

УДК: 681.317

DOI: 10.33099/2311-7249/2025-53-2-60-69

КОНОТОПЕЦЬ Микола Миколайович,

кандидат технічних наук, доцент,

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна,

<https://orcid.org/0000-0002-6963-1877>

СМОЛЬКОВ Олександр Юрійович,

кандидат технічних наук, доцент,

Інститут інформаційно-комунікаційних технологій та кібероборони Національного університету оборони України, Київ, Україна,

<https://orcid.org/0000-0001-7351-393X>

ПШЕНИЧНА Юлія Олександрівна,

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна,

<https://orcid.org/0009-0007-9248-3781>

ПІДВИЩЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПОШУКОВИХ КОМПЛЕКСІВ ЩОДО ВІЯВЛЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ОБ'ЄКТАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Метою статті є розроблення пропозицій з підвищення можливостей пошукових комплексів щодо виявлення роботи оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності в сучасних умовах.

Методи дослідження Під час написання статті застосовано методи аналізу і порівняння для розгляду побудови та порівняння технічних характеристик відеокамер. Наведений в роботі математичний апарат дав змогу проаналізувати математичні залежності параметрів прихованих відеокамер на основі характеристик оптичного приймача. За допомогою методу синтезу розроблено пропозиції стосовно напрямів удосконалення технічних характеристик пошукових комплексів для виявлення оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації, що можуть бути використані на об'єктах інформаційної діяльності.

Отримані результати дослідження. Розроблено формалізовану модель оптико-електронного каналу витоку інформації на об'єктах інформаційної діяльності за енергетичним критерієм, що містить основні фізичні характеристики оптичного приймача. Проведено моделювання процесу перетворення прийнятого вхідного сигналу оптичним приймачем. На основі отриманих результатів запропоновано в подальшому отримати інформаційний критерій (показник), який визначає ефективність пошукових комплексів щодо виявлення роботи оптико-електронного елементу засобу негласного отримання інформації в процесі добування інформації. Входячи до складу апаратних або апаратно-програмних комплексів, призначених для вирішення пошуково-доглядових завдань, в основі свого функціонування, пошукові пристрої використовують метод неруйнівного контролю, який у поєднанні з іншими методами такого контролю дає змогу отримати детальнішу інформацію про об'єкти пошуку. Основа принципу дії зазначених апаратних або апаратно-програмних комплексів ґрунтується на процесах виявлення, оцінювання та аналізу сигналів власних шумів оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації, що можуть бути використані на об'єктах інформаційної діяльності. За результатами аналізу розробленої формалізованої моделі виявлення оптико-електронних засобів добування інформації на об'єктах інформаційної діяльності за енергетичним критерієм, на основі теорії виявлення та розпізнавання сигналів, запропоновано послідовність дій під час проведення пошуково-доглядових завдань для виявлення роботи оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності в сучасних умовах.

Елементи наукової новизни означеного зводяться до конкретизації відомих даних та їх поширенні на нові об'єкти дослідження, в якості яких виступають оптико-електронні елементи засобів негласного отримання інформації, що можуть бути використані зловмисниками на об'єктах інформаційної діяльності.

Теоретична й практична значущість викладеного у статті. Важливість результатів цього дослідження для військової та технічної сфер зумовлюється отриманням знань щодо напрямів удосконалення технічних характеристик пошукових комплексів пасивного контролю та визначення послідовності дій під час їх застосування з метою підвищення якості виявлення і подальшої нейтралізації роботи оптико-електронних засобів негласного отримання інформації. Ці результати можуть бути використані у процесі організування та проведення пошукових робіт на об'єктах інформаційної діяльності в сучасних умовах.

Ключові слова: оптико-електронні засоби негласного отримання інформації, камери прихованого відеоспостереження, відеосигнал, оптико-електронний канал витоку інформації, апаратні засоби, апаратно-програмний комплекс.

Вступ

Мікрофотоелектроніка є одним із провідних напрямів напівпровідникової електроніки. Без використання фотоприймачів немислиме створення найважливіших систем і пристроїв як у цивільному, так і у військовому секторі економіки. Різні типи сучасних фоточутливих пристроїв знаходять широке застосування у сферах виробництва відео- і фототехніки, волоконно-оптичних ліній зв'язку, використовуються в дальнометрії, лазерній локації та лазерній передачі інформації, побудові систем тепловачення і прицілювання, обов'язкові у системах (засобах) ведення технічної розвідки та у багатьох інших сферах застосування. Одним з останніх досягнень галузі є освоєння технології датчиків, що працюють на основі комплементарного металооксидного напівпровідника (далі – CMOS-датчики) з активними пікселями (далі – APS). Ця технологія розроблена як потенційна заміна пристроїв, що виконані із застосуванням технології пристроїв із зарядовим зв'язком (далі – ПЗЗ) для отримання зображень. Перевагою освоєної технології стало можливе формування каскадів підсилення відеосигналу на кожному сенсорі матриці елементів зображення, що привело до зниження впливу на якість зображення завад, які виникають в процесі подальшої обробки сигналів зображення. Так, сенсори типу APS включають три і більше транзисторів на кожний світлочутливий елемент. Застосування активного підсилювача (до комутаційного посилення) дає змогу досягти еквівалентного коефіцієнта перетворення на порядок більшого, ніж у ПЗЗ, що позитивно позначається на шумових характеристиках фотоприймача. Це суттєво вирішує проблему чутливості і відношення сигнал/шум.

У свою чергу наявність сигнального процесору дає змогу обробляти аналогові (включно з аналогово-цифровим перетворювачем (далі – АЦП) і цифрові сигнали зображення. Це забезпечує багато режимів роботи як самої матриці, так і окремих її елементів: масштабованість на великих площах; швидке і кероване накопичення сигналів Limited Exposure Technology – LED (загальне, індивідуальне для групи або кожного елемента матриці); адаптивне керування розміром ефективного елемента зображення (ефективна апертура); гнучке зчитування інформації та інші.

Разом із тим, цими здобутками можуть скористатися зловмисники для отримання видової інформації або інформації з носіїв, за допомогою потай встановлених технічних засобів негласного отримання інформації, які створюють загрозу її витоку, зокрема, у вигляді зображень об'єктів або документів [1]. В подальшому, зображення отримане оптико-електронним засобом (далі – ОЕЗ) негласного отримання інформації може передаватися як кабелем, так і радіоканалом. Утворений так оптико-електронний канал є потенційною загрозою для витоку

інформації, що вимагає його дослідження та доведення до безпечного стану. Одним із головних завдань щодо захисту інформації від витоку технічними каналами є їх своєчасне виявлення з подальшим визначенням конкретних заходів щодо їх нейтралізації.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день щоб спростувати наявність або відсутність ОЕЗ негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності існує єдиний спосіб – це застосування пошукових пристроїв такого обладнання. За принципом дії вони поділяються на оптичні та електромагнітні. Під час застосування оптичних пошукових пристроїв, процес виявлення оптико-електронних засобів негласного отримання інформації відбувається шляхом візуального аналізу всіх поверхонь приміщення та елементів інтер'єру за допомогою спеціального оптичного приладу. Інформація отримується через детектування віддзеркаленого в зворотній бік випромінювання оптичною системою “об'єктив – матриця” засобу прихованого спостереження. Застосування таких засобів досить ефективне, але пов'язане з певними труднощами, які обумовлені необхідністю огляду досить великих площ огорожувальних конструкцій, елементів інтер'єру та суворого спрямування сигналу на вхідний отвір камери. Це потребує значних витрат часу на дослідження, в результаті чого виникає втомлюваність персоналу та, як наслідок, зростає ймовірність пропуску віддзеркаленого сигналу. Також ускладнює завдання виявлення камер прихованого відеоспостереження і можливість їх розміщення у важкодоступних місцях.

Під час застосування засобів контролю електромагнітного спектру, персонал проводить сканування у широкому діапазоні частот електромагнітного спектру та намагається виявити специфічні випромінювання, які притаманні роботі матриць відеокамер. Процес виявлення, в цьому разі, пов'язаний з труднощами виявлення необхідних інформативних сигналів з урахуванням внутрішніх шумів оптичного приймача та шумів просторової дискретизації. Тому, постає наукове завдання з підвищення можливостей пошуково-доглядової апаратури для виявлення засобів негласного отримання інформації, що можуть бути застосовані на об'єктах інформаційної діяльності (далі – ОІД) з метою добування відеоінформації. Це завдання стає особливо актуальним в умовах значного вдосконалення технологій виробництва відео- і фототехніки та їх комплектуючих, що можуть бути використані в таких засобах і спонукає фахівців технічного захисту інформації до пошуку нових методів та вдосконалення апаратних та апаратно-програмних засобів (комплексів) для виявлення ОЕЗ негласного отримання інформації на ОІД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] авторами було, зокрема, розглянуто новий

активний піксельний датчик зображення CMOS (CMOS active-pixel image sensor). У матриці використовується як поодинокий піксель елемент побудований на основі двополігонального двометалевого CMOS-процесу з розміром $2,0 \text{ } \mu\text{m}$, який утворює масив $128/128 \text{ } \mu\text{m}$ пікселів із роздільною здатністю $40 \text{ } \mu\text{m}/\text{раз}/40 \text{ } \mu\text{m}$ пікселів. Датчик має сумісну з мікросхемами транзисторно-транзисторної логіки (далі – TTL-мікросхемами) напругу, володіє низьким рівнем шуму та великим динамічним діапазоном, що буде корисним у використанні в системах комп'ютерного зору та інтелектуальних датчиках, здатних виконувати дії і вирішувати певні повсякденні завдання без участі людини.

Авторами наукової статті [3], було наведено концепцію застосування активних пікселів, яка стала перспективною архітектурою для систем обробки зображень. Науковцями було повідомлено про електрооптичні характеристики гібридного органічного активного піксельного сенсора (APS), де органічний фотодіод інтегрований поверх аморфної кремнієвої тонкоплівкової транзисторної схеми, яка керує датчиком зображення та виконує обробку сигналу. Активний піксельний підхід забезпечує по-піксельне посилення сигналу з коефіцієнтом посилення заряду до 10. Коефіцієнт заповнення, близький до 100%, виходить шляхом вбудовування всіх транзисторів під органічний фотодетектор. Показано, що порівняно з органічними пасивними пікселями, органічний APS демонструє вищу чутливість, що робить можливим виявлення менших сигналів.

Наукова робота [4] висвітлює майже 60-річну еволюцію твердотільних датчиків зображення та окреслює нові потенційні рубежі в цій сфері. Від перших робіт у 1960-х роках, через розробку датчиків зображення пристроїв із зарядовим зв'язком і до комплементарних датчиків зображення на основі оксидів металів, які зараз широко розповсюджені в сучасній електроніці, обговорені основні моменти еволюційного ланцюга. Коротко зазначені нові можливості, такі як технологія 3D-стека, технологія підрахунку фотонів та інші.

У публікації [5], працюючи на основі моделі шуму Пуассона-Гауса, автори отримали багатовибіркове розширення алгоритму очікування-максимізації гістограми підрахунку фотонів (далі – PCH-EM), як альтернативу загального призначення методу передачі фотонів (далі – PT). Цей алгоритм створено на основі тієї ж моделі, використовує ті самі експериментальні дані й оцінює аналогічні параметри продуктивності датчика, що й перевірений часом метод PT, водночас одержуючи нижчі оцінки невизначеності. Показано, що за умов посилення рівня шуму зчитування, для збору достатньої інформації про параметри пристрою, що тестується, необхідно використовувати кілька вибірок даних, що обґрунтовує необхідність розширення з кількома вибірками. Розроблено процедуру оцінки, яка складається з початкової характеристики PT з подальшою повторною ітерацією

PCH-EM, щоб продемонструвати покращення оцінки невизначеності, досягнутої за допомогою PCH-EM, зокрема, в режимі глибокого субелектронного шуму зчитування (далі – DSERN). Статистичний аргумент, заснований на інформаційно-теоретичній концепції достатності, сформульований, щоб пояснити, як процедури редукції даних PT відкидають інформацію, що міститься в необроблених даних датчика, пояснюючи так, чому запропонований алгоритм може отримати менші оцінки невизначеності ключових параметрів продуктивності датчика, таких як зчитування шуму та коефіцієнт перетворення. Потім експериментальні дані, отримані з датчика квантового зображення CMOS за допомогою DSERN, використовуються для демонстрації використання алгоритму, перевірки базової теорії та статистичної моделі.

Дослідники з Каліфорнійського університету UCLA що в Лос-Анджелесі, США, в науковій роботі [6] продемонстрували відеокамеру поєднану з електронним декодером з метою приховування інформації, яка передається. Для оптимізації цього процесу було використано технологію машинного навчання. Для свого функціонування, на передавальному боці така система використовує дифракційний оптичний процесор, який перетворює вхідні зображення у звичайні на вигляд візерунки, які вводять пересічних спостерігачів в оману. Таке перетворення інформації, працює для будь-яких комбінацій конфіденційних повідомлень, перетворених у звичайні вихідні зображення через пасивну взаємодію світла з речовиною в дифракційному процесорі. За декодування на приймальному боці нейромережа електронного декодера точно реконструює оригінальну інформацію, приховану в хибному сигналі.

У роботі [7], наведено всебічний огляд величезної області технології цифрових піксельних сенсорів (далі – DPS). Проаналізовано принципи роботи, переваги та проблеми різних типів схем DPS, які стали базисним компонентом сучасних систем візуалізації та мають великий потенціал для розвитку різних галузей економіки, таких як медична візуалізація, пристрої спостереження для астрономічних досліджень, пристрої інтернету речей (далі – IoT) тощо. Порівняно з аналоговими піксельними сенсорами, DPS пропонує високі швидкість і якість зображення. Однак існує внутрішня складність, пов'язана насамперед з акомодациєю схеми АЦП всередині кожного пікселя що призводить до суттєвого збільшення його кроку. На жаль, таке виражене зростання кроку пікселів різко підриває реалістичність досягнення інтеграції з високою щільністю, що є перешкодою, яка значно звужує поле потенційних застосувань. Тим не менш, проєктування компактних схем перетворення разом зі стратегією інтеграцією 3D-архітектурних парадигм може стати потенційним виходом із ситуації, що склалася.

Ураховуючи вище зазначене, розробка пропозицій з підвищення можливостей пошукових комплексів щодо виявлення роботи оптико-електронних елементів

засобів негласного отримання інформації в сучасних умовах є актуальним науковим завданням.

Метою статті є розроблення пропозицій з підвищення можливостей пошукових комплексів щодо виявлення роботи оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності в сучасних умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження

На сьогодні в природі відомо кілька видів взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною. Їх можливо поділити на фотонні, теплові ефекти та ефекти пов'язані з хвильовою взаємодією. Робота фоточутливих поверхонь ґрунтується на використанні зовнішнього й внутрішнього фотоефектів, в основі яких лежить здатність світлових променів звільняти електрони в будь-якій речовині.

За зовнішнього фотоефекту звільнені електрони залишають опромінену світлом речовину та вилітають у вільний простір, де вони збираються анодом. Тобто, фотон який володіє енергією $h\nu$ в поодинокому акті взаємодії передає свою енергію електрону. Якщо імпульс такого електрону був спрямований до поверхні твердого тіла, то електрон, володіючи

достатньою енергією, може подолати потенціальний бар'єр та вилітає з металу. Так відбувається фотоелектронна емісія, причому величина фотоструму, що виникає, залежить від довжини хвилі падаючих монохроматичних променів і характеризує спектральну чутливість фотокатода. Цей ефект лежить в основі роботи камер прихованого відеоспостереження. Тобто добування інформації відбувається шляхом прийому сигналів видимого діапазону, які віддзеркалені об'єктами та предметами навколишнього середовища, з подальшим перетворенням та обробкою прийнятих сигналів з метою створення зображення об'єктів.

Розглянемо узагальнену структурну схему оптико-електронного каналу витоку інформації у випадку застосування ОЕЗ негласного отримання інформації наведену на рисунку 1, що складена авторами з використанням [8]. Вона є сукупністю джерела інформації, середовища поширення інформативних сигналів, враховуючи зовнішні та внутрішні шуми, завади, та приймального пристрою (оптико-електронного елементу) засобу негласного отримання інформації (камери прихованого відеоспостереження) з відповідними характеристиками.

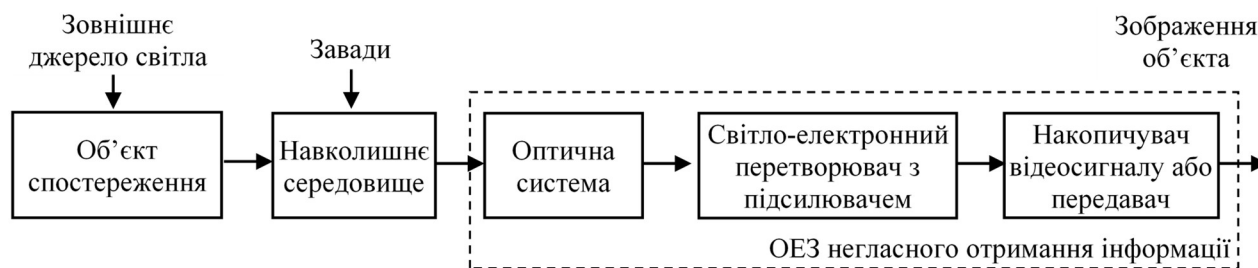


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема оптико-електронного каналу витоку інформації

Принцип дії камери прихованого спостереження, як оптичного приймача зводиться до процесу просторово-часового перетворення яскравості зображення об'єктів на відеосигнали і складає телевізійний аналіз зображення [9]. Заразом оптична система спрямовує прийнятий від об'єкта спостереження світловий потік на поверхню світлочутливого елементу – матрицю світло-електронних перетворювачів (далі – СЕП), яка перетворює оптичне зображення в еквівалентне електронне зображення, кількість «вільних» електронів кожної точки якого пропорційна яскравості відповідної точки оптичного зображення. Надалі зображення в вигляді зорового образу формується на екрані технічного засобу шляхом паралельного або послідовного знімання електронів зі світлочутливих елементів матриці СЕП, підсиленню електричних сигналів та формуванню під їх дією видимого зображення на екрані оптичного приймача. В подальшому отримане видиме зображення може бути передано за межі контрольованої зони.

Характеристики ОЕЗ негласного отримання інформації, в першу чергу визначаються параметрами

оптичної системи та характеристиками матриці СЕП, а також залежать від способів обробки електричних сигналів та формування зображення при індикації. Основними характеристиками є:

- діапазон довжин хвиль світлових променів, що фіксуються оптичним приймачем;
- чутливість оптичного приймача;
- розрізняльну здатність оптичного приймача;
- розмір матриці камери відеоспостереження;
- поле (кут) зору приймального пристрою, який визначає частину простору, що спостерігається;
- світлова й спектральна характеристики та інерційність;

динамічний діапазон інтенсивності світла на вході оптичного приймача, який не впливає на викривлення зображення на його виході.

Порівняння основних технічних характеристик зразків активних піксельних датчиків зображення відеокамер, побудованих за CMOS-технологією наведено в таблиці 1, що складена з використанням [10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23].

Таблиця 1

Активні піксельні датчики зображення відеокамер, побудовані за CMOS-технологією
(CMOS ACTIVE-PIXEL IMAGE SENSOR)

Модель піксельного датчика зображення	Роздільна здатність, (H) x (V)	Розмір датчика, мм	Розмір пікселя датчика, мкм x мкм	Режим курсора / інтерфейс	Максимальна частота кадрів за повної роздільної здатності	SNR, max	Робоча напруга живлення, U
Pixart PS5150	1296 x 732		4,2x4,2	Parallel/ CSP-36	60 (кадрів на секунду)	35 dB	Analog: 3.3 Digital: 1.8 I/O: 1.8V~3.3
Pixart PS5226	1920 x 1080		3,0x3,0	MIPI/ CSP-60	60 (кадрів на секунду)	39 dB	Analog: 3.3 Digital: 1.2 I/O: 1.7V~3.3
Sony IMX477-AACK	4056 x 3040	7,564 x 5,476	1,5x1,5	MIPI/ CSI2	60 (кадрів на секунду)		Analog: 2,8 Digital: 1,05 інтерфейс 1,8.
Sony Starvis IMX335LQN-D	2616 x 1964		2,0x2,0	MIPI/-	60 (кадрів на секунду)		Analog: 2,9 Digital: 1,2 інтерфейс:1,8
Canon LI8020SA	19568 x 12588	29,35 x 18,88	1,5x1,5		60 (кадрів на секунду)		Analog: 3,5 Digital: 1,2 інтерфейс1,8
Canon 20MXS	3272 x 9176	29,22 x 20,20	2,2x2,2		9,4 (кадрів на секунду)		–
ON Semiconductor NOH4SM6600A	2210 x 3002	7,74 x 10,51	3,5x3,5		5 (кадрів на секунду)		Single: 2,5 Supply: 3,3
ON Semiconductor NOH2SM1000A	1024 x 1024	26,8 x 26,8	18,0x18,0		10 (кадрів на секунду)		Single: 3,3 I/O: 2.2 ~3.0
Hamamatsu S14250		30 x 30	50 x 50	/SPI	344 (кадрів на секунду)		Analog: 2,55 Digital: 1,8 I/O: 1.8 ~ 2.55
Hamamatsu S14501	1280 x 1024	1280 x 1024	7,4 x 7,4		146 (кадрів на секунду)		Analog: 3.3 Digital: 3.3 I/O: 2.4 ~3.6
Samsung ISOCELL Vision 931	640 x 640		2,0 x 2,0	MIPI/ CSI2	180 (кадрів на секунду)		Analog: 2.2 Digital: 1.05 I/O: 1.8
Samsung ISOCELL HP3	16320 x 12288		0,56 x 0,56		30 (кадрів на секунду)		Analog: 2.2 Digital: 0.9 I/O: 1.2 ~ 1.8
Omni vision OVP2200-W20A-AF	1280H x 720V		4,5 x 4,5		60 (кадрів на секунду)		Analog: 3.3 Digital: 1.8
Omni vision OV02710-A68A	1280H x 720V		3,0 x 3,0		30 (кадрів на секунду)		Analog: 3.3 Digital: 1.8

Для того, щоб моделювати процеси, які відбуваються під час утворення оптико-електронного каналу витоку інформації завдяки прихованому відеоспостереженню, необхідно послідовно описати процеси, що відбуваються за отримання необхідної інформації через приховане відеоспостереження. Їхня сутність зводиться до такого: по-перше, необхідно розрахувати співвідношення сигнал/шум на вході оптичного приймача зловмисника за визначених умов; по-друге, провести моделювання процесу перетворення прийнятого вхідного сигналу оптичним приймачем зловмисника; по-третє, отримати інформаційний критерій (показник), який визначає ефективність роботи оптичного приймача зловмисника в процесі добування інформації.

Особливістю оптико-електронного каналу витоку інформації є те, що об'єкт спостереження одночасно є джерелом інформації і джерелом сигналу, тому що світлові промені, що несуть інформацію про видові ознаки об'єкта, є відбиті об'єктом спостереження промені зовнішнього джерела світла. (Окрім випадків, коли об'єкт спостереження сам генерує світловий

потік, завдяки якому можливе отримання інформації з об'єкту спостереження, наприклад, монітор ПЕОМ, екран телевізора тощо.)

Основними характеристиками джерела інформації, які суттєво впливають на можливості добування інформації зловмисником, є відбиваюча здатність об'єкта спостереження, яка залежить від довжини хвилі світла, що падає та спектральних характеристик поверхні об'єкта спостереження, світлового потоку, який випромінює об'єкт спостереження – добутку сили світла, що випромінюється на тілесний кут в межах якого розповсюджується світло в напрямку на оптичний приймач.

Ключовими особливостями середовища поширення сигналів, що істотно впливають на можливості добування інформації, є: дальність прямої видимості між джерелом інформації та приймальним пристроєм зловмисника, а також протяжність ділянок, на яких сигнал поширюється в атмосфері та завади, що діють.

Більшість засобів прихованого відеоспостереження – це оптичний приймач, який у

своєму складі має оптичну систему, світлочутливий елемент, підсилювач та монітор [24; 25]. Слід зазначити, що фотонні ефекти володіють нижчою, порівняно з тепловими, інерційністю – фотоелектронна емісія виникає та припиняється разом з освітленням, час затримки становить менше 10^{-14} с.

Фоточутливість, нормована на одиницю потужності, що падає, зростає зі збільшенням довжини хвилі безпосередньо до довгохвильової границі, за якою фотовідгук зменшується до нуля. Детектори, які мають довгохвильову межу фоточутливості в ультрафіолетовій, видимій або ближній ІЧ-області спектра (2 ... 3 мкм), працюють без охолодження за кімнатної температури.

Одною з величин, що характеризує фотоemisійні властивості оптичних приймачів є їх чутливість. Скористаємось виразом, що описує фотопровідність в умовах рівноваги [26]:

$$i_{so} = \eta q N_{\lambda} G, \quad (1)$$

де i_{so} – фотострум короткого замикання за нульової частоти модуляції випромінювання, що падає на об'єкт спостереження, тобто додаток до темного струму, який обумовлений освітленням;

η – квантова ефективність, тобто число збуджених фото випромінюванням носіїв, які приходяться на один фотон який був поглинутий;

q – заряд електрона;

N_{λ} – число фотонів із довжиною хвилі λ , які поглинаються зразком в одиницю часу;

G – коефіцієнт внутрішнього фотоелектричного підсилення, тобто число електронів, яке проходить скрізь зовнішній ланцюг за час життя носіїв, збуджених фото випромінюванням. Даний коефіцієнт можливо навести у вигляді відношення часу життя вільних носіїв до часу їх прольоту між струмовими контактами детектора [26]:

$$G = \frac{\tau}{T_r}, \quad (2)$$

У такій спрощеній моделі τ – позначає час життя основних носіїв струму, а час їх прольоту між струмовими контактами детектора T_r , який має такий вигляд:

$$T_r = \frac{l^2}{\mu U_a}, \quad (3)$$

де l – відстань між струмовими контактами детектора,

μ – рухомість основних носіїв струму,

U_a – напруга зміщення на зразку.

Поєднуючи всі зазначені вище вирази, отримаємо:

$$i_{so} = \eta q N_{\lambda} \frac{\tau \mu U_a}{l^2}, \quad (4)$$

Враховуючи те, що потужність монохроматичного випромінювання P_{λ} зв'язана з числом фотонів, які поглинаються фотокатодом в одиницю часу, співвідношенням:

$$N_{\lambda} = \frac{P_{\lambda} \lambda}{hc}, \quad (5)$$

де P_{λ} – позначає потужність зовнішнього випромінювання на довжині хвилі λ ;

h – постійна Планка;

c – швидкість світла,

тоді зробивши підстановку формули (5) в (4) отримаємо вираз, що описує залежність фотоструму короткого замикання за нульової частоти модуляції випромінювання, який обумовлений освітленням:

$$i_{so} = \frac{\eta q P_{\lambda} \tau \mu \lambda U_a}{hc l^2} \quad (6)$$

Отже, фотострум короткого замикання буде пропорційним потужності випромінювання, що поглинається, та лінійно залежати від довжини хвилі для $\lambda \ll \lambda_0$ де λ_0 визначається виразом [18].

$$\lambda_0 = \frac{1.24}{E_G} \quad (7)$$

Слід зауважити, що на процес виявлення сигналів фотоприймачем суттєвий вплив чинять власні шуми фотоприймача оптико-електронного елементу засобу негласного отримання інформації та шуми обумовлені флуктуаціями випромінювання сигналу. Вони обмежують мінімальну потужність, яку можливо зареєструвати за допомогою приймального пристрою апаратного або апаратно-програмного комплексу. За ретельного процесу конструювання оптимальних оптичних приймачів, що відрізняються низькими значеннями шуму, можна суттєво знизити власні внутрішні шуми приймача до такого рівня, коли мінімальна потужність, що реєструється на вході приймача буде обмежена лише шумами, які обумовлені флуктуаціями випромінювання сигналу. Такий режим називається режимом обмеження флуктуаціями сигналу (режимом ОС), оскільки в цьому випадку лише випадковий характер процесів випускання фотонів обмежує ту мінімальну потужність, яка може бути виявлена даним фотоприймачем [26], і відповідно зареєстрована приймальним пристроєм апаратного або апаратно-програмного комплексу проведення пошуково-доглядових завдань.

$$i_{N\phi.} = \sqrt{2q i_s B}, \quad (8)$$

де q – заряд електрона,

B – ширина смуги перепускання фотоemisійного приймача.

Залежність же вихідного сигналу (фотоструму) від частоти модуляції зовнішнього випромінювання має зворотно-пропорційний характер.

$$i_s = \frac{i_{so}}{\sqrt{1 + (2\pi f \tau)^2}}, \quad (9)$$

де i_{so} – струм фотосигналу, який виникає на нульовій частоті (немодульоване коливання);

τ – час відклику оптичного приймача, який в свою чергу можна описати рівнянням:

$$\tau = \frac{1}{2\pi f_{3\text{ дБ}}}, \quad (10)$$

де $f_{3\text{ дБ}}$ – частота, за якої потужність фотосигналу на 3 дБ менше потужності фотосигналу на нульовій частоті, водночас напруженість оптичного сигналу відповідає $0,707 i_{s0}$.

Далі визначимо відношення сигнал-шум:

$$\begin{aligned} \left(\frac{i_{s0}}{i_{N\phi\lambda}}\right)^2 &= \left(\frac{i_{s0}}{[2q i_{sB}]^{\frac{1}{2}}}\right)^2 = \frac{i_{s0}^2}{2q i_{sB}} = \frac{i_{s0}^2}{2q i_{sB}} = \\ \frac{i_{s0}^2 (\sqrt{[1 + (2\pi f\tau)^2]})}{2q B i_{s0}} &= \frac{i_{s0} (\sqrt{[1 + (2\pi f\tau)^2]})}{2q B} = \\ \frac{\eta q N_{\lambda} G (\sqrt{[1 + (2\pi f\tau)^2]})}{2q B} & \end{aligned} \quad (11)$$

Скориставшись формулою (5) отримаємо:

$$\left(\frac{i_{s0}}{i_{N\phi\lambda}}\right)^2 = \frac{\eta q \frac{P_{\lambda}}{hc} G (\sqrt{[1 + (2\pi f\tau)^2]})}{2q B} \quad (12)$$

Цей вираз дає змогу отримати значення для чутливості оптичного приймача:

$$\eta q \frac{P_{\lambda}}{hc} G (\sqrt{[1 + (2\pi f\tau)^2]}) = 2q B \left(\frac{i_{s0}}{i_{N\phi\lambda}}\right)^2 \quad (13)$$

$$\eta \frac{P_{\lambda}}{hc} G = \frac{2B}{\sqrt{[1 + (2\pi f\tau)^2]}} \left(\frac{i_{s0}}{i_{N\phi\lambda}}\right)^2 \quad (14)$$

$$P_{\lambda, \min} = \frac{2Bhc}{\lambda G \eta \sqrt{[1 + (2\pi f\tau)^2]}} \left(\frac{i_{s0}}{i_{N\phi\lambda}}\right)^2 \quad (15)$$

Врахувавши формули (2) та (3), які розкривають коефіцієнт внутрішнього фотоелектричного підсилення, отримаємо:

$$P_{\lambda, \min} = \frac{2Bhc l^2}{\eta \lambda \tau \mu U_{\alpha} \sqrt{[1 + (2\pi f\tau)^2]}} \left(\frac{i_{s0}}{i_{N\phi\lambda}}\right)^2 \quad (16)$$

Вираз (16) дає змогу прогнозувати параметри для приймального пристрою апаратного або апаратно-програмного комплексу, що створюється або розглядається до закупівлі на основі аналізу їх характеристик. Наявність власних шумів фотоприймача оптико-електронного елементу засобу негласного отримання інформації, шумів обумовлених флуктуаціями випромінювання сигналу створюють умови для виявлення та, в подальшому, ідентифікації оптико-електронних елементів шляхом порівняння з наявною (сформованою) базою масок сигналів (спектрограм). Поряд із тим, процес пошуку та виявлення роботи оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності в сучасних умовах вимагає наявності відповідної виміральної апаратури (апаратного або апаратно-програмного комплексу) призначеної для виконання пошуково-доглядових завдань, підготовленого особового складу та

інструкцій (методик, методичних рекомендацій) щодо послідовності дій виконання пошукових робіт стосовно виявлення роботи оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності.

Для реалізації завдання щодо виявлення роботи оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності пропонується використовувати двоканальну схему. Один канал виявлення та розпізнавання розташовується всередині ОІД, другий – ззовні. Робота обох каналів синхронізується за часом.

Скануючий приймальний пристрій внутрішнього каналу у поєднанні з аналізатором спектру здійснюють пошук та аналіз сигналів у широкому діапазоні частот з метою виявлення сигналів власних шумів фотоприймача оптико-електронного елементу засобу негласного отримання інформації. Отримані спектрограми сигналів, які потребують перевірки, передаються на обидва канали. В одному з каналів розташований аналізатор спектра, який за допомогою спектральних масок сигналів розпізнає сигнали, які притаманні відомим радіотехнологіям. В іншому каналі сигнал, що надійшов з аналізатора спектра внутрішнього каналу, подається на схему віднімання, на інший вхід якої надходить сигнал від скануючого приймача зовнішнього каналу (за межами ОІД).

Отже, ми визначаємо лише ті частини частотного діапазону, які в подальшому будуть більш детально проаналізовані. Другий канал з зовнішнього скануючого приймача також під'єднаний до аналізатора спектру, який за допомогою спектральних масок сигналів розпізнає сигнали, які притаманні відомим радіотехнологіям. Далі аналізуються лише ті частини радіодіапазону в яких були виявлені випадкові сигнали. Решту частину діапазону можна «вирізати» режекторними фільтрами для зменшення часу аналізу. Виявленні сигнали в подальшому можна буде порівнювати з «банком даних» сигналів, які характерні для матриць оптико-електронних перетворювачів за допомогою кореляційної обробки.

Наукова новизна описаних пропозицій зводиться до їхньої комбінації та спрямованості на покращення можливостей пошукових комплексів щодо виявлення роботи оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності в сучасних умовах. Важливо приймати до уваги, що для реєстрації фотонів, приймальний пристрій оптико-електронного елементу засобу негласного отримання інформації витрачає лише проміжок часу. Тому має бути висока імовірність того, що за обмежений проміжок часу хоч би один фотон буде виявлений та досягне приймача.

Як результат, для забезпечення можливості виявлення та реєстрації факту роботи оптико-електронного елементу засобу негласного отримання інформації пошуковими комплексами *пропонується*:

збільшувати смугу перепускання вимірального тракту;

проводити багаторазову ініціалізацію роботи оптико-електронного елементу засобу негласного

отримання інформації шляхом контрольованої періодичної зміни світлового потоку на ОІД, який підлягає контролю;

використовувати тепловізори, додатково, для виявлення роботи ОЕЗ негласного отримання інформації;

створювати маски сигналів, які притаманні матрицям СЕП, для підвищення швидкості розпізнавання шумів матриць СЕП;

використовувати багатопозиційні системи для процесу виявлення та ідентифікації такого роду сигналів.

Проведений аналіз технічних характеристик оптичних приймачів та вироблені рекомендації щодо виявлення їх функціонування дають змогу досягти максимального результату виявлення та розпізнавання ОЕЗ негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності.

Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті розроблено пропозиції з підвищення можливостей пошукових комплексів (апаратних або апаратно-програмних комплексів, призначених для вирішення пошуково-доглядових завдань) щодо виявлення оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності завдяки виявленню власних шумів фотоприймача оптико-електронного елементу засобу негласного отримання інформації й шумів, обумовлених флуктуаціями випромінювання сигналу, та подальшої ідентифікації матриць оптико-електронних перетворювачів. Пропозиції спрямовані

на покращення можливостей пошукових комплексів та підрозділів, на озброєнні яких вони перебувають, у виявленні оптико-електронних засобів негласного отримання інформації та захисті від потенційних загроз, що виникають від прихованого спостереження. Застосування цих технічних інновацій може виявитися дієвим фактором у забезпеченні безпеки та конфіденційності на об'єктах інформаційної діяльності в умовах постійного удосконалення технологій та технічних рішень отримання і передачі інформації.

Практична цінність результатів дослідження зводиться до розвитку методів неруйнівного контролю щодо виявлення та ідентифікації технічних засобів, а саме оптико-електронних засобів негласного отримання інформації, що можуть бути використані на об'єкті інформаційної діяльності.

Отже, мету статті, яку визначено як розроблення пропозицій з підвищення можливостей пошукових комплексів щодо виявлення роботи оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації на об'єктах інформаційної діяльності в сучасних умовах, досягнуто.

Напрямами подальших досліджень слід вважати отримання інформаційного критерію (показника), який визначає ефективність пошукових комплексів щодо виявлення роботи оптико-електронних елементів засобів негласного отримання інформації, що дасть змогу користувачам ефективно використовувати пошукові апаратні або апаратно-програмні комплекси та поєднувати їх застосування з іншими засобами під час виконання пошуково-доглядових завдань.

Список бібліографічних посилань

1. Клименко К. О., Костенко О. В., Ільченко О. М. Загальна класифікація засобів негласного отримання інформації та методик їх виявлення. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. Том 31 (70). Ч. 1. № 6. С. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/02>.
2. Mendis S., Kemeny S. E., Fossum E. R. CMOS active pixel image sensor. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 1994. Vol. 41. № 3. P. 452–453. DOI:10.1109/16.275235.
3. Tedde S., Zaus E. S., Furst J., Henseler D., Lugli P. Active Pixel Concept Combined With Organic Photodiode for Imaging Devices. *IEEE Electron Device Letters*. 2007. Vol. 28. № 10. P. 893–895. DOI: 10.1109/LED.2007.905425.
4. Fossum E. R., Teranishi N., Theuwissen A. J. P. Evolution of digital matrices and new frontiers. *Annual Review of Vision Science*. 2024. Vol. 10. DOI: 10.1146/annurev-vision-101322-105538.
5. Hendrickson A. D., Hefner D., Chan S. H., Shade N. R., Fossum E. R. PCH-EM: Solving the information loss problem in the photon transfer method. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 2024. Vol. 71. № 8. P. 4781–4788. DOI: 10.1109/TED.2024.3414369.
6. Bai B., Lee R., Li Y., Gan T., Wang Y., Jarrahi M., Ozcan A. Information-hiding cameras: Optical concealment of object information into ordinary images. *Science Advances* 2024. 10(24):eadn9420. DOI: 10.1126/sciadv.adn9420.
7. Udoy Md R. I., Alam Sh., Islam Md M., Jaiswal A., Aziz A. A Review of Digital Pixel Sensors. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 2025. Vol. 13. № 3. P. 8533 – 8551. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3526879.
8. Конахович Г. Ф., Климчук В. П., Паук С. М., Потапов В. Г. Захист

інформації в телекомунікаційних системах. Київ : «МК-Прес», 2005. 288 с.

9. Фещенко А. Б. Спеціалізовані телевізійні системи: курс лекцій / Укладач А. Б. Фещенко, О. В. Загора. Харків : НУЦЗУ, 2018. 270 с.
10. Pixart PS5150. 2025. URL: <https://epsglobal.com/Media-Library/EPSGlobal/Products/files/pixart/PS5150.pdf?ext=.pdf> (accessed: 11.05.2025).
11. Pixart PS5226. 2025. URL: <https://epsglobal.com/Media-Library/EPSGlobal/Products/files/pixart/PS5226.pdf?ext=.pdf> (accessed: 11.05.2025).
12. Sony IMX477-AACK. 2025. URL: https://sony-semicon.com/files/62/pdf/p-13_IMX477-AACK_Flyer.pdf (accessed: 11.05.2025).
13. Sony Starvis IMX335LQN-D. URL: <https://framos.com/en/products/imx335lqn-d-22792> (accessed: 11.05.2025).
14. Canon LI8020SA. URL: <https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/documents/6222/LI8020SA.pdf> (accessed: 11.05.2025).
15. Canon 120MXS. URL: <https://canon-cmos-sensors.com/canon-120mxs-cmos-sensor> (accessed: 11.05.2025).
16. ON Semiconductor NOI4SM6600A. URL: <https://onsemi.com/pdf/datasheet/noi4sm6600a-d.pdf> (accessed: 11.05.2025).
17. ON Semiconductor HAS2. URL: https://upverter.com/datasheet/1dbf6474f4834c5ac_73294b488ac44ae8ac1f8ca.pdf (accessed: 11.05.2025).
18. Hamamatsu S14250. URL: https://hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/ssd/s14250_kmpd1194e.pdf (accessed: 11.05.2025).
19. Hamamatsu S14501. URL: https://hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_sales_library/ssd/s14501_kmpd1217e.pdf (accessed: 11.05.2025).
20. ISOCELL Vision 931. URL:

<https://semiconductor.samsung.com/image-sensor/global-shutter-image-sensor/isocell-vizion-931/#specs> (accessed: 11.05.2025). 21. Samsung ISOCELL HP3. URL: <https://semiconductor.samsung.com/image-sensor/mobile-image-sensor/isocell-hp3/#specs> (accessed: 11.05.2025). 22. Omni vision OVP2200-W20A-AF. URL: <https://heisener.com/ProductDetail/OVP2200-W20A-AF> (accessed: 11.05.2025). 23. Omni vision OV02710-A68A. URL: <https://heisener.com/ProductDetail/OV02710-A68A> (accessed: 11.05.2025). 24. Богущ В. М., Бровко В. Д., Кобус О. С.,

Козюра В. Д. Технічний захист інформації: Навч. посіб. в 2 ч. Ч. 1: Основи технічного захисту інформації. Київ : Видавництво Ліра-К, 2022. 286 с. 25. Богущ В. М., Бровко В. Д., Кобус О. С., Козюра В. Д. Технічний захист інформації: Навч. посіб. в 2 ч. Ч. 2: Теоретичні основи та організаційно-технічне забезпечення. Київ : Видавництво Ліра-К, 2023. 484 с. 26. Keyes R. J., Kruse P. W., Long D., Milt A. F., Putley E. H., Teich M. C., Zwicker H. R. Optical and Infrared Detectors. *Topics and Applied Physics*. Vol. 19. 1980. 331 p.

ENHANCING THE CAPABILITIES OF SEARCH COMPLEXES IN DETECTING OPTOELECTRONIC ELEMENTS OF COVERT INFORMATION GATHERING DEVICES AT INFORMATION ACTIVITY SITES

KONOTOPETS Mykola, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Institute of Special Communications and Information Protection, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-6963-1877>

SMOLKOV Oleksandr, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Institute of Information and Communication Technologies and Cyber Defence of the National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0001-7351-393X>

PSHENYCHNA Yuliia, Institute of Special Communications and Information Protection, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0009-0007-9248-3781>

Formulation of the problem in general. The purpose of the article is to develop proposals for enhancing the capabilities of search complexes in detecting the operation of optoelectronic elements of covert information gathering devices at information activity sites in modern conditions.

Research Methods. The study employs analysis and comparison methods to examine the design and technical characteristics of video cameras. The mathematical framework presented enables the analysis of the mathematical dependencies of hidden video camera parameters based on the characteristics of the optical receiver. Using the synthesis method, proposals are developed to improve the technical characteristics of search complexes for detecting optoelectronic elements of covert information gathering devices that may be used at information activity sites.

Literature review. The detection of optoelectronic elements of means of covert information acquisition remains a complex task, which in modern conditions requires the implementation of a set of measures and the implementation of new methods of their search and detection. This emphasises the importance of further research in this area and the relevance of the chosen topic of the article.

Research results. A formalised model of the optoelectronic channel of information leakage at objects of information activity sites is developed based on energy criteria, incorporating the fundamental physical characteristics of the optical receiver. A simulation of the signal transformation process received by the optical receiver is conducted. Search devices, integrated into hardware or hardware-software systems designed for search and inspection tasks, rely on non-destructive testing methods. When combined with other non-destructive testing techniques, they enable more detailed information acquisition about search objects. The operational principle of such systems is based on detecting, evaluating, and analysing signals generated by the inherent noise of optoelectronic elements of covert information gathering devices that may be applied at information activity sites.

Research novelty. The study extends and specifies existing data to new research objects – optoelectronic elements of covert information gathering devices, which could be exploited by malicious actors at information activity sites.

Theoretical and practical significance. The study's findings are valuable in military and technical domains, providing insights into improving the technical characteristics of passive monitoring search complexes and defining procedures for their application. These improvements aim to enhance detection efficiency and subsequently neutralise covert optoelectronic information gathering devices. The results can be utilised in organising and conducting search operations at information activity sites under modern conditions.

Conclusions and future work. Based on these results, a future information criterion (indicator) is proposed to assess the effectiveness of search complexes in detecting the operation of optoelectronic elements of covert information gathering devices during the information collection process.

Keywords: optoelectronic means of information extraction, hidden video surveillance cameras, video signal, optoelectronic information leakage channel, hardware, hardware-software complex.

References

1. Klymenko, K. O., Kostenko, O. V., Ilchenko, O. M., (2020). General classification of means of covert obtaining of information and methods of their detection. *Scientific notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 31 (70), 6, 6-15. DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/02>. 2. Mendis, S., Kemeny, S. E., Fossum, E. R., (1994). CMOS active pixel image sensor. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 41, 3, 452-453. DOI:10.1109/16.275235. 3. Tedde, S., Zaus, E. S., Furst, J., Henseler, D., Lugli, P., (2007). Active Pixel Concept Combined With Organic Photodiode for Imaging Devices. *IEEE Electron Device Letters*. 28, 10, 893-895. DOI: 10.1109/LED.2007.905425. 4. Fossum E. R., Teranishi, N., Theuvsissen, A. J. P., (2024). Evolution of digital matrices and new frontiers. *Annual Review of Vision Science*. 10, 171-198. DOI: 10.1146/annurev-vision-101322-105538. 5. Hendrickson, A. D., Hefner, D., Chan, S. H., Shade, N. R., Fossum, E. R., (2024). PCH-EM: Solving the information loss

- problem in the photon transfer method. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 71(8), 4781-4788. DOI: 10.1109/TED.2024.3414369. **6. Bai, B., Lee, R., Li, Y., Gan, T., Wang, Y., Jarrahi, M., Ozcan, A.,** (2024). Information-hiding cameras: Optical concealment of object information into ordinary images. *Science Advances*. 10(24), 9420. DOI: 10.1126/sciadv.adn9420. **7. Udoy, Md R. I., Alam, Sh., Islam, Md M., Jaiswal, A., Aziz, A.,** (2025). A Review of Digital Pixel Sensors. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 13(3), 8533-8551. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3526879. **8. Konakhovich, G. F., Klymchuk, V. P., Pauk, S. M., Potapov, V. G.,** (2005). Information protection in telecommunication systems. Kyiv: «MK-Press». **9. Feshchenko, A. B.,** (2018). Specialised television systems: a course of lectures / Compiled by A. B. Feshchenko, O. V. Zakora. Kharkiv : NUCZU. **10. Pixart PS5150** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://epsglobal.com/Media-Library/EPSGlobal/Products/files/pixart/PS5150.pdf?ext=.pdf> [Accessed: 11 May 2025]. **11. Pixart PS5226.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://epsglobal.com/Media-Library/EPSGlobal/Products/files/pixart/PS5226.pdf?ext=.pdf> [Accessed: 11 May 2025]. **12. Sony IMX477-AACK.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: https://sony-semicon.com/files/62/pdf/p-13_IMX477-AACK_Flyer.pdf [Accessed: 11 May 2025]. **13. Sony Starvis IMX335LQN-D.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://framos.com/en/products/imx335lqn-d-22792>. [Accessed: 11 May 2025]. **14. Canon LI8020SA.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/documents/6222/LI8020SA.pdf> [Accessed: 11 May 2025]. **15. Canon 120MXS.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://canon-cmos-sensors.com/canon-120mxs-cmos-sensor> [Accessed: 11 May 2025]. **16. ON Semiconductor NOI4SM6600A.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://onsemi.com/pdf/datasheet/noii4sm6600a-d.pdf> [Accessed: 11 May 2025]. **17. ON Semiconductor HAS2.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://upverter.com/datasheet/1dbf6474f4834c5ac73294b488ac44ae8ac1f8ca.pdf> [Accessed: 11 May 2025]. **18. Hamamatsu S14250.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: https://hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/ssd/s14250_kmpd1194e.pdf [Accessed: 11 May 2025]. **19. Hamamatsu S14501.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: https://hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_sales_library/ssd/s14501_kmpd1217e.pdf [Accessed: 11 May 2025]. **20. ISOCELL Vision 931.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://semiconductor.samsung.com/image-sensor/global-shutter-image-sensor/isocell-vizion-931/#specs> [Accessed: 11 May 2025]. **21. Samsung ISOCELL HP3.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://semiconductor.samsung.com/image-sensor/mobile-image-sensor/isocell-hp3/#specs> [Accessed: 11 May 2025]. **22. Omni vision OVP2200-W20A-AF.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://heisener.com/ProductDetail/OVP2200-W20A-AF> [Accessed: 11 May 2025]. **23. Omni vision OV02710-A68A.** [online], (2025). *E-katalog*. Available at: <https://heisener.com/ProductDetail/OV02710-A68A> [Accessed: 11 May 2025]. **24. Bogush, V. M., et al.** (2022). Technical information protection: Textbook in 2 parts. Part 1: Fundamentals of technical information protection. Kyiv: Lira-K Publishing House. **25. Bogush, V. M., et al.** (2023). Technical information protection: Textbook in 2 parts. Part 2: Theoretical foundations and organisational and technical support. Kyiv: Lira-K Publishing House. **26. Keyes, R. J., Kruse, P. W., Long, D., Milt, A. F., Putley, E. H., Teich, M. C., Zwickler, H. R.,** (1980). *Optical and Infrared Detectors. Topics and Applied Physics*. 19. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Рукопис надійшов до редакції 12.05.2025
 Рукопис прийнято до друку після рецензування 08.07.2025
 Дата публікації 29.08.2025