті 3.1, таких як ширина ліній набору 1 для прямих і виворітних ліній, ширина зони розмиття кордонів «плашка-напівтон» наборів 2 і 3, оцінка присутності артефактів на межах деталей, контрасту фотографії, основі яких можна зробити висновки про відповідність вимірних параметрів для шкали на етапах масштабування та друкування тестових відбитків.

5. На основі отриманих даних проводимо порівняння різних способів апсемплінгу та визначення величини позитивного або негативного впливу адаптивної обробки на якість відтворення контурів та деталей растрової графіки. Цифрові дані оброблялися з використанням математичного редактора Mathcad Prime 7.0.0.0.

### 3.3 Результати експериментальних досліджень

#### 3.3.1 Збільшення зображень за допомогою Adobe Photoshop

Adobe Photoshop є найпопулярнішою графічною програмою, яка використовується для збільшення зображень. Якщо будь-яке зображення почати збільшувати, то воно стане «пікселованим», це означає, що в ньому буде багато квадратів. Це тому, що при збільшенні розміру зображення єдине, що комп'ютер може зробити, це збільшити кількість пікселів. Така роздільна здатність не підходить для друку.

Щоб вирішити цю проблему, Adobe розробив кілька алгоритмів інтерполяції зображень, які перетворюють квадратні пікселі та забезпечують плавний перехід як для зменшення, так і для збільшення розміру зображення. Додаткові пікселі створюються шляхом аналізу сусідніх пікселів та вибору середнього кольору для плавного переходу, що призводить до розмиття деталей.

Збільшення зображення розтягуванням його вільним трансформуванням лише погіршить становище.

Відкриваємо зображення у Photoshop. Будемо його поступово збільшувати у кілька заходів. Варто відразу зазначити, що збільшити фото та підняти якість можна, але з обмеженням у розмірі.

Збільшуватимемо зображення до 400%, з кроком 20%. Для цього у списку, що випадає, навпроти «Ширини» міняємо пікселі на відсотки (Pixel / Percent), а чисельне значення зі 100% на 120% і натискаємо Ok . Потім знову викликаємо вікно розміру зображення і збільшуємо на 20% (рис. 3.5).

Ми збільшили розмір зображення з 510x680 пікселів до 3000x4000 пікселів (дод. А). Подібні перетворення для графічних редакторів GIMP та Image Enlarger представлені у додатку (дод. Б, дод. В).

З дод. А видно, як із збільшенням розміру зображення погіршується його якість. Помітне для ока погіршення якості зображення починається зі збільшенням понад 260% (рис. 3.6).

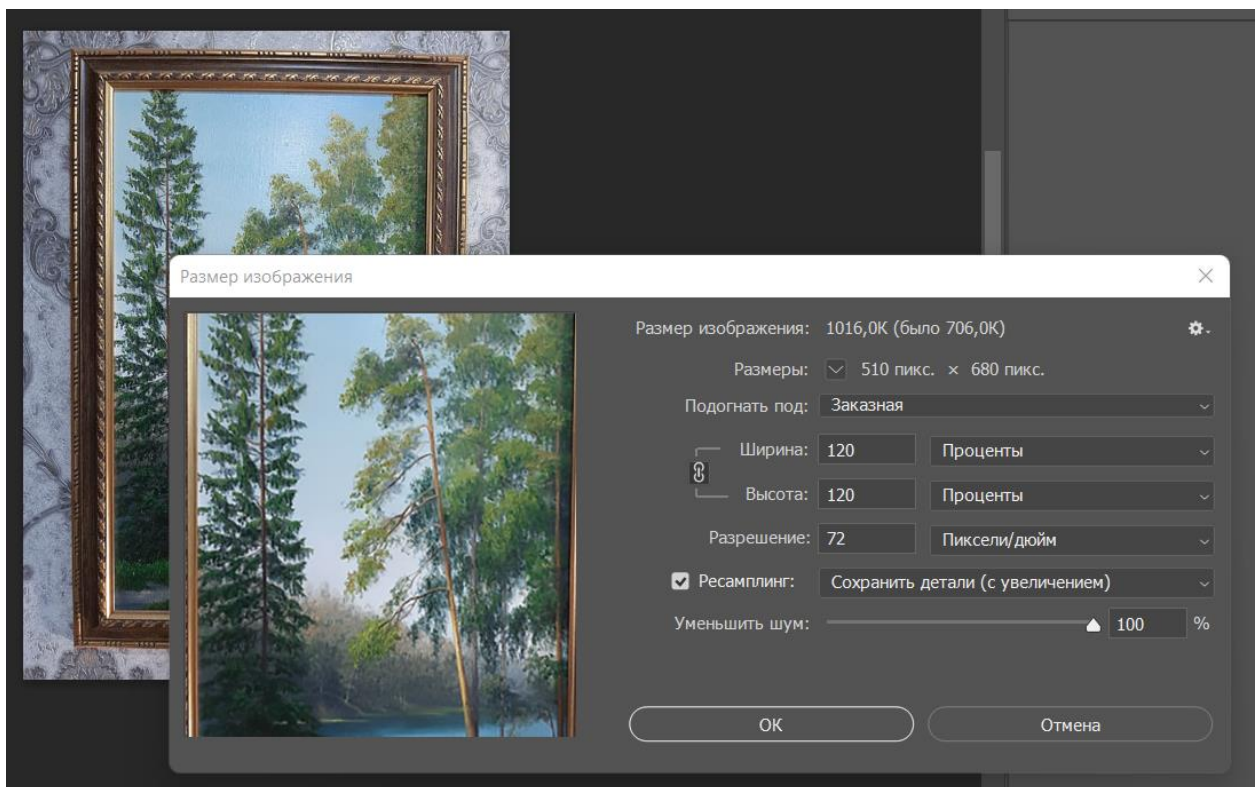


Рисунок 3.5 – Налаштування параметрів апсемплінгу в Adobe Photoshop



Вихідне зображення

Збільшення 260%

Збільшення 400%

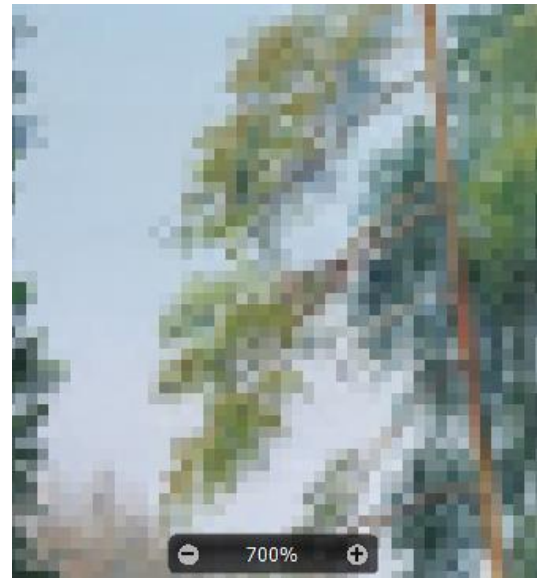
Рисунок 3.6 – Порівняння якості зображень при різному збільшенні

Adobe Photoshop дозволяє проводити перетворення графічних об'єктів за допомогою кількох режимів:

- без ресамплінгу;
- з ресамплінгом режим – Автоматично;
- з ресамплінгом режим - Зберегти деталі (зі збільшенням);
- з ресамплінгом режим – збереження деталей 2.0;
- з ресамплінгом режим – Бікубічна (зі збільшенням);
- з ресамплінгом режим – Бікубічна із зменшенням;
- з ресамплінгом режим – Бікубічна (плавні градієнти);
- з ресамплінгом режим - По сусідніх пікселів (чіткі краї);
- з ресамплінгом режим – Білінійна.

Розглянемо, як змінюється зображенням із застосуванням цих режимів (дод. Г). Оскільки ресамплінг це спосіб зміни даних зображення, у якому, у разі зміни розміру змінюється і кількість пікселів, перший режим (без ресамплінга) немає сенсу розглядати. Для всіх режимів збільшуватимемо зображення до 260%.

Найкращу контрастність забезпечує ресамплінг у режимі «По сусідніх пікселів». Найгірший варіант білінійний ресамплінг (рис. 3.7)



Ресамплінг у режимі «По сусіднім пікселям (чіткі краї)»

Ресамплінг у режимі «Білінійний»

Рисунок 3.7 – Порівняння режимів ресамплінгу

### 3.3.2 Налаштування параметрів друку на струменевому принтері Canon

Налаштування Photoshop 2022 - ColorSettings у Photoshop 2022. У Photoshop відкриваємо панель "Налаштування кольорів". Виставляємо необхідні параметри в розділах (рис. 3.8): у розділі "Working Spaces" ("Робочі простори") виставляємо "RGB: sRGB IEC61966-2.1"; у розділі "Working Spaces" ("Робочі простори") поля "CMYK", "Gray", "Spot" зараз особливої ролі не відіграють.

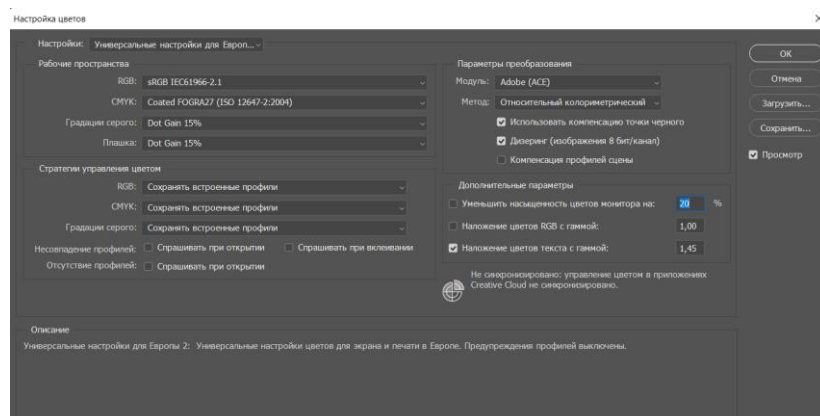


Рисунок 3.8 – Налаштування робочого простору в Adobe Photoshop

Налаштування меню Print (Друк) програми Photoshop CS5. У позиції "Принтер" зазначаємо модель принтера (рис. 3.9). Встановлюємо "Document (Profile: Untagged RGB)". У позиції "Color Handling:" ("Керування кольором") вказуємо "Printer Manages Colors ("Кольором управляє принтер").

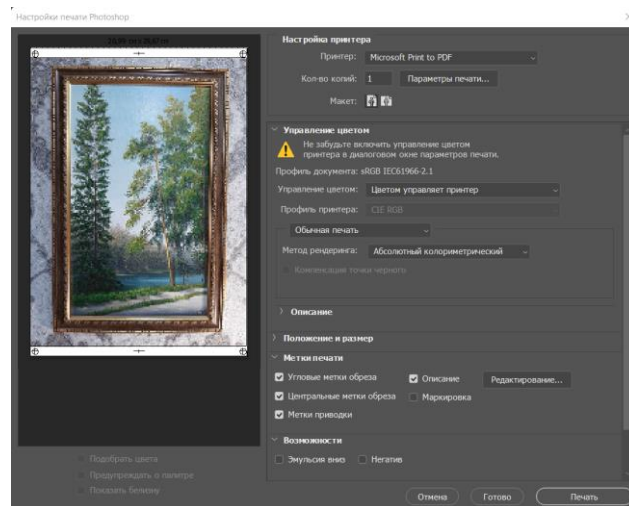


Рисунок 3.9 – Налаштування параметрів друку.

Налаштування принтера Canon. Виробник принтерів Canon оптимізував налаштування меню принтера виключно для оригінальних витратних матеріалів Canon (чорнила та паперу).

Отже, якщо використовуються оригінальні витратні матеріали Canon (чорнило та папір), у цьому випадку налаштування підбираються з урахуванням типу паперу.

Media Type підбираються з урахуванням типу паперу. Для чорнил Canon та паперу Canon Photo Paper Plus Glossy II встановлюємо налаштування, як у рис. 3.10.

У меню "Quick Setu" ("Швидка установка") - "Commonly Used Settings" ("Загальні параметри") натискаємо кнопку "Save" ("Зберегти") і зберігаємо налаштування. Цей пресет (збережені налаштування) знадобиться в подальшому як для друку листів тестової шкали, так і для друку фотографій.

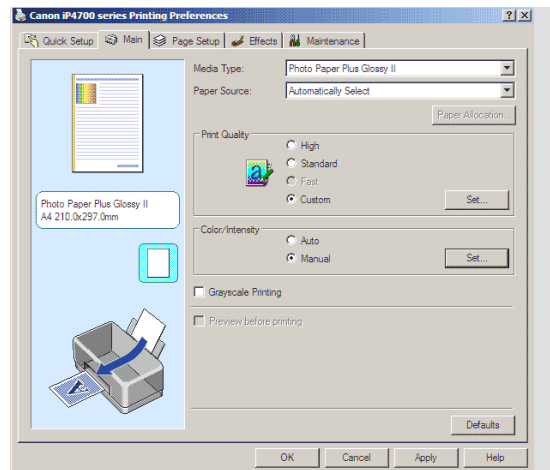


Рисунок 3.10 – Основні параметри драйвера принтера

Тепер можна розпочинати друк тестових шкал для профілювання принтера. Усі сторінки тестової шкали друкуємо з однаковими параметрами. Для цього використовуються налаштування фотошопу та певні оптимальні налаштування драйвера принтера (збережений пресет).

### 3.3.3 Аналіз ефективності апсемплінгу для кольорових зображень

Більшість методів апсемплінгу розроблено і протестовано для зображень у градаціях сірого або компоненти Y (інтенсивності) кольорових зображень стосовно JPEG або JPEG-подібних (працюючих у блоках 8x8 пікселів) методів стиснення з втратами.

У таблиці 3.1 наведено значення метрики PSNR для JPEG. Видно, що найкращі результати забезпечує метод «По сусіднім пікселям (чіткі краї)», підвищуючи PSNR зображення на 0,4.. 1 дБ. При цьому методи Adobe Photoshop забезпечує порівнянні з GIMP результати придушення блочного ефекту (якість зображень нижче всього на 0,05... 0,2 дБ), в той же час, будучи швидшим (приблизно в 10 разів).

У таблиці 3.2 наведено значення метрики PSNR обробки JPEG-зображень графічним редактором GIMP.

Таблиця 3.1 – Апсемплінг кольорових JPEG зображень в Adobe Photoshop , PSNR, дБ

Режим ресамплінгу	Ступінь збільшення вихідного зображення, %														
	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
Автоматично	82,6	67,9	69,4	69,1	60	54,1	56,4	50,9	40,6	47,5	36,6	40,9	38,4	35,1	32
Зберегти деталі (зі збільшенням)	70,6	71,9	65,4	61,1	50	56,1	52,4	38,9	42,6	39,5	30,6	34,9	34,4	27,1	24
Збереження деталей 2.0	87,6	85,9	82,4	77,1	73	66,1	67,4	63,9	57,6	52,5	52,6	51,9	48,4	46,1	41
Бікубічна (зі збільшенням)	70,6	82,9	75,4	52,1	67	48,1	49,4	45,9	50,6	36,5	36,6	31,9	40,4	42,1	19
Бікубічна із зменшенням	74,6	68,9	64,4	59,1	58	47,1	49,4	48,9	42,6	32,5	31,6	30,9	31,4	29,1	21
Бікубічна (плавні градієнти)	77,6	67,9	65,4	68,1	65	53,1	53,4	44,9	49,6	42,5	43,6	38,9	30,4	31,1	29
По сусіднім пікселям (чіткі краї)	62,6	57,9	49,4	46,1	43	40,1	36,4	32,9	26,6	22,5	21,6	17,9	14,4	13,1	14
Білінійна	82,6	67,9	69,4	69,1	60	54,1	56,4	50,9	40,6	47,5	36,6	40,9	38,4	35,1	32

Таблиця 3.2 – Апсемплінг кольорових JPEG зображень у GIMP, PSNR, дБ

Режим ресамплінгу	Ступінь збільшення вихідного зображення, %														
	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
Лінійна	113,1	106,4	99,9	94,6	92,5	86,6	79,9	78,4	71,1	67	61,1	58,4	58,9	51,6	51,5
Кубічна	106,1	103,4	93,9	85,6	85,5	74,6	77,9	72,4	67,1	62	60,1	53,4	51,9	41,6	43,5
Без гало	85,1	78,4	73,9	67,6	62,5	57,6	53,9	49,4	44,1	40	37,1	32,4	28,9	26,6	22,5
Мало гало	116,1	108,4	103,9	105,6	99,5	93,6	82,9	86,4	74,1	74	68,1	63,4	67,9	64,6	58,5

Видно, що спостерігаються ті ж тенденції, що й для Adobe Photoshop, однак виграш від апсемплінгу для кольорових зображень виявляється нижче (0,3...1 дБ).

На рис. 3.11 та 3.12 представлені інтегральні графіки, які дозволяють порівняти ефективність апсемплінгу кольорових зображень для методів Adobe Photoshop та GIMP за допомогою метрики PSNR. Видно, що згідно з метрикою PSNR метод Adobe Photoshop забезпечує кращу візуальну якість при масштабуванні, ніж GIMP.

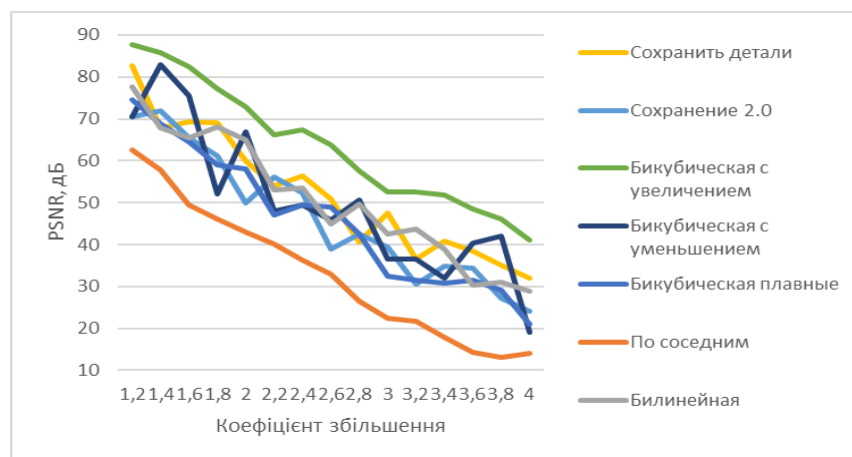


Рисунок 3.11 – Залежність PSNR від  $b_{pp}$  для аналізованих методів Adobe Photoshop

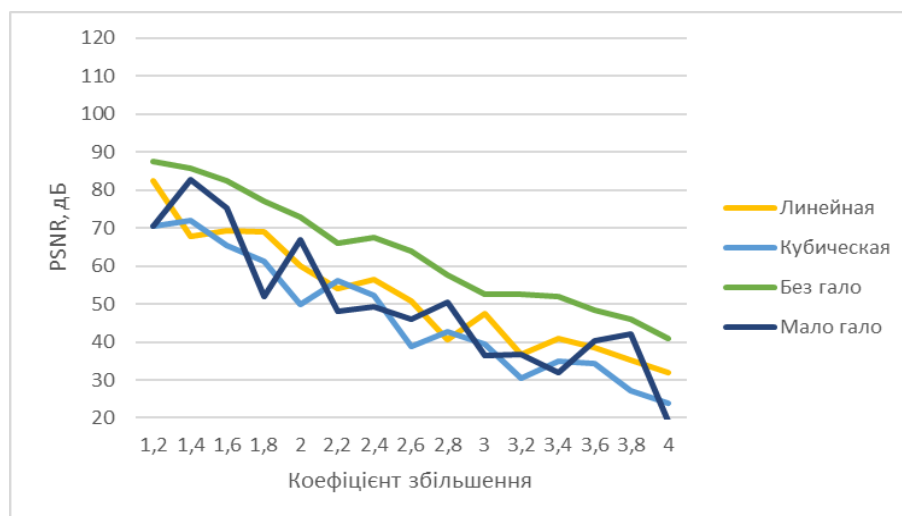


Рисунок 3.12 – Залежність PSNR від  $b_{pp}$  для аналізованих методів у GIMP

За допомогою USB-мікроскопа зроблено мікрозйомку тестових шкал на відбитках. У таблиці 3.3 – 3.4 включені результати вимірювання параметрів ліній тестової шкали 1 за допомогою інструменту Measure Tool програми Adobe Photoshop.

Параметри ліній вимірювалися за допомогою інструменту Measure Tool у програмі Adobe Photoshop у такій послідовності: спочатку ширина суцільної лінії, тобто без урахування зони розмиття (ЗР), потім вимірювалася загальна ширина розмитої лінії, на основі цих даних розраховувалася ширина зони розмиття.

Порівнюючи результати таблиць 3.3 та 3.4 (для Adobe Photoshop і GIMP), робимо висновок про те, що при друку зруйновані межі ліній дещо згладжуються в порівнянні з файлом, що виводиться. При цьому розжим має подвійну дію: з одного боку, воно збільшує ширину ліній (особливо в напрямку друку), а з іншого – затікання фарби згладжує нерівності на межах ліній.

Для проведених вимірювань ( $n = 5$ ) розраховано випадкову похибку за формулою, яка використовується у кваліметрії:

$$\Delta X = \sqrt{S_x a_s + (A)^2}, \quad S_x = \sqrt{\frac{\sum_i (\bar{X} - X_i)^2}{n(n-1)}}, \quad (3.3)$$

де  $S_x$  – середньоквадратичне відхилення;

$a_s$  – коефіцієнт Стюдента (рівний 2,8 для коефіцієнта надійності  $\alpha = 0,95$  та 5 вимірів однієї величини);

$A$  – абсолютна похибка вимірювального приладу (для цифрових приладів дорівнює одиниці мінімального розряду –  $A = 0,01$ ).

Відносна похибка вимірювань за шкалами 1, 2 та 3 тестової сторінки склала 0,49% при коефіцієнті надійності 95%.

Таблиця 3.3 – Параметри прямих ліній відбитка тестової сторінки для Adobe Photoshop

Метод	Параметр	Ширина лінії , мкм						
		100	125	150	175	200	225	250
Автоматично	Плашка	0,000	117,109	114,068	174,904	117,109	117,109	120,151
	Разом з ЗР	225,093	235,740	342,203	215,968	333,077	333,077	336,119
	Ширина ЗР	225,093	118,630	228,135	41,064	215,968	215,968	215,968
Зберегти деталі (зі збільшенням)	Плашка	0,000	89,733	133,839	115,588	155,132	147,527	138,402
	Разом з ЗР	281,367	307,222	328,514	371,100	410,643	431,936	377,183
	Ширина ЗР	281,367	217,489	194,675	255,511	255,511	284,408	238,781
Збереження деталей 2.0	Плашка	0,000	0,000	133,839	149,048	153,611	188,592	206,842
	Разом з ЗР	261,595	333,077	330,035	387,830	427,373	416,727	375,662
	Ширина ЗР	261,595	333,077	196,196	238,781	273,762	228,135	168,820
Бікубічна (зі збільшенням)	Плашка	0,000	65,399	86,691	123,193	120,151	155,132	144,486
	Разом з ЗР	295,055	339,161	342,203	380,225	386,309	415,206	413,685
	Ширина ЗР	295,055	273,762	255,511	257,032	266,158	260,074	269,199
Бікубічна (зі зменшенням)	Плашка	0,000	80,608	91,254	126,235	142,965	153,611	168,820
	Разом з ЗР	275,283	288,971	366,537	365,016	326,994	415,206	425,852
	Ширина ЗР	275,283	208,363	275,283	238,781	184,029	261,595	257,032
Бікубічна (плавні градієнти)	Плашка	48,669	101,900	123,193	141,444	190,113	165,778	252,469
	Разом з ЗР	243,344	288,971	295,055	311,785	319,389	425,852	358,932
	Ширина ЗР	194,675	187,071	171,862	170,341	129,277	260,074	106,463
По сусіднім пікселям (чіткі краї)	Плашка	0,000	0,000	136,881	150,569	142,965	200,759	165,778
	Разом з ЗР	244,865	287,450	296,576	342,203	371,100	430,415	430,415
	Ширина ЗР	244,865	287,450	159,695	191,633	228,135	229,656	264,637
Білінійна	Плашка	0,000	74,524	85,170	88,212	101,900	115,588	139,923
	Разом з ЗР	305,701	307,222	339,161	346,765	393,913	409,122	430,415
	Ширина ЗР	305,701	232,698	253,990	258,553	292,013	293,534	290,492

Таблиця 3.4 – Параметри прямих ліній відбитка тестової сторінки для GIMP

Метод	Параметр	Ширина лінії, мкм					
		275	300	325	350	375	400
Лінійна	Плашка	117,109	220,531	235,740	311,785	323,952	319,389
	Разом з ЗР	330,035	448,666	406,080	424,331	448,666	533,836
	Ширина ЗР	212,926	228,135	170,341	112,547	124,714	214,447
Кубічна	Плашка	209,884	212,926	219,010	266,158	319,389	333,077
	Разом з ЗР	431,936	439,540	492,772	530,794	562,733	552,087
	Ширина ЗР	222,051	226,614	273,762	264,637	243,344	219,010
Без гало	Плашка	241,823	250,949	214,447	231,177	261,595	305,701
	Разом з ЗР	471,479	431,936	491,251	506,460	533,836	549,045
	Ширина ЗР	229,656	180,987	276,804	275,283	272,241	243,344
Кубічна	Плашка	176,424	184,029	214,447	247,907	317,868	342,203
	Разом з ЗР	444,103	454,749	480,604	546,003	556,649	585,547
	Ширина ЗР	267,678	270,720	266,158	298,096	238,781	243,344

За даними табл. 3.3-3.4 можна зробити висновок про те, що негативні наслідки руйнування контурів растрового зображення, що виникає при масштабуванні вихідного файлу, дещо зменшуються під час друку відбитків, при цьому зона розмиття близько 100 мкм шириною на прямих лініях адаптивно обробленого тесту зникають під час друку заливкою фарбою.

За даними таблиць побудовані графіки, що відображають залежність величини зони розмиття ліній від методу масштабування, етапу поліграфічного процесу, лініатури растру та кута нахилу лінії щодо растрової решітки (рис. 3.13-3.14).

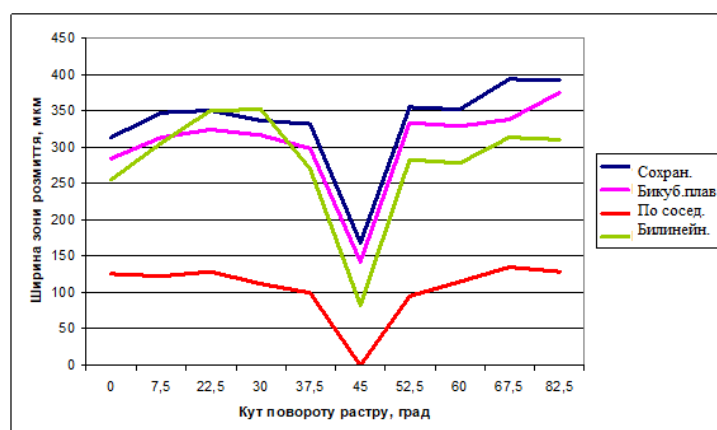


Рисунок 3.13 – Графік залежності середнього значення ширини зони розмиття від кута повороту растрової решітки для різних способів масштабування в Adobe Photoshop

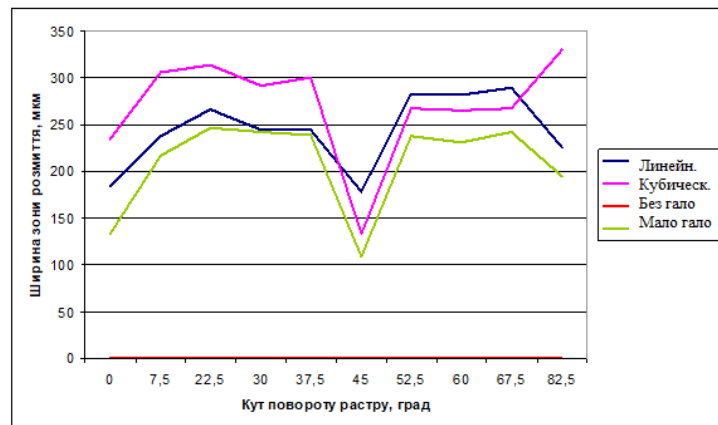


Рисунок 3.14 – Графік залежності середнього значення ширини зони розмиття від кута повороту растрової решітки для різних способів масштабування в GIMP

3.4 Аналіз результатів досліджень: проведення порівняльного аналізу методів апсемплінгу за критерієм розмаїття зображення

Оскільки контраст зображення є суб'єктивним критерієм, тобто неможливо застосувати інструментальні методи визначення ступеня якості відтворення зображення кожним з розглянутих методів масштабування проводилося за допомогою методу експертних оцінок.

Для проведення оцінки контрасту та загального враження від якості відтворення вихідного зображення з високим ступенем деталізації різними методами створено комісію із 5 експертів, результати оцінки в межах кожної лініатури растру занесені до таблиці 3.5.

Вага кожної з аналізованих альтернатив визначається:

$$a_j = \frac{\sum_{l=1}^r P_{jl}}{\sum_{l=1}^r \sum_{j=1}^n P_{jl}}, \quad (3.4)$$

де  $r$  – кількість експертів;

$n$  – кількість показників;

$P_{lj}$  - Оцінка  $j$ - го показника  $n$ -м експертом.

Нормовані коефіцієнти вагомості за умови забезпечення умови

$$\sum_{i=1}^n a_i^n = 1, a_i^n > 0 \quad (3.5)$$

розраховуються за формулою:

$$a_i^n = \frac{\bar{a}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{a}_i}. \quad (3.6)$$

Результати розрахунків за (3.4) та (3.6) ваги кожного методу растрування в межах кожного методу зведені до таблиці 3.5.

Узгодженість думок експертів за окремими показниками визначається за допомогою коефіцієнта варіації:

$$K_v = \sigma_i / \bar{a}_i, \quad (3.7)$$

де  $\sigma_i = \sqrt{\frac{S}{n}}$  – середньоквадратичне відхилення коефіцієнта вагомості  $i$ - го показника якості;

$\bar{a}_i$  – середнє значення коефіцієнта вагомості  $i$ -го показника якості.

Для проведеного опитування коефіцієнт варіації становив середньому 0,24, тобто узгодженість думок експертів середня. Це пояснюється суб'єктивністю оцінки і тим, що досліджувані варіанти тесту деяких випадках мають лише незначні відмінності.

Таблиця 3.5 – Експертні судження щодо ранжирування методів растрування за критерієм розмаїття зображення

Метод растрування	Експертні оцінки					Сума рангів	Коефіцієнт вагомості
Adobe Photoshop							
Експерти	1	2	3	4	5		
Збереження деталей 2.0	3	4	4	4	4	19	0,20
Бікубічна (плавні градієнти)	1	1	1	1	3	7	0,19
По сусіднім пікселям (чіткі краї)	2	2	3	2	1	10	0,38
Білінійна	4	3	2	3	2	14	0,14
GIMP							
Експерти	1	2	3	4	5		
Лінійна	4	4	4	3	4	19	0,38
Кубічна	1	1	1	1	1	5	0,10
Без гало	2	3	2	2	3	12	0,24
Мало гало	3	2	3	4	2	14	0,28

За результатами ранжирування за локальним критерієм «контраст зображення» досліджувані методи утворюють таку ієрархію (у межах кожної лініатури з невеликою різницею вагових коефіцієнтів):

- по сусіднім пікселям (чіткі краї);
- збереження деталей 2.0;
- бікубічна (плавні градієнти);
- білінійна.

Таким чином, з проведеного аналізу тестового зображення можна зробити висновок, що методи графічного редактора GIMP дещо поступаються методам апсемплінгу графічного редактора Adobe Photoshop щодо контрасту зображення, що відтворюється.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Характеристика науково-дослідного рішення

Метою даного розділу є економічне обґрунтування витрат на проведення науково-дослідної роботи (НДР), в межах якої передбачається дослідження методів апсемплінгу кольорових зображень для наступного їх якісного репродукування. Під час такого обґрунтування буде здійснено: розрахунок трудовитрат та заробітної плати працівникам, розрахунок одноразових витрат і прибутку, оцінку результатів НДР.

Реалізація НДР передбачає такі етапи:

- аналіз предметної області;
- визначення алгоритму реалізації проекту;
- дослідження основних методів апсемплінгу кольорових зображень ;
- вибір методів для проведення експерименту;
- складання методики оптимізації зображень для наступного їх репродукування;
- доведення дійсності роботи методики.

### 4.2 Етапи виконання НДР, їх трудомісткість та заробітна плата

Під час виконання науково-дослідної роботи був проведений огляд існуючих теоретичних підходів у даній галузі, досліджено основні методи та алгоритми апсемплінгу кольорових зображень, а також за обраними методами створено методику апсемплінгу кольорових зображень для наступного їх якісного репродукування.

Умовно НДР можна розділити на три етапи: підготовчий, основний і заключний.

На стадії виконання підготовчого етапу були виконані підбір і аналіз інформації для проведення відповідних до постановки завдання робіт. Проведено пошук інформації в Internet та у фаховій літературі.

На етапі виконання основної частини НДР були здійснено такі роботи:

- розгляд методів апсемплінгу кольорових зображень;
- аналіз розглянутих методів та відбір за певними критеріями;
- створення методики для різних типів кольорових зображень;
- оптимізація зображень для обраного методу апсемплінгу;
- доведення роботи запропонованої методики в онлайн-емуляторі.

У заключній частині проводяться: аналіз результатів виконання НДР, складання звіту з НДР, захист звіту.

Найбільш складною та відповідальною частиною при плануванні НДР є розрахунок трудомісткості робіт, тому що трудові витрати часто становлять основну частину вартості науково-дослідних робіт і безпосередньо впливають на строки розробки.

Дану роботу виконували 3 фахівця: графічний дизайнер, спеціаліст по **pre-press**, друкар. Середня заробітна плата графічного дизайнера за версією сайту dou.ua становить 20 000 грн, спеціаліста по **pre-press** – 15 000 грн, друкаря – 25 000 грн.

Проведемо розрахунок трудовитрат і заробітної плати виконавця робіт.

Середньоденна заробітна плата виконавця робіт ( $Z_{ср.дн.}$ ) розраховується за формулою:

$$Z_{ср.дн.} = \frac{Z_{ср.міс.}}{n}, \quad (4.1)$$

де  $Z_{ср.міс.}$  – середньомісячна зарплата виконавця роботи;

$n$  – число робочих днів у місяці, ( $n=22$ ).

Середньоденна заробітна плата графічного дизайнера складає:

$$z_{\text{ср.дн.}} = \frac{20000}{22} = 909,09 \text{ (грн).}$$

Середньоденна заробітна плата спеціаліста по pre-press складає:

$$z_{\text{ср.дн.}} = \frac{15000}{22} = 681,81 \text{ (грн).}$$

Середньоденна заробітна плата друкаря складає:

$$z_{\text{ср.дн.}} = \frac{25000}{22} = 1136,36 \text{ (грн).}$$

Етапи виконання НДР, перелік і зміст робіт, трудомісткість їх виконання, заробітна плата виконавців робіт представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок трудовитрат і заробітної плати виконавців робіт

Перелік робіт	Кількість виконавців	Посада виконавця	Трудомісткість робіт, люд.-днів	Середньоденна заробітна плата, грн.	Сума заробітної плати, грн.
1	2	3	4	5	6
1. Підготовчий етап					
1.1. Розробка та затвердження ТЗ	1	Графічний дизайнер	2	909,09	1818,18
1.2 Підготовка довідкових матеріалів та даних для виконання НДР	1	Графічний дизайнер	2	909,09	1818,18
2. Основний етап					
2.1 Постановка задачі	1	спеціаліст по pre-press	1	681,81	681,81
2.2 Розгляд сучасних методів оптимізації зображень	1	спеціаліст по pre-press	5	681,81	3409,05
2.3 Аналіз розглянутих методів та відбір за критеріями	1	спеціаліст по pre-press	5	681,81	3409,05

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
2.4. Створення методики оптимізації	1	спеціаліст по pre-press	2	681,81	1363,62
3 Тестування					
3.1 Відбір тестових зображень	1	Графічний дизайнер	1	909,09	909,09
3.2 Оптимізація за методикою	2	спеціаліст по pre-press	1	681,81	1818,17
3.3 Підтвердження результату	1	друкар	1	1136,36	1136,36
4. Заключний етап					
4.1 Аналіз результатів проведення роботи	1	друкар	2	681,81	1363,62
4.2 Формування висновків та пропозицій за темою дослідження	1	Графічний дизайнер	1	909,09	909,09
4.3 Технічне оформлення звіту виконання НДР	1	Графічний дизайнер	2	909,09	1818,18
Усього			25		20454,4

#### 4.3 Розрахунок одноразових витрат на розробку НДР

Калькуляція собівартості розраховується відповідно до існуючих нормативних актів України. До складу калькуляції входять такі статті витрат:

- матеріальні витрати;
- витрати на оплату праці;
- єдиний соціальний внесок;
- амортизація основних засобів (вартість машинного часу);
- витрати на спожиту електроенергію;
- інші витрати.

До інших витрат відносяться адміністративні витрати (водопостачання, водовідведення, опалення, освітлення) та вартість послуг зв'язку.

Матеріальні витрати визначаються витратами на матеріали, визначені їх потребою для виконання робіт, і цін, що діють на момент складання калькуляції. Для проведення НДР потрібно: 2 шт. механічних олівці та 2 шт.

блокноти. Данні матеріальні витрати потрібні для дизайнера та спеціаліст по pre-press.

Матеріальні витрати розраховуються за такою формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n Q_j \times C_j, \quad (4.2)$$

де  $M$  – сумарні витрати на матеріали, в тому числі малоцінні предмети, що швидко зношуються (носії, папір, канцелярське приладдя тощо), або на літературу, яка необхідна для проведення роботи, тощо;

$Q_j$  – кількість використаних одиниць  $j$ -го виду матеріалів,  $j = (1 \div n)$ ;

$C_j$  – ціна одиниці  $j$ -го виду матеріалів.

Розрахунок матеріальних витрат представлено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок матеріальних витрат

Найменування	Од. вим.	Кількість, ( $Q_j$ )	Ціна ( $C_j$ ), грн	Сумарні витрати на матеріали ( $M$ ), грн
Олівець механічний	шт.	2	1,50	3,00
Блокнот	шт.	2	20,00	40,00
Усього				43,00

Витрати на оплату праці розраховуються виходячи з необхідного для виконання робіт складу й кількості працівників, а також із середньомісячної заробітної плати. Відповідно до проведених розрахунків витрати на оплату праці виконавців роботи дорівнюють 20454,4 грн.

Єдиний внесок на загальнодержавне соціальне страхування (ЄСВ) – консолідований страховий внесок, збір якого здійснюється в систему загальнообов’язкового державного соціального страхування в обов’язковому порядку і на регулярній основі з метою забезпечення захисту у випадках, передбачених законодавством, прав застрахованих осіб і членів їх сімей на отримання страхових виплат (послуг) за діючими видами загальнообов’язкового державного соціального страхування.

Ставка єдиного соціального внеску (ЄСВ) дорівнює 22% від витрат на оплату праці, тобто розмір ЄСВ дорівнює 4499,96 грн.

При виконанні НДР застосовувалось наступне обладнання: комп'ютер 3шт. вартістю 20000 грн.

Вищенаведене устаткування є власністю організації виконавця, тому доцільно розрахувати суму амортизаційних відрахувань на період виконання НДР. Амортизація основних засобів розраховується за формулою:

$$AB = \sum_{k=1}^L \frac{BO_k}{TE_k} \times T, \quad (4.3)$$

де  $AB$  – сума амортизаційних відрахувань, нарахованих під час проведення науково-дослідницької роботи;

$BO_k$  – вартість основних засобів  $k$ -го виду;

$TE_k$  – термін експлуатації основних засобів  $k$ -го виду, днів;

$T$  – термін науково-дослідницької роботи, днів;

$L$  – кількість видів обладнання.

Підставивши відомі значення у формулу (4.3), визначимо величину амортизаційних відрахувань. Отже маємо:

$$AB = \frac{20000 \cdot 16}{545} + \frac{20000 \cdot 8}{545} + \frac{20000 \cdot 1}{545} = 917,41 \text{ (грн.)}$$

Витрати на використану обладнанням електроенергію ( $B_e$ ) розраховуються за формулою:

$$B_e = M \cdot t \cdot T_{кВт}, \quad (4.4)$$

де  $M$  – потужність устаткування, тобто кількість енергії, споживаної за одиницю часу (кВт/година);

$t$  – кількість годин використання устаткування за період проведення науково-дослідницької роботи;

$T_{кВт}$  – тариф, тобто вартість використання 1 кВт електроенергії.

Споживна потужність комп'ютера складає 0,5 кВт за годину. Тариф споживачів за першим класом напруги, тобто 35 кВт та більше), складає 2,4 грн./кВтгодин (без ПДВ). Підставивши значення у формулу (4.4), визначимо величину витрат на спожиту електроенергію:

$$B_e = 0,5 \cdot 128 \cdot 2,4 + 0,5 \cdot 64 \cdot 2,4 + 0,5 \cdot 8 \cdot 2,4 = 240 \text{ грн.}$$

До інших статей витрат відносяться такі:

- адміністративні витрати: (водопостачання, водовідведення, освітлення, опалення), які прийнято у розмірі 20% від витрат на оплату праці;
- вартість оплати послуг зв'язку.

Вартість оплати послуг зв'язку становитиме:

Інтернет – із розрахунку 150 грн. на місяць (безлімітний пакет); всього 150 грн. за 25 днів виконання НДР;

Тестування методики та визначення її ефективності було проведено за допомогою програмного забезпечення Adobe Photoshop. Використання даного ПО обійшлися – 450 грн.

За час виконання НДР витрати на відрядження, інформаційні послуги та маркетингові заходи не мали місця.

Результати розрахунку кошторису витрат, тобто одноразових витрат, на виконання НДР «Дослідження технологій апсемплінгу для репродукування зображень з низькою роздільною здатністю» наведені в табл. 4.3.

Таким чином, кошторис витрат на виконання даної НДР визначає сумарні витрати за статтями п.1÷п.6 та складає 30845,65 грн.

Таблиця 4.3 – Кошторис витрат на розробку НДР

№ з/п	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Заробітна плата	20454,4
2	Єдиний соціальний внесок (22,0 % від п.1)	4499,96
3	Матеріальні витрати	43,00
4	Амортизація основних засобів	917,41
5	Витрати на спожиту електроенергію	240
6	Інші витрати, у тому числі:	
6.1	адміністративні витрати (20 % від п.1)	4090,88
6.2	вартість послуг зв'язку	150,00
6.3	Вартість послуги сайту	450
	Усього витрати на розробку ( <i>Вр</i> )	30845,65

#### 4.4 Оцінка результатів науково-дослідної роботи

Результат – це завершальний наслідок послідовності дій, виражений якісно або кількісно. В загальному випадку оцінка результатів НДР – це визначення ефективності отриманих рішень порівняно з сучасним науково-технічним рівнем.

Відповідно до теми даної роботи можна зробити висновок про те, що результатом впровадження НДР є підвищення роздільної здатності кольорових зображень та зменшення собівартості робіт по **pre-press**.

Результат від впровадження НДР визначається за формулою:

$$\Delta P_j = |X_{бj} - X_{нj}|, \quad (4.5)$$

де  $\Delta P_j$  – покращення  $j$ -ої характеристики досліджуваного процесу за рахунок впровадження результатів НДР ( $j=1, m$ );

$m$  – кількість досліджуваних характеристик;

$X_{бj}$  – базове значення  $j$ -ої характеристики, тобто до впровадження результатів НДР;

$X_{nj}$  – нове значення  $j$ -ої характеристики після впровадження пропонованих рішень.

У якості досліджуваної характеристики обрано час, використаний на додрукарську підготовку зображень. Отримані результати тестування наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Час досягнення мети користувачем

Показник	Редагування зображення у колірному просторі CIE Lab	Використання лінійних і нелінійних фільтрів	Розроблена методика апсемплінгу
Час виконання завдання (год.)	3,43	2,91	2,73

Підставивши відповідні значення до формули (4.5), визначимо результат від впровадження НДР у чисельному вигляді:

$$\Delta P_1 = |3,43 - 2,73| = 0,7 \text{ (год.)}$$

Розроблена методика за результатами тестування дозволила скоротити час досягнення мети користувачем на 0,7 хвилини.

Далі проведено оцінку економічної ефективності отриманого результату виконаної науково-дослідної роботи.

#### 4.5 Визначення економічної ефективності результатів НДР

Для визначення економічної ефективності результатів НДР необхідно порівняти витрати на розробку НДР з отриманими результатами.

Основним показником економічної ефективності науково-дослідної роботи є коефіцієнт «ефект-витрати», який розраховується за формулою:

$$K_{ев} = \frac{\Delta P_j}{B_p}, \quad (4.6)$$

де  $B_p$  – витрати (кошторисна вартість) на виконання НДР, грн;

$K_{ев}$  – коефіцієнт «ефект-витрати», який відбиває, наскільки кожна гривня витрат НДР змінює  $j$ -ту характеристику досліджуваного процесу.

Підставивши раніше визначені значення до (4.6), розрахуємо чисельне значення коефіцієнту «ефект-витрати»:

$$K_{ев} = \frac{0,7}{30845,65} \cdot 100\% = 0,0023 (\%).$$

У результаті проведених досліджень, можна зробити висновок про те, що кожна гривня витрат на розробку НДР забезпечує зниження витрат часу на додрукарську підготовку зображень на 0,0023 %. Дана науково-дослідна робота має позитивний показник економічної ефективності. Роботу у цілому можна вважати ефективною або такою, що має науковий і технічний рівень.

## ВИСНОВКИ

Аналіз впливу алгоритмів перерахунку колірних координат для відновлення зображень показав: калібрування кольору є звичайною процедурою при фотографуванні природних об'єктів, і існує достатньо інструментів, що гарантують точне цифрове зображення або аналогове відтворення (друк на папері, екранні або дисплейні проектори і т. д.). Однак на сьогоднішній день ще залишається проблемою декомпозиція стиснутих зображень через різні труднощі, такі як трудомістке ручне коригування та проблеми з попередньою сегментацією.

В якості візуальних метрик для оцінки якості декомпозиції зображень нашли широке застосування HVS (human visual system, тобто ті які враховують особливості зору людини) метрики: TID2008 та PSNR. Результати аналізу свідчать про те, що в метриках PSNR впроваджено непогані методи апсемплінгу, які практично завжди покращують якість зображень відповідно до заданого критерію роздільної здатності.

Порівняльний аналіз методів апсемплінгу з використанням сучасного програмного забезпечення за критерієм розмаїття зображення показав що розроблені інтегральні графіки дозволяють порівняти ефективність апсемплінгу кольорових зображень для методів Adobe Photoshop та GIMP за допомогою метрики PSNR. Згідно з метрикою PSNR метод Adobe Photoshop забезпечує кращу візуальну якість при масштабуванні, ніж GIMP.

Розроблений алгоритм налаштування цифрового обладнання для якісного репродукування колірних зображень після операції апсемплінгу дозволяє зробити висновок про те, що негативні наслідки руйнування контурів растрового зображення, що виникає при масштабуванні вихідного файлу, дещо зменшуються під час друку відбитків, при цьому зона розмиття близько 100 мкм шириною на прямих лініях адаптивно обробленого тесту зникають під час друку заливкою фарбою.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. A color fusion model based on Markowitz portfolio optimization for optic disc segmentation in retinal images / *Expert Systems with Applications* 13 February 2021 Volume 174 (Cover date: 15 July 2021) Article 114697. José Escorcia-Gutierrez, Jordina Torrents-Barrena, Domenec Puig.
2. An extended variational image decomposition model for color image enhancement / *Neurocomputing* 5 October 2018 Volume 322 (Cover date: 17 December 2018) Pages 216-228. Xixi Jia, Xiangchu Feng, Lei Zhang.
3. Codeplant: Regression-based processing of RGB images for colour models in plant image segmentation / *Computers and Electronics in Agriculture* 3 July 2019 Volume 163 (Cover date: August 2019) Article 104880. Fernando Pérez-Rodríguez, Esteban Gómez-García.
4. Dynamic curve color model for image matting / *Pattern Recognition Letters* 1 May 2012 Volume 33, Issue 7 Pages 920-933. Sunyoung Cho, Hyeran Byun.
5. Example-based color transfer with Gaussian mixture modeling / *Pattern Recognition* 18 April 2022 Volume 129 (Cover date: September 2022) Article 108716. Chunzhi Gu, Xuequan Lu, Chao Zhang.
6. Image color harmony modeling through neighbored co-occurrence colors / *Neurocomputing* 12 August 2016 Volume 201 Pages 82-91. Peng Lu, Xujun Peng, Xiaojie Wang.
7. Measurement and control of colour fidelity in scanned 3D models for heritage conservation / *Journal of Cultural Heritage* 8 July 2022 Volume 56 (Cover date: July–August 2022) Pages 159-166 Ángel M. Felicísimo, María-Eugenia Polo.
8. Measurement of correlated color temperature from RGB images by deep regression model / *Measurement* 4 April 2022 Volume 195 (Cover date: 31 May 2022) Article 111053. Mehmet Cem Catalbas, Matej Bernard Kobav.

9. Modeling color preference using color space metrics / Vision Research 28 July 2017 Volume 151 (Cover date: October 2018) Pages 99-116. Karen B. Schloss, Laurent Lessard, Anya C. Hurlbert.

10. Modeling of a Neuro Fuzzy System to Develop an Efficient Method to Get a Specific Color Paint from the Color Model Cyan, Magenta and Yellow (CMY) under Terms of Open Source / Procedia Computer Science 2015 Volume 61 Pages 486-491. Victor Pulla, Xavier Serrano.

11. On some matching problems under the color-spanning model / Theoretical Computer Science 10 August 2018 Volume 786 (Cover date: 27 September 2019) Pages 26-31. Sergey Bereg, Feifei Ma, Binhai Zhu.

12. RGB Color Model Analysis for a Simple Structured Polydimethylsiloxane Pneumatic Micromixer / SLAS Technology October 2021 Volume 26, Issue 5 Pages 510-518, Xuling Liu, Duanqin Zhang, Songjing Li.

13. Saliency-aware color harmony models for outdoor signboard / Computers & Graphics 28 April 2022 Volume 105 (Cover date: June 2022) Pages 25-35. Yanna Lin, Wei Zeng, Huamin Qu.

14. Towards aesthetics of image: A Bayesian framework for color harmony modeling / Signal Processing: Image Communication November 2015 Volume 39, Part C Pages 487-498. Peng Lu, Xujun Peng, Xiaojie Wang.

15. Underwater image enhancement via integrated RGB and LAB color models / Signal Processing: Image Communication 16 March 2022 Volume 104 (Cover date: May 2022) Article 116684. Lili Dong, Weidong Zhang, Wenhai Xu.

16. Underwater image restoration by color compensation and color-line model / Signal Processing: Image Communication 16 November 2021 Volume 101 (Cover date: February 2022) Article 116569. Xinbin Li, Chengbo Lei, Yankai Feng.

17. Unsupervised quaternion model for blind colour image quality assessment / Signal Processing 7 July 2020 Volume 176 (Cover date: November 2020) Article 107708. Leyuan Wu, Xiaogang Zhang, Yicong Zhou.

18. Александров Д. Сучасні системи управління кольором // MacUp. 2012. № 19.

19. Взаємозв'язок основоположних понять теорії кольору з кольоровідтворенням у сучасних цифрових системах Б.М. Ковальський, В.О. Дудяк, Н.В. Занько, Н.С. Писанчин / Поліграфія і видавнича справа, 2018. № 1(75). С. 19-30.

20. Афанасьєв Д.В., Зоренко Я.В. Систематизація технологій стиснення зображень у систем поліграфічного репродукування / Технологія і техніка друкарства. 2019. № 1(63). С. 45-57.

21. Інформаційна технологія кольороподілу зображення: монографія / Б.М. Ковальський [та ін.]; Укр. акад. друкарства. Львів : Укр. акад. друкарства, 2020. 299 с.

22. Кеннел. Д. Еволюція контролю за якістю // Publish. 2017. № 8. С. 64-72.

23. Семенів М.Р., Лапко В.В., Семенів В.В. Використання колірних просторів ХСМУК та ЕСІСМУК для підготовки до друку зображень / Поліграфія і видавнича справа. 2021. № 2(82). С. 52-61.

24. Міловський А. У гармонії з CMS // Publish. 2014. № 7. С. 83-91.

25. Петрова К.К., Зелений О.П., Дейнеко Ж.В. Передумови врахування колірного простору при виборі технології для обробки зображень // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф., 17-21 травня 2022 р. Харків: ХНУРЕ, 2022. Т. 1. С. 74-75.

26. Дубневич М.М., Голубник Т.С., Занько Н.В. Порівняння ефективності засобів балансу кольорів з програмного забезпечення фотокамери та гав-конвертера // Поліграфія і видавнича справа. 2020. № 2(80). С. 47-60.

27. Самарін Ю.М., Синяк М.А. Керування кольором // Поліграфіст та Видавець. 2003. № 1. С. 49-58.

28. Свеснікова О. Управління кольором - pro та contra // Комп'юпрінт. 2013. № 5. С. 52-60.

29. Тихонов У. Умови відтворення кольору та його контроль // Компіопрінт. 2015. № 3-4. С.60-67.

30. Хіндерлітер Х. Договір на колір // Publish. 2013. № 4. С.52-57.