

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИДІЇ ЗАСОБАМ ФОТОГРАФІЧНОЇ РОЗВІДКИ ТА ВІДЕОЗЙОМКИ МЕТОДОМ ІНФРАЧЕРВОНОГО ЗАСВІЧЕННЯ

Вступ

Одним із найбільш інформативних каналів витоку інформації є візуально-оптичний канал, оскільки близько 85 % інформації про об'єкт та навколишнє середовище людина отримує при візуальному спостереженні. Саме тому, для забезпечення інформаційної безпеки будь-якої організації чи, навіть, держави, важливе місце займає аналіз можливості витоку інформації по даному каналу та розробка активних методів її захисту від витоку та добування несанкціонованими діями.

Отримання видових характеристик об'єктів постійно вдосконалюється завдяки новій апаратурі та її розташування на різних носіях. Розвідка, яка ведеться за допомогою фото- та відеозйомки, має істотні переваги перед іншими методами розвідки в візуально-оптичному каналі, оскільки сучасні прилади фотографування мають високу роздільну здатність та дають змогу отримати зображення об'єктів високої якості з відтворенням найдрібніших деталей, навіть на великій відстані. Також, слід відмітити, що вони є досить доступними, мають функції збереження та подальшої обробки інформації. Таку ситуацію ускладнює широкий спектр чутливості матриць даних засобів, завдяки чому можливо вести розвідку як в видимому, так і в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні випромінювання.

Одним із активних методів захисту інформації від несанкціонованого фотографування та відеозйомки є метод засвічування об'єктива інфрачервоним світлом. Він оснований на погіршенні контрасту об'єкта фотографування потраплянням в об'єктив світлових завад. Основною перевагою даного методу являється непомітність, оскільки інфрачервоне випромінювання є невидимим для людського ока.

Нещодавно стала відома успішна спроба розробки приладу для активного захисту особистих даних людини, принцип роботи якого оснований на даному методі. Професори Isao Echizen і Seiichi Gohshi (Японія) розробили прилад під назвою Privacy Visor у вигляді масивних окулярів. На окулярах в області очей і носа встановлені 11 світлодіодів "ближнього" ІЧ-діапазону. При фотографуванні та відеозйомці світлодіоди створюють невидимі для ока людини завади, завдяки чому розпізнавання обличчя особи по отриманому зображенню стає неможливим [1].

Основною метою роботи є визначення спектральної чутливості типових засобів фото- та відеозйомки, оцінка ефективності їх знедіювання методом ІЧ-засвічення та аналіз особливостей застосування даного методу в різних умовах освітленості.

Основні технічні характеристики засобів фото- та відеозйомки та опис вимірювальної установки для дослідження їх спектральної чутливості

Основні характеристики засобів фото- та відеозйомки, виходячи з яких реалізується метод інфрачервоного засвічення:

- роздільна здатність;
- спектральна чутливість.

Роздільна здатність (межа розрізнення) характеризує здатність оптичних приладів давати окремі зображення двох близьких одна до одної точок об'єкта.

Роздільна здатність фотографуючої системи визначається роздільною здатністю об'єктива, світлочутливого елемента фотоапарату і умовами фотографування.

Спектральна чутливість приймача світла – це характеристика, яка показує чутливість

приймача до випромінювання в залежності від його довжини хвилі. Визначення даної характеристики дає змогу оцінити вразливість приймача до протидії методом інфрачервоного засвічування.

Для проведення оцінки спектральної чутливості була спроектована та виготовлена вимірвальна установка, яка складається із випробувальної камери, блоку управління світлодіодами, люксметра MS6610, амперметра, двох кришок для обмеження світла.

Випробувальна камера представляє собою корпус циліндричної форми, всередині якого розташовані світлодіоди на спеціальній платформі, яка фіксує їх та з'єднує з проводом підключення до блоку управління. У вимірвальній камері розміщено чотири світлодіодних випромінювача світла видимого та два – ІЧ-діапазону з довжиною хвилі: 460 нм (ARPL-1W Blue (14B1N) – синє світло), 525 нм (ARPL-1W Green (GNH1E) – зелене світло), 585 нм (ARPL-1W Yel (1Y1N) – жовте світло), 625 нм (ARPL-1W Red (1R1N) – червоне світло), 850 нм та 940 нм (EDEI-1FA3 та EDEN-1LA3 – ІЧ-діапазон). Блок управління містить два керованих джерела струму. Вихід першого джерела струму підключений до випромінювача зеленого світла, вихід другого – комутується між випромінювачами синього, жовтого, червоного світла та ІЧ-світлодіодами. Далі випромінювач зеленого світла будемо називати опорним, інші – тестовими. Функціональна схема вимірвальної установки зображена на рис. 1.

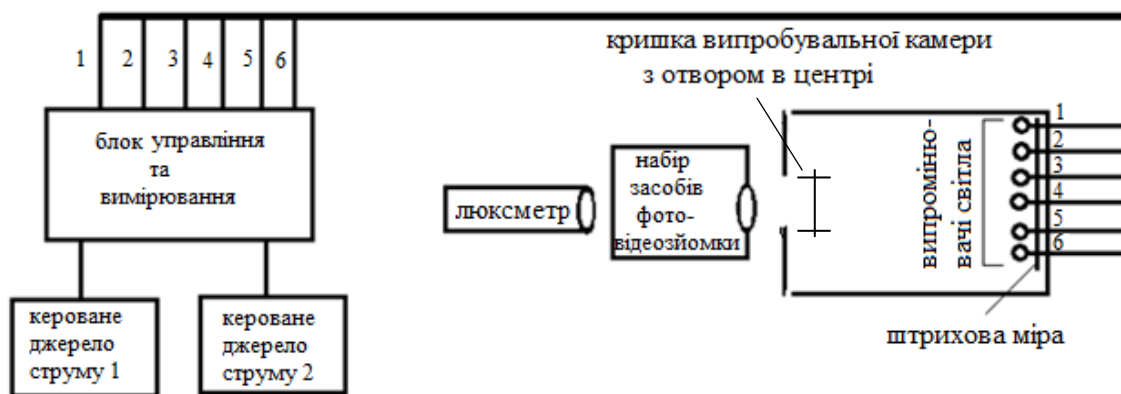


Рис. 1. Функціональна схема установки

Як відомо, еталонним приймачем випромінювання є людське око, спектральна характеристика якого має максимум на довжині хвилі 555 нм [2], що відповідає випромінюванню зеленого кольору. Саме тому суть запропонованого методу вимірювання спектральної чутливості базується на порівнянні чутливості приймача до випромінювання на довжині хвилі 555 нм з випромінюванням досліджуваного діапазону.

На першому етапі дослідження була визначена залежність щільності потоку потужності P і освітленості E , які створюються зеленим (опорним) світлодіодом, від величини струму живлення I . Вимірювання проводились для побудови графіка, який надалі використовувався для визначення спектральної чутливості приймачів. Під час вимірювання випробувальна камера була накрита кришкою для обмеження світла, в центрі якої був зроблений отвір для світлочутливого датчика люксметра. Камера з'єднувалась з блоком управління, а амперметр був підключений в коло зеленого світлодіоду на блоці управління. Суть експерименту полягала в визначенні, за допомогою люксметра, освітленості, яку створює опорний світлодіод при фіксованому значенні струму живлення в діапазоні від мінімального до максимального значення, в даному випадку від 0 до 350 мА. Струм живлення змінювався за допомогою ручок регулювання з однаковим кроком. Далі, за формулою (1) [3] для кожного значення освітленості були розраховані відповідні значення щільності потоку потужності та побудований графік залежності щільності потоку потужності і освітленості, що створюється зеленим світлодіодом, від величини його живлення струму (рис. 2).

$$\Pi = E_v \cdot \frac{1}{V(\lambda)} \cdot \frac{1}{683}, [\text{Вт/м}^2] \quad (1)$$

де E_v – освітленість, що створюється випромінювачем світла (за показанням люксметра); $V(\lambda)$ – значення відносної спектральної чутливості ока людини на довжині хвилі, що випромінюється, світла λ , $V(555)=1$; $(1/683)$ [Вт/лм] – коефіцієнт перерахунку фотометричної величини в радіометричну для $\lambda=555$ нм.

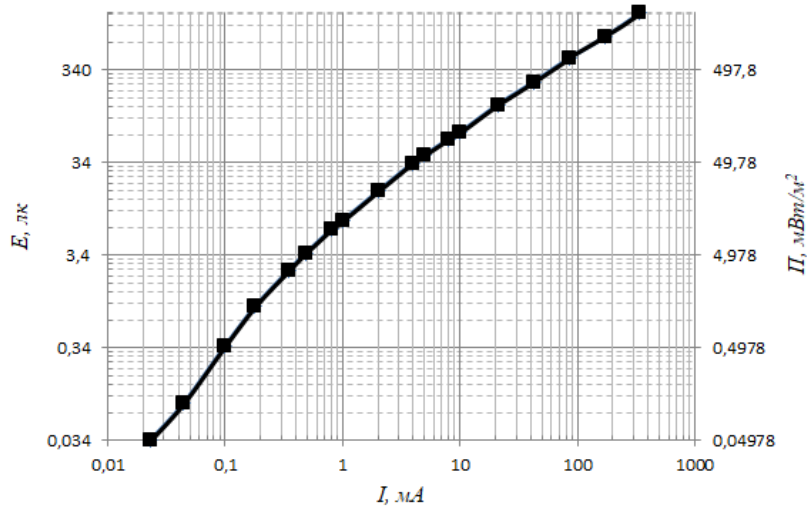


Рис. 2. Графік залежності щільності потоку потужності та освітленості опорного світлодіоду від величини струму живлення

На другому етапі досліджень була визначена осереднена спектральна чутливість таких класів камер: камера нічного відеоспостереження (Tecsar AHDW-1M-20F (000005175), Tecsar AHDD-1M 20F-Out-Eco (000005808)), автомобільний відеореєстратор (HD198i, Convoy dvr-05HD), камера мобільного телефону (Samsung G6268, Lenovo S850, Samsung Galaxy j1, BlackBerry 9900) та цифровий фотоапарат (Sony DSC P-200, Canon EOS 1100D).

Під час проведення експерименту досліджувана камера розташовувалась на кришці для обмеження світла з отвором в центрі, діаметр якого дорівнював діаметру об'єктива. Зелений світлодіод був увімкнений протягом всього часу проведення експерименту. Далі, кожен з п'яти тестових світлодіодів (струм живлення яких є постійним) по черзі вмикалися, а струм живлення зеленого світлодіоду змінювався так, щоб його яскравість була еквівалентною яскравості ввімкненого тестового світлодіоду та сприймалися досліджуваною камерою однаково (на отриманому зображенні плями світла, створені світлодіодним випромінюванням, повинні мати однаковий діаметр). Струм живлення опорного світлодіоду фіксувався для подальшого розрахунку спектральної чутливості на довжині хвилі кожного з тестових світлодіодів.

Після закінчення вимірювань була розрахована щільність потоку потужності Π тестових випромінювачів. Вихідні дані до розрахунку:

- потужність P , що випромінюється джерелом світла;
- ширина діаграми спрямованості джерела світла, α .

Припущення:

- діаграма спрямованості джерела світла має вигляд кульового сектора (рис. 3, крива ОАМС). Джерело випромінювання розташовано в точці О;
- щільність потоку потужності постійна в межах тілесного кута, який обмежений поверхнею ОАС. Вся потужність, що випромінюється джерелом світла, зосереджена в даному тілесному куті;
- віддалення від джерела на відстань R відбувається уздовж осі симетрії його діаграми спрямованості (ОМ);
- стінки випробувальної камери повністю поглинають падаючу на них світлову енергію.

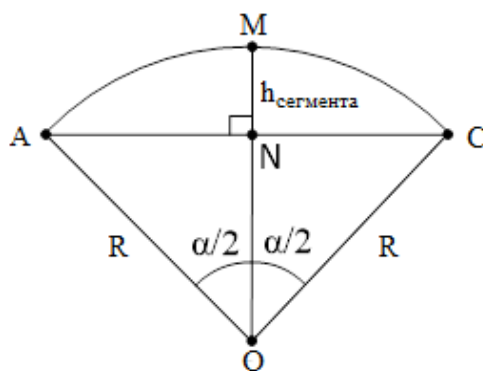


Рис. 3. Графічне пояснення до розрахунку

Величину щільності потоку потужності (Π), що падає на кришку випробувальної камери, можна визначити як

$$\Pi = \frac{P}{S_{\text{кc}}},$$

де $S_{\text{кc}}$ – площа кульового сегмента (сферичної поверхні, переріз якої відповідає кривій АМС (рис. 3).

За визначенням

$$S_{\text{кc}} = 2\pi R \cdot h_{\text{сегмента}} \quad (2)$$

де R – радіус сфери, $AO = MO = CO = R$ (рис. 3); $h_{\text{сегмента}}$ – висота кульового сегмента, $MN = h_{\text{сегмента}}$,

$$h_{\text{сегмента}} = MO - NO.$$

З розрахунку трикутника АНО маємо

$$h_{\text{сегмента}} = MO - AO \cdot \cos \frac{a}{2}$$

Оскільки $MO = AO = R$, то:

$$\begin{aligned} h_{\text{сегмента}} &= R - R \cdot \cos \frac{a}{2}, \\ h_{\text{сегмента}} &= R \cdot \left(1 - \cos \frac{a}{2}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

Підставивши формулу (3) в формулу (2), отримаємо

$$S_{\text{кc}} = 2\pi R^2 \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{a}{2}\right)\right)$$

Отже, вираз для розрахунку щільності потоку потужності Π випромінювачів ІЧ-діапазону матиме вигляд

$$\Pi = \frac{P}{2\pi R^2 \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{a}{2}\right)\right)}, [\text{Вт}/\text{м}^2].$$

Примітка: при $a = 360$ град. Π набуде вигляду загальновідомого вираження для розрахунку щільності потоку потужності, що створюється ізотропним випромінювачем: $\Pi = \frac{P}{4\pi R^2}$, $[\text{Вт}/\text{м}^2]$.

Для розрахунку Π випромінювачів видимого діапазону використовується формула (1):

$$\Pi_{\text{випр}}(\lambda) = E_v \cdot \frac{1}{V(\lambda)} \cdot \frac{1}{683} = \frac{\Phi}{2\pi R^2 \cdot (1 - \cos(\frac{\alpha}{2}))} \cdot \frac{1}{V(\lambda)} \cdot \frac{1}{683}, [\text{Вт/м}^2]$$

де $E_v = \Phi/S$, Φ – номінальне значення сили випромінюваного світла, яке відомо із технічного опису на світлодіоди (Luminous Intensity); α – значення кута, на який припадає 50 % світлової енергії, що випромінюється світлодіодом (50% Power Angle, з технічного опису на світлодіоди);

Для побудови кривої спектральної чутливості був визначений коефіцієнт K , який дорівнює відношенню щільності потоку потужності опорного світлодіоду з еквівалентною яскравістю, яка визначалась по графіку, що отриманий на попередньому етапі (рис. 1) до щільності потоку потужності тестового світлодіоду.

Залежність коефіцієнта K від довжини λ є спектральною чутливістю

В ході експерименту була визначена спектральна чутливість перерахованих вище засобів фотографічної розвідки та відеозйомки. Отримані результати були осереднені та зображені в вигляді графіків, рис. 4.

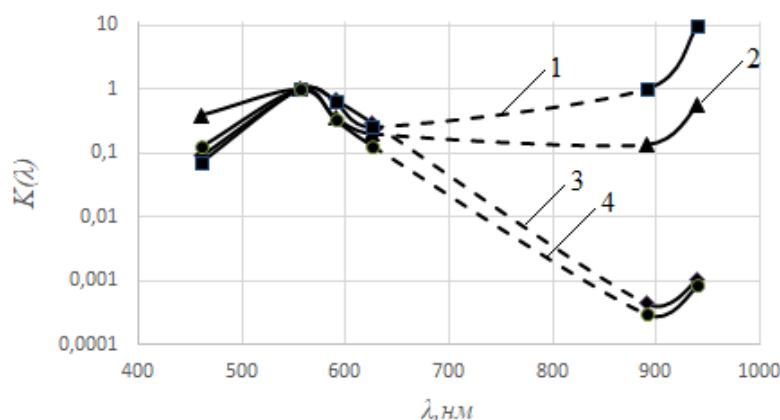


Рис. 4. Графіки осередненої спектральної чутливості досліджуваних засобів фотографічної розвідки та відеозйомки: 1 – камери нічного відеоспостереження; 2 – автомобільного відеореєстратора; 3 – камери мобільного телефону; 4 – цифрового фотоапарату

Експериментальне дослідження ефективності протидії засобам фотота відеозйомки методом ІЧ-засвічення

Після визначення спектральної чутливості обраних приймачів було проведено експериментальне дослідження ефективності протидії досліджуваним методом шляхом визначення ефективного радіусу плями засвічення, яке створює інфрачервоний світлодіод.

Методика вимірювання передбачає використання описаної вимірювальної установки та зеленого світлодіоду. При цьому установка розташовується на поверхні горизонтально, напроти неї розміщується досліджуваний фотоапарат, тестове поле освічується штучним джерелом світла, а амперметр підключається в коло зеленого світлодіоду.

Для проведення вимірів в якості тестового поля була підготовлена штрихова міра з отвором в центрі для світлодіоду (рис. 5). Вона представляє собою зображення ліній у формі кіл білого та чорного кольору різного діаметру, які об'єднані секторами. Крок міри (сумарна ширина білих та чорних ліній) становить 50 мм, товщина всіх ліній в межах сектора однакова. Є 8 секторів з товщиною ліній: 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 мм. Виміри проводились в приміщенні без доступу денного світла. В якості тестового засоба фотографічної розвідки був обраний дзеркальний фотоапарат Canon EOS 1100D.

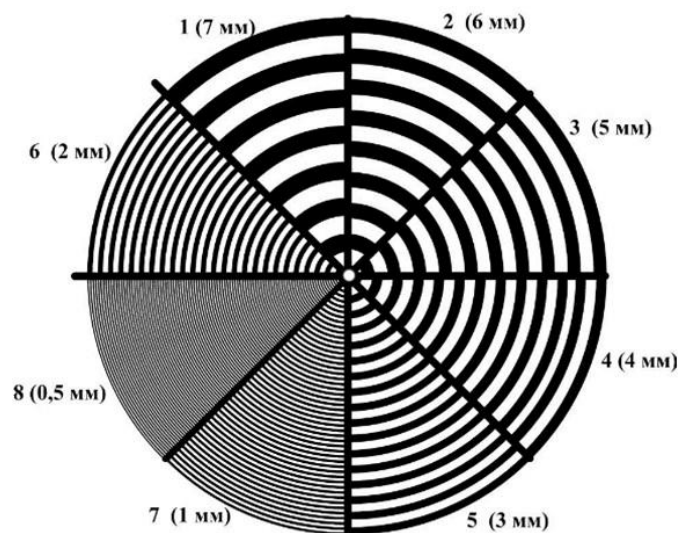


Рис. 5. Штрихова міра для експериментального визначення ефективного радіусу плями засвічення

Штрихова міра була розміщена в випробувальній камері установки так, щоб опорний світлодіод співпадав з її центром. Досліджуваний фотоапарат знаходився на певній відстані від випробувальної камери, після чого була зроблена серія фотознімків тестового поля з поступовим збільшенням струму живлення світлодіоду до максимального значення. Далі знімки були оброблені в програмі Photoshop, за допомогою якої визначався радіус плями засвічення в пікселях, в межах якої роздільна здатність камери більша за номінальну з подальшим перерахунком в лінійну міру (см) (тобто радіус плями, яка створюється випромінюванням зеленого світлодіоду, та яка змазує зображення штрихів спочатку обраного сектора і не дозволяє розпізнати їх на зображенні як окремі елементи). Перерахунок величини радіусу плями засвічення здійснювався за формулами:

$$R_{п.см} = R_{п.відн} \cdot R_{т.см},$$

де $R_{п.см}$ – величина радіусу плями засвічення, в сантиметрах; $R_{п.відн}$ – радіус плями засвічення виражений у відносній величині; $R_{т.см}$ – радіус тестового поля, в сантиметрах;

$$R_{п.відн} = R_{п.п.} / R_{т.п.},$$

де $R_{п.п.}$ – радіус плями засвічення, в пікселях; $R_{т.п.}$ – радіус міри, в пікселях.

Також для кожного значення радіусу плями (та відповідного струму живлення) був визначений контраст тестового поля

$$K = \frac{E_i - E_{т.п.}}{E_{т.п.}},$$

де E_i – сумарна освітленість тестового поля, виміряна люксометром; $E_{т.п.}$ – початкова (до відкриття зеленого світлодіоду) освітленість тестового поля.

За отриманими результатами побудований графік залежності ефективного радіусу плями засвічення від контрасту (рис. 6).

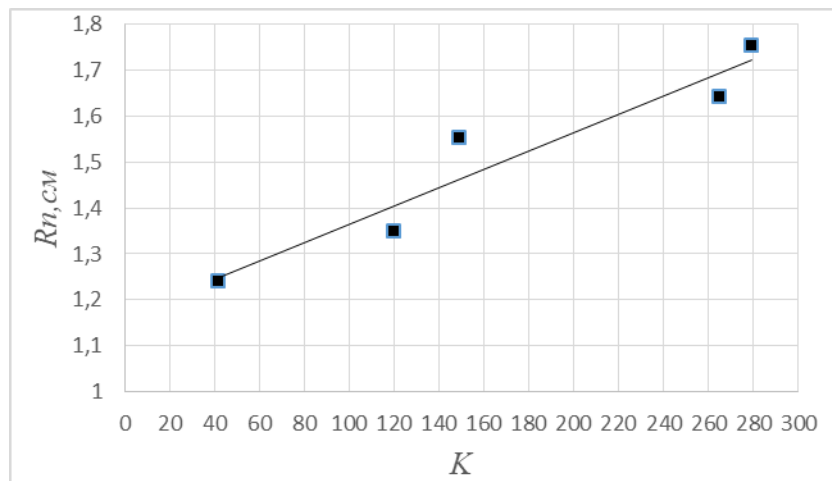


Рис. 6. Графік залежності ефективного радіусу плями засвічення від контрасту

За отриманими результатами експериментів проведена оцінка необхідної потужності інфрачервоних світлодіодних випромінювачів для протидії (знедіювання) досліджуваного фотоапарату Canon EOS 1100D. Для цього припустимо, що ІЧ-випромінювач повинен створювати пляму засвічування максимального радіуса, яку забезпечує зелений світлодіод при максимальному струмі живлення (див. рис. 6, $R_n=17,5$ см). Значення необхідної потужності світлодіодів було знайдено для різних умов освітленості об'єкту (день, сутінки, офісне приміщення). При цьому вважалось, що чутливість приймачів до світла ІЧ та видимого діапазонів однакова, фронт хвилі плоский, щільність потоку потужності не залежить від відстані, а тестове поле відбиває все падаюче світло в напрямку камери. Площа засвічення розраховувалась через радіус R .

З технічного опису на світлодіоді відомо, що потужність випромінювання зеленого світлодіоду становить 1 Вт, максимальний струм живлення 340 мА, при цьому випромінюється щільність потоку потужності $P = 2,043$ Вт/м² (див. формулу (1)).

На наступному етапі була проведена оцінка величини електричної потужності інфрачервоного випромінювача з довжиною хвилі $\lambda = 940$ нм, який створює щільність потоку потужності, таку ж саму, як і використаний в експерименті зелений світлодіод (2,043 Вт/м²).

За даними з технічного опису на світлодіоді, тобто за відомими величинами номінального струму I та напруги U на світлодіоді, можна розрахувати електричну потужність даного ІЧ-випромінювача:

$$P_{IЧ} = I \cdot U [\text{Вт}].$$

Після підстановки числових значень було отримано $P_{IЧ} = 1,4$ Вт, що відповідає щільності потоку потужності ІЧ світла $P = 1,59$ Вт/м². Для того щоб знайти електричну потужність $P_{IЧ}^1$, при якій буде випромінюватися $P = 2,043$ Вт/м², припустимо, що величина P пропорційна електричній потужності світлодіоду. Тоді, після розрахунку пропорції, знайдемо значення $P_{IЧ}^1 = 1,8$ Вт.

З графіку залежності ефективного радіусу плями засвічення від контрасту можна зробити висновок, що для забезпечення плями засвічення площею 96 мм світлодіод має створювати освітленість, яка перевищує освітленість тестового поля в 279 разів ($K = 279$, рис. 6). При цьому коефіцієнт відбиття тестового поля ρ , який був визначений перед проведенням фотознімків тестового поля, становить 0,18. Використовуючи ці величини, визначили величину $P_{сут}$ — щільність потоку потужності контрольного випромінювача, яка необхідна для засвічення вказаної площі в умовах сутінків (згідно з [4] $E_v = 5$ лк:

$$P_{сут} = K \cdot \rho \cdot P_{т.п.} [\text{Вт/м}^2],$$

де $P_{т.п.}$ – щільність потоку потужності світла, що падає на тестове поле, розраховується за формулою (1) за величиною E_v та дорівнює 7 мВт/м^2 ; $\rho \cdot P_{т.п.}$ – щільність потоку потужності, відбитої від поля в заданих умовах освітленості.

Після розрахунків отримано $P = 351,6 \text{ мВт/м}^2$, що в шість разів менше, ніж щільність потоку потужності, яку створює ІЧ випромінювач в ході експериментального дослідження. А отже, і потужність світлодіоду буде в шість разів меншою і становитиме приблизно $0,3 \text{ Вт}$. Для умов освітленості, характерних для приміщення ($E_v = 400 \text{ лк}$ [4]), що в 80 разів більше освітленості в сутінках, та при денній освітленості ($E_v = 10000 \text{ лк}$ [4]), яка її перевищує в 2000 разів, оцінка необхідної потужності інфрачервоних світлодіодів буде становити 24 Вт та 600 Вт відповідно.

Висновки

Експериментальні дослідження показують, що даний метод ІЧ засвічення має обмежене застосування для протидії засобам фотографічної розвідки та відеозйомки. Як видно з результатів експериментальних досліджень (див. графік осередненої спектральної чутливості зображеному на рис. 4), з таких класів засобів візуально-оптичної розвідки як камера мобільного телефону, цифровий фотоапарат, камера нічного відеоспостереження та автомобільний відеореєстратор, тільки останні два типи можуть бути засвічені ІЧ-світлом.

Експериментальна оцінка ефективності застосування засвічення фото- та відеокамер показала, що орієнтовні величини потужності світлодіодних випромінювачів для створення необхідної для протидії щільності потоку потужності складають від сотень міліват до сотень ват. Реалізація малогабаритних портативних пристроїв з потужністю більше десятків ват являється складною технічною задачею, в іншому випадку стане необхідним збільшити кількість ІЧ-випромінювачів, що не завжди можливо та призведе до більшого розсіяння світла завади, що утворюється таким чином, і, відповідно, до зменшення ефективності протидії. З цього випливає, що даний метод може застосовуватися для протидії камерам охоронного спостереження, відеореєстраторам і камерам мобільних телефонів в умовах сутінкової освітленості об'єктів (при освітленості об'єктів в 10 люкс і менше).

Список літератури:

1. Yamada T., Gohshi S., Echizen I. Use of Invisible Noise Signals to Prevent Privacy Invasion through Face Recognition from Camera Images / MM'12, October 29–November 2, 2012, Nara, Japan. ACM 978-1-4503-1089-5/12/10, P.1315-1316.
2. Русинов М.М Техническая оптика. Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отд, 1979. 488 с.
3. Шредер Г. Трайбер Х. Техническая оптика. Москва : Техносфера, 2006. 424 с.
4. Русинов М.М Вычислительная оптика : справочник. Москва : ЛКИ, 2008. 423 с.

*Харківський національний
університет радіоелектроніки*

Надійшла до редколегії 17.02.2018