

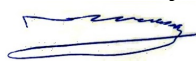
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 — **Сергій НАЙДА**
(ініціали, прізвище)

« 14 » 06 2023 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра**

з напрямку підготовки 171 Електроніка «Електронні системи»
(код і назва)

мультимедіа та засоби Інтернету речей»

на тему: Особливості застосування колірної корекції зображень

Виконала: студентка 4 курсу, групи ДВ-91
(шифр групи)

Мякушко Поліна Олександрівна

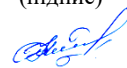
(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник доцент, к.т.н. Філіпова Н.Ю.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

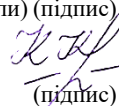
Консультант _____

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доцент каф. ЕПС, к.т.н., доцент Клен К.С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)



(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент  _____
(підпис)

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки
Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем

Рівень вищої освіти — перший (бакалаврський) Спеціальність — 171
«Електроніка»

Освітньо-професійна програма «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Сергій НАЙДА
«1» червня 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студентці
Мякушко Поліні

1. Тема роботи: «Особливості застосування колірної корекції зображень », керівник роботи: Філіпова Наталія Юріївна, кандидат технічних наук, доцент затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. № 911-С.

2. Термін подання студентом роботи: «9» червня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: камера Sony a7III, кольорові гами (Cine 1, Cine 3, S-Log3, HLG, HLG1, HLG3), програмне забезпечення для кольорової корекції відео Adobe Premiere Pro, програмне середовище iQ-Analyzer-X.

4. Зміст роботи: пошук теоретичної інформації про кольорові гами, їх класифікація, відмінності та особливості, пошук можливих аналітичних і програмних методів для їх подальшого дослідження та порівняння.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: набір слайдів презентації з узагальнюючими матеріалами та описом проведеного дослідження.

6. Дата видачі завдання 17.04.2023р.

Календарний план

№ з / п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Зйомка і підготовка футажів для подальшого дослідження, пошук джерел по темі кольорові гами	10.04.2023 – 17.04.2023	виконано
2	Аналіз і дослідження знайдених джерел. Дослідження переліку і властивостей кольорових гам	18.04.2023 – 24.05.2023	виконано
3	Пошук програмного забезпечення для кольорного аналізу, дослідження аналітичних методів для порівняння кольорових гам	18.04.2023 – 24.05.2023	виконано
4	За допомогою знайденого програмного забезпечення здійснення проведення аналізу певних кольорових гам. Оформлення звіту.	25.05.2023 – 09.06.2023	виконано
5	Підготовка та оформлення презентації для доповіді.	09.06.2023– 15.06.2023	виконано

Студент

Мякушко П.О

Керівник роботи

Філіпова Н.Ю.

УДК 535.6

РЕФЕРАТ

Мякушко П.О. Особливості застосування колірної корекції зображень: дипломна робота бакалавра: 171 Електроніка. – Київ, 2023. – 78 с.

Ключові слова: кольорові гами, контрастність, насиченість, Gain Modulation, Tonal Reproduction, баланс білого, характеристика кольору.

Актуальність: Кольорові гами мають надзвичайно широке використання у сфері відеозйомки, і розуміння їх індивідуальних характеристик є ключовим для покращення якості знятого матеріалу. Колір відіграє важливу роль у визначенні настрою, емоційного впливу та змісту відео.

Обґрунтування необхідності проведення дослідження: Розкриття потенціалу кольорових гам може створити вражаючу атмосферу та виразно передати повідомлення, від автора глядачам а також покращити якість знятого матеріалу.

Мета даної роботи: поглиблене дослідження специфіки та особливостей кольорових гам застосовуваних у відео- та фото індустрії..

Об'єктом дослідження: кольорові гами у відеозйомці.

Результатом дипломної роботи виявлення відмінностей і розширення своїх знань про кольорові гами, їх специфіку, технічні характеристики та особливості.

Практичним значенням результату є наочна демонстрація та широке розкриття властивостей та характеристик гам, що дозволить більш точно визначити їхнє призначення. Здобута під час дослідження інформація дозволить покращити якість відеоматеріалів при зйомці.

ABSTRACT

Miakushko K.O. «Features of applying color correction to images»: bachelor thesis: 171 Electronics. - Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 2023. - 78 p.

Key words: color gammas, contrast, saturation, Gain Modulation, Tonal Reproduction, white balance, color characterization.

Relevance: Color gammas have extremely wide usage in the field of videography, and understanding their individual characteristics is crucial for enhancing the quality of captured footage. Color plays an important role in setting the mood, emotional impact, and content of videos.

Justification for the research: Unleashing the potential of color gammas can create an impressive atmosphere and effectively convey the message from the author to the audience, as well as improve the quality of captured material. The aim of this work: in-depth exploration of the specifics and features of color gammas used in the video and photography industry.

The object of the research: color gammas in videography.

The outcome of the diploma project is the identification of differences and the enhancement of knowledge regarding color gammas, their specificity, technical characteristics, and peculiarities.

The practical significance of the result lies in the visual demonstration and comprehensive disclosure of the properties and characteristics of color gammas, enabling a more accurate determination of their purpose. The information obtained during the research will contribute to improving the quality of video materials during shooting.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 КОЛЬОРОВІ ГАМИ.....	8
1.1 Кольорові гама у відео- і фотозйомці.....	8
1.2 Види кольорових гам, специфіка, колориметрія і сфера застосування..	9
1.3 Висновки по першому розділу.....	32
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛЬОРОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗОБРАЖЕНЬ.....	33
2.1 Кольорова інформація зображень.....	33
2.2 Аналітичні методи досліджень кольорових властивостей зображень...	34
2.3 Комп'ютерні методи досліджень кольорових властивостей зображень.....	38
2.4 Аналіз світності зображень за допомогою Matlab.....	41
2.5 Висновки по другому підрозділу.....	43
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛЬОРОВОЇ СПЕЦИФІКИ ПЕВНИХ ГАМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ DXO ANALYZER IQ-ANALYZER-X.....	45
3.1 Опис методу дослідження.....	45
3.2 Аналіз кольорових гам в програмі DXO Analyzer iQ-Analyzer-X.....	46
3.3 Gain Modulation.....	54
3.4 Шум.....	58
3.5 Tonal Reproduction.....	61
3.6 Баланс білого.....	62
3.7 Лінії.....	65
3.8 Характеризація кольору.....	66
3.9 Висновки по третьому підрозділу.....	73
ВИСНОВКИ.....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	77

ВСТУП

Кольорові гами є ключовим елементом для відтворення кольорів та інтерпретації зображень у різних областях, таких як кіноіндустрія, фотографія, телебачення та інтернет-стрімінг.

Ця дослідницька робота спрямована на вивчення і порівняння різних кольорових гам, кожна з яких має свою специфіку, колориметрію та особливості відтворення кольорів, які впливають на візуальні характеристики зображень. Порівняння цих гам дасть можливість краще зрозуміти їх переваги та недоліки, а також визначити їхню оптимальну сферу застосування.

Метою дослідження є аналіз кольорових гам з точки зору їхнього впливу на динамічний діапазон, колориметрію, насиченість та контраст зображень. Результати дослідження нададуть корисну інформацію для творчих фахівців у галузі створення відео контенту.

За допомогою цього дослідження розширено знання про кольорові гами, їхні характеристики та можливості застосування..

РОЗДІЛ 1 КОЛЬОРОВІ ГАМИ

1.1 Кольорові гами у відео- і фотозйомці

У відеозйомці кольорові гами використовують для створення певної атмосфери, передачі настрою, підкреслення емоцій та впливу на глядача. Розглянемо деякі поширені кольорові гами і їх використання[1]:

1. Теплі кольори: Теплі кольори, такі як червоний, помаранчевий та жовтий, створюють відчуття тепла, енергії та жвавості. Вони часто використовуються для передачі позитивних емоцій, наприклад, радості, ентузіазму або екстравагантності. Такі кольори можуть бути використані для створення яскравих, живих сцен або виразних акцентів.

2. Холодні кольори: Холодні кольори, такі як блакитний, фіолетовий та зелений, асоціюються з спокоєм, меланхолією та загадковістю. Вони допомагають передати почуття прохолоди, таємничості або туги. Холодні кольори можуть бути використані для створення атмосферних, затишних сцен або для передачі почуття віддаленості чи незрозумілості.

3. Контрастні кольори: Контрастні кольори є кольоровою протилежністю, наприклад, червоний та зелений або жовтий та фіолетовий. Використання контрастних кольорів у кадрі привертає увагу глядача і створює сильний візуальний ефект. Вони можуть бути використані для підкреслення важливих деталей або створення динамічних та захоплюючих зображень.

4. Монохроматична гама: Монохроматична гама використовує відтінки одного кольору. Це можуть бути відтінки сірого, від білого до чорного, або відтінки одного кольору, наприклад, від світло-рожевого до темно-рожевого. Монохроматична гама надає зображенню єдність і гармонію, створюючи враження розміреності та стильності.

5. Пастельні кольори: Пастельні кольори, такі як бліді відтінки рожевого, блакитного або лавандового, мають ніжну, м'яку і пастельну якість. Вони додають

романтичності, ніжності та легкості до зображень. Часто використовуються для створення романтичних сцен, казкових атмосфер або мрійливого настрою.

Використання різних кольорових гам у відеозйомці залежить від задуму автора, жанру відео та бажаного впливу на глядача. Кольори можуть візуально підкреслити сюжетну лінію, передати настрій персонажів або створити враження певної естетики. Відтворення кольору також може мати велике значення в кіноіндустрії, де правильне використання кольорової гами допомагає створити конкретний настрій і додає глибину зображенню.

1.2 Види кольорових гам, їх специфіка, колориметрія і сфера застосування

Перелік гам які використовуються в кіноіндустрії та фотографії [2]:

1. *Cine 1*;
2. *Cine 2*;
3. *Cine 3*;
4. *Cine 4*;
5. *Movie*;
6. *Still*;
7. *ITU709*;
8. *ITU709 (800%)*;
9. *S-Log2*;
10. *S-Log3*;
11. *HLG (Hybrid Log-Gamma)*;
12. *HLG1*;
13. *HLG2*;
14. *HLG3*;

Ці кольорові гами надають фотографам та відеографам широкий спектр налаштувань для створення бажаного вигляду та настрою зображень у різних ситуаціях.

Тепер детально розглянемо характеристики кожної гами окремо.

Гама *Cine 1*

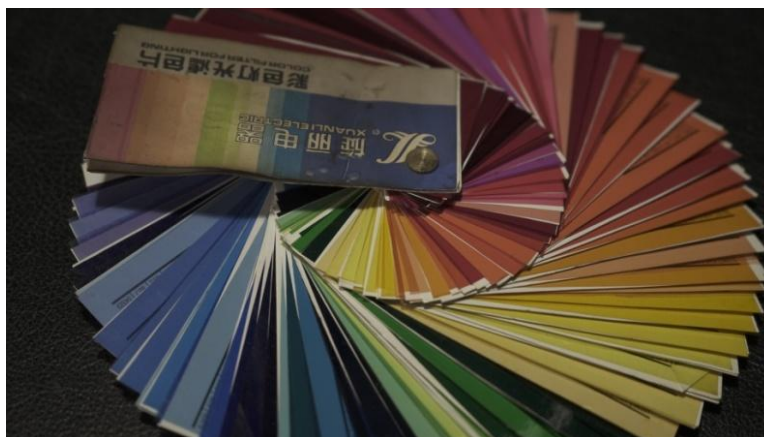


Рисунок 1.1 – Зображення зняте в кольоровій гамі *Cine 1*

Гама *Cine 1* є одним з кольорових профілів, які використовуються в кіноіндустрії та відеопродакшені для створення певного естетичного вигляду зображень. Вона має унікальну специфіку, колориметрію і область застосування [2][3]:

1. Специфіка:

- Низький контраст: *Cine 1* має низький рівень контрастності, що означає, що різниця між найсвітлішими та найтемнішими частинами зображення зменшена. Це допомагає створити згладжену, майже плоску тонову криву, що надає зображенню плівкового вигляду.
- Зменшена насиченість: *Cine 1* також характеризується зменшеною насиченістю кольорів. Це призводить до менш яскравих та насичених тонів, що відповідає класичному кіно-стилю.
- М'які переходи: Гама *Cine 1* сприяє м'яким переходам між тонами, що додає зображенню більш природний та органічний вигляд.

2. Колориметрія:

- Колірна точність: Гама *Cine 1* призначена для забезпечення кольорової точності. Вона прагне відтворити природні кольори, які відповідають дійсності, з мінімальними втратами або спотвореннями.
- Нейтральна колориметрія: *Cine 1* налаштована на нейтральну колориметрію, що означає, що вона створює зображення без помітних кольорових відтінків[2][3].

3. Сфера застосування:

- Кіноіндустрія: Гама *Cine 1* широко використовується у фільмовому виробництві для досягнення класичного кіно-вигляду.
- Відеопродакшн: *Cine 1* також використовується в професійному відеопродакшні, особливо при зйомці рекламних роликів, музичних відео, короткометражних фільмів та інших відеопроєктів, де потрібен специфічний естетичний вигляд зображення.

Важливо зауважити, що ефект кольорової гами *Cine 1* може залежати від камери, налаштувань та наступної колористичної обробки в пост-продакшні. Кожен виробник камер може мати свої індивідуальні варіанти *Cine 1*, які можуть трохи відрізнятися у специфікаціях.

Гама *Cine 2*

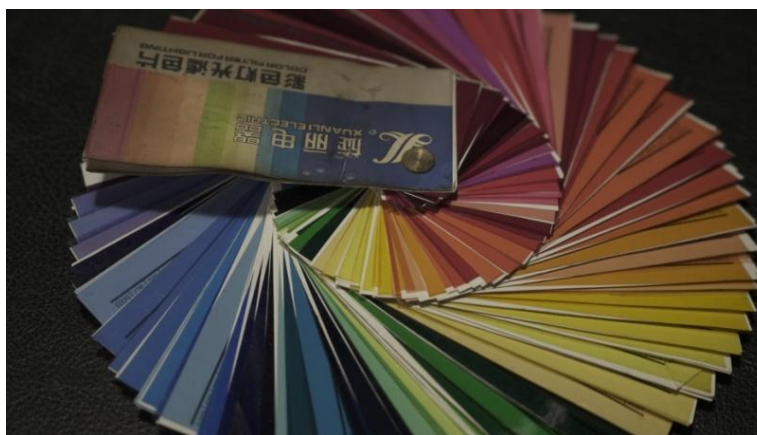


Рисунок 1.2 – Зображення зняте в кольоровій гамі *Cine 2*

Гама *Cine 2* є ще одним з кольорових профілів, які використовуються в кіноіндустрії. Вона має таку специфіку, колориметрію і область застосування [2][3]:

1. Специфіка:

- Підвищений контраст: Основна особливість гами *Cine 2* - це підвищений рівень контрастності. Вона має більш виражені різниці між світлими та темними областями зображення, що створює більш виразні тонові переходи та глибину зображення.
- Підвищена насиченість: *Cine 2* також характеризується підвищеною насиченістю кольорів. Це призводить до більш яскравих та насичених тонів, що додає енергії до зображення.
- Розширений динамічний діапазон: Гама *Cine 2* дозволяє використовувати ширший динамічний діапазон, що означає, що вона зберігає більше деталей як у світлих, так і в темних областях зображення.

2. Колориметрія:

Нейтральна колориметрія: *Cine 2* створена з нейтральною колориметрією, що означає, що вона намагається відтворити кольори максимально точно і без спотворень. Це дозволяє отримати природні та реалістичні кольори на зображенні[2][3].

3. Сфера застосування:

- Кіноіндустрія: Гама *Cine 2* використовується у кіноіндустрії для створення вражаючих та динамічних зображень. Її підвищений контраст та насиченість допомагають створити виразні й емоційно заряджені кадри. Вона підходить для різних жанрів, включаючи екшн, пригодницький та драматичний кінематограф.
- Відеопродакшн: *Cine 2* також використовується в професійному відеопродакшні, особливо при зйомці музичних відео, комерційної реклами, короткометражних фільмів та інших проектів, де потрібно високоякісне та виразне зображення.

Ефект кольорової гами *Cine 2* може залежати від конкретних характеристик камери та налаштувань, а також від наступної колористичної обробки в пост-продакшні.

Гама *Cine 3*

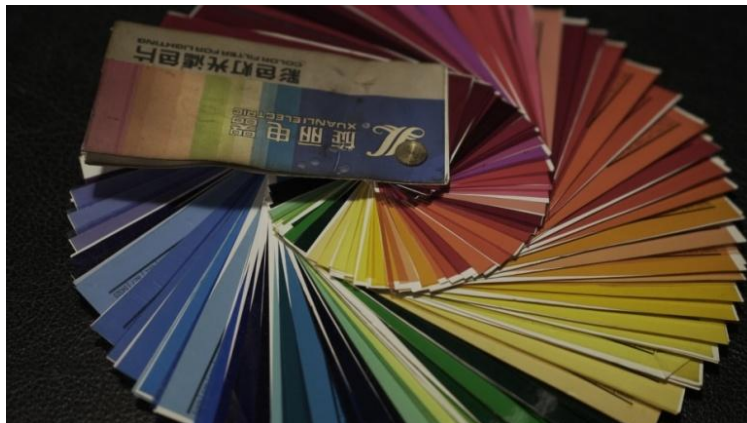


Рисунок 1.3 – Зображення зняте в кольоровій гамі *Cine 3*

Гама *Cine 3* є кольоровим профілем, що має таку специфіку, колориметрію і область застосування [2][3]:

1. Специфіка:

- Середній контраст: Гама *Cine 3* має середній рівень контрастності. Вона забезпечує баланс між світлими та темними областями зображення, зберігаючи при цьому достатньо деталей в обох.
- Збереження динамічного діапазону: *Cine 3* дозволяє зберегти більше деталей як у світлих, так і в темних областях зображення. Це допомагає уникнути втрати деталей у яскравих пікселях або підсвічених областях.
- Збалансована насиченість: Гама *Cine 3* характеризується збалансованою насиченістю кольорів. Вона надає достатню насиченість, щоб зображення виглядало живим, але при цьому не перебільшує з яскравістю.

2. Колориметрія:

- Нейтральна колориметрія: Гама *Cine 3* налаштована на нейтральну колориметрію, що означає, що вона намагається точно відтворити кольори. Це допомагає досягти природного та реалістичного відтворення кольорів[2][3].

3. Сфера застосування:

- Кіноіндустрія: Гама *Cine 3* широко використовується у фільмовому виробництві для створення збалансованих та природних зображень. Вона підходить для різних жанрів, включаючи драму, комедію, мелодраму та документальний кінематограф.
- Відеопродакшн: *Cine 3* також використовується в професійному відеопродакшні, особливо при зйомці короткометражних фільмів, відеокліпів, рекламних роликів та інших відеопроєктів, де потрібен збалансований та природний вигляд зображення.

Результати використання гами *Cine 3* можуть варіюватися в залежності від камери, налаштувань та наступної колористичної обробки в пост-продакшні.

Гама *Cine 4*

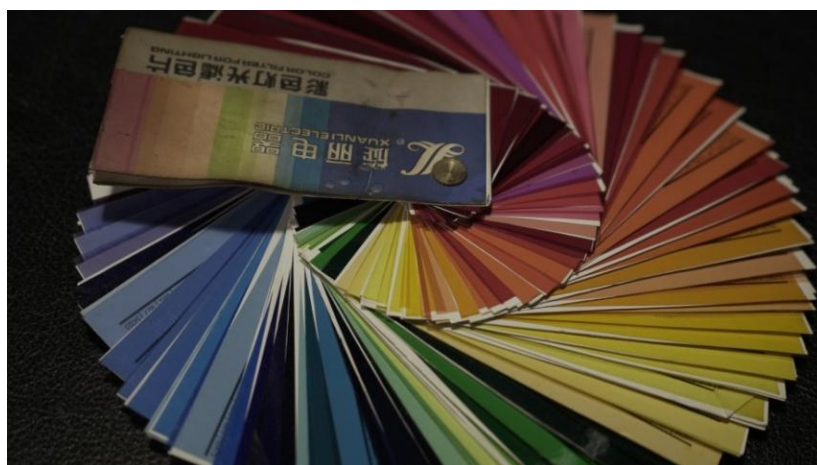


Рисунок 1.4 – Зображення зняте в кольоровій гамі *Cine 4*

Гама *Cine 4* є одним з кольорових профілів, які використовуються в кіноіндустрії та відеопродакшні. Вона таку специфіку, колориметрію і область застосування [2][3]:

1. Специфіка:

- Низький контраст: Одна з особливостей гами *Cine 4* - це низький рівень контрастності. Вона забезпечує більш плоский вигляд зображення зі зменшеними різницями між світлими та темними областями.
- Збереження динамічного діапазону: Гама *Cine 4* намагається розширити динамічний діапазон, щоб забезпечити кращу відтворення тіней та висвітлень.
- Зменшена насиченість: *Cine 4* характеризується зменшеною насиченістю кольорів. Це дає більш природний вигляд зображенню з менш яскравими та насиченими кольорами.

2. Колориметрія:

Нейтральна колориметрія: Гама *Cine 4* налаштована на нейтральну колориметрію, це дозволяє отримати реалістичне та природне відтворення кольорів[2][3].

3. Сфера застосування:

- Кіноіндустрія: Гама *Cine 4* широко використовується у кіноіндустрії для створення плоских та кінематографічних зображень. Вона підходить для фільмів різних жанрів, зокрема для екшн-фільмів, науково-фантастичних стрічок та фільмів з темним настроєм.
- Відеопродакшн: *Cine 4* також використовується в професійному відеопродакшені для створення стилізованих та плоских зображень. Вона може бути використана при зйомці рекламних відеороликів, музичних відео.

Результати використання гами *Cine 4* так само можуть варіюватися в залежності від конкретних характеристик камери та налаштувань, а також від подальшої колористичної обробки в постпродакшені.

Гама *Movie*

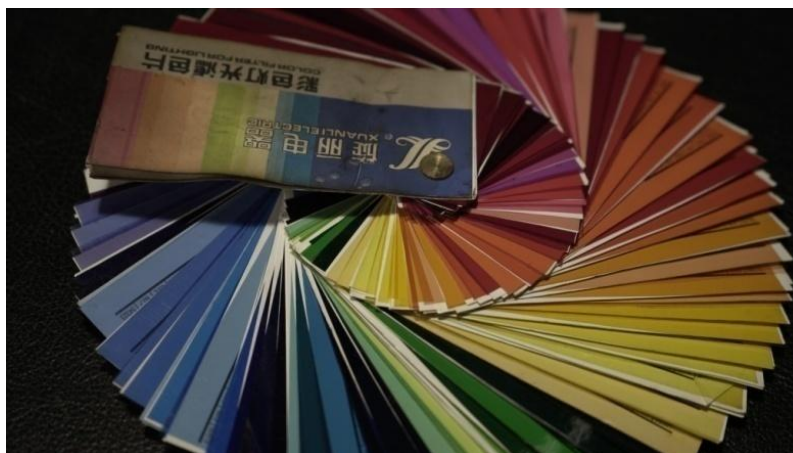


Рисунок 1.5 – Зображення зняте в кольоровій гамі *Movie*

Гама *Movie* має таку специфіку, колориметрію і область застосування [2][3]:

1. Специфіка:

- Низький контраст: Гама *Movie* характеризується низьким рівнем контрастності.
- М'який вигляд: Гама *Movie* надає зображенню м'який і природний вигляд. Вона забезпечує гладкі переходи тонів та більш природні зображення без відчуття перенасиченості чи пересиленості.
- Натуральні кольори: *Movie* налаштована на натуральну колориметрію, вона намагається точно та реалістично відтворити кольори.

2. Колориметрія:

Нейтральна колориметрія: Гама *Movie*, як і більшість гам, налаштована на нейтральну колориметрію[2][3].

3. Сфера застосування:

- Кіноіндустрія: Гама *Movie* широко використовується у кіноіндустрії, вона підходить для різних жанрів, включаючи драму, мелодраму, арт-фільми та стрічки з натуральним настроєм.
- Відеопродакшн: Гама *Movie* також застосовується в професійному відеопродакшені, особливо при зйомці рекламних відеороликів та короткометражних фільмів.

Гама *Still*

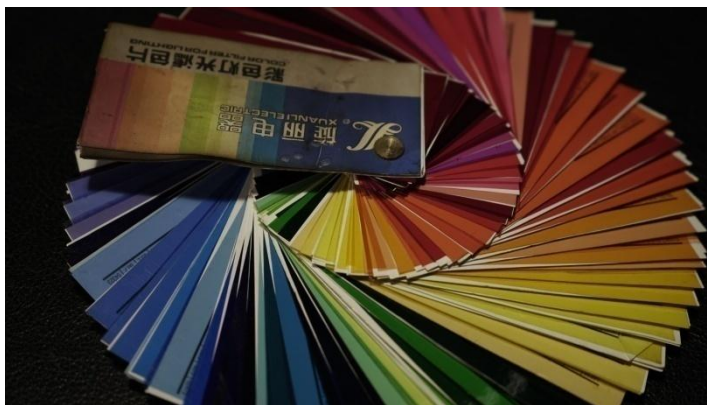


Рисунок 1.6 – Зображення зняте в кольоровій гамі *Still*

Гама *Still* є одним з кольорових профілів, які використовуються в фотографії та відеопродакшені для створення певного вигляду зображень. Вона має свою унікальну специфіку, колориметрію і область застосування [2][3]:

1. Специфіка:

- Високий контраст: Гама *Still* характеризується високим рівнем контрастності з високими різницями між світлими та темними областями.
- Насичені кольори: Гама *Still* має насичені кольори, підкреслює яскравість та інтенсивність кольорів, допомагаючи створити виразні фотографії або відео.

- Контроль над деталями: Гама *Still* дозволяє зберегти багато деталей, що важливо при ретушуванні або колористичній обробці зображень.

2. Колориметрія:

Насичені кольори: Гама *Still* налаштована на підвищену насиченість кольорів, що робить зображення яскравими та насиченими. Це особливо корисно для фотографії пейзажів, модельної зйомки або створення виразних образів[2][3].

3. Сфера застосування:

- Фотографія: Гама *Still* широко використовується в фотографії для створення яскравих та насичених зображень. Вона підходить для різних жанрів, включаючи пейзажі, портрети, модельну фотографію.
- Відеопродакшн: Гама *Still* також може бути застосована в відеопродакшені для створення відеороликів. Вона може бути використана в проектах, де потрібна яскравість та насиченість кольорів.

Гама ITU709

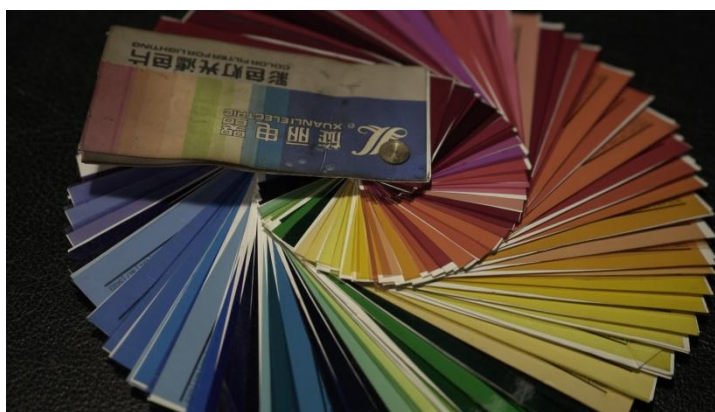


Рисунок 1.7– Зображення зняте в кольоровій гамі ITU709

Гама *ITU709* є стандартом, розробленим Міжнародним телекомунікаційним союзом (ITU). Вона має свою унікальну специфіку, колориметрію і область застосування. Розглянемо ці аспекти детальніше [2][3]:

1. Специфіка:

- Стандартний контраст: Гама *ITU709* надає зображенню стандартний рівень контрастності. Вона дозволяє зберегти природій вигляд зображення з достатнім рівнем деталізації як у світлих, так і в темних областях.
- Чіткі кольори: Гама *ITU709* забезпечує достатню насиченість та точність кольорів. Вона надає реалістичне відтворення кольорів з правильними відтінками та насиченістю.
- Стандартна гамма: Гама *ITU709* використовує стандартну гамму, яка відповідає більшості телевізійних та моніторних вимог. Це дозволяє забезпечити сумісність і відтворення зображення на різних пристроях.

2. Колориметрія:

Рек. 709 колориметрія: Гама *ITU709* використовує колориметрію, відповідну рекомендації ITU-R BT.709, що забезпечує сумісність зображення з традиційними телевізійними системами та моніторами[2][3].

3. Сфера застосування:

Телебачення та відеоіндустрія: Гама *ITU709* є широко використовуваною у телевізійних передачах, програмах та відеопродакшені. Вона забезпечує точне та стандартне використання кольорів, що відповідають загальноприйнятим стандартам телебачення. Вона дозволяє досягти високої якості відтворення зображення.

Гама *ITU709* (800%)

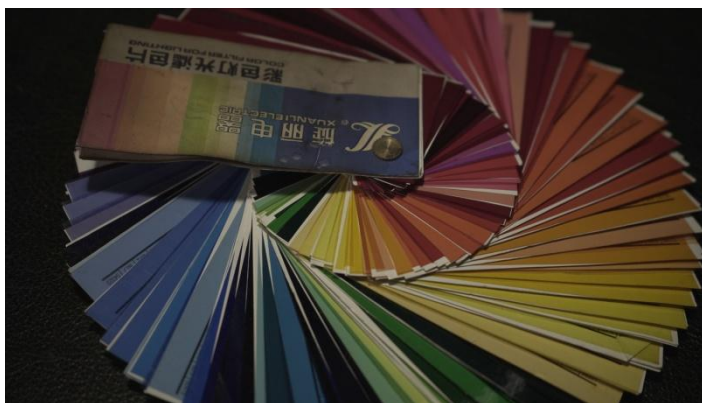


Рисунок 1.8— Зображення зняте в кольоровій гамі *ITU709(800%)*

Гама *ITU709 (800%)* є розширеною версією стандарту *ITU709* і використовується для передачі та відтворення відео з більш широким динамічним діапазоном. Вона має свою унікальну специфіку, колориметрію і область застосування [2][3]:

1. Специфіка:

- Розширений динамічний діапазон: Гама *ITU709 (800%)* надає більший динамічний діапазон в порівнянні зі стандартною гамою *ITU709*. Вона дозволяє зберегти деталі як у світлих, так і в темних областях зображення, забезпечуючи більшу гнучкість при колористичній обробці та корекції зображень.
- Висока точність кольорів: Гама *ITU709 (800%)* забезпечує високу точність відтворення кольорів. Вона дозволяє відтворювати багато відтінків кольорів з високою насиченістю та точністю.
- Збереження деталей: Гама *ITU709 (800%)* дозволяє зберегти багато деталей як у світлих, так і в темних областях зображення. Це особливо важливо при роботі з висококонтрастними сценами або при вимогах до точності деталізації.

2. Колориметрія:

Рек. 709 колориметрія: Гама *ITU709 (800%)* використовує колориметрію, відповідну рекомендації ITU-R BT.709[2][3].

3. Сфера застосування:

- Кіноіндустрія: Гама *ITU709 (800%)* знаходить застосування в кіноіндустрії для зйомки фільмів з розширеним динамічним діапазоном та більшим контролем над кольорами.
- Відеопродакшн: Гама *ITU709 (800%)* також може бути використана в відеопродакшені для зйомки високоякісних відеоматеріалів, таких як рекламні ролики, музичні відеокліпи або короткометражні фільми.

Важливо враховувати, що гама *ITU709 (800%)* може потребувати підтримки технологій HDR (High Dynamic Range) для повноцінного відтворення розширеного динамічного діапазону.

Гама *S-Log2*

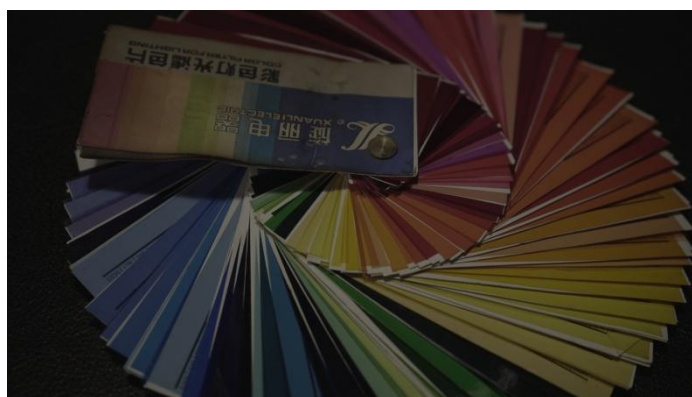


Рисунок 1.9– Зображення зняте в кольоровій гамі *S-Log2*

Гама *S-Log2* є одним із режимів зйомки, доступних у деяких професійних фотокамерах і камерах для відеозйомки. Вона використовується для отримання зображень з високим динамічним діапазоном. Розглянемо ці аспекти детальніше [2][3]:

1. Специфіка:

Розширений динамічний діапазон: Гама *S-Log2* дозволяє отримати зображення з високим динамічним діапазоном, з більшою глибиною та деталізацією.

Лінійна гама: Гама *S-Log2* використовує лінійну гамму, що означає, що відтінки яскравості зображення зберігаються без додаткової обробки або підсилення. Це дозволяє зберегти більш точну інформацію про яскравість і деталі зображення.

Низький контраст: Гама *S-Log2* має низький контраст, що означає, що зображення виглядає плоским і зменшується різкість зображення. Це зроблено для того, щоб зберегти максимальну кількість інформації про тіні та світлі області, яку можна пізніше коригувати під час післязйомкової обробки.

2. Колориметрія:

Лінійна колориметрія: Гама *S-Log2* використовує лінійну колориметрію, що означає, що кольори відтворюються без додаткових корекцій або насиченості. Це дозволяє зберегти максимальну точність інформації про кольори зображення[2][3].

3. Сфера застосування:

- Професійна відеозйомка: Гама *S-Log2* широко використовується в професійній відеозйомці, зокрема в кіноіндустрії та виробництві реклами. Вона дозволяє операторам камер і колористам мати більшу гнучкість на післязйомковій обробці, корекції кольорів та колористичній градації.
- Художній фільм: Гама *S-Log2* застосовується при зйомці художніх фільмів, де вимагається висока якість зображення і бажання створити більшу глибину і динаміку в кадрах. Вона дає більшу свободу в творчому процесі та можливість реалізувати більш різноманітні візуальні концепції.
- Професійна фотографія: Гама *S-Log2* також може бути використана в професійній фотографії для отримання зображень з високим динамічним діапазоном і більшою гнучкістю при післязйомковій обробці. Вона дозволяє фотографам мати більше контролю над освітленням і тоною градацією зображення.

- Рекламна продукція: Гама *S-Log2* також широко використовується в рекламній продукції, де важливо створити ефектне та привабливе візуальне зображення з багатошаровим колористичним стилем. Вона дозволяє фотографам та відеографам мати більше контролю над кольорами та настроєм рекламного матеріалу.

4. Післязйомкова обробка:

Колористична градація: Гама *S-Log2* дозволяє здійснювати більш точну та змінну колористичну градацію під час післязйомкової обробки. Вона надає колористам широкі можливості для тонової корекції, зміни кольорової палітри та створення бажаного настрою в зображенні.

5. Вимоги до обробки та збереження:

- Гама *S-Log2* вимагає професійної обробки та колористичного корегування. Вона зазвичай використовується в поєднанні з розширеними форматами запису, які зберігають більше інформації про яскравість і кольори.
- Рекомендується використовувати високоякісні формати запису, такі як RAW або зображення з великою глибиною кольору (наприклад, 10 або 12 біт). Це дозволяє зберегти максимальну кількість інформації для подальшої обробки.
- Для оптимальних результатів рекомендується використовувати професійне програмне забезпечення для обробки і колористичної корекції, яке підтримує гаму *S-Log2*.

Гама *S-Log3*

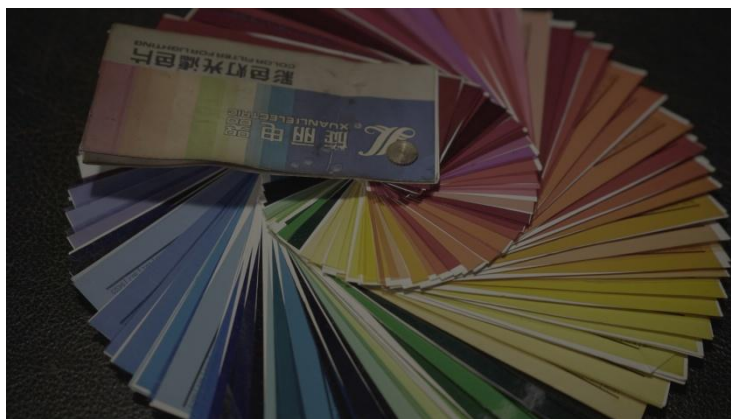


Рисунок 1.10– Зображення зняте в кольоровій гамі *S-Log3*

Гама *S-Log3* є ще одним режимом кольорової гами, який забезпечує розширений динамічний діапазон і високу якість зображення [4]. Особливості, колориметрія і сфера застосування гами *S-Log3* наступні [2][3]:

1. Специфіка гами *S-Log3*:

- Широкий динамічний діапазон: Гама *S-Log3* працює на основі лінійного перетворення кольорів, що дозволяє зберегти широкий динамічний діапазон зображення.
- Збереження деталей у високих світлостійких областях: Гама *S-Log3* дозволяє зберігати більше деталей у високих світлостійких областях, таких як небо або яскраве освітлення. Це важливо для зйомки сцен з великим контрастом, де важливо зберегти деталі як в темних, так і в світлих областях.
- Низький контраст: Гама *S-Log3* характеризується низьким контрастом, що дозволяє зберегти більше інформації про кольори та деталі.

2. Колориметрія:

- Гама *S-Log3* використовує широкий колоровий простір, такий як *S-Gamut3.Cine*, щоб забезпечити більш широкий спектр кольорів. Це дозволяє досягти більш точного і насиченого відтворення кольорів.

- Гама *S-Log3* має лінійну характеристику, що означає, що зв'язок між значеннями яскравості та рівнями сигналу є лінійним. Це важливо для правильного і точного перетворення кольорів під час післязйомкової обробки[2][3].

3. Сфера застосування:

- Кіноіндустрія: Гама *S-Log3* широко використовується у кіноіндустрії для зйомки фільмів, серіалів та відеокліпів. Вона дозволяє знімальній групі отримати зображення з високою якістю, багатошаровою колористичною градацією та розширеним динамічним діапазоном.
- Професійна відеозйомка: Гама *S-Log3* використовується професійними відеографами для зйомки рекламних відеороликів, корпоративних відео, документальних фільмів та інших проектів. Вона дозволяє отримати високоякісні зображення з багатошаровою колористичною градацією та гнучкістю під час післязйомкової обробки.
- Відеозйомка для телебачення: Гама *S-Log3* також використовується для зйомки відеоматеріалу, який транслюється по телебаченню. Вона дозволяє отримати високу якість зображення з розширеним динамічним діапазоном та точним відтворенням кольорів, що важливо для трансляції на великих екранах.

Важливо мати на увазі, що для роботи з гамою *S-Log3* потрібен високий рівень технічних навичок та обробки зображень. Потрібна кваліфікація в області колористики і післязйомкової обробки для досягнення найкращих результатів з використанням цього режиму зйомки.

Гама HLG (Hybrid Log-Gamma)

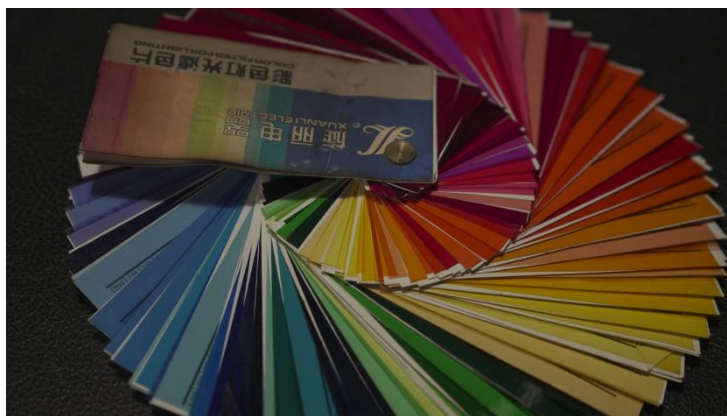


Рисунок 1.11– Зображення зняте в кольоровій гамі HLG

Гама *HLG* є спеціальною гамою, розробленою для створення високого динамічного діапазону (HDR) зображень[4]. Особливості, колориметрія і сфера застосування гами *HLG* наступні [2][3]:

1. Специфіка гами *HLG*:

- Розширений динамічний діапазон: Гама *HLG* дозволяє знімальній апаратурі зафіксувати і відтворити широкий динамічний діапазон зображення, включаючи яскраві світлі області і темні тіні. Вона забезпечує більш детальне і реалістичне зображення з більшими контрастами.
- Сумісність зі стандартними пристроями: Гама *HLG* розроблена таким чином, щоб бути сумісною зі стандартними пристроями, які не підтримують HDR. Це означає, що зображення, зняте в гамі *HLG*, може бути переглянуте на будь-якому звичайному телевізорі або моніторі, але з меншим динамічним діапазоном.

2. Колориметрія:

- Гама *HLG* використовує широкий колоровий простір, такий як ITU-R BT.2020 або ITU-R BT.709, для відтворення більш широкого спектру кольорів. Це дозволяє отримати більш насичені та живі кольори.
- Гама *HLG* має лінійну характеристику, що означає, що зв'язок між значеннями яскравості та рівнями сигналу є лінійним. Це дозволяє

точніше і прогресивніше відтворювати кольори під час післязйомкової обробки[2][3].

3. Сфера застосування:

- Телебачення: Гама *HLG* широко використовується для трансляції HDR-зображень по телебаченню. Вона дозволяє отримати високоякісні зображення з розширеним динамічним діапазоном, які виглядають реалістичними та живими на сучасних HDR-телевізорах.
- Відео зйомка: Гама *HLG* використовується для зйомки відео з високим динамічним діапазоном і післязйомкової обробки. Це особливо корисно для створення відеоконтенту з реалістичними кольорами, яскравими деталями та широкими контрастами.
- Відеострімінг: Гама *HLG* використовується для потокової передачі відеоконтенту з підтримкою HDR. Вона забезпечує більш якісне зображення для переглядання на пристроях з підтримкою HDR, таких як смарт-телевізори, приставки для стрімінгу та мобільні пристрої.

Гама *HLG* є потужним інструментом для створення відеоконтенту з високим динамічним діапазоном і реалістичним відтворенням кольорів. Вона дозволяє створити захоплюючі зображення, які привертають увагу глядачів.

Гама *HLG1*

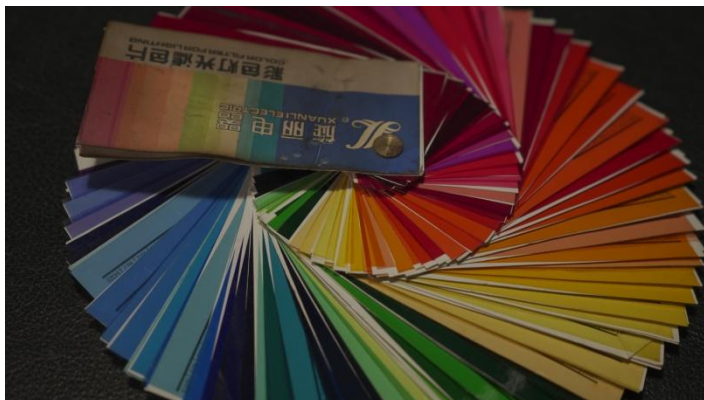


Рисунок 1.12– Зображення зняте в кольоровій гамі HLG 1

Гама *HLG1* є одним з варіантів гами *HLG* (*Hybrid Log-Gamma*). Особливості, колориметрія і сфера застосування гами *HLG1* такі [2][3]:

1. Специфіка гами *HLG1*:

- Розширений динамічний діапазон: Гама *HLG1* дозволяє отримати зображення з розширеним динамічним діапазоном. Вона дозволяє отримати багатошарову градацію кольорів і відтворення деталей в яскравих областях.
- Сумісність зі стандартними пристроями: Гама *HLG1* розроблена таким чином, щоб бути сумісною зі стандартними пристроями, які не підтримують HDR. Це означає, що зображення, зняте в гамі *HLG1*, може бути переглянуте на звичайних телевізорах або моніторах з обмеженим динамічним діапазоном, але з покращеними деталями і контрастами.

2. Колориметрія:

- Гама *HLG1* використовує широкий колоровий простір, такий як ITU-R BT.2020 або ITU-R BT.709.
- Гама *HLG1* має лінійну характеристику, що дозволяє точніше відтворювати кольори[2][3].

3. Сфера застосування:

- Телебачення: Гама *HLG1* використовується для трансляції HDR-зображень по телебаченню. Вона підходить для передачі природних пейзажів, спортивних подій, телепередач та інших вмісту з високими вимогами до динамічного діапазону.
- Кінематографія: Гама *HLG1* застосовується в кінематографії для створення високоякісних HDR-зображень. Вона дозволяє створити вражаючі візуальні ефекти, реалістичні образи та емоційно насичені сцени.

Гама *HLG1* є потужним інструментом для створення HDR-зображень з розширеним динамічним діапазоном і високою відтворюваною палітрою

кольорів. Вона забезпечує візуальну якість, яка дозволяє передати деталі, насиченість та контраст, що робить її привабливим вибором для відеофахівців.

Гама *HLG 2*



Рисунок 1.13– Зображення зняте в кольоровій гамі *HLG 2*

Гама *HLG (Hybrid Log-Gamma) 2* є однією з версій технології HDR (High Dynamic Range). Вона використовується для покращення якості відео шляхом забезпечення більшого динамічного діапазону і відтворення більш насичених кольорів та деталей [2][3].

Особливістю гама *HLG 2* є те, що вона поєднує в собі SDR (Standard Dynamic Range) і HDR. Це означає, що вона може бути відтворена як на звичайних SDR телевізорах, так і на HDR-сумісних пристроях.

Колориметрія в *HLG 2* базується на стандартному BT.2020, який визначає простір кольорів для HDR контенту. BT.2020 забезпечує більший простір кольорів, ніж традиційний стандарт Rec.709, що використовується для SDR контенту. Це означає, що *HLG 2* може відтворювати більш насичені кольори і більш точно передавати відтінки[2][3].

Сфера застосування гама *HLG 2* розширюється на різні галузі. Основне використання полягає у виробництві і трансляції відео з великим динамічним діапазоном і покращеною колориметрією. *HLG 2* може бути використана в

телебаченні, кіноіндустрії, стрімінгових платформах, виробництві відеоігор та інших медійних сферах. Вона дозволяє створювати вражаючі зображення з більш реалістичними кольорами, більшою деталізацією і глибшими тінями.

Крім того, *HLG 2* може бути використана в професійній сфері для відеомонтажу, коли необхідно мати більш точний контроль над динамічним діапазоном і кольорами. Вона дозволяє зберегти більше деталей під час редагування і зменшити втрату якості при обробці відео.

Гама *HLG 3*

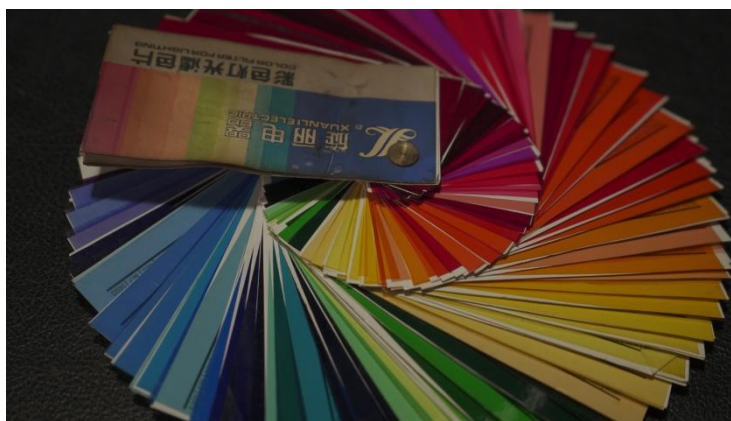


Рисунок 1.14— Зображення зняте в кольоровій гамі *HLG 3*

Гама *HLG 3*, що означає *Hybrid Log-Gamma 3*, є одним з режимів кольорового простору, який використовується в телевізійній технології для передачі високоякісного зображення з відтворенням великого динамічного діапазону (HDR) [2][3].

Специфіка *HLG 3*: Цей режим HDR використовує гамму *HLG* для кодування та декодування відеосигналів. Гама *HLG* забезпечує передачу великого динамічного діапазону (від темних до яскравих тонів) без використання метаданих. Особливістю *HLG 3* є його оптимізація для високоякісного відтворення кольорів і контрасту на телевізорах із підтримкою HDR.

Колориметрія *HLG 3*: *HLG 3* використовує колориметрію Rec. 2020, яка є широким кольоровим простором і набагато більш широко відтворює спектр кольорів, ніж традиційні стандарти, такі як Rec. 709. Завдяки використанню колориметрії Rec. 2020, *HLG 3* здатний відтворювати більше відтінків кольорів та деталей, що дозволяє отримати більш реалістичне та живе зображення з більшим контрастом[2][3].

Сфера застосування *HLG 3*: *HLG 3* зазвичай використовується у телевізійній технології для передачі та відтворення високоякісного HDR-відео. Цей режим HDR дозволяє відтворювати зображення з більшим динамічним діапазоном, що означає кращу видимість тіней і яскравих областей на екрані телевізора. Деякі телевізори та монітори з підтримкою HDR можуть відтворювати вміст, знятий у форматі *HLG 3*. Відео, записане з використанням *HLG 3*, буде виглядати краще на таких пристроях і передавати більше деталей та кольорів.

1.3 Висновки по першому розділу:

- Розглянуто 12 різних кольорових гам камери Sony a7 III, що застосовуються при створенні фото та відео контенту.
- Показано, що кожна з них має свою специфіку, сферу застосування та колориметрію. Проте деякі гами мають спільні властивості, наприклад гами Cine 1, Cine 4, Movie, S-Log 2 та S-Log 3 мають низьку контрастність на відміну від гам Cine 2 та Still, що обидві мають підвищену контрастність та насиченість, а гами Cine 1 та Cine 4 навпаки мають зменшену насиченість, Cine 1, Cine 3, Cine 4 та Movie мають нейтральну колориметрію, Still, ITU709(800%) та S-Log 3 мають високу ступінь деталізації, S-Log 2, S-Log 3, HLG, HLG 1 мають лінійну кольорову характеристику, Cine 1, ITU709, IYU709(800%) та HLG 2 мають високу кольорову точність. Крім того всі кольорові гами мають широкий або збільшений динамічний діапазон, що дозволяє їм зберігати більше інформації про колір та експозицію зображення.
- Визначено, що підбір гам для відео зйомки відбувається відповідно до технічного завдання. Кожна кольорова гама має свою сферу застосування, та технічні характеристики, що під наштовані під цю сферу. Від цієї інформації варто відштовхуватися при виборі гам для роботи з відео та фото, також пам'ятаючи про те що кінцевий результат використання будь якої з гам може залежати від подальшої колористичної обробки в постпродакшені.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛЬОРОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗОБРАЖЕНЬ

2.1 Кольорова інформація зображень

Методи досліджень кольорової інформації зображень надають широкий спектр інструментів для розуміння та аналізу кольору. Вони дозволяють виконувати різноманітні операції, такі як порівняння кольорів, вимірювання колірних параметрів та визначення характеристик кольору, що сприяє покращенню якості зображень та забезпечує точність відтворення кольору [5].

В галузі фотографії, методи аналізу кольору дозволяють фотографам оцінювати та змінювати кольорову палітру своїх зображень, виявляти та виправляти кольорові відхилення, а також створювати ефекти на основі кольору для досягнення бажаного настрою або естетичного враження.

В сфері відеообробки, методи аналізу кольору застосовуються для розпізнавання та відстеження об'єктів на відеозаписах, вимірювання колірної інформації у режимі реального часу, а також для створення спеціальних ефектів та покращення якості відеоматеріалів [6].

Основні методи аналізу кольорової інформації з зображень включають наступні:

- Конверсія у колірні простори: Один з основних методів аналізу кольору - це конверсія кольорової моделі зображення в інший колірний простір, такий як RGB, HSV, LAB або CMYK. Конверсія дозволяє розбити кольорову інформацію на складові, що можуть бути подальше аналізовані.
- Вимірювання колірних параметрів: Використовуючи колориметричні прилади або спектрофотометри, можна виміряти колірні параметри зображення, такі як колірні координати, яскравість та насиченість. Ці

параметри використовуються для характеристики кольору та порівняння з іншими зображеннями.

- Аналіз спектрального складу: Для визначення спектрального складу кольору використовуються спектральні аналізатори. Цей метод дозволяє визначити внесок різних довжин хвиль у формування кольору та досліджувати спектральні особливості зображення.
- Кольорова диференціація: Для визначення відмінностей між кольорами використовуються методи кольорової диференціації. Ці методи базуються на розрахунку відстані між кольоровими точками у просторі кольору і дозволяють визначати ступінь схожості або відмінності між кольорами.
- Кольорова статистика: Шляхом аналізу розподілу кольорових значень у зображенні можна вивчати кольорову статистику. Це включає аналіз гістограми кольорів, розрахунок середнього кольору, дисперсії, коваріаційних середніх та інших статистичних параметрів.
- Кольорова кореляція: Цей метод вивчає залежності між кольором та іншими характеристиками зображення, такими як форма, текстура або освітлення. Кореляційний аналіз допомагає виявляти взаємозв'язки та паттерни в кольорових даних.

Ці методи досліджень кольорової інформації мають широкий спектр застосувань і користуються популярністю у багатьох галузях. Вони допомагають розкрити потенціал кольору, розуміти його вплив та забезпечувати точність, якість та естетику у візуальних представленнях [7].

2.2 Аналітичні методи досліджень кольорових властивостей зображень

Аналітичні методи досліджень кольорових властивостей зображень базуються на математичних моделях та алгоритмах, які дозволяють аналізувати та вимірювати різні параметри кольору [5]. Найпоширеніші методи аналізу кольору включають:

- Колориметрію: Цей метод вимірює колірні параметри зображення, такі як колірні координати у просторі кольору, яскравість та насиченість.

Колориметрія є наукою, яка вивчає методи вимірювання і кількісне вираження кольору, а також включає в себе сукупність таких методів і засобів.

Для того, щоб мати можливість "виміряти" колір, використовується колірний простір, в якому встановлюється координатна система за допомогою основних кольорів. Основні кольори є три умовно обрані лінійно-незалежні кольори, які виконують роль одиничних векторів у цій координатній системі. В результаті у колірному просторі визначається триколірна система вимірювання кольору. Ця система дозволяє виразити будь-який колір "А" за допомогою певного векторного рівняння, відомого як колірне рівняння. Важливо зауважити, що коефіцієнти колірного рівняння можуть бути як позитивними, так і негативними, залежно від вибору основних кольорів [5].

Похибка при вимірюваннях кольору не повинна перевищувати $\pm 0,01$ відносних одиниць колориметричної системи МКО 1931 г. (x, y), що суперечить дослідженням, що визначають допустимі спотворення кольору.

Крім того існують колориметричні прилади, наприклад спектрофотометри, що дозволяють отримати точні вимірювання колірних характеристик.

- Спектральний аналіз: Цей метод дозволяє аналізувати спектральний склад кольору на основі розкладу його на компоненти різних довжин хвиль. Спектральний аналіз допомагає визначити співвідношення різних кольорів у зображенні та виявляти характерні особливості [8].

Цифрова обробка зображень не обмежується лише трансформацією зображення. Важливим аспектом є кодування інформації, тобто представлення зображення у такій формі, яка дозволяє ефективно зберігати та передавати графічну інформацію є виділення певних характеристик, необхідних для аналізу об'єктів на зображенні, визначення найбільш інформативних аспектів.

Для досягнення цієї мети використовуються частотні методи аналізу, зокрема аналіз Фур'є та аналіз головних компонент.

Пряме дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) та зворотне до нього перетворення мають стандартну формулу:

$$F(\nu) = N^{-1} \sum_{\tau=0}^{N-1} f(\tau) \exp\left(-i \frac{2\pi\nu\tau}{N}\right), f(\tau) = \sum_{\nu=0}^{N-1} F(\nu) \exp\left(i \frac{2\pi\nu\tau}{N}\right)$$

ДПФ дозволяє розкласти сигнал або зображення на його складові частоти, що дозволяє виявити наявні частоти та їхню силу в сигналі. Зворотне перетворення Фур'є дозволяє відновити сигнал або зображення з його частотного представлення [8].

Таким чином, використання методів аналізу Фур'є є важливими для ефективного кодування та аналізу зображень у цифровій обробці зображень. Вони дозволяють виділити ключові аспекти інформації та забезпечують можливість ефективної обробки та передачі зображень.

- Кореляційний аналіз: Цей метод використовується для виявлення зв'язку між кольором та іншими характеристиками зображення. Наприклад, можна досліджувати кореляцію між кольором та формою об'єктів на зображенні або між кольором та текстурою.

Кореляційний аналіз є методом, який використовується для виявлення зв'язку між кольором та іншими характеристиками зображення. Цей аналіз може бути корисним при вивченні взаємозв'язків між різними аспектами зображень, допомагаючи зрозуміти, як кольорові властивості пов'язані з іншими елементами [5].

Наприклад, можна провести дослідження, щоб встановити кореляцію між кольором та формою об'єктів на зображенні. Це означає, що можна визначити, чи існує зв'язок між певними кольорами та певними формами. Наприклад, чи відображається певний колір частіше в певних геометричних фігурах або чи мають певні форми вплив на використання певного кольору.

Крім того, кореляційний аналіз також може досліджувати зв'язок між кольором та текстурою зображень. Це дозволяє встановити, які кольори частіше зустрічаються в певних типах текстур або які кольори можуть бути пов'язані з певними візуальними характеристиками текстур.

Застосування кореляційного аналізу до аналізу зображень може дати важливі відомості про взаємозв'язки між кольором та іншими характеристиками, що допомагає розуміти, як кольорові компоненти впливають на сприйняття зображень та сприяє розвитку більш ефективних методів обробки та аналізу візуальної інформації [6].

Кореляційний аналіз проводиться шляхом використання статистичних методів для визначення ступеня зв'язку між двома або більше змінними. У контексті аналізу зображень, таких як взаємозв'язки між кольором та іншими характеристиками, кореляційний аналіз може бути застосований для вимірювання ступеня залежності між кольоровими компонентами та іншими властивостями зображення, такими як форма або текстура.

Основні кроки проведення кореляційного аналізу зазвичай включають наступне:

- Збір даних: Зображення аналізуються, і відповідні характеристики, такі як кольорові значення та інші вимірювані параметри, фіксуються для подальшого аналізу.
- Розрахунок коефіцієнта кореляції: За допомогою статистичних методів розраховується коефіцієнт кореляції, який вимірює ступінь зв'язку між змінними. Найпоширенішим інструментом для розрахунку кореляції є коефіцієнт кореляції Пірсона (коефіцієнт кореляції Пірсона між двома змінними дорівнює коваріації двох змінних, або сумі добутків відхилень, поділений на добуток їх стандартних відхилень [9]), який визначає лінійну залежність між змінними.
- Інтерпретація результатів: Отримані значення коефіцієнта кореляції потрібно інтерпретувати. Кореляція може бути позитивною (коли збільшення однієї змінної супроводжується збільшенням іншої) або негативною (коли

Ця програма має на меті надати користувачам об'єктивну інформацію про якість та деталізацію зображень, що дозволяє проводити порівняльний аналіз різних об'єктивів, фотокамер або налаштувань зйомки. Вона може бути корисною для фотографів, професіоналів в галузі обробки зображень та виробників фотоапаратів.

DXO Analyzer iQ-Analyzer-X базується на широкому спектрі технологій та методів аналізу, включаючи вимірювання роздільної здатності, оцінку шуму, визначення динамічного діапазону, аналіз колориметричних характеристик та багато інших параметрів зображень[10].

Одним із ключових аспектів програми є використання "мікросценаріїв" або тестових зображень, спеціально створених для оцінки якості обробки зображень. Ці мікросценарії дозволяють виміряти й оцінити різні аспекти зображень, зокрема деталізацію, колірну точність, відтворення тонів, шум та інші параметри[10].

DXO Analyzer iQ-Analyzer-X може забезпечити детальний аналіз різних характеристик зображень, що допомагає фахівцям та виробникам фотоапаратів зробити об'єктивні порівняння та вдосконалювати якість своїх продуктів[10].

Image Color Summarizer

Image Color Summarizer (Інформатор кольору зображень) є програмним забезпеченням, яке використовується для аналізу кольору зображень і створення їх кольорових сумарних звітів. Вона дає можливість отримати інформацію про палітру кольорів, їх розподіл і значущі характеристики на основі вхідного зображення[11].

Основна мета *Image Color Summarizer* - забезпечити користувачам візуальний огляд кольорової інформації зображення. Програма дозволяє отримати загальний контекст щодо кольорів, які присутні на зображенні, і допомагає візуально виділити основні кольори, домінуючі тони та їх розподіл.

IMAGE COLOR SUMMARY



THE IMAGE IN WORDS

all altitude aqua atomic azure beau black blue bluewood
 bluish cadet cello cerulean charcoal chimney cyan cyanish
 dark eerie fiord frost grayish grey heather juan kashmir
 kingfisher leap light metallic oxygen pacify pale pastel
 pickled quantum san sky slate spindle spinnaker sweep
 sweetwaters very wanaka waratah wavelength wedgewood

COLOR CLUSTERS

Colors in the image were clustered into 5 groups (**k-means**). The average color of the colors for each cluster is shown. The name is the closest **named color** and its distance is shown using ΔE . The tags are the set of words formed by all named neighbours within $\Delta E \leq 5$. The list of words above is the set of all unique words in this set of words.

Cluster colors, sized by number of pixels:

cluster	pixels	name	HEX	RGB	HSV	LCH	Lab	tags
	27.15%	47,77,102 spinnaker $\Delta E=2.0$	#354C64	53 76 100	211 47 39	31 17 265	31 -2 -17	slate dark atomic bluewood cello fiord juan pickled san spinnaker wanaka blue grey
	24.46%	76,107,136 wedgewood $\Delta E=1.1$	#506C89	80 108 137	211 41 54	45 19 263	45 -2 -19	cadet kashmir kingfisher leap metallic quantum sky waratah wavelength wedgewood blue
	20.07%	17,23,29 very dark azure $\Delta E=2.5$	#13191C	19 25 28	195 32 11	8 3 228	8 -2 -3	dark very all bluish charcoal chimney cyan cyanish eerie sweep azure black grey
	18.89%	109,155,195 cerulean frost $\Delta E=3.1$	#7196BB	113 150 187	210 40 73	61 24 262	61 -3 -23	cerulean frost
	9.43%	188,212,226 altitude $\Delta E=3.3$	#B4CDB8	180 203 219	205 18 86	80 11 247	80 -4 -11	pale light altitude aqua beau grayish heather oxygen pacify pastel spindle sweetwaters azure blue

IMAGE CLUSTER PARTITIONS

Pixels of the image assigned to each cluster. The border is the color of the cluster as calculated by the average value of its pixels.



Рисунок 2.2 – результати роботи програми Image Color Summarizer

Зазвичай *Image Color Summarizer* використовує алгоритми і методи аналізу кольору, такі як кластеризація кольорів або аналіз гістограми. Кластеризація кольорів дозволяє групувати подібні кольори разом, утворюючи палітру кольорів для зображення. Аналіз гістограми визначає розподіл кольорів у зображенні за їх інтенсивністю[11].

Крім того, програма може надавати інші корисні дані про кольори, такі як середні значення яскравості, насиченості, теплоти тощо. Це дозволяє отримати більш повну картину про кольорову характеристику зображення. *Image Color*

Summarizer також надає візуальну відповідь на аналіз кольорів шляхом відображення кольорових сумарних звітів. Це може бути графік, хмара кольорів або інші візуальні елементи, які допомагають зрозуміти кольоровий контекст зображення.

Image Color Summarizer може бути корисною для дизайнерів, фотографів, маркетологів та будь-яких інших фахівців, які працюють з кольорами і вимагають аналізу кольорової палітри зображення для використання в своїх проектах[11].

2.4 Аналіз експозиції зображення за допомогою Matlab

Побудова гістограми розподілу яскравостей елементів є гарним методом для дослідження експозиції зображення.

При побудові загальної гістограми півтонового зображення, використовується діапазон яскравості, який, як правило, складається з 256 рівнів. Це означає, що ми ділимо весь діапазон можливих значень яскравості на 256 рівнів. Кожен рівень представляється одним стовпчиком на гістограмі[12].

Висота кожного стовпчика гістограми відповідає кількості пікселів у зображенні, які мають відповідну яскравість. Тобто, чим вищий стовпчик, тим більше пікселів у зображенні мають дану яскравість.

Можна також розрахувати максимальний та мінімальний рівні яскравості для конкретного зображення. В такому випадку діапазон рівнів яскравості може бути меншим ніж 256 рівнів.

Наприклад, якщо максимальна яскравість визначена як 200, а мінімальна - як 50, то діапазон буде складати 151 рівень яскравості (від 50 до 200). Такий підхід дозволяє зосередитися на конкретному діапазоні яскравості і більш точно представити гістограму зображення.

Гістограма є корисним методом як кількісної, так і якісної обробки зображень, оскільки вона надає інформацію про загальну яскравість і

контрастність зображення. Функція побудови гистограми `imhist` виводить гистограму яскравості пікселів зображення.

У функції `imhist(I, n)`, де I є напівтоновим зображенням, а n - кількістю стовпців гистограми, вона будує гистограму яскравості зображення. За замовчуванням, якщо I - напівтонове зображення, то $n = 256$, а для бінарного зображення $n = 2$. Після побудови гистограми, вона також виводить шкалу яскравостей[12].

У функції `imhist(X, map)`, де X є палітровим зображенням, вона будує гистограму індексів пікселів зображення X . Під малюнком гистограми виводиться палітра `map`.

Функції `imhist(I, n)` і `imhist(X, map)` повертають вектор гистограми H та вектор положення центрів стовпців гистограми cx на осі яскравостей для напівтонових і бінарних зображень або на осі індексів для палітрових зображень[12].

2.5 Висновки по другому підрозділу:

- Існує безліч різних методів для аналізу та дослідження кольорових параметрів зображень як аналітичних так і комп'ютерних. Обидва ці види методів можуть надавати розгорнуту картинку та детальний аналіз кольору, базуючись на отриманих в ході дослідження кольорових параметрів зображення.

- Методи досліджень кольорової інформації зображень надають широкий спектр інструментів для розуміння та аналізу кольору. Вони застосовуються в галузі фотографії для оцінювання, зміни кольорової палітри зображень, виявлення та виправлення кольорових відхилень, а також для створення ефектів на основі кольору.

- Основні методи аналізу кольорової інформації включають конверсію у колірні простори, вимірювання колірних параметрів, аналіз спектрального складу, кольорову диференціацію, кольорову статистику та кольорову кореляцію.

- Аналітичні методи досліджень кольорових властивостей зображень базуються на математичних моделях та алгоритмах. Найпоширеніші методи аналізу кольору включають колориметрію, спектральний аналіз і кореляційний аналіз. Колориметрія вимірює колірні параметри зображення, такі як колірні координати, яскравість та насиченість. Спектральний аналіз дозволяє аналізувати спектральний склад кольору та визначати співвідношення різних кольорів у зображенні. Кореляційний аналіз використовується для виявлення зв'язку між кольором та іншими характеристиками зображення, наприклад, формою об'єктів або текстурою. Крім того, використання методів аналізу Фур'є є важливим для ефективного кодування та аналізу зображень.

- Програми DXO Analyzer iQ-Analyzer-X і Image Color Summarizer є комп'ютерними методами дослідження, які використовуються для аналізу якості та характеристик зображень.

- DXO Analyzer iQ-Analyzer-X є програмним забезпеченням, розробленим DxO Labs, яке зосереджується на аналізі роздільної здатності, колориметричних характеристик та інших параметрів зображень. Вона надає об'єктивну інформацію про якість та деталізацію зображень і може бути корисною для фотографів, професіоналів з обробки зображень та виробників фотоапаратів.

- Image Color Summarizer є програмним забезпеченням, яке аналізує кольори зображень і створює їх кольорові сумарні звіти. Вона дозволяє отримати інформацію про палітру кольорів, їх розподіл і інші характеристики на основі вхідного зображення. Ця програма корисна для дизайнерів, фотографів, маркетологів та інших фахівців, які працюють з кольорами і потребують аналізу кольорової палітри зображення.

- Побудова гістограми розподілу яскравостей елементів за допомогою Matlab є корисним методом для дослідження експозиції зображення. Гістограма надає інформацію про загальну яскравість та контрастність зображення. При побудові гістограми використовується діапазон яскравостей, який зазвичай складається з 256 рівнів. Кожен стовпчик на гістограмі представляє рівень яскравості і висота стовпчика відповідає кількості пікселів у зображенні з даною яскравістю. Можна розрахувати максимальний та мінімальний рівні яскравості для конкретного зображення.

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛЬОРОВОЇ СПЕЦИФІКИ ПЕВНИХ ГАМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ DXO ANALYZER IQ-ANALYZER-X

3.1 Опис методу дослідження

В якості об'єктів дослідження обрано шість кольорових гам (Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3, S-log3)[13], а в якості програмного забезпечення для дослідження використано *DXO Analyzer iQ-Analyzer-X*[10].

Основний аналіз проведено за допомогою UTT Analysis. Числові результати відображені у вкладці Результати UTT у вигляді таблиці. Результати що потрапили в діапазон вибраної специфікації білі, результати поза специфікацією червоні, і результати, за якими специфікація не застосовується сірий. Для кожної гами побудовано 5 залежностей, які характеризують тональне відтворення, баланс білого, шум і тд. Також для кожної гами сформована дельта-таблиця кольору та її візуальна ілюстрація на 3D графічному зображенні та 3D гістограмі.

При дослідженні для створення залежностей програма використовуватиме ідеальні кольори та еталонне зображення для порівняння і аналізу.

Еталонні кольори - це визначені та стандартизовані кольори, які використовуються для точного вимірювання, порівняння та співставлення кольорів у різних контекстах. Ці кольори служать основою для визначення кольорових стандартів і систем, таких як система кольорового простору, колірні моделі та колірні палітри[14].

Еталонні кольори зазвичай визначаються з використанням фізичних методів, таких як спектрофотометрія або колориметрія. Ці методи дозволяють точно виміряти спектральний склад світла, яке випромінюється або відбивається від певного об'єкта або поверхні. На основі цих вимірювань можна встановити числові значення, які представляють кольорові координати еталонного кольору,

такі як RGB (червоний, зелений, синій) або Lab (яскравість, зелена-червона, синьо-жовта).

Еталонні кольори дозволяють встановлювати спільний мовний засіб для спілкування та точного передавання кольорової інформації.

Еталонне зображення - це вибране або створене зображення, яке використовується як точка відліку або стандарт для порівняння, аналізу та оцінки інших зображень. Це зображення може бути визначено як ідеальне або найкраще представлення певної сцени, об'єкта, шаблону або характеристики, залежно від контексту використання.

Еталонні зображення допомагають встановити стандарти та основи для порівняння та аналізу зображень, що є важливим у багатьох сферах, де точність, надійність та об'єктивність є ключовими факторами.

3.2 Аналіз кольорових гам в програмі *DXO Analyzer iQ-Analyzer-X*

Для початку аналізу відкриваємо програму (рис. 3.1).

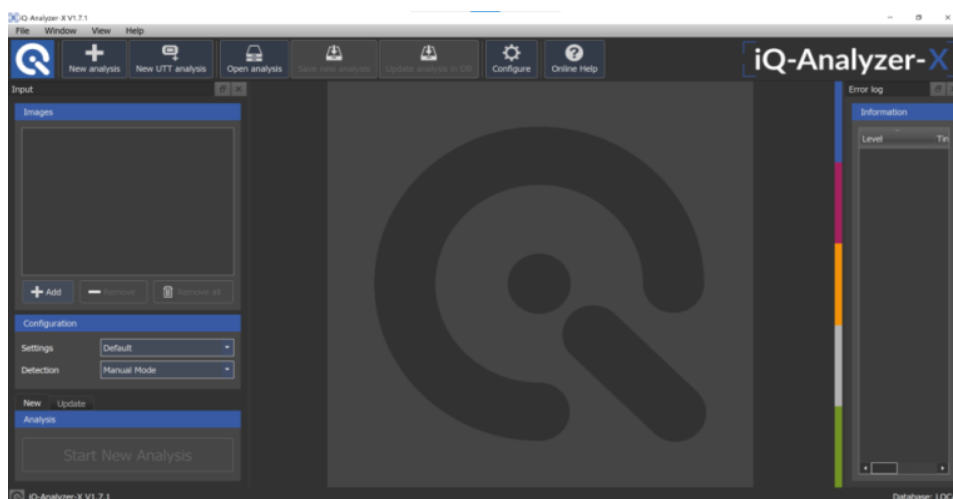


Рисунок 3.1 – Вікно програми *DXO Analyzer iQ-Analyzer-X*

Далі обираємо необхідне зображення та параметри аналізу (рис. 3.2.1).

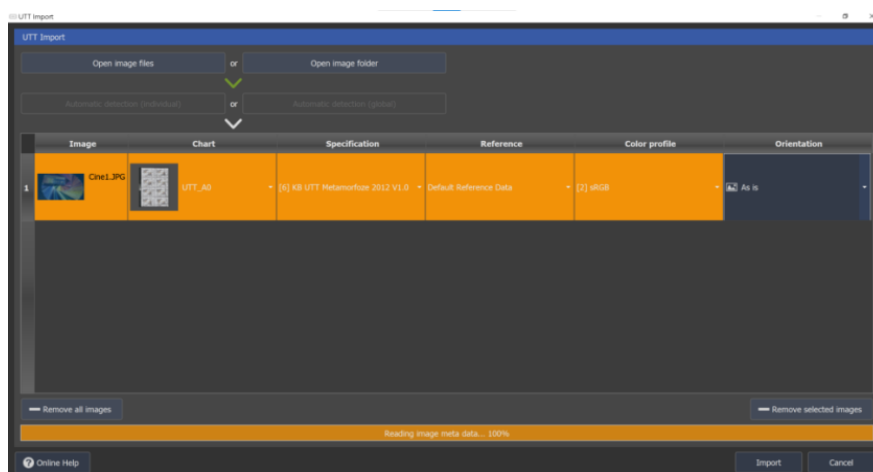


Рисунок 3.2.1 – Встановлення необхідних параметрів для подальшого дослідження

Для дослідження обираємо стандартний аналіз UTT_A0 та кольоровий профіль sRGB (оскільки в цьому профілі відбувалася зйомка матеріалу)[10].

Metamorfoze - рівень якості оцифрування, який був обраний для роботи, оскільки він має набагато більш високий рівень точності ніж MetamorfozeLight або MetamorfozeExtraLight[15].

	METAMORFOZE	METAMORFOZE LIGHT	METAMORFOZE EXTRA LIGHT
Color space	eciRGBv2	eciRGBv2/ Adobe RGB (1998)	eciRGBv2/Adobe RGB (1998)/ Gray Gamma 2,2
Bit depth	16/8 bit	8 bit	8 bit

Рисунок 3.2.2 – Порівняння параметрів Metamorfoze, MetamorfozeLight та MetamorfozeExtraLight

Далі імпортуємо зображення зі встановленими параметрами в програму та натискаємо Start New Analysis, для того щоб програма почала аналізувати обране зображення (рис. 3.3).

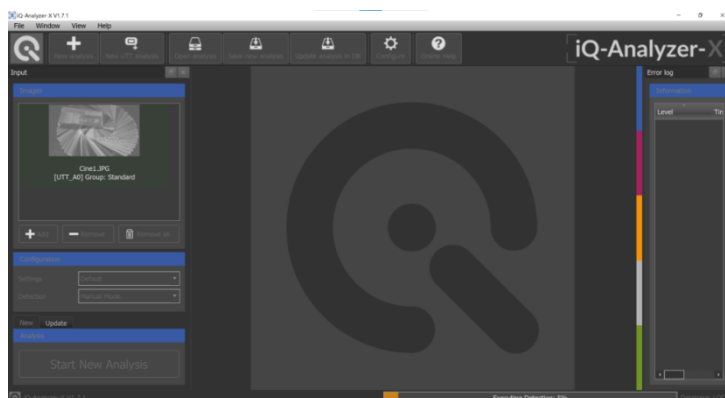


Рисунок 3.3 – Процес аналізування зображення програмою

Після закінчення аналізу UTT надаються результати та огляд. Цей огляд містить класифікацію аналізованих параметрів (рис. 3.4).

Позначення на рис. 3.4.1 означає, що результат знаходиться поза межами, зазначеними у вибраній специфікації, позначення на рис. 3.4.2 – результат у межах зазначеної специфікації, позначення на рис.3.4.3 - результат поза специфікаціями, але в межах толерантності[10].



Рисунок 3.4 – загальний огляд результатів UTT аналізу



Рисунок 3.4.1 – Позначення, що означає, що результат знаходиться в межах вибраної специфікації



Рисунок 3.4.1 – Позначення, що означає, що результат знаходиться поза межами вибраної специфікації



Рисунок 3.4.1 – Позначення, що означає, що результат знаходиться поза межами вибраної специфікації, але в межах толерантності

Результати UTT у вигляді таблиці по обраним гаммам показані на рисунках нижче: Cine 1 (рис. 3.5), Cine 3 (рис. 3.6), HLG (рис. 3.7), HLG 1 (рис. 3.8), HLG 3 (рис. 3.9), S-log3 (рис. 3.10).

UTT Results

TonalReproductionResolutionColorNoiseShadingDistortion

Tonal Reproduction

	TILE	SUB	MEASUREMENT	1	2	3	4	5	6
1	Tile 1	Bottom	Delta_C	21.23	13.10	5.70	5.10	5.17	9.99
2	Tile 1	Bottom	Delta_L	-45.13	-46.94	-47.59	-44.11	-36.66	-40.66
3	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_E	215.77	247.27	52.70	52.86	240.69	28.52
4	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_L	136.39	112.89	30.32	-48.89	179.97	-21.18
5	Tile 1	Bottom	Lab_L	49.87	43.06	37.41	35.89	38.34	29.34

All

Рисунок 3.5 – Результаты UTT для гамм Cine 1

UTT Results

TonalReproduction	Resolution	Color	Noise	Shading	Distortion				
Tonal Reproduction									
	TILE	SUB	MEASUREMENT	1	2	3	4	5	6
1	Tile 1	Bottom	Delta_C	25.67	22.38	6.52	5.58	6.46	6.93
2	Tile 1	Bottom	Delta_L	-40.91	-37.93	-45.78	-41.34	-36.51	-34.30
3	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_E	79.17	476.39	39.97	42.71	84.30	179.20
4	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_L	40.40	256.90	11.31	3.43	55.74	113.74
5	Tile 1	Bottom	Lab_L	54.09	52.07	39.22	38.66	38.49	35.70

Рисунок 3.6 – Результаты UTT для гамм Cine 3

UTT Results

TonalReproduction

Resolution

Color

Noise

Shading

Distortion

Tonal Reproduction

	TILE	SUB	MEASUREMENT	1	2	3	4	5	6
1	Tile 1	Bottom	Delta_C	20.05	19.89	7.81	8.40	9.32	9.26
2	Tile 1	Bottom	Delta_L	-50.44	-45.97	-49.62	-44.75	-40.72	-33.93
3	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_E	11.62	400.22	12.95	44.46	35.86	208.26
4	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_L	10.68	172.96	2.50	19.43	-35.76	146.89
5	Tile 1	Bottom	Lab_L	44.56	44.03	35.38	35.25	34.28	36.07

All

Рисунок 3.7 – Результаты UTT для гамм HLG

UTT Results

TonalReproduction Resolution Color Noise Shading Distortion

Tonal Reproduction

	TILE	SUB	MEASUREMENT	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Tile 1	Bottom	Delta_C	10.91	10.13	10.61	10.68	12.66	14.16	14.20	14.20	14.25
2	Tile 1	Bottom	Delta_L	-58.15	-54.86	-50.26	-44.25	-41.67	-39.96	-34.99	-29.93	-24.83
3	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_E	147.20	26.58	28.71	78.78	141.93	1.09	1.09	13.95	14.99
4	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_L	34.06	8.12	-20.22	48.38	65.79	0.52	-1.07	-2.18	-7.32
5	Tile 1	Bottom	Lab_L	36.85	35.14	34.74	35.75	33.33	30.04	30.01	30.07	30.17

Рисунок 3.8 – Результаты UTT для гамм HLG 1

UTT Results

TonalReproduction Resolution Color Noise Shading Distortion

Tonal Reproduction

	TILE	SUB	MEASUREMENT	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Tile 1	Bottom	Delta_C	8.96	11.41	11.06	12.74	13.44	10.37	3.92	8.19	5.23
2	Tile 1	Bottom	Delta_L	-82.96	-78.76	-77.05	-73.93	-65.42	-59.16	-40.30	-26.51	-30.19
3	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_E	55.02	66.13	52.40	72.35	91.91	395.84	195.50	183.73	121.22
4	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_L	15.96	65.77	37.59	-70.25	-25.05	-277.23	-175.81	173.53	93.31
5	Tile 1	Bottom	Lab_L	12.04	11.24	7.95	6.07	9.58	10.84	24.70	33.49	24.81

Рисунок 3.9 – Результаты UTT для гамм HLG 3

UTT Results

TonalReproduction Resolution Color Noise Shading Distortion

Tonal Reproduction

	TILE	SUB	MEASUREMENT	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Tile 1	Bottom	Delta_C	0.89	6.07	6.62	6.94	7.46	8.07	9.45	10.46	10.65
2	Tile 1	Bottom	Delta_L	-83.28	-73.55	-70.97	-66.19	-61.62	-55.84	-54.53	-52.72	-45.42
3	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_E	142.12	51.10	8.07	14.18	22.89	78.81	67.74	46.14	38.58
4	Tile 1	Bottom	Gain_Modulation_L	-94.67	48.32	4.40	8.66	-15.68	73.78	63.81	-45.99	-28.12
5	Tile 1	Bottom	Lab_L	11.72	16.45	14.03	13.81	13.38	14.16	10.47	7.28	9.58

Рисунок 3.10 – Результаты UTT для гамм S-log3

В цих таблицях, як і в подальших дослідженнях використовуватимуться метрики для аналізу кольору, де ΔC вказує на різницю в насиченості (насиченість кольору) між двома кольорами. У метриках CIE 1976 та CIE 1994, значення ΔC враховується при обчисленні відстані між кольорами. Це означає, що величина ΔC показує, наскільки відрізняються кольори за насиченістю: чим більше значення ΔC , тим більша різниця в насиченості між кольорами[16].

ΔL вказує на різницю в яскравості (яскравість кольору) між двома кольорами. Ця метрика використовується в різних системах оцінки кольорів, таких як CIE Lab (також відома як CIELAB), CIE Luv та інших.

Значення ΔL обчислюється шляхом вимірювання різниці в яскравості між двома кольорами. Яскравість вимірюється на основі відношення між світлосилою кольору та темністю. Чим більше значення ΔL , тим більша різниця в яскравості між кольорами[16].

ΔE вказує на загальну різницю в кольорі між двома кольорами. У метриках CIE 1976, CIE 1994 та CIEDE2000 використовується ΔE для оцінки загальної відстані між кольорами. Значення ΔE враховує різницю в яскравості, насиченості та кольорі між кольорами: чим більше значення ΔE , тим більша загальна різниця в кольорі між кольорами[16].

Отже, ці метрики допомагають визначити різницю між кольорами з точки зору насиченості (ΔC), яскравості (ΔL) та загальної відстані в кольорі (ΔE). Використання цих метрик дозволяє оцінити, наскільки схожі або відрізняються кольори між собою.

Метрика Gain Modulation_L використовується для оцінки рівня зміни яскравості кольору. Вона вказує на те, наскільки сильно змінюється яскравість кольору між двома об'єктами або зображеннями.

Для розрахунку метрики Gain Modulation_L використовуються значення яскравості (L) у просторі кольору CIELAB. CIELAB - це простір кольору, який використовується для вимірювання кольорових характеристик, таких як яскравість, насиченість і відтінок[16].

Для кожного об'єкта або зображення обчислюється середнє значення яскравості (L). Потім розраховується різниця між цими середніми значеннями яскравості для двох об'єктів або зображень. Ця різниця відображається в метриці Gain Modulation_L .

Високе значення метрики Gain Modulation_L вказує на велику зміну яскравості між об'єктами або зображеннями, що може вказувати на значні різниці в освітленні або контрасті між ними. Низьке значення метрики, навпаки, свідчить про подібність яскравості між об'єктами або зображеннями[16].

Метрики Gain Modulation_E за принципом і розрахунком схожа на метрику Gain Modulation_L , але вона використовується для оцінки рівня зміни кольору.

Метрика Lab_L відноситься до простору кольору Lab (CIELAB) і вказує на яскравість (яrkість) кольору. В цьому просторі кольору, Lab, кожен колір представлений трьома компонентами: L , a і b [16].

Компонента L представляє яскравість (яrkість) кольору і знаходиться в діапазоні від 0 до 100, де 0 - чорний, а 100 - білий.

Компонента a відображає зелену-червону складову кольору. Вона може мати значення від -128 до +127, де негативні значення вказують на зелену складову, а позитивні - на червону складову.

Компонента b відображає синю-жовту складову кольору. Вона також може мати значення від -128 до +127, де негативні значення вказують на синю складову, а позитивні - на жовту складову.

Таким чином, Lab_L показує значення яскравості кольору в просторі Lab. Ця метрика розраховується на основі стандартів CIE (Міжнародної комісії освітлення) і використовується для вимірювання різниці в яскравості між двома кольорами. Чим більше значення різниці в Lab_L , тим більша різниця в яскравості між кольорами.

Як видно з отриманих значень кольору найбільше задовільних значень для обраної специфікації має гама $S\text{-log3}$ (4 задовільних значення) та HLG 3 (3 задовільних значення), що означає, що вони мають найбільше збігів з

еталонними кольорами по яким проводилося порівняння, а отже вони мають найкраще кольорове відтворення порівняно з іншими гамами.

Подальші дослідження проведені по параметрам Title 1 та Title 3 або Title 4 (тобто для певної області зображення).

3.3 Gain Modulation

Gain Modulation описує відтворення тонових значень зразка порівняно з еталоном і вимірюється на точках сірого. Якщо Delta L^* зразка і референсу однакове між двома сірими відтінками, модуляція посилення дорівнює 100%, що означає відсутність модуляції. Типовим прикладом модуляції посилення є застосована гамма-крива[10].

Gain Modulation виражається у відсотках. Цю модуляцію можна обчислити за допомогою значень L^* або значень Y . Формула модуляції посилення за значеннями L^* [16]:

$$gain\ modulation = \frac{L_{s(i)}^* - L_{s(i+1)}^*}{L_{ref(i)}^* - L_{ref(i+1)}^*}$$

Індекс S позначає значення вибірки, Ref - значення довідки, а (i) позначає нейтральний зразок, який використовується для вимірювання. Наступний зразок, який використовується для вимірювання, має трохи меншу яскравість, ніж (i) .

Приклад обчислення модуляції посилення для яскравих ділянок нейтральних плям UTT за значеннями L^* :

L^*a*b^* значення S :

Сектор 1 = 94,54, 0,00, -2,00

Сектор 3 = 88,95, 0,00, 2,00.

L^*a*b^* значення Ref :

Сектор 1 = 95,56, 0,00, 0,00

Сектор 3 = 84,95, 0,00, 0,00.

$$gain\ modulation = \frac{94.54 - 88.95}{95.56 - 84.95} = \frac{5.59}{10.61} = 0.5268 = 52.68 \%$$

Для яскравих ділянок допустимі значення модуляції становлять від 80% до 108%, отже модуляція посилення у 52,68% не задовільна.

Якщо Gain Modulation обчислюється за допомогою значень пікселів 8-бітного формату, то більш точним є використання візуально зваженої функції ОЕСФ (функція оптико-електронного перетворення) Y [16].

Формула у цьому випадку матиме вигляд:

$$gain\ modulation = \frac{Y_{s(i)} - Y_{s(i+1)}}{Y_{ref(i)} - Y_{ref(i+1)}}$$

Індекс S у формулі позначає значення вибірки, Ref - значення довідки, а (i) позначає нейтральний зразок, який використовується для вимірювання. Наступний зразок, який використовується для вимірювання, має трохи меншу яскравість, ніж (i) .

Значення Y обчислюється за допомогою трьох каналів RGB[16]:

$$Y = 0,2126 \times R + 0,7152 \times G + 0,0722 \times B$$

Значення Y використовується для вимірювання різкості та визначення кількості шуму.

Gain Modulation - це вимірювана (реальна) різниця між вихідними значеннями двох рівнів освітленості, поділена на теоретичну (референтну) різницю між цими самими двома рівнями освітленості. Спочатку необхідно обчислити модуляцію підсилення в області високих світлових значень. Потім

можна обчислити модуляцію підсилення в усьому діапазоні сірого кольору. Модуляція підсилення обчислюється за значеннями ΔL^* . Оскільки модуляція підсилення обчислюється за допомогою нейтральних кольорів, її також можна обчислити за значеннями ΔE^* . Щоб забезпечити збереження інформації в області високих світлових значень, модуляція підсилення повинна бути не менше 80% і не більше 108%. Це стосується всіх трьох рівнів якості Metamorfoze. Під інформацією в області високих світлових значень маються на увазі бліді кольори. Модуляція підсилення в області високих світлових значень обчислюється за допомогою нейтральних[16].

Восьмибітні значення пікселів залежать від простору кольорів, що означає, що відстань у значеннях пікселів між двома послідовними освітленостями, залежить від використаного простору кольорів. Крім того, три кольорові канали в восьмибітних значеннях пікселів можуть трохи відрізнятися. Правильна допустима відхиленість балансу білого становить +3 і/або -3 значення пікселів між усіма трьома кольоровими каналами. Тому для обчислення в восьмибітних значеннях пікселів точніше виходити зі значення Y [16].

Y - це візуально вагована оптоелектронна функція перетворення, відома також як сигнал яскравості.

Щоб обчислити значення Y , використовуючи Photoshop, файли RGB з каналним змішувачем мають бути перетворені в монохромний файл. Дизайн сірої шкали, який представляє собою відстань між різними сірими значеннями у величинах L^* та відіграє ключову роль у оцінці модуляції підсилення[16].

Нейтральні значення UTT підтверджуються значеннями L^* . Різниця між нейтральними значеннями завжди становить 5 одиниць L^* . Це забезпечує регулярне спостереження за модуляцією підсилення, що робить нейтральні значення UTT ідеально підходящими для обчислення та оцінювання модуляції підсилення на всій довжині сірої шкали. Допустима модуляція підсилення в продовженні сірої шкали встановлюється в більш комфортному діапазоні, ніж в області високих світлових значень: 60% - 140%. Збільшення цих допустимих відхилень в певній мірі може бути корисним при цифровому дублюванні

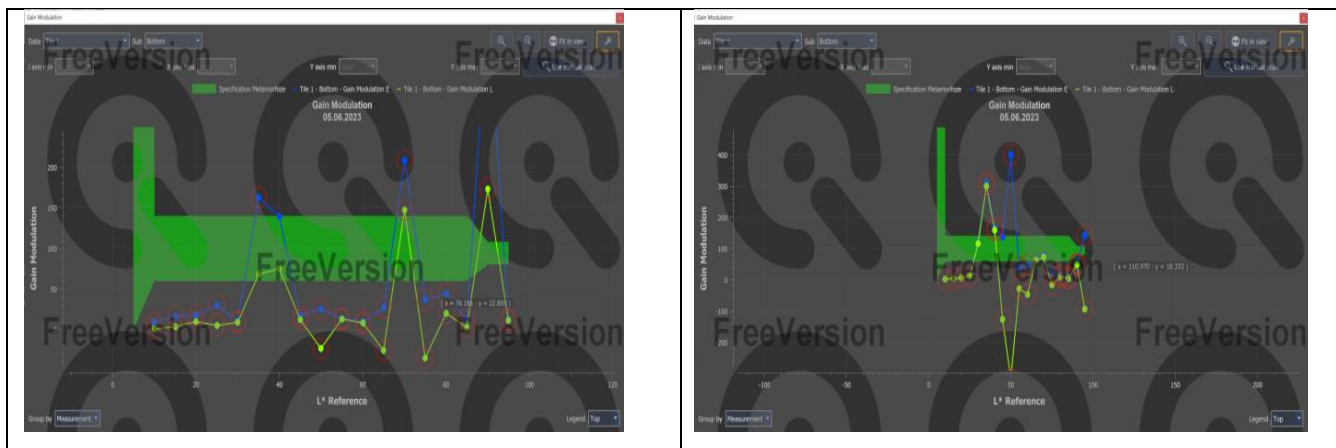
оригіналів з великою кількістю інформації в темних областях. У наступній частині сірої шкали модуляція обчислюється між послідовними сірими шкалами, наприклад, на сірій шкалі UTT між зразком 3 і 4, 4 і 5 і так далі.

Значення, що перевищує 108% в області високих світлових значень, є небажаним, бо це означає підсилення контрасту. Підсилення контрасту в області високих світлових значень може призвести до обрізання і тому потрібно цього уникати. Чи дійсно підсилення контрасту може призвести до обрізання, залежить від яскравості (значення L^* або щільності відображення) оригіналів.

В табл.. 3.1 наведено результати Gain Modulation для Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

Таблиця 3.1 - Результати Gain Modulation для Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

Cine 1	HLG 1
	
Cine 3	HLG 3
	
HLG	S-log3



Як видно із змодульованих залежностей (Gain Modulation_E та Gain Modulation_L) гами Cine 1 та Cine 3, мають такі значення, що мають найбільше точок потрапляння в зелений діапазон, що являється областю задовільних значень цих залежностей. Такі хороші результати можуть бути зумовлені їхньою невисокою контрастністю і широким динамічним діапазоном.

3.4 Шум

Шум - це інформація на зображенні, якої немає в оригіналі. Шум можна описати як стандартне відхилення, кількість шуму виражається в значеннях пікселів[10].

Шум вимірюється на ділянці нейтральних тонів UTT або DCSG або на ділянці сірого відтінку крокової шкали Kodak Gray Scale. Кількість шуму оцінюється в сигналі яскравості.

Кількість вимірюваного і описаного шуму залежить від глибини бітів. Для 8-бітного рівня допускається максимальний рівень шуму у 4 пікселі. Це означає, що із 256 значень пікселів 4 значення можуть відхилятися. Це відповідає відхиленню 1,5625%. Для 16-бітного рівня ($2^{16}=65536$) відхилення 1,5625% означає, що 1024 значення пікселів можуть відхилятися[16].

Кількість шуму вимірюється на рівномірній і нейтральній ділянці сірого відтінку. Значення допуску застосовується до всіх ділянок, які оцінюються. На рівні якості Metamorfoze оцінюються кількість шуму аж до глибокого чорного.

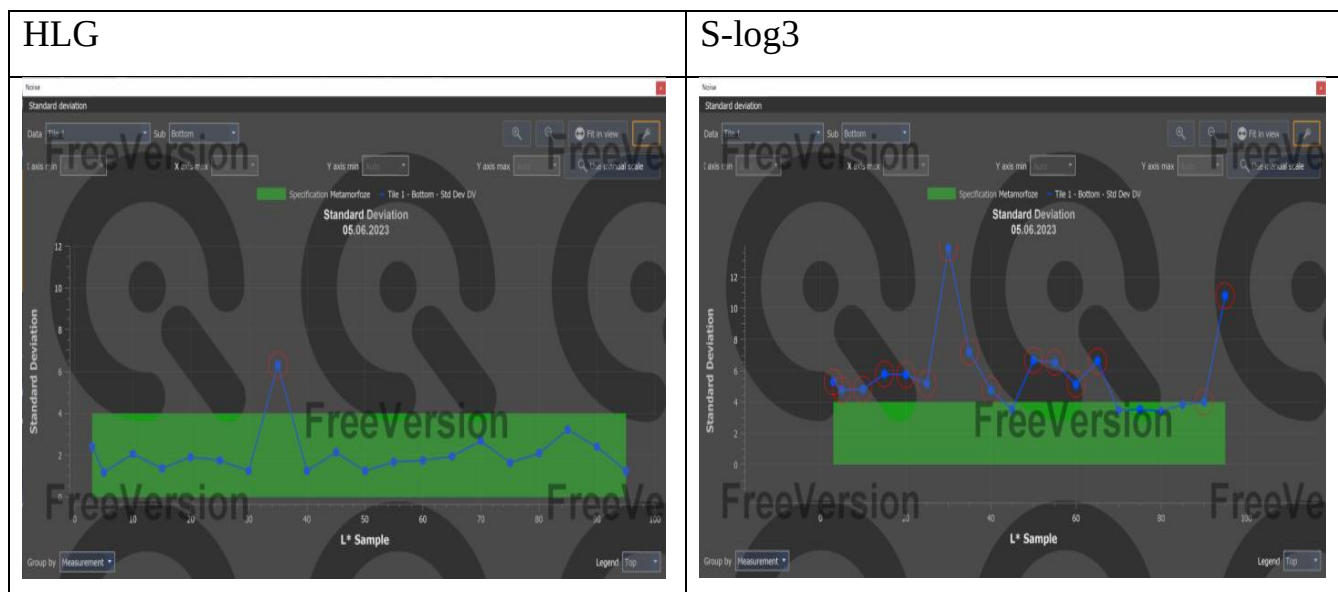
У Photoshop шум можна виміряти на основі вибірки. Прямокутник вибірки повинен вписуватися у ділянку нейтральних тонів і не повинен бути занадто малим. Це середнє значення, виміряне на всій сірій ділянці. Після підготовки прямокутника вибірки на випадковому рівні яскравості, кількість шуму (стандартне відхилення) можна прочитати на екрані розширеної гистограми.

Шум вимірюється на окремих кроках відтінків сірого кольору. Тип вимірюваного шуму залежить від застосованої специфікації. У випадку специфікації Metamorfoze шум дорівнює стандартному відхиленню L^* зразка[16].

В табл. 3.2 наведено результати вимірювання шуму для Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

Таблиця 3.2 - Результати аналізу шуму для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3





Отже після проведеного аналізу очевидно, що гами HLG, HLG 1 та Cine 3 мають найменшу шумність, що дає їм суттєву перевагу над гамою S-log3, що має найбільшу шумність, оскільки цей параметр суттєво впливає на якість знятих матеріалів.

Деякі з найбільш поширених недоліків шуму на фото та відео включають:

- Втрата деталей: шум може призводити до втрати дрібних деталей та текстур на фото або відео. Високий рівень шуму може розмити зображення та зробити його менш чітким.
- Зниження роздільної здатності: шум може знизити роздільну здатність зображення, зробити його менш різким та менш деталізованим.
- Втрата колірної точності: шум може спричинити втрату колірної точності на фото або відео. Він може призводити до появи артефактів, які спотворюють оригінальні кольори.
- Погіршення контрастності: високий рівень шуму може погіршити контрастність зображення, зробити його менш насиченим та менш виразним.
- Погіршення якості відео: шум на відео може призводити до мерехтіння, дрожіння та інших артефактів, що впливають на сприйняття та якість перегляду.

- Ускладнення обробки: наявність шуму може ускладнити обробку фото або відео, зокрема при застосуванні фільтрів, корекції кольору або відновленні деталей.

- Втрата інформації: високий рівень шуму може призводити до втрати деякої інформації на зображенні, особливо у темних або затінених областях.

Саме тому перевагу варто надавати гамам з меншим коефіцієнтом шумності.

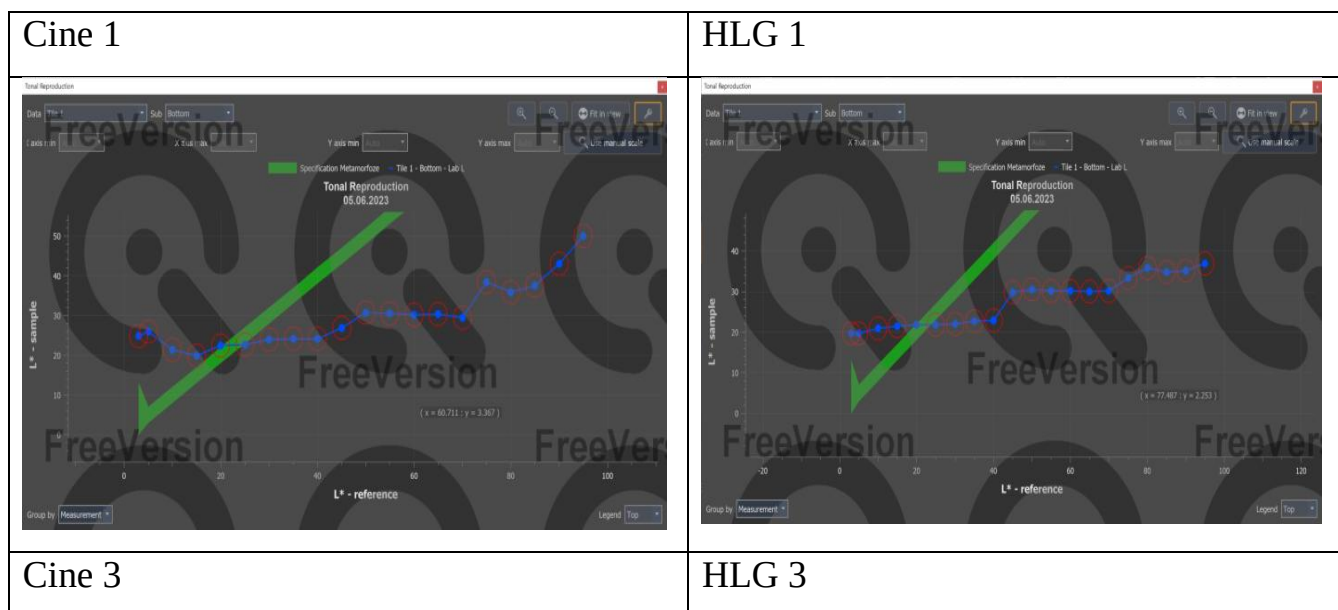
3.5 Tonal Reproduction

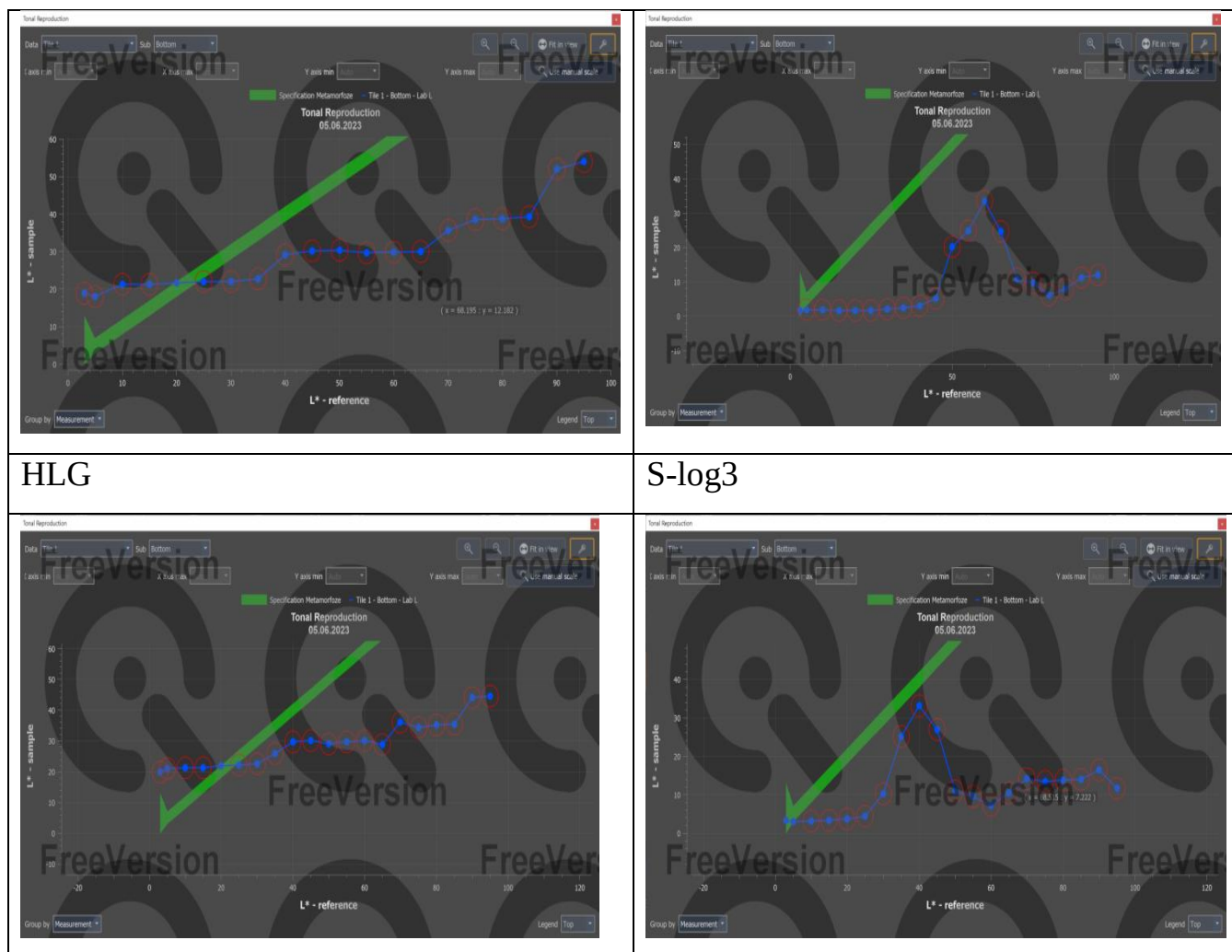
Tonal Reproduction вимірюється за допомогою чотирьох відтінків сірого на графіку. Ця модуляція описує реакцію пристрою під час тесту на вхідний сигнал.

Щоб досягти точної репродукції, значення L^* зразка повинні бути якомога ближчими до значень L^* , які посилаються[10].

В табл.. 3.3 наведено результати вимірювання Tonal Reproduction для Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

Таблиця 3.3 - Результати аналізу Tonal Reproduction для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3





Як видно з графіків отриманих в результаті роботи програми гами Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1 мають схожі характеристики так само як HLG 3 та S-log3. З цього можна зробити висновок, що деякі гами мають схожі тональні характеристики.

3.6 Баланс білого

Баланс білого - це налаштування коефіцієнтів каналів кольору або обробка зображення для досягнення візуально нейтрального відтворення вхідного зображення. Він вимірюється як дельта C між зразком та еталоном UTT. Цей графік показує коригування для підтримки нейтральності сірого відтінку. Він показує Delta C по L^* . У найкращому випадку Delta C дорівнює 0.

Діапазон допустимих відхилень, визначений у специфікаціях, відображається зеленим, а значення за межами діапазону допустимих відхилень позначаються червоним колом[10].

Баланс білого завжди оцінюється спочатку на світлих ділянках. Під світлими ділянками розуміють найсвітлішу ділянку сірої шкали. Максимальний рівень чорного, на якому оцінюється баланс білого, залежить від рівня якості, використаного в Metamorfoze. У рівні якості Metamorfoze баланс білого оцінюється до глибокого чорного ($L^* 5$)[10].

Відхилення балансу білого на світлих ділянках є більш небезпечним, ніж на темних ділянках.

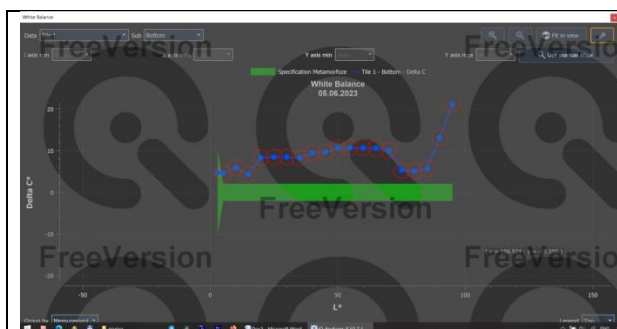
Для значень пікселів 8-бітового формату різниця між трьома каналами RGB не повинна перевищувати +3 і -3. Це стосується всіх кольорових просторів. Якщо баланс білого налаштований неправильно, то може виникнути колірний відтінок. Колірний відтінок у кадрі також може виникнути, якщо використовуються спалахи або лампи з різною колірною температурою або якщо колір відображається в оточенні[16].

Колірний відтінок не повинен виникати в кадрі. Можна говорити про колірний відтінок, якщо виміряне значення, відображене в ΔC^* або у значеннях пікселів 8-бітового формату, перевищує встановлене значення відхилення балансу білого[16].

В табл. 3.4 наведено результати вимірювання балансу білого для Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

Таблиця 3.4 - Результати аналізу балансу білого для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

Cine 1	HLG 1
--------	-------



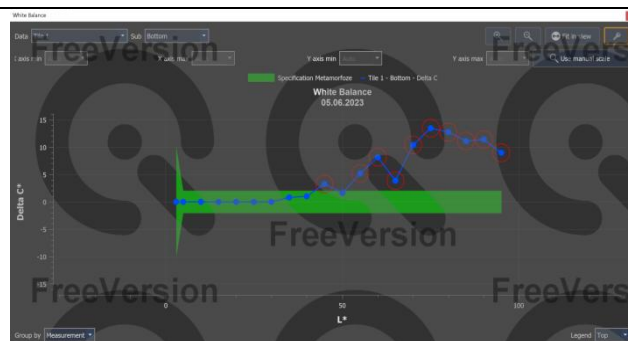
Cine 3



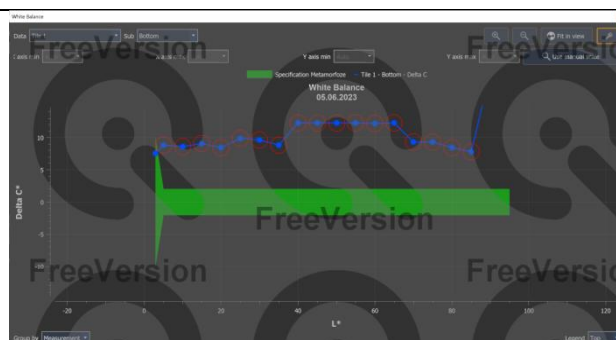
HLG 3



HLG



S-log3



Як стало видно після аналізу, гами HLG 3 та S-log3 мають найкращий баланс білого, на відміну від інших гам, що дає їм суттєву перевагу оскільки несправний баланс білого може призводити до спотворень кольору, зміни тону шкіри, зміни загального відтінку зображення та неправильного відображення насичених кольорів.

Правильний баланс білого допомагає забезпечити, щоб білий колір виглядав дійсно білим, незалежно від умов освітлення. Він також допомагає зберегти правильний колір для всього спектра кольорів на зображенні або у відеоролику. Це особливо важливо, якщо необхідно точно передати кольори об'єктів або створити спеціальні ефекти на основі кольору.

В цілому, коректний баланс білого допомагає забезпечити природний і точний відтворення кольорів у фотографіях та відеозаписах, зробити їх більш привабливими та зберегти передання реального сприйняття кольорів від першопочаткового джерела освітлення.

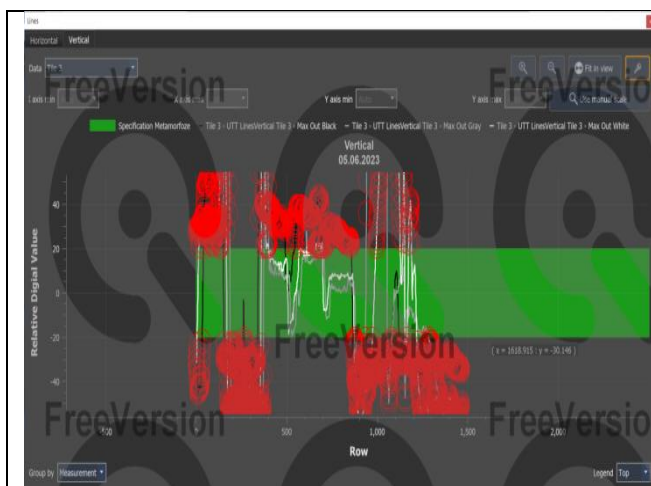
3.7 Лінії

Вимірювання "Ліній" допомагають виявити небажані смугасті візерунки або полоси на зображенні. Воно здійснюється на білих, сірих та чорних горизонтальних та вертикальних лініях, які перед вимірюванням виправляються для усунення затінення. У цьому графіку показана відносна інтенсивність білих, чорних та сірих ліній у верхній горизонтальній та лівій вертикальній межі кожної частини зображення відносно її положення. Допустима похибка показана зеленим кольором, а значення, які виходять за межі специфікації, позначені червоним колом[10].

В табл. 3.5 наведено результати дослідження "Ліній" в гамах Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

Таблиця 3.5 - Результати аналізу "Ліній" для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

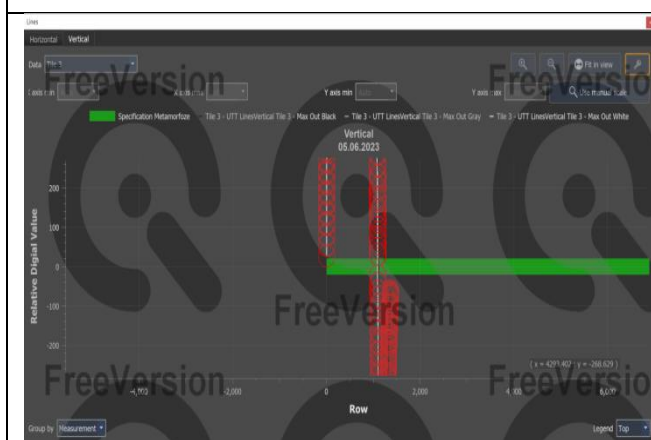
Cine 1	HLG 1
	
Cine 3	HLG 3



HLG



S-log3



Тож, як видно проведеного аналізу, найменшу кількість ліній має гама HLG, що є показником гарної якості мультимедійного матеріалу знятого у цій кольоровій гамі.

3.8 Характеризація кольору

Характеризація кольору камери є важливим етапом у процесі обробки кольорових зображень. Вона оцінює, як модуль камери переводить вхідні дані RGB з датчика у бажаний простір кольорів. Неправильне калібрування та характеризування кольору можуть призвести до некоректного відтворення кольорів, що негативно вплине на загальну якість зображення.

Відтворення кольору зазвичай описується за допомогою метрики Delta E, яка представляє різницю кольору на тестовому зображенні відносно еталону.

"Таблиця Дельта" показує кольоровий код для кожної кольорової пластинки на тестовому зображенні. Ці квадрати також відображають числове значення певних параметрів, таких як Delta E, Delta L, Delta C, Delta H та Візуальний шум[10].

Ця таблиця містить інформацію про кольори та їхні відтінки, які можуть бути представлені у вигляді числових значень або спеціальних кодів.

Коди кольорів можуть використовуватися для співставлення інформації про кольори між різними пристроями або програмами. Наприклад, якщо ви хочете передати кольорову схему з одного програмного забезпечення в інше, ви можете скористатися таблицею Дельта для знаходження еквівалентного коду кольору у вибраній системі кольорів[10].

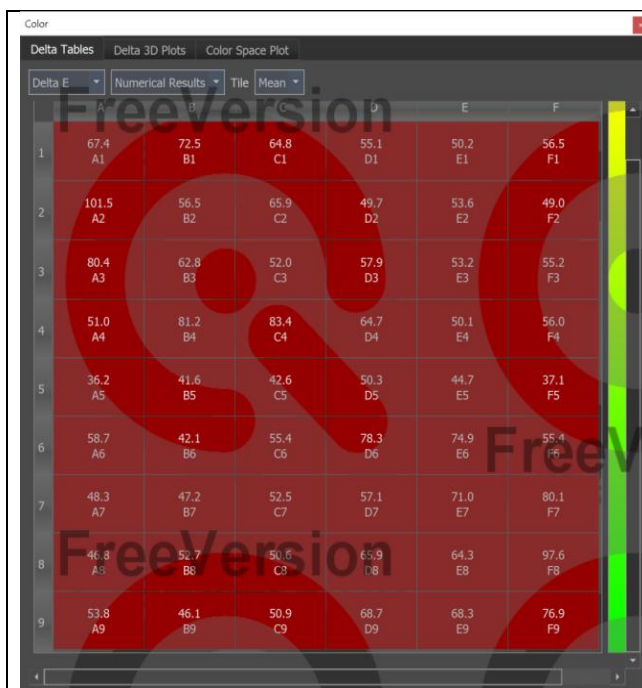
У таблиці Дельта кольори представлені у вигляді числових значень або спеціальних кодів, що відображають їхні відтінки. Коди можуть бути унікальними для кожного кольору або відповідати стандартним системам кольорів, таким як RGB (Red-Green-Blue) або CMYK (Cyan-Magenta-Yellow-Black).

Ця таблиця допомагає зрозуміти, які кольори присутні на тестовому зображенні, а також як їх інтерпретувати. Колірний код, який відповідає кожній кольоровій пластинці, надає зручний спосіб ідентифікувати та порівнювати кольори на зображенні.

В табл. 3.6 наведено "Таблиці Дельта" для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

Таблиця 3.6 - "Таблиці Дельта" для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

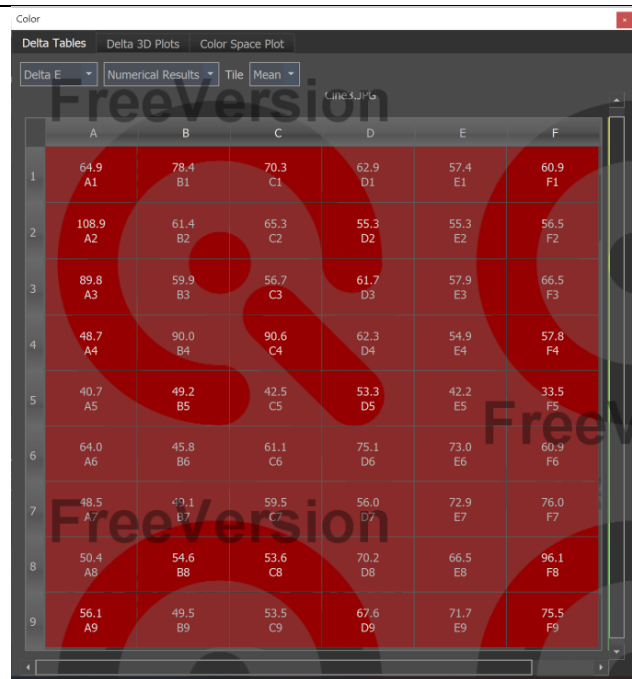
Cine 1	HLG 1
--------	-------



Cine 3



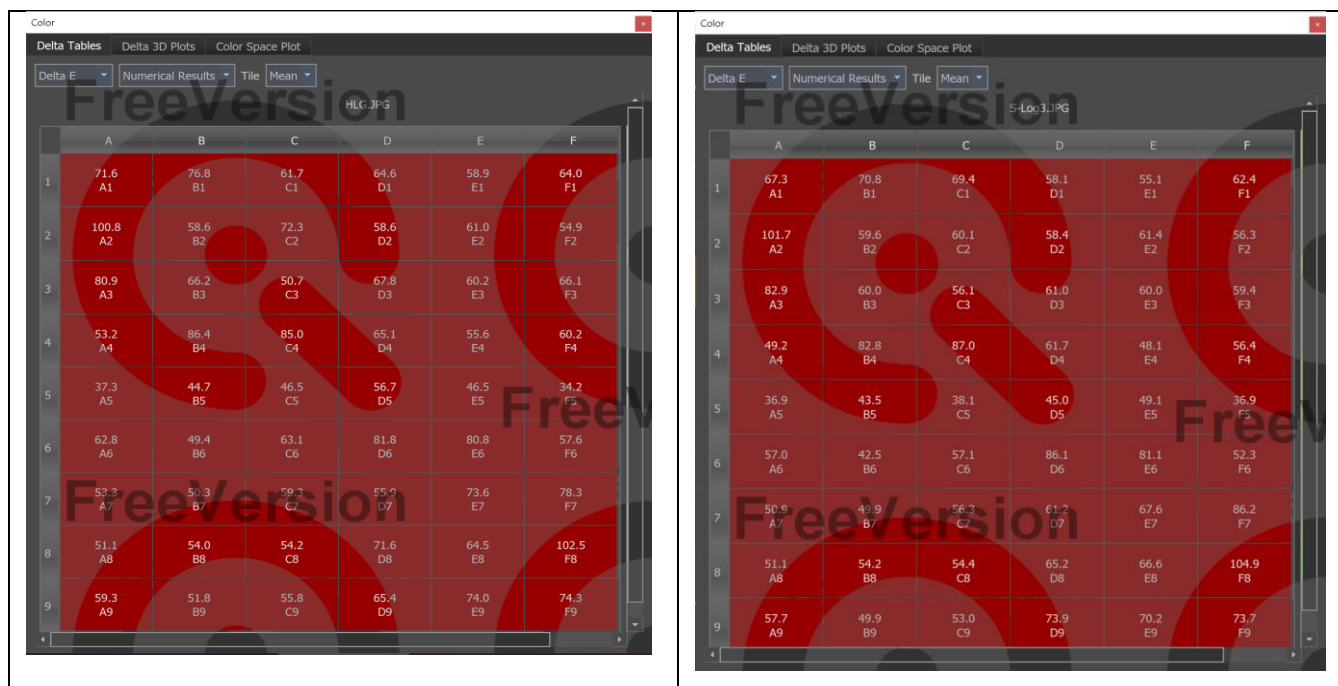
HLG 3



HLG

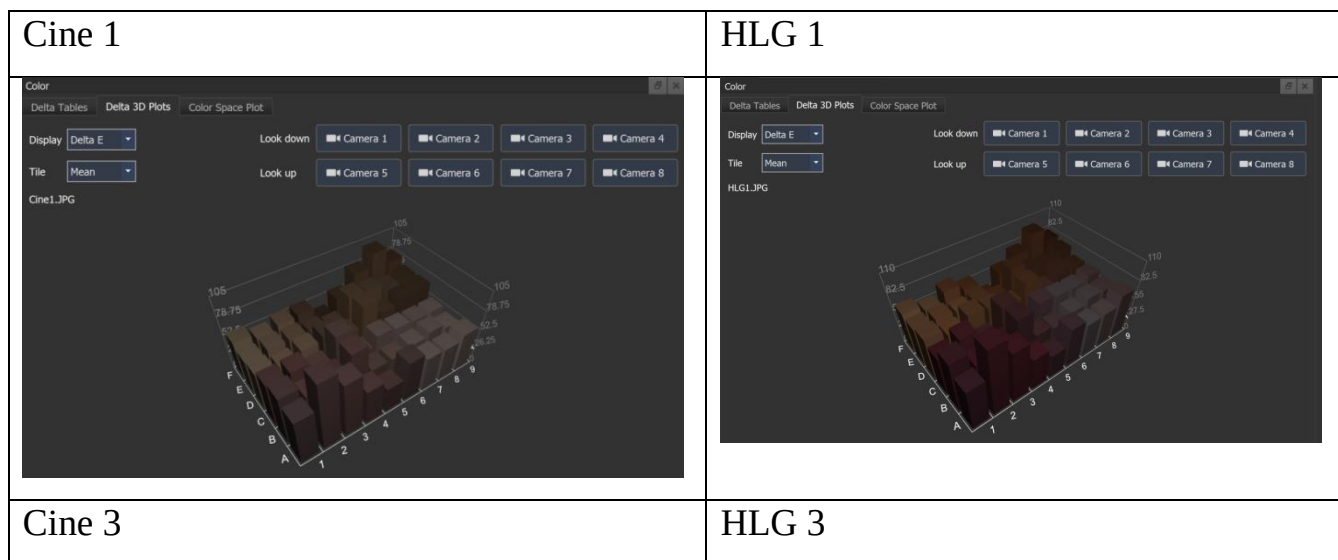


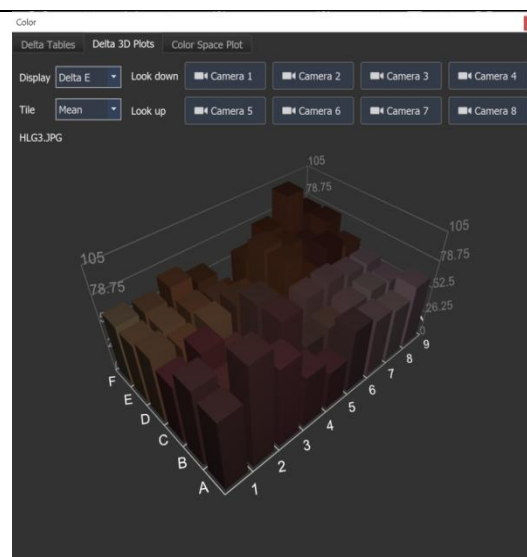
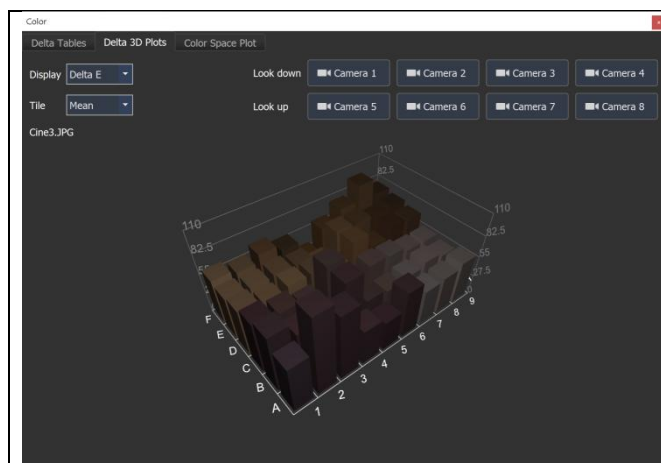
S-log3



3-D гістограма кольору в табл. 3.7 показує значення Delta у вигляді 3D-стовпчиків для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3.

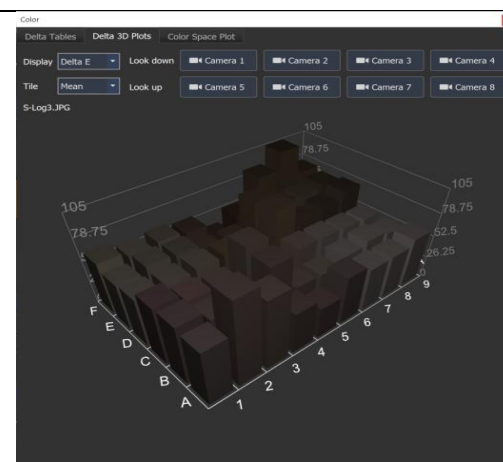
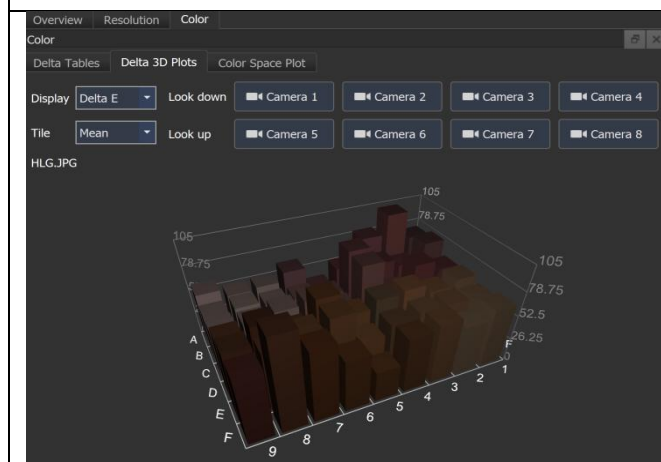
Таблиця 3.7 - "Таблиці Дельта" у вигляді 3-D гістаграми для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3.





HLG

S-log3

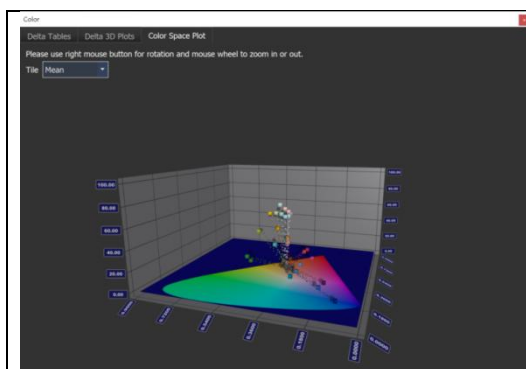


Розраховані кольори зображення та посилання також можна відобразити у просторі кольорів CIE xY , де x і y - це координати насиченості, а Y - яскравість. Кольори зображення для перевірки представлені кулею, а кольори посилання - кубом.

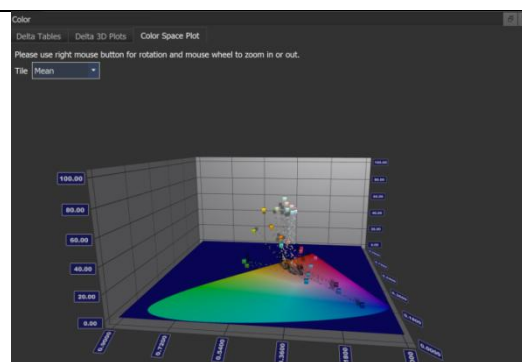
В табл. 3.8 наведено 3-D графіки кольорів у просторі CIE xY для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

Таблиця 3.8 - 3-D графіки кольорів у просторі CIE для гам Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1, HLG 3 та S-log3

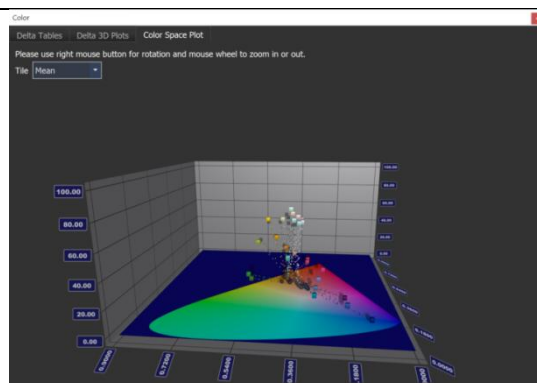
Cine 1	HLG 1
--------	-------



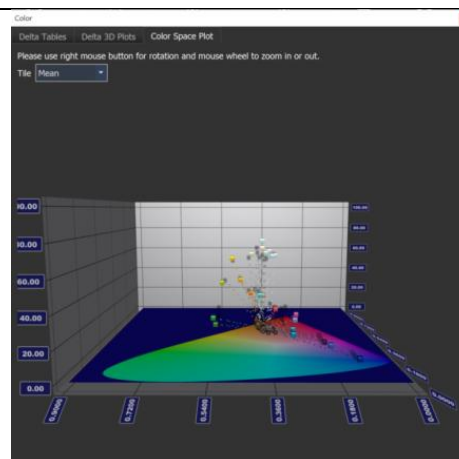
Cine 3



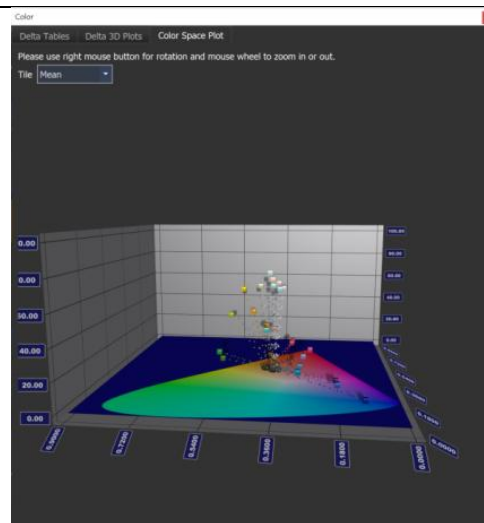
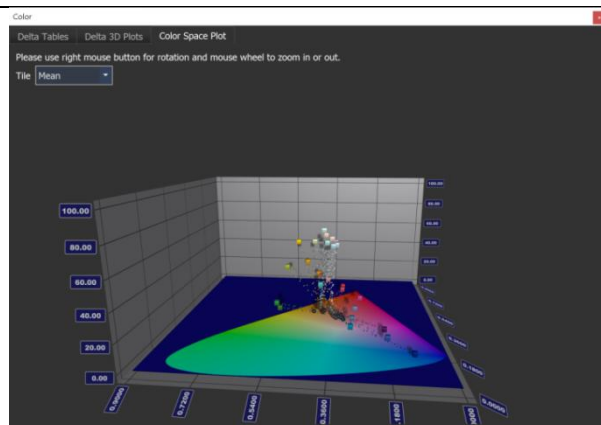
HLG 3



HLG



S-log3



По цим даним можна подивитися як змінюється кольорова інформація відповідно до виду використаної гама. Таблиці ілюструють цифрові значення кольорів, а 3-D діаграма є їх візуальним зображенням для більшої наочності, так само як і 3-D залежність, що побудована у просторі CIE.

В загальному проаналізувавши отримані результати дослідження характеристики кольорів можна сказати, що кольори в кожній гамі мають свої значення і рідко коли можна зустріти два однакових відтінки в різних гамах, саме це і зумовлює кольорову унікальність кожної гами.

3.9 Висновки по третьому підрозділу:

- В дослідженні використовується шість кольорових гам, програмне забезпечення DXO Analyzer і Q-Analyzer-X та аналіз UTT. Для кожної гами будуються залежності, а також формуються дельта-таблиця кольору та її візуальна ілюстрація. Для створення залежностей використовуються ідеальні кольори та еталонне зображення.

- Аналіз включав вибір стандартного аналізу UTT_A0 та кольорового профілю sRGB для обробки зображення. Також використано Metamorfoze як рівень якості оцифрування. Результати аналізу UTT представлені у вигляді таблиць, в яких використовуються метрики ΔC , ΔL , ΔE для оцінки різниці в насиченості, яскравості та загальній відстані в кольорі між об'єктами. Метрики Gain Modulation_L і Gain Modulation_E використовуються для оцінки зміни яскравості та кольору між об'єктами або зображеннями. Виявлено, що Гама S-log3 та HLG 3 показали найкращі результати збігу з еталонними кольорами, що свідчить про їхнє найкраще кольорове відтворення.

- Gain Modulation є методом вимірювання і відтворення тонових значень. Він виражається у відсотках і може бути обчислений за допомогою значень L^* або значень Y . При цьому аналізі гами Cine 1 та Cine 3 мають значення, що потрапляють у задовільний зелений діапазон, ймовірно, через невисоку контрастність і широкий динамічний діапазон.

- Крім встановлено, що гами HLG, HLG 1 та Cine 3 мають найменшу шумність, що робить їх перевагою перед гамою S-log3, яка має найбільшу шумність.

- Гами Cine 1, Cine 3, HLG, HLG 1 мають схожі характеристики, так само як HLG 3 та S-log3. тональні характеристики.

- Після аналізу стало виявлено, що гами HLG 3 та S-log3 мають найкращий баланс білого порівняно з іншими гами. Це дає їм суттєву перевагу, оскільки несправний баланс білого може спричиняти спотворення

кольору, зміни тону шкіри, зміну загального відтінку зображення та неправильне відображення насичених кольорів.

- Встановлено також, що гама HLG має найменшу кількість небажаних смуг або полос на зображенні, що свідчить про високу якість мультимедійного матеріалу, знятого в цій кольоровій гамі.

- За результатами дослідження характеристика кольору, встановлено, що правильне калібрування та характеристика кольору камери є важливими для досягнення точного відтворення кольорів на зображенні. Результати дослідження показують, що кожна гама має унікальні значення кольорів, що призводить до колористичної унікальності кожної гами.

ВИСНОВКИ

Розглянуто 12 різних кольорових гам камери Sony a7 III, які використовуються при створенні фото та відео контенту. Кожна гама має свою специфіку, сферу застосування та колориметрію, але деякі з них мають спільні властивості.

Основні методи аналізу кольорової інформації включають конверсію у колірні простори, вимірювання колірних параметрів, аналіз спектрального складу, кольорову диференціацію, кольорову статистику та кольорову кореляцію. Для аналізу якості та характеристик зображень використовувалася комп'ютерна програма DXO Analyzer iQ-Analyzer-X.

Аналіз гам показав, що деякі гами мають найкраще кольорове відтворення, інші мають меншу шумність або кращий баланс білого. Кожна гама має унікальні значення кольорів, що призводить до колористичної унікальності кожної гами. Зазначено, що використання ідеальних кольорів та еталонного зображення допомагає у створенні залежностей. Для аналізу кольору використовуються різні методи, включаючи колориметрію, спектральний аналіз і кореляційний аналіз. Колориметрія вимірює колірні параметри зображення, спектральний аналіз дозволяє аналізувати спектральний склад кольору, а кореляційний аналіз допомагає виявити зв'язок між кольором та іншими характеристиками зображення. Також зазначено, що використання формул Фур'є при дослідженні є важливим методом для ефективного кодування та аналізу зображень.

Результати дослідження показали, що деякі гами, такі як HLG 3 та S-log3, мають кращий баланс білого, що є важливим для точного відтворення кольорів на зображенні, а гама HLG має найменшу кількість небажаних смуг на зображенні, що свідчить про високу якість мультимедійного матеріалу, знятого в цій гамі.

Узагальнюючи, аналіз кольорових гам камери Sony a7 III показав, що кожна гама має свої особливості, сферу застосування та технічні

характеристики. Вибір гами для роботи з відео та фото повинен здійснюватися відповідно до технічного завдання та потреб користувача.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Психологія сприйняття кольору і вплив кольору URL:
<https://alexus.com.ua/psixologiya-sprijnyattya-koloru-i-vpliv-koloru/#lwptoc1>
2. Sony A7 III, A7S II, A7R IV Picture Profiles for Video URL:
<https://mirrorlesscomparison.com/guide/sony-a7-picture-profiles-video/#display-assist> (дата звернення 22.05.2023)
3. Setting basic contrast/coloring (Gamma/Color Mode) URL:
<https://helpguide.sony.net/di/pp/v1/en/contents/TP0000909109.html> (дата звернення 20.05.2023)
4. How to Color Grade Sony S-log3 & HLG In Davinci Resolve URL:
<https://filmmakingelements.com/color-grade-sony-slog3-hlg-in-davinci-resolve/>
 (дата звернення 19.04.2023)
5. Ohno, Yoshi (16 October 2000). CIE Fundamentals for Color Measurements (PDF). IS&T NIP16 Intl. Conf. on Digital Printing Technologies. pp. 540–45. Archived from the original (PDF) on 15 May 2009. Retrieved 18 June 2009. (дата звернення 18.04.2023)
6. Green Stability Assumption: Unsupervised Learning for Statistics-Based Illumination Estimation (дата звернення 18.04.2023)
7. A Method to Improve Robustness of the Gray World Algorithm
 Chen Guanghua, Zhang Xiaolong (дата звернення 20.04.2023).
8. Спектральні методи обробки зображень URL:
<http://pzs.dstu.dp.ua/ComputerGraphics/spectrum/index.html>
9. Коефіцієнт кореляції Пірсона URL:
https://www.wikiwand.com/uk/%D0%9A%D0%BE%D0%B5%D1%84%D1%96%D1%86%D1%96%D1%94%D0%BD%D1%82_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%97_%D0%9F%D1%96%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%BD%D0%B0
10. iQ-Analyzer-X V1.7.1 Manual URL:
https://wiki.image-engineering.de/doku.php?id=en:iq-analyzerx:product_manual
 (дата звернення 28.05.2023)

11. Image Color Summarizer URL:

<http://mkweb.bcgsc.ca/color-summarizer/> (дата звернення 26.05.2023)

12. ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ ТА МУЛЬТИМЕДІА URL:

http://document.kdu.edu.ua/metod/2018_153.pdf (дата звернення 25.05.2023)

13. Picture

Profile

URL:

<https://helpguide.sony.net/ilc/1720/v1/en/contents/TP0001661955.html> (дата звернення 22.05.2023)

14. Що

може

бути

еталоном

кольору?

URL:

<http://www.mhu.com.ua/contacts/about-company/articles/246-color-standard-1>
(дата звернення 25.05.2023)

15. Metamorfoze Preservation Imaging Guidelines URL: [https://digitalizalas.eu/wp-](https://digitalizalas.eu/wp-content/uploads/2020/09/Metamorfoze_Preservation_Imaging_Guidelines.pdf)

[content/uploads/2020/09/Metamorfoze_Preservation_Imaging_Guidelines.pdf](https://digitalizalas.eu/wp-content/uploads/2020/09/Metamorfoze_Preservation_Imaging_Guidelines.pdf)

(дата звернення 29.05.2023)

16. Color/Tone

and

Colorcheck

Appendix

URL:

https://www.imatest.com/docs/colorcheck_ref/ (дата звернення 29.05.2023)