

УДК 655.255+77.01

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА КВАЛІМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ФОТОГРАФІЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ, ОТРИМАНОГО ЦИФРОВИМИ ФОТОРЕЄСТРУЮЧИМИ СИСТЕМАМИ

М. М. Дубневич

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Розвиток систем реєстрування оптичної інформації відбувається дуже швидко. Сьогодні на ринку цифрової фототехніки фактично наявні три типи фотореєструючих систем: дзеркальні фотокамери, бездзеркальні (системні) фотокамери та камери у смартфонах. Водночас дедалі більше користувачів обирають серед фотореєструючих систем саме останній клас.

Проведено аналіз розвитку ринку виробників цифрових фотокамер, причини скорочення його окремих сегментів, напрями розвитку технічного удосконалення цифрової фототехніки.

Систематизовано показники якості цифрових півтонових зображень та побудовано причинно-наслідкову діаграму факторів впливу на вказані показники. На основі аналізу факторів впливу визначено пріоритетність впливу на якість цифрового фотозображення матеріального забезпечення фотокамери (світлочутливої матриці та оптики).

Зроблено висновки про перспективи розвитку цифрових фотореєструючих систем та сформульовано рекомендації про напрями удосконалення їх технічного та програмного забезпечення.

Ключові слова: фотографія, діафрагма, об'єктив, дзеркальна фотокамера, системна фотокамера, стекінг, білінг пікселів, лідар, яскравість, кольоровідтворення, різкість.

Постановка проблеми. З моменту появи фотографії у 1839 році число її прихильників зростає. Змінюються технічні засоби, фізичні процеси реєстрування світлової інформації, а цифровізація фотопроцесу сприяє практично миттєвому поширенню візуального контенту на широке коло споживачів. Сьогоднішній розвиток фототехніки настільки спростив процес отримання фото, зробив його достатньо інтуїтивно зрозумілим, що сприяє розширенню кола користувачів.

Однак сучасні тенденції популяризації інтернет-ресурсів та соціальних мереж ставлять нові вимоги — пріоритети споживачів переходять у сегмент оперативності, швидких комунікацій та якісного, візуально привабливого фотоконтенту. Мобільність для сучасних споживачів є доволі важливою, що стало однією з причин зміни акцентів на ринку фототехніки. Донедавна цифрові фотокамери були представлені такими типами: компактні, дзеркальні зі змінною оптикою та відносно

нові системні бездзеркальні фотокамери зі змінною оптикою. Сьогодні структура ринку цифрової фототехніки суттєво змінилася: окремі категорії фотокамер, компактні із вбудованою оптикою практично уже не випускаються, акценти дедалі частіше зміщуються у сторону фотокамер для смартфонів.

На фоні одночасного удосконалення фотокамер у смартфонах, зокрема застосування потужного програмного забезпечення для використання можливостей обчислювальної фотографії (технології лідар, стекінгу фотозображень, бінінгу пікселів, фокусування за технологією Dual Pixel), справді відкриває можливості для отримання доволі якісних фотозображень. Усе це дає змогу деяким аналітикам прогнозувати швидке зникнення з використання фотокамер як окремих девайсів або щонайменше подальше звуження частки ринку цифрових фотокамер.

Мета статті — аналіз взаємозв'язків показників якості цифрового фотозображення та технічних параметрів фототехніки, визначення пріоритетності окремих факторів для формування задовільних показників якості ресестрування візуальної інформації на цифрових фотозображеннях. Оскільки фотресстраційний процес є дуже гнучким і на характеристики фотозображення впливає широкий перелік факторів, виникає необхідність систематизації та визначення їх пріоритетності. Це дасть змогу оптимізувати процес ресестрування оптичної інформації цифровими фотокамерами різного технічного класу, зокрема і фотокамерами у смартфонах. На підставі проведеного об'єктивного аналізу показників якості цифрових фотозображень за запропонованою у статті методикою можна зробити прогнозування перспектив технічного удосконалення цифрової фототехніки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Агентство Nikkei опублікувало свої дані щодо розподілу світового ринку виробників цифрових фотоапаратів [3]. Сучасний ринок цифрових фотокамер та матеріального забезпечення для них розподілений між п'ятьма головними виробниками. Беззаперечним лідером є компанія Canon, яка займає майже половину ринку — 47,9 %. На другому місці — Sony з 22,1 %, на третьому — Nikon з 13,7 %. Сумарно перша п'ятірка, куди також входять Fujifilm та Panasonic, займає 93,8 % світового ринку цифрових фотокамер.

На сьогодні група Canon об'єднує 198 компаній у всьому світі, сукупний товарообіг яких перевищує 29 млрд доларів у рік. Найбільша частина продажів припадає на два провідних сегменти продукції Canon: принтери і (34,1 %) і копіювальні апарати (33,2 %). На телекомунікаційне устаткування — 3,9 %, фото- і відеокамери 20,4 %, а на оптику — 5,1 % від загального обсягу реалізації. У провідному асортименті продукції Canon, яку відрізняє висока якість, використовуються новітні технології, що відповідають сучасним потребам користувачів. Фірма Canon перша у світі подолала «психологічний» бар'єр ціни цифрової дзеркальної любительської фотокамери, знизивши його нижче за рівень \$1000 (модель Canon EOS 300D) [2].

Корпорація Nikon — японська компанія, що спеціалізується на виробництві оптики, оптичних приладів та електронних пристроїв для обробки зображень. Продукція компанії — фотокамери, біноклі, мікроскопи, вимірювальне обладнання тощо. Найпопулярніші вироби компанії — об'єктиви для фотокамер Nikkor (сконструйовані

для власного стандарту дзеркальних (SLR) камер, із використанням байонетного з'єднання «Nikon F»), підводні фотокамери Nikonos, лінійка F професійних SLR-фотокамер Nikon для 135-ти міліметрової плівки і серія D цифрових SLR-фотокамер.

Звичайний до лідерських позицій Nikon, на початку XXI століття на ринку фотокамер трохи відстає за продажем від свого основного конкурента — компанії Canon, яка перша запропонувала такі інновації, як стабілізатор зображення та п'єзоелектричне (із використанням ультразвукового мотора) фокусування. Ці технології були запатентовані компанією Canon з правом монопольного їх використання протягом 8 років у галузі, тож фірма Nikon унаслідок патентних обмежень не мала можливості використовувати свої власні аналогічні розробки протягом цього часу [9].

На нашій планеті напевно дуже мало людей, які б не чули про Sony і їхні технічні прилади, починаючи від простих батарейок і завершуючи великими технічними пристроями з унікальними функціональними можливостями. Серед переліку продукції транснаціональної корпорації Sony — теле, аудіо, відеоапаратура, мобільні гаджети, ігрові приставки, фото- і відеокамери й багато іншого, що має великий попит на сучасному споживчому ринку багатьох країн світу, завоювало прихильність як звичайних користувачів, так і професіоналів. У 2013 році торгова марка Sony стала лідером з виробництва та реалізації електроніки і займає п'яте місце у світовому рейтингу [11]. Однак компанія довгий час не звертала увагу на ще один прибутковий сегмент ринку Sony — виробництво та продаж аматорської фототехніки. Цей недогляд було ліквідовано в 1981 році, коли Sony здійснила не просто прорив на ринок, а справжній переворот у фототехніці, представивши цифрову дзеркальну камеру Mavica (скорочення від Magnetic Video Camera), з появи якої прийнято відраховувати історію сучасної цифрової фотографії [17].

На відміну від головних конкурентів Canon та Nikon, які вдосконалюють оптичні та технічні характеристики своїх фотоапаратів, Sony зосереджує зусилля на пошуку нових рішень, пропонуючи різноманітні альтернативи дзеркальним фотоапаратам. Одна з найсильніших сторін продукції Sony — просунута електроніка. Не маючи на меті перевершити конкурентів у вузькому сегменті професійних фотографів високого рівня, Sony орієнтує свою продукцію на широкі маси фотолюбителів з різними потребами.

Перша цифрова фотокамера від компанії Sony з'явилася у 1981 році, а перша системна бездзеркальна фотокамера від компанії Panasonic була випущена у 2008 році. За цих майже три десятиліття цифрова фототехніка суттєво видозмінилася і все це на фоні нарощення технічних можливостей камер у смартфонах.

Ринок цифрової фототехніки сьогодні розподілений так (рис. 1). Цифрові фотокамери доступні для споживача у різному ціновому діапазоні та різного технічного класу. Насамперед фотокамери класифікують за типом та конструктивом оптичної фотореєструючої системи. За цією ознакою виділяють дзеркальні та бездзеркальні фотокамери. Останні класифікуються на компактні та системні. Ринкова пропозиція компактних фотокамер свого часу була дуже насиченою та динамічною.

Проте сьогодні цей сегмент ринку суттєво звузився через появу розвинутого програмного забезпечення для фотокамер у смартфонах. Таким чином функцію компактних фотокамер перебрали на себе саме фотокамери у смартфонах [15].

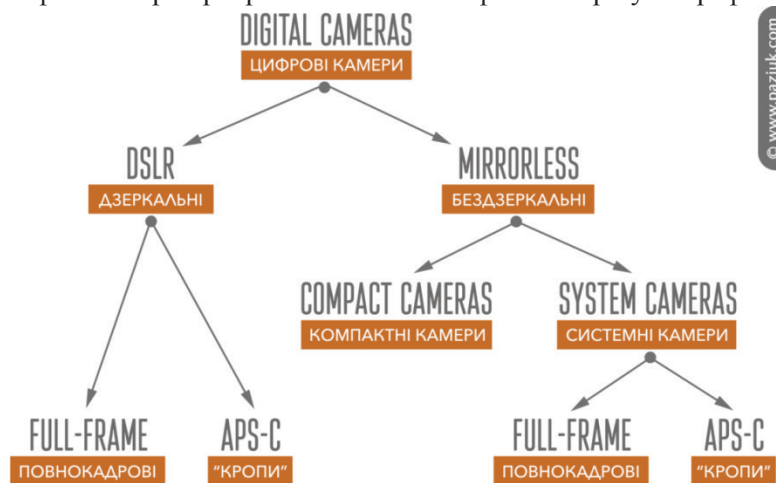


Рис. 1. Розгорнута класифікація типів цифрових фотокамер

За даними асоціації виробників фототехніки CIPA, до якої входять Sony, Canon, Nikon, Fujifilm, Olympus, Panasonic, Ricoh та ще низка компаній [16], навіть у передсвятковому грудні минулого року продажі фотокамер та об'єктивів знизилися на 20 % і ця тенденція зберігається. Продаж всіх класів фототехніки катастрофічно падає вже довгий час через більший тиск з боку ринку смартфонів, де якість фотографій демонструє послідовне поліпшення. Ця залежність демонструє, що ринок цифрових фотокамер після деякого росту у 2021 та незначної стабільності у 2022 до закінчення 2023 року пішов на спад (рис. 2). При більш детальному аналізі продажів, проведеному асоціацією виробників цифрової фототехніки та оптики, у 2023 році приріст демонструє переважно обсяг продажу бездзеркальних системних фотокамер. Продаж решти девайсів або на рівні минулого року або демонструють спад. І усе це на фоні заяв від корпорації Canon про згортання зусиль щодо розробки цифрових дзеркальних камер. Наприкінці 2021 року компанія оголосила, що її EOS-1D X Mark III стане останньою професійною бездзеркальною моделлю [2].

За даними аналітиків [11], пік продажів цифрових фотокамер припадав на 2008–2012 роки і більшість проданих камер були з вбудованою оптикою. На сьогодні більший попит мають фотокамери із змінною оптикою на фоні загального суттєвого скорочення обсягів продажу.

Аналогічну тенденцію демонструє і український ринок споживачів фотокамер: найбільший попит має продукція фірм Canon та Sony, 71 % споживачів віддають перевагу бездзеркальним фотокамерам з повнокадровою матрицею чи форматом APS-C, середнім обсягом 24–35 мегапікселів. Об'єктиви також здебільшого купують для бездзеркальних системних фотокамер [21].

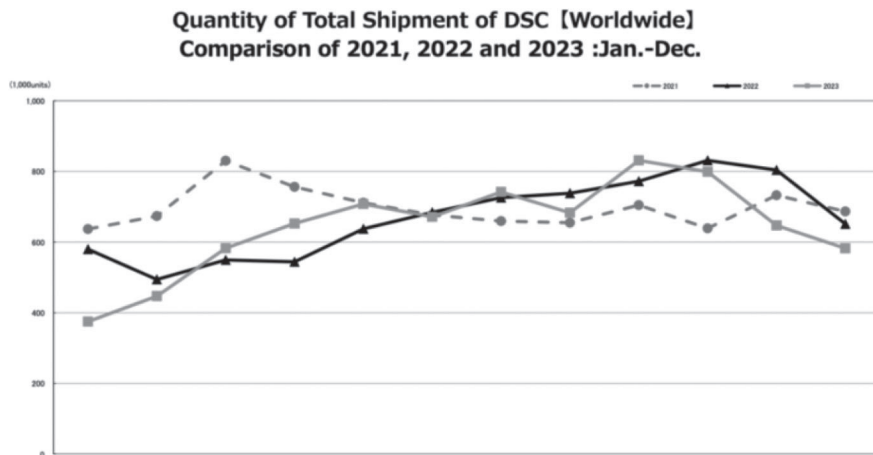


Рис. 2. Аналіз світового ринку продажу цифрових фотоапаратів за 2021–2023 рр. [3]

Сучасний розвиток технічного забезпечення фотокамер смартфонів вийшов на доволі високий рівень, що призвело до практично повного занепаду популярності компактних фотокамер. Цей сегмент ринку фотокамер представлений лише декількома моделями і лише окремі виробники ще зберегли їх серед номенклатури своєї продукції. Розробку першого телефону із вбудованою камерою здійснила компанія Kyocera Corporation в 1997 році, побачивши в цьому перспективу та попит. Розробка цього девайса тривала 2 роки [19]. Це був перший комерційний апарат з вбудованою камерою — Kyocera VisualPhone VP-210. Інші компанії теж працювали над такими розробками, але вийшли з ними на ринок значно пізніше.

Суттєвою перевагою мобільної фотографії є доступність (камера завжди під рукою), оперативність (є доступ до моментального поширення), наявність широкого кола програмного забезпечення для зйомки та опрацювання, швидкодія та багатоопераційність завдяки потужному процесору смартфона, можливість покращення зображення завдяки засобам нейромереж (шіфтинг та бінінг пікселів, стекінг зображень, добування зображення на базі технології лідар, автофокус за технологією Dual Pixel).

З огляду на бурхливий розвиток мобільної фотографії багато аналітиків фотографічного ринку [14] прогнозують суттєве покращення якісних показників фотозображень, отриманих фотокамерами смартфонів, і швидко відмову споживачів від класичних фотокамер.

Виклад основного матеріалу дослідження. Фізично процес реєстрування світлової інформації, тобто безпосередньо процес світопису, залишається незмінним ось уже майже двісті років з моменту винайдення фотографії. Змінюються лише технічні засоби та носії інформації. Для отримання фотозображення необхідні об'єкт фотографування, світлова енергія, оптичне пристосування для створення безпосередньо зображення об'єкта зйомки та світлочутливе середовище, яке змінює свої параметри чи властивості під впливом світлової енергії і стає носієм

фотозображення. В епоху цифрової фотографії принципових змін зазнало власне світлочутливе середовище, оскільки змінився сам фізичний процес, що є основою фотореєстрування оптичної інформації. Але важливим є те, що світлочутливе та реєструє середовище тепер розділені у просторі і є окремими елементами фотореєстраційного процесу. Якщо у плівковій (так званій аналоговій) фотографії світлочутливі речовини емульсійного шару реагують на світло та після хімічного оброблення формують саме фотозображення, то у цифрових фотокамерах процес реакції на світлове випромінювання та реєстрування інформаційного змісту фотозображення виконуються двома різними елементами. Елементарні осередки світлочутливої матриці цифрової фотокамери реагують на світловий потік генерацією пакету вільних електронів, аналогово-цифровий перетворювач оцифровує інформацію про величину накопиченого у кожному фотодіоді заряду і закодована таким чином інформація про фотозображення зберігається на окремому носіїві, так званій карті пам'яті. При цьому технологічний процес реєстрування оптичної інформації світлочутливими сенсорами матриці півпровідникових елементів відбувається ідентично фотореєструючими системами різного технічного класу: компактна фотокамера, дзеркальна фотокамера, системна бездзеркальна фотокамера чи фотокамера у смартфоні.

Отже, кінцевий результат, а саме: якісні показники цифрового фотозображення залежать від таких характеристик компонентів фотореєструючої системи: величина світлового потоку від джерела світла з певним розподілом потужності випромінювання по довжинах хвиль видимого спектра (т. зв. спектральний склад випромінювання) — $E_0(\lambda)$, коефіцієнт відбивання поверхні об'єкта фотографування — $\rho_0(\lambda)$, що визначає потужність та спектральний склад відбитого світлового потоку, коефіцієнт пропускання $\tau_0(\lambda)$ системи лінз та призм оптичної системи фотокамери, яка формує оптичне зображення у площині матриці світлочутливих елементів. Оскільки світлочутливі елементи матриці (КМОН- чи ПЗЗ-елементи) не володіють вибірковою світлочутливістю до окремих довжин хвиль світлового випромінювання, то для забезпечення реєстрування окремих кольороподілених зображень кожен елементарний осередок матриці світлочутливих елементів вкритий світлофільтром одного з кольорів адитивного синтезу (так званим масивом Басра) з коефіцієнтами пропускання $\tau_{c1}(\lambda)$, $\tau_{c2}(\lambda)$, $\tau_{c3}(\lambda)$ відповідно.

Таким чином, інтегральна реакція приймачів світлової енергії, яка формує якісні показники фотозображення, описується такою функцією:

$$r = f(a) = f\left(\int_0^{\infty} \rho_0(\lambda) \cdot E_1(\lambda) \cdot \tau_0(\lambda) \cdot \tau_c(\lambda) d\lambda\right). \quad (1)$$

На підставі отриманої залежності можна зробити висновок, що технічні параметри компонентів фотореєструючої системи значною мірою визначають показники якості цифрових фотозображень. І саме це матеріальне забезпечення суттєво відрізняється конструктивом у фотореєструючих системах різного класу.

Для здійснення об'єктивного аналізу якості цифрових фотографічних зображень і для визначення пріоритетності факторів впливу на власне якість необхідно

визначитися з переліком показників якості та їх гранично допустимим значенням. Проблема визначення якості цифрового фотозображення є комплексною через його дуальну сутність. Фотографічне зображення є одночасно витвором мистецтва та кінцевим продуктом реалізації технологічного процесу фотореєстрації оптичної інформації. Тому логічно проводити оцінювання якісних показників фотозображень у двох площинах: мистецькій та технічній. До мистецьких якісних показників фотозображення можна зарахувати композиційне вирішення, узгодженість сюжету та композиційних прийомів та деякі інші. Але мистецька сутність фотозображення у межах цієї статті розглядатися не буде, тому зупинимось детальніше саме на технічних якісних показниках фотозображення.

На основі аналізу відомостей про сприйняття людиною візуальної інформації можна узагальнити такий перелік показників якості цифрового фотографічного зображення: геометричні параметри, структурні характеристики, градаційні та колірні характеристики. Людський мозок особливо критично реагує на недоліки структурних показників зображення [1] (наявність цифрового шуму, зниження різкості та нероздільне відтворення дрібних деталей на зображенні). Але градаційні втрати та порушення відтворення кольорів не менш важливі для адекватного сприйняття візуальної інформації.

На жаль, не існує стандартної процедури оцінювання якості цифрового фотозображення на основі об'єктивних (чисельних) показників, а перелік та гранично допустимі значення показників якості не регламентуються жодним нормативним документом. Міжнародні стандарти ISO нормують лише певний перелік технічних показників якості засобів реєстрації, але не описують методику оцінювання та показники якості цифрових фотозображень. Зокрема, стандарт ISO 12232 визначає, як виробники цифрових камер встановлюють індекс експозиції, значення ISO, рівень вихідного сигналу, способи запису експозиції у метаданих. Розроблено низку стандартів ISO щодо будови, роботи та тестування цифрових фотокамер: вимірювання роздільної здатності (ISO 12233), шуму (ISO 15739), відтворення тону (ISO 14524), затінення (ISO 17957), геометричних спотворення (ISO 17850), хроматичних аберацій (ISO 19084), відблиску зображення (ISO 18844), затримки процесу зйомки (ISO 15781), слабкого освітлення (ISO 19093) і стабілізації зображення (ISO 20954-1), процедури тестування колірних характеристик (ISO 17321-1) та фотокамер загалом (ISO/TR 19247) [13].

У зв'язку з необхідністю формування процедури об'єктивного оцінювання якості цифрового фотозображення пропонується укласти такий перелік показників якості:

1. Відтворення кількісного змісту фотозображення — яскравості: параметри точок білого та чорного, відтворення деталей яскравості по усьому тональному діапазоні, тоновідтворення сюжетно вагомих об'єктів, загальний контраст зображення (наявність і відтворення деталей яскравості на темному та світлому фоні).
2. Відтворення якісного змісту фотозображення — колірні характеристики: загальний колірний тон зображення, відтворення пам'ятних кольорів, баланс кольорів по нейтральних (ахроматичних) кольорах.

3. Відтворення дрібних деталей у масштабі майбутнього візуального сприйняття інформаційного змісту фотозображення та різкість зображення (за допустимою шириною розмитої зони переходу).

4. Наявність дефектів на зображенні: шумів, подряпин та ін.

Кожен показник якості цифрового фотографічного зображення закладається на етапі експонування і залежить від багатьох факторів: матеріального забезпечення фотокамери, програмного її забезпечення, а також зовнішніх чинників (потужність та спектральний склад випромінювання, за якого здійснюється експонування, відбиваючі властивості об'єкта зйомки та їх залежність від довжини хвилі випромінювання джерела світла), які динамічно змінюються у процесі кожного експонування.

Оцінювання перелічених показників якості необхідно здійснювати відповідними вбудованими засобами графічних редакторів піксельної графіки (наприклад, Photoshop (Adobe) та ін.). Водночас потрібно враховувати, що абсолютні чисельні значення залежать від сюжету, жанру фотозображення та наявності сюжетно важких деталей у певному діапазоні яскравості та їх колірного змісту. Так, у рекламній предметній фотографії завжди наявні об'єкти, забарвлені у пам'ятні для людини кольори, портретна фотографія потребує переважно зниженого контрасту і дуже точного відтворення тілесного кольору, який людський зір сприймає дуже критично і реагує на найменші відхилення у збалансуванні кольорів.

Найкраще реалізувати процес фотографування таким чином, щоб якнайменше показників якості підлягали зміні при постфотографічному опрацюванні. Це стосується як композиційної побудови фото, так і градаційного та колірного змісту, а особливо структурних характеристик (наявність шумів та різкість).

На підставі залежності (1) можна об'єднати фактори, які впливають на якість цифрового фотографічного зображення, у три групи:

1. Зовнішні фактори, які корелюються при кожному експонуванні: розподіл яскравості об'єкта зйомки (здатність відбивати чи поглинати певні зони спектра випромінювання джерела світла), особливості освітлення (потужність та спектральний склад випромінювання джерела світла).

2. Фактори, зумовлені характеристиками фотокамери: технічний клас об'єктива та матриці світлочутливих елементів визначають чіткість, рівень шуму, динамічний діапазон; характеристика оптики (світлосила об'єктива) правильний вибір експозиції (поєднання витримки та діафрагми), тип і характеристики сепаруючих середовищ (приспосіблення для реєстрування одноколірних компонент складного випромінювання) та характеристики світлочутливих сенсорів впливають на точність відтворення кольору, колірне охоплення фотозображення. Ступінь розвинутої програмного забезпечення фотокамери дає змогу точніше підібрати параметри фотографування та покращити характеристики фотозображення під час його оцифровування.

3. Фактори, зумовлені пост-обробкою зображення: контрастність, колірний баланс, насиченість кольорів тощо. Ці фактори коригуються вже після процесу фотографування при опрацюванні графічним редактором або RAW-конвертером.

Під час цієї технологічної операції зменшуються недоліки, зумовлені факторами першої та другої групи: підвищується чіткість зображення, застосовуються алгоритми зниження шуму, проводяться тонові маніпуляції для перерозподілу тонової інформації, захопленої камерою; система управління кольоровідтворенням намагається зменшити неточності відтворення кольору.

Щоб систематизувати усі чинники впливу на якість цифрового фотозображення, побудуємо діаграму причинно-наслідкового зв'язку факторів впливу (рис. 3).

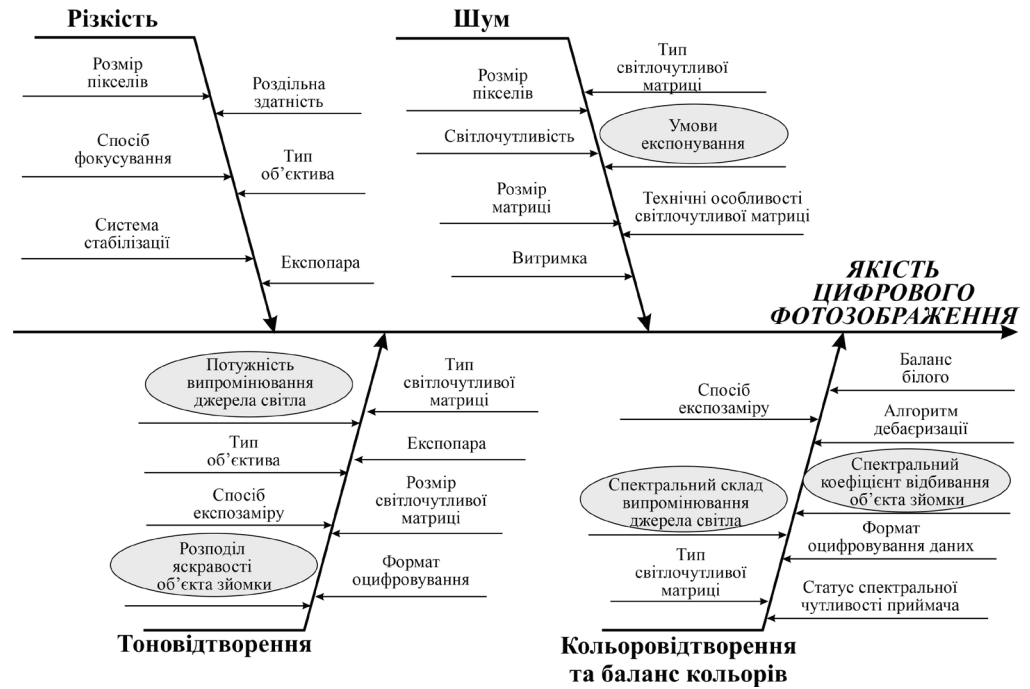


Рис. 3. Діаграма причинно-наслідкового зв'язку факторів впливу на якісні показники цифрового фотозображення

Наведена діаграма демонструє, що на чотири головних показники якості впливає низка факторів. Частина з них це так звані зовнішні фактори, на які неможливо вплинути або вплив є обмеженим. Це характеристики світлового потоку, а також яскравісні та колірні характеристики об'єкта зйомки. Перелічені фактори на діаграмі позначені окремо і їх вилучимо з подальшого аналізу пріоритетності факторів.

Аналізуючи діаграму причинно-наслідкового зв'язку факторів впливу на якісні показники цифрового фотозображення, можна однозначно стверджувати, що найбільш вагомим є вплив факторів матеріального забезпечення фотокамери: розмір матриці та одиничного її пікселя, характеристики оптики об'єктива, спосіб експозаміру та вибору параметрів експонари. Програмне забезпечення фотокамери опрацьовує дані, отримані зі світлочутливої матриці, у процесі дебаєриззації та при оцифруванні у файл. Фактично інформаційний зміст, закладений на етапі експонування програмним забезпеченням фотокамери, змінюється мінімально.

Натомість при отриманні фотозображень камерою смартфона її недосконале матеріальне забезпечення априорі не може забезпечити достатньо високі якісні показники. Фотокамера у смартфоні комплектується світлочутливою матрицею дуже малого фізичного розміру — більшість моделей матрицями розміром 1/3 дюйма по діагоналі, окремі виробники (Samsung та Xiaomi) адаптують конструктивні особливості корпусів смартфонів під більші габарити матриці — до 1/1.33 дюйма. В останніх моделях фотокамер iPhone встановлено матрицю розміром 1/2.55 дюйма. І це уже практично межа можливостей нарощення розмірів світлочутливих матриць у смартфонах [19]. У безпосередній залежності від розміру матриці перебуває і розмір її одиничного пікселя. Для матриць у флагманських моделях смартфонів розмір одиничного елементарного осередка становить від 1,4 до 2,44 мкм, а у моделях середнього класу — 0,8 мкм (для порівняння довжина хвилі червоної зони спектра дорівнює 0,7 мкм, що при наявності перетинок між окремими пікселями суттєво ускладнює реєстрування цієї зони спектра випромінювання як такого на фізичному рівні). При нарощенні роздільної здатності матриці світлочутливих елементів до 64 мегапікселів і більше розмір пікселя не перевищує 0,8 мкм в усіх моделях смартфонів [14]. Для порівняння розмір пікселя повнокадрової дзеркальної камери — 8,4 мкм. Це забезпечує значно нижче шумоутворення, більший вихід фотореакції, ширший динамічний діапазон та вищу світлочутливість матриці як порогову, так і інтегральну. Компенсувати ці обмеження можна частково завдяки технології бінінгу пікселів, за якої програмними засобами об'єднується інформація з декількох маленьких пікселів (4 або 9) з метою покращити якість зображення. При цьому кожна група пікселів накрита світлофільтром одного кольору. У різних виробників ця технологія має різну маркетингову назву, наприклад Quad Bayer від компанії Sony, а Samsung зареєструвала для такої ж системи фільтрів назву Tetracell. Але це аналогічні технічні рішення, які дають змогу за необхідності перетворити 48 Мп матрицю на 12 мегапікселів. Тобто, щоб 4 пікселі під одним кольоровим фільтром працювали як один більший піксель одного кольору. А коли в цьому немає потреби, кожен піксель може працювати окремо, видаючи фото з більш високою деталізацією.

Оптика у камері смартфона також відрізняється від оптики дзеркальних фотокамер насамперед конструктивом. Об'єкти в смартфонах без змінної фокусної відстані та з фіксованим відносним отвором об'єктива, що не дає змоги користувачеві отримати художні ефекти на фото: розмитий фон, здійснити зумування. З метою розширення творчих можливостей та компенсації відсутності фізичного зумування виробники смартфонів поєднують в одному корпусі дві та більше камер, з різною фокусною відстанню та наступним опрацюванням зображень програмним забезпеченням — стекінгом. На практиці цей процес реалізується складанням кількох кадрів одного й того ж або дещо видозміненого сюжету у єдине фотозображення. Це основа обчислювальної фотографії або так званої епсілон-фотографії. Змінюючи один із параметрів камери (експозицію, фокус, положення) та склеюючи отримані кадри, ми отримуємо щось, що неможливо зняти одним кадром. Сьогодні на цій технології базується більшість усіх інновацій у мобільних камерах.

Саме програмне забезпечення до фотокамери смартфона у поєднанні з потужним процесором є сильною стороною так званої мобілографії. Окрім бінінгу пікселів та стекінгу фотозображень, швидкісний процесор смартфона дає змогу реалізувати ще багато технічних рішень для покращення якісних характеристик фотографій: автофокусування за технологією Dual Pixel, отримання та обробку інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах, так звана технологія лідар та інші суто програмні алгоритми покращення якісних характеристик. Отже, фотокамери смартфонів, маючи значно слабше матеріальне забезпечення, можуть видавати доволі якісну картинку, що вже часто конкурує з фотозображеннями, отриманими дзеркальними фотокамерами.

Проведений аналіз дає змогу зробити висновки, що конкурування двох різних фотореєструючих систем (фотокамер та камер у смартфоні) вийшло на найвищий рівень. Кардинально виправити недоліки матеріальної бази фотокамер у смартфонах очевидно не вдасться, оскільки лімітуючим фактором завжди залишається розмір корпусу девайса, зокрема товщина. На противагу дзеркальні та особливо бездзеркальні фотокамери устатковані значно кращим матеріальним забезпеченням: досконала оптика, змінний відносний отвір діафрагми, габаритна світлочутлива матриця. Якщо додати до цього більш розвинуте програмне забезпечення та потужний процесор для опрацювання даних, то це позитивно позначиться на показниках якості цифрових фотозображень. Сьогодні користувач прагне отримати якісну картинку уже безпосередньо після фотографування, мінімально опрацювати фото і поділитися ним у соцмережах. Стримуючим фактором для росту популярності та затребуваності цифрових фотокамер є саме обмеженість їх програмного забезпечення. Вирішення цього питання дозволить не втрачати споживачів і надалі розвивати цей клас фотореєструючих систем.

Висновки. Фотокамери, вбудовані у смартфонах, оснащені технічно значно слабшим матеріальним забезпеченням. Однозначно, малі габарити корпусу самого девайса не дають змоги наростити габарити світлочутливих матриць та застосовувати досконалішу оптику. Надалі розвиток технічних можливостей цього сегмента фотореєстраційних систем буде відбуватися шляхом удосконалення можливостей програмного забезпечення, що на тлі бурхливого розвитку нейромереж очевидно даватиме усе кращі результати.

Для виробників системних та дзеркальних фотокамер існує лише єдиний спосіб не втратити споживача — наростити можливості програмного забезпечення для фотокамер. Поєднання досконалого програмного забезпечення з розвинутою матеріальною базою перерахованих фотореєструючих систем дасть змогу суттєво розширити можливості фотографів отримувати фотозображення високої якості, а виробникам фотокамер — не втратити ринок збуту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bradford J. Smart Photos. [edition unavailable]. White Lion Publishing. 2022. URL: <https://www.perlego.com/book/3630339/smart-photos-52-ideas-to-take-your-smartphone-photography-to-the-next-level-pdf>.
2. CANON ANNUAL REPORT 2023. URL: <https://global.canon/en/ir/business.html>.
3. CIPA 2023 full-year numbers released. URL: <https://photorumors.com/2024/02/04/cipa-2023-full-year-numbers-released/>.
4. Computational Photography. From Selfies to Black Holes. URL: https://vas3k.com/blog/computational_photography/.
5. Computational Photography. From Selfies to Black Holes. URL: https://vas3k.com/blog/computational_photography/.
6. Fujifilm Announces the Financial Results. URL: <https://fujiaddict.com/2023/11/08/fujifilm-announces-the-financial-results-for-the-first-half-ended-september-30-2023/>.
7. Kovalskyi B., Boyarchuk A., Dubnevych M., Holubnyk T. Information model for determining the significance of factors influencing the level of digital noise in photographic images CEUR Workshop Proceedingsthis link is disabled, 2021, 2853. Pp. 271–279.
8. Kovalskyi B., Dubnevych M., Holubnyk T., Maik L., Inna Skarga-Bandurova, Selmenska Z. Analysis of the Effectiveness of Means to Achieve Optimal Color Balancing in Obtaining a Digital Photographic Image CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3156. Pp. 520–538.
9. Nikon pulls plug on SLR camera development in shift to mirrorless. URL: <https://asia.nikkei.com/Business/Business-trends/Nikon-pulls-plug-on-SLR-camera-development-in-shift-to-mirrorless>.
10. Nikon second quarter financial results released. URL: <https://nikonrumors.com/2023/11/09/nikon-second-quarter-financial-results-released-growth-trends-in-the-market-for-digital-camera-interchangeable-lens-type-are-greater-than-expected-in-the-previous-forecast.aspx/>.
11. Photography Statistics: Demographics, Market Trends & Revenue. URL: <https://marketsplash.com/photography-statistics/>.
12. Production, Shipment of Digital Still Camera January-December in 2023. URL: https://www.cipa.jp/stats/documents/e/d-2023_e.pdf.
13. Retraint F., Zitzmann C. Quality factor estimation of JPEG images using a statistical model. *Digital Signal Processing: A Review Journal*. 2020. 103, art. no. 102759. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2020.102759>.
14. Smartphones vs Cameras: Closing the gap on image quality. URL: <https://www.dxomark.com/smartphones-vs-cameras-closing-the-gap-on-image-quality/>.
15. Statistical data on Digital Camera. (December in 2022). URL: <https://www.cipa.jp/e/stats/dc.html>.
16. The latest financial results from Nikon, Ricoh, Fujifilm, Canon, and Tamron. URL: <https://photorumors.com/2023/11/11/the-latest-financial-results-from-nikon-ricoh-fujifilm-canon-and-tamron/>.
17. Баран Я. 3 дзеркалки на бездзеркалку. URL: <https://yarekfoto.co.ua/category/fotorubryky/dumky/>.
18. Пацай В. Бездзеркалки vs дзеркалки або Чому дзеркальні фотоапарати приречені. URL: <https://ek.ua/ua/post/5469/206-top-mirrorless-cameras/>.

19. Пацай В. Колаборації відомих виробників смартфонів і гігантів фотоіндустрії. URL: <https://ek.ua/ua/post/4442/122-kollaboracii-izvestnyh-proizvoditeley-smartfonov-i-gigantov-fotoindustrii/>.
20. Пацай В. Програмний, оптичний та гібридний зум у камері смартфона. В чому різниця? URL: <file://ua/posts/122/>.
21. Селезньова О. О. Фактори ціноутворення на ринку фотоапаратів. Економіка сьогодні: проблеми моделювання та управління : матеріали 10-ї Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Полтава, 19–20 листопад 2020 р). Полтава, 2020.

REFERENCES

1. Bradford, J. (2022). Smart Photos. [edition unavailable]. White Lion Publishing. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/3630339/smart-photos-52-ideas-to-take-your-smartphone-photography-to-the-next-level-pdf> (in English).
2. CANON ANNUAL REPORT 2023. Retrieved from <https://global.canon/en/ir/business.html> (in English).
3. CIPA 2023 full-year numbers released. Retrieved from <https://photorumors.com/2024/02/04/cipa-2023-full-year-numbers-released/> (in English).
4. Computational Photography. From Selfies to Black Holes. Retrieved from https://vas3k.com/blog/computational_photography/ (in English).
5. Computational Photography. From Selfies to Black Holes. Retrieved from https://vas3k.com/blog/computational_photography/ (in English).
6. Fujifilm Announces the Financial Results. Retrieved from <https://fujiaddict.com/2023/11/08/fujifilm-announces-the-financial-results-for-the-first-half-ended-september-30-2023/> (in English).
7. Kovalskyi, B., Boyarchuk, A., Dubnevych, M., & Holubnyk, T. (2021). Information model for determining the significance of factors influencing the level of digital noise in photographic images CEUR Workshop Proceedings this link is disabled, 2853, 271–279 (in English).
8. Kovalskyi, B., Dubnevych, M., Holubnyk, T., Maik, L., Inna, Skarga-Bandurova, & Selmenska, Z. (2022). Analysis of the Effectiveness of Means to Achieve Optimal Color Balancing in Obtaining a Digital Photographic Image CEUR Workshop Proceedings, 3156, 520–538 (in English).
9. Nikon pulls plug on SLR camera development in shift to mirrorless. Retrieved from <https://asia.nikkei.com/Business/Business-trends/Nikon-pulls-plug-on-SLR-camera-development-in-shift-to-mirrorless> (in English).
10. Nikon second quarter financial results released. Retrieved from <https://nikonrumors.com/2023/11/09/nikon-second-quarter-financial-results-released-growth-trends-in-the-market-for-digital-camera-interchangeable-lens-type-are-greater-than-expected-in-the-previous-forecast.aspx/> (in English).
11. Photography Statistics: Demographics, Market Trends & Revenue. Retrieved from <https://marketsplash.com/photography-statistics/> (in English).
12. Production, Shipment of Digital Still Camera January-December in 2023. Retrieved from https://www.cipa.jp/stats/documents/e/d-2023_e.pdf (in English).

13. Retraint, F., & Zitzmann, C. (2020). Quality factor estimation of JPEG images using a statistical model: Digital Signal Processing: A Review Journal, 103, art. no. 102759. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2020.102759> (in English).
14. Smartphones vs Cameras: Closing the gap on image quality. Retrieved from <https://www.dxomark.com/smartphones-vs-cameras-closing-the-gap-on-image-quality/> (in English).
15. Statistical data on Digital Camera. (December in 2022). Retrieved from <https://www.cipa.jp/e/stats/dc.html> (in English).
16. The latest financial results from Nikon, Ricoh, Fujifilm, Canon, and Tamron. Retrieved from <https://photorumors.com/2023/11/11/the-latest-financial-results-from-nikon-ricoh-fujifilm-canon-and-tamron/> (in English).
17. Baran, Ya. Z dzerkalky na bezdzerkalku. Retrieved from <https://yarekfoto.co.ua/category/fo-torubryky/dumky/> (in Ukrainian).
18. Patsai, V. Bez dzerkalky vs dzerkalky abo Chomu dzerkalni fotoaparaty pryrecheni. Retrieved from <https://ek.ua/ua/post/5469/206-top-mirrorless-cameras/> (in Ukrainian).
19. Patsai, V. Kolaboratsii vidomykh vyrobnykiv smartfoniv i hihantiv fotoindustrii. Retrieved from <https://ek.ua/ua/post/4442/122-kollaboracii-izvestnyh-proizvoditeley-smartfonov-i-gigantov-fotoindustrii/> (in Ukrainian).
20. Patsai, V. Prohramnyi, optychnyi ta hibrydnyi zum u kameri smartfona. V chomu riznytsia? Retrieved from <file://ua/posts/122/> (in Ukrainian).
21. Seleznova, O. O. (2020). Faktory tsinoutvorennya na rynku fotoaparativ. Ekonomika sohodni: problemy modeliuvannya ta upravlinnia : materialy 10-i Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. (Poltava, 19–20 lystopad 2020 r). Poltava (in Ukrainian).

doi: 10.32403/2411-3611-2024-1-45-18-32

ANALYSIS OF INFLUENCE FACTORS ON THE QUALIMETRIC INDICATORS OF THE PHOTOGRAPHIC IMAGE OBTAINED BY DIGITAL PHOTO-REGISTRATION SYSTEMS

M. M. Dubnevych

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
dubnevychmyroslava@gmail.com*

The development of optical information recording systems is taking place at a high pace. There are actually three types of photo recording systems on the digital photography market today: SLR cameras, mirrorless (system) cameras, and cameras in smartphones. At the same time, more and more users are choosing the latest class among photo-registration systems.

The article analyzes the development of the market of manufacturers of digital cameras, the reasons for the reduction of its individual segments, directions for the development of technical improvement of digital photography equipment.

The authors systematized the quality indicators of digital halftone images and built a cause-and-effect diagram of influencing factors on these indicators. Based on the analysis of the influence factors, the priority of the influence on the quality of the digital photo image of the material support of the camera (photosensitive matrix and optics) is determined.

Conclusions are made about the prospects for the development of digital photo-recording systems, and recommendations are formulated about directions for improving their technical and software support.

Keywords: *photography, aperture, lens, SLR camera, system camera, stacking, pixel binning, lidar, brightness, color reproduction, sharpness.*

Стаття надійшла до редакції 08.05.2024.

Received 08.05.2024.