

Конотопець Микола Миколайович (кандидат технічних наук, доцент)

Самойлов Ігор Володимирович (кандидат технічних наук, доцент)

Сторчак Антон Сергійович (кандидат технічних наук)

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

ПРОПОЗИЦІЇ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

Метою статті є розроблення пропозицій з удосконалення технічних характеристик тепловізійних пристроїв для виявлення та нейтралізації радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на об'єктах інформаційної діяльності. Під час написання статті застосовано методи аналізу і порівняння для розгляду будови та порівняння технічних характеристик радіоелектронних засобів. Наведений математичний апарат дав змогу проаналізувати математичні залежності параметрів тепловізора на основі характеристик приймача. За допомогою методу синтезу розроблено пропозиції стосовно удосконалення технічних характеристик тепловізійних пристроїв. Також із використанням технічних і технологічних методів виявлення та контролю радіоелектронних засобів формалізовано модель виявлення радіоелектронних засобів знімання інформації на об'єктах інформаційної діяльності за енергетичним критерієм, що включає в себе основні фізичні характеристики приймача. У статті розроблено пропозиції з удосконалення технічних характеристик тепловізійних пристроїв. Входячи до складу апаратних або апаратно-програмних комплексів, призначених для вирішення пошуково-обшукових завдань, в основі свого функціонування, тепловізійні пристрої використовують метод теплового неруйнівного контролю, який поряд з іншими методами неруйнівного контролю дає змогу отримати детальнішу інформацію про зазначені об'єкти пошуку. В основі принципу дії апаратних або апаратно-програмних комплексів лежать процеси виявлення, оцінювання та аналізу температурних полів на поверхні досліджуваних об'єктів, які обумовлені власними тепловими випромінюваннями радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на об'єктах інформаційної діяльності та служать джерелом інформації про особливості процесу теплопередачі. Розроблено формалізовану модель виявлення радіоелектронних засобів знімання інформації на об'єктах інформаційної діяльності за енергетичним критерієм на основі теорії виявлення та розпізнавання сигналів. Визначено послідовність дій для нейтралізації радіоелектронних засобів знімання інформації. Наукова новизна означеного полягає в конкретизації відомих даних та їх поширенні на нові об'єкти дослідження, в якості яких виступають власні випромінювання радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на об'єктах інформаційної діяльності. Цінність отриманих результатів дослідження у військовій та технічній сферах полягає в отриманні знань щодо можливостей підвищення якісних характеристик техніки пасивного теплового контролю й визначеної послідовності дій під час її застосування для підвищення якості виявлення і нейтралізації роботи радіоелектронних засобів знімання інформації. Ці результати можуть бути використані на об'єктах інформаційної діяльності в сучасних умовах.

Ключові слова: радіоелектронні засоби знімання інформації, тепловізор, термограма, температурне поле, технічні канали витоку інформації, термографічний контроль, апаратні засоби, апаратно-програмний комплекс, індикатори теплового випромінювання.

Вступ

Відомо, що робота всіх технічних засобів і систем обробки та передачі інформації практично завжди супроводжується побічними ефектами, що сприяють її витоку. Як правило, це побічні випромінювання електромагнітних (акустичних) полів небезпечних сигналів, що можуть нести конфіденційну інформацію, наведення цих полів на сторонні провідники (предмети) та технічні засоби (будівельні конструкції приміщення), що

мають гальванічний (пружний) зв'язок з навколишнім світом, просочування небезпечних сигналів у відвідні електричні ланцюги, електромережу, заземлення тощо.

Зазначені ефекти утворюють технічні канали витоку інформації, що вимагають їх дослідження та доведення до безпечного стану, що визначений вимогами та нормами захищеності. Одним із завдань щодо забезпечення інформації від витоку

технічними каналами є їх своєчасне виявлення з подальшим визначенням конкретних заходів щодо їх нейтралізації.

Постановка проблеми. Головною об'єктивною проблемою під час розгляду теплового каналу витоку інформації є складність побудови радіоелектронних засобів знімання інформації, як об'єктів контролю. Зазвичай такі вироби виготовлені з різних матеріалів, що мають різні коефіцієнти випромінювання та високу щільність компонування. Це може спричинити підсилення ефекту взаємного відбиття всередині об'єкта теплового контролю, зокрема, з одного боку. У такому випадку теоретичні розрахунки теплового режиму цих об'єктів стають складним завданням. Тому особливо важливими стають безконтактні методи вимірювання температури за допомогою тепловізорів.

З іншого боку, у галузі мікроелектроніки спостерігається тенденція до значного зменшення розмірів пристроїв та пониження температур поверхонь виробів, що випромінюють тепло. Це досягається застосуванням матеріалів із низьким коефіцієнтом випромінювання та застосуванням екрануючих конструктивних елементів, що звужують індикатрису теплового випромінювання. Однак це може призводити до зниження чутливості пристроїв виявлення радіоелектронних пристроїв, що можуть бути використані для несанкціонованого збору інформації на об'єктах інформаційної.

Тому постає завдання підвищення можливостей пошуково-обшукової апаратури для виявлення радіоелектронних засобів, що можуть бути використані на об'єктах інформаційної діяльності (далі – ОІД). Це завдання стає особливо актуальним в умовах значного вдосконалення радіоелектронних компонентів, що можуть використовуватися в таких засобах та стає ще більш складним через поширення нових технологій, що містять аспекти мініатюризації та вдосконалення маскування. Можливість розміщення невеликих радіоелектронних пристроїв у важкодоступних місцях або в об'єктах з великою щільністю матеріалів ускладнює завдання їх виявлення.

Водночас, зростання обчислювальної потужності та алгоритмічної складності радіоелектронних засобів робить необхідним розроблення та вдосконалення апаратних і програмних засобів для ефективного контролю теплового каналу витоку інформації. Ці виклики вимагають від науковців та інженерів пошуку новаторських підходів і технологій для нейтралізації впливу нових радіоелектронних засобів на тепловий канал інформаційного потоку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] авторами були, зокрема, розглянуті особливості такого виду розвідки як, інфрачервона. Визначені поняття відношення «сигнал/шум» та ймовірність виявлення для такого виду розвідки. Наведені описові моделі каналів

витоку інформації, стосовно даних інфрачервоної розвідки, наведена їх математична інтерпретація.

В [9] авторами В. Г. Колобродовим, В. І. Микитенко, Є. Г. Балінським були розглянуті методи математичного моделювання оптико-електронних систем дистанційного спостереження інфрачервоного діапазону спектру, що працюють в автоматичному режимі або сумісно з оператором, а також методи визначення основних характеристик таких систем.

У науковій роботі [11], колективом авторів під керівництвом Гурі Мордехая продемонстровано Bit Whisper – метод подолання повітряного прошарку між сусідніми зламаними комп'ютерами шляхом використання їх теплового випромінювання та вбудованих теплових датчиків для побудови прихованого каналу зв'язку.

Ураховуючи вищезазначене дослідження стосовно підвищення якості виявлення та нейтралізації роботи радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на ОІД в сучасних умовах є актуальним науковим завданням.

Метою статті є розроблення пропозицій з удосконалення технічних характеристик тепловізійних пристроїв для виявлення та нейтралізації радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на об'єктах інформаційної діяльності.

Виклад основного матеріалу дослідження

Відомо, що будь-які радіоелектронні пристрої, незалежно від своїх розмірів і функціонального призначення, у своєму складі мають друковані плати, провідники та напівпровідникові елементи типу діод, транзистор та мікросхема. Функціонування цих елементів супроводжується не тільки споживанням енергії, але й виділенням її у навколишнє середовище у вигляді тепла зі швидкістю, що пропорційна різниці температур кристалу та навколишнього середовища.

Завжди існує контраст між радіоелектронним пристроєм та фоном. Виявивши та оцінивши довжину хвилі прийнятого інфрачервоного сигналу за допомогою тепловізора, можливо визначити до якого з відомих типів він належить [1]:

0,75...1,1 мкм – відбитий сигнал;

2,0...5,0 мкм (MWIR) – власне випромінювання;

8,0...14,0 мкм (LWIR) – інтенсивне випромінювання (присутні як відбите, так і власне випромінювання).

Отже, температурне поле поверхні об'єкта є джерелом інформації про особливості процесу теплопередачі. Крім того, намагаючись сховати такі пристрої в середовищі, що їх маскує неодмінно буде відбуватися порушення структури останньої (по-перше зміниться щільність таких структур), навіть за дуже ретельного маскування.

Унаслідок цього виникає різниця у ступені теплового випромінювання шару, що маскує

можливо впроваджені радіоелектронні засоби знімання інформації на ОІД та навколишнього середовища з природнім фоном. Рівень таких випромінювань також залежить від матеріалу, температури, вологості, стану шару поверхні, що маскує та інших факторів.

Прикладом подібних пристроїв може бути наведений інноваційний інтерфейсний радіочастотний модуль FEM (Front-End Modules), як Broadcom AFEM-8072. Він являє собою панель пристроїв, що об'єднує всі кола між антеною й приймачем та складається з високочастотного фільтру, підсилювача, гетеродину, змішувача, а також декількох перемикачів. Зазвичай цей модуль використовується для запобігання насичення вхідних каскадів сильними позасмуговими сигналами.

Модуль також може використовуватись для перемикання між радіосигналом та основною смугою частот в бездротових системах та радіостанціях з частотною модуляцією (далі – ЧМ) для кодування/декодування сигналів під час передачі.

Прикладом такого радіочастотного модуля є маршрутизатор ROG Rapture GT-AXE11000 від

компанії ASUS. Він охоплює три одночасних робочих діапазони частот та підтримує можливість підключення Wi-Fi 6E (802.11ax), здатний працювати на швидкості до 11 Гбіт/с та підтримує агрегацію бездротових локальних мереж для дротового підключення зі швидкістю до 2 Гбіт/с. З 4-ядерним процесором, Wi-Fi 6 та портами дротової локальної мережі 2,5 Гбіт/с як у дротових, так і бездротових мережах, він забезпечує швидкість не менше 1 Гбіт/с, що гарантує справжню мультитігібітну продуктивність.

Тому, інноваційні радіочастотні модулі отримали широке застосування у виробництві побутової електроніки, автомобільній промисловості, військовій техніці, бездротових засобах зв'язку, інтелектуальних термостатах, пристроях Інтернету речей, інтелектуальному освітленні, датчиках та розширювачах частотного діапазону.

Порівняння основних технічних характеристик зразків тепловізорів наведено в таблиці 1, що складена авторами з використанням [2].

Таблиця 1

Основні технічні характеристики тепловізорів [2]

Параметр	Тепловізор			
	FLUS IR-893	Benetech GT3251	Xintest HT-02	FLIR i7
Діапазон температур	-20...380°C	-20...400°C	-20...300°C	-20...250°C
Роздільна здатність ІЧ-матриці	33×33 (1089 пікселів)	32×32	60×60 (3600 пікселів)	120×120
Точність вимірювань	±2°C	±1.8°C	±2°C	±2°C
Частота оновлення	9 Гц	9 Гц	6 Гц	9 Гц
Коефіцієнт емісії	0,1–1,0	0,1–1,0	0,1–1,0	0,1–1,0
Довжина хвилі	8–14 мкм	8–14 мкм	8–14 мкм	7,5–13 мкм

Оскільки проведення теоретичних розрахунків для визначення теплового режиму радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на ОІД є складним завданням, безконтактні методи вимірювання температури за допомогою тепловізорів набувають особливого значення через низку переваг:

автоматизація процесу вимірювання, а також обробка та документування отриманих даних за допомогою електронних обчислювальних систем у реальному часі;

здійснення безперервного контролю стану об'єкта, що досліджується;

можливість знімання інформації про температурні поля з більшої кількості точок поверхні радіоелектронних засобів, що можуть бути використані на ОІД, ніж за допомогою контактних датчиків температури значно менший проміжок часу;

отримання інформації про температуру в важкодоступних місцях за допомогою багатоелементних приймачів без охолодження

типу матриці фокальної площини (Focal Plane Array (FPA));

можливість використання сучасних технологій, таких як системи комп'ютерного зору, що дає змогу значно покращити результати проведених досліджень.

Головною об'єктивною проблемою, під час пошуку закладних пристроїв за тепловими характеристиками, є складність побудови самих радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на ОІД, як об'єктів контролю. Зазвичай такі радіоелектронні засоби знімання інформації виготовлені з матеріалів (кремній, германій, арсенідгалію, алюмінієві сплави, нержавіюча сталь та інші) з різними коефіцієнтами випромінювання та високою щільністю компоновки, що може обумовлювати посилення ефекту взаємного відбиття всередині об'єкта теплового контролю.

Також, на теперішній час в мікроелектроніці існує стала тенденція на значне зменшення розмірів виробів, що також ускладнює ведення теплового контролю. Наприклад, компанії

Broadcom та Qualcomm – лідери в комунікаційних чипах, а Texas Instruments – в аналогових мікросхемах, виготовляють свою продукцію за нормами 28 нм та вище [3].

Розглянемо узагальнену функціональну схему тепловізора, що наведена на рис. 1 [10].

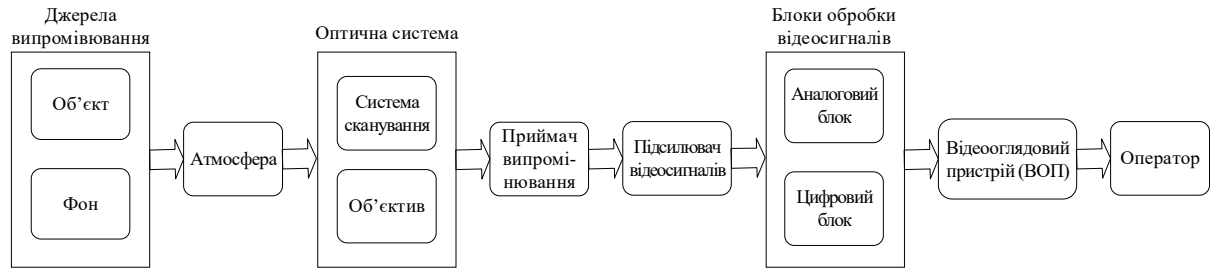


Рисунок 1 – Узагальнена функціональна схема тепловізора

Основними технічними параметрами, за якими оцінюють якість тепловізора, є такі [8]:

- діапазон вимірюваних температур;
- роздільна здатність по температурі;
- поле зору;
- миттєве поле зору (просторова роздільна здатність);
- робочий спектральний діапазон;
- розмір матриці (кількість елементів у приймачі випромінювання).
- чутливість.

Додатковими параметрами, що допомагають повніше оцінити функціональні можливості, надійність і зручність використання тепловізора в конкретних умовах застосування є [8]:

- час відгуку (час, необхідний для тепловізора для реакції на зміни температури);
- точність вимірювань температури;
- можливості калібрування;
- споживана потужність;
- маса та габаритні розміри;
- наявність захисту від вологи та пилу (відповідність стандартам захисту);
- можливості підключення до інших пристроїв або мереж;
- життєвий термін тепловізора.

Для моделювання каналу витоку інформації відносно інфрачервоної розвідки доцільно використати теорію виявлення та розпізнавання сигналів. Для цього використаємо енергетичний критерій. З метою отримання мінімальної чутливості тепловізора визначимо щільність випромінювання на його вході (потужність випромінювання з одиниці поверхні) чорного тіла, що описується законом Стефана-Больцмана [4]:

$$R = \nu \cdot T^4 \cdot \frac{Wm}{m^2}, \quad (1)$$

де $\nu = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Wm}{m^2 K^4}$ – постійна Стефана.

Відповідно для сірого тіла щільність випромінювання визначається, як:

$$R = \epsilon \cdot \nu \cdot T^4, \quad (2)$$

де ϵ – коефіцієнт випромінювання відповідного матеріалу.

Щільність випромінювання в смузі пропускання приймача тепловізора $\Delta\lambda = [\lambda_1, \lambda_2]$ можна визначити за виразом:

$$R_{\Delta\lambda} = \epsilon \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \nu \lambda^4 d\lambda = \epsilon \left[\int_0^{\lambda_2} \nu \lambda^4 d\lambda - \int_0^{\lambda_1} \nu \lambda^4 d\lambda \right] = \epsilon \nu T^4 \left[\frac{\lambda_2^5}{5} - \frac{\lambda_1^5}{5} \right] = \epsilon \nu T^4 [y(\lambda_2 T) - y(\lambda_1 T)], \quad (3)$$

$$\text{де } y(\lambda_1 T) = \frac{\int_0^{\lambda_1} \nu \lambda^4 d\lambda}{\int_0^{\infty} \nu \lambda^4 d\lambda} \text{ – таблицна функція.}$$

Водночас, необхідно щоб смуга пропускання приймача тепловізора дорівнювала або була більшою за смугу частот (довжин хвиль) теплового випромінювання радіоелектронних елементів. Тобто, ці величини мають бути узгоджені між собою. Також потрібно прорахувати очікувані температури (або довжини хвиль) теплового випромінювання новітніх радіоелектронних елементів. У результаті отримаємо показник для різноманітних радіочастотних (плат) матеріалів.

Відповідно, потужність випромінювання в одиниці тілесного кута I (енергетична сила світла) з плоскої нагрітої поверхні площею S відповідно до закону Ламберта визначається виразом [4; 5]:

$$I = \frac{R_{\Delta\lambda} \cdot S \cos \varphi}{\pi} = \frac{\epsilon \nu T^4 \Delta y_{\Delta\lambda}(T) \cdot S \cos \varphi}{\pi} \cdot \frac{Wm}{sr}, \quad (4)$$

де $S_{\cos\varphi}$ – площа проєкції випромінюючої поверхні в напрямку, що розглядається;

φ – кут між нормаллю до випромінюючої поверхні та напрямком, що розглядається.

В інженерній практиці, для визначення діаграми спрямованості випромінювання об'єкта, використовують геометричне місце кінців вектора енергетичної сили світла $I = f(\Theta, \varphi)$, що називається індикатрисою або діаграмою спрямованості випромінювання за потужністю.

У цьому контексті, діаграма спрямованості являє собою сукупність плоских поверхонь, у межах яких показники T та ε можна вважати постійними величинами. Ця геометрична візуалізація дає змогу аналізувати та прогнозувати напрямки та властивості випромінювання об'єкта. Такий підхід спрощує математичні розрахунки і дає змогу отримати важливі дані для проектування та аналізу різних систем та пристроїв, що використовують випромінювання або потребують управління його напрямком.

Вважають, що поверхні, вклад яких у сумарне випромінювання об'єкта є незначним, можна виключити з розгляду. За таких умов розрахунок енергетичної сили світла i -ої поверхні I_i проводять для характерних площин за формулою (4). Сумарна енергетична сила світла дорівнює:

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N I_i$$

де N – кількість поверхонь, що вносять значний вклад у сумарне випромінювання об'єкта.

Індикатриса випромінювання будь-якого з об'єктів, які є джерелами інфрачервоного випромінювання, можуть носити ізотропний характер або мати чітко визначений максимум.

На вході фокусууючої системи тепловізора потужність випромінювання дорівнює:

$$P_{\text{вх}} = I_{\Sigma}(\Theta_{\text{ОЕС}}, \varphi_{\text{ОЕС}}) \cdot \beta_{\varphi} \cdot \xi, \quad (5)$$

де $\beta_{\varphi} = \frac{S_{\varphi}}{D^2}$ – тілесний кут, який охоплюється площею фокусууючої системи тепловізора;

D – відстань від випромінюючого об'єкта до приймача тепловізора;

ξ – коефіцієнт перепускання середовища.

Отже, для збільшення потужності випромінювання на вході фокусууючої системи тепловізора *пропонується*:

збільшення величини β_{φ} тілесного кута, який охоплюється площею фокусууючої системи;

зменшення відстані D від випромінюючого об'єкта до приймача ОЕС (теповізора);

збільшення коефіцієнта перепускання середовища ξ з одного боку та підвищення чутливості приймача тепловізора.

Фіксація інфрачервоної помітності об'єктів випромінювання буде відбуватися в тому випадку, коли $P_{\text{вх}}$ завжди буде більше порогового рівня

P_{min} , що визначає чутливість приймача тепловізора. Отже, для випадку, що розглядається, рівняння можливо записати в такому вигляді:

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i \cdot \nu \cdot T_i^4 \Delta y_i \cdot S_i \cos \varphi_i \cdot \frac{S_{\varphi}}{\pi \cdot D^2} \gg P_{\text{min}}, \quad (6)$$

Виконання умови (6) можливо досягти збільшенням параметрів $\varepsilon_i, T_i, \Delta y_i, S_i, \frac{S_{\varphi}}{D^2}, \cos \varphi_i$ та зменшенням параметрів D .

Водночас, $\beta_{\varphi} = \frac{S_{\varphi}}{D^2}$ є тілесним кутом, що охоплюється площею фокусууючої системи тепловізора.

Якщо позначимо Δf – смугу перепускання електронного тракту, [Гц],

$\tau_{\text{кадра}}$ – визначений час для формування кадру [с],

Δ_h – елементарне поле зору по горизонталі, [рад],

Δ_v – елементарне поле зору по вертикалі, [рад].

Тоді, для оптимальної швидкості зчитування інформації потрібно виконати умову [6]:

$$\Delta f \approx \frac{1}{\tau_1}. \quad (7)$$

Таким чином, *отримана формалізована модель* виявлення радіоелектронних засобів знімання інформації на об'єктах інформаційної діяльності за енергетичним критерієм містить в собі, переважно, всі основні фізичні характеристики приймача. Ці характеристики суттєво визначають узагальнену чутливість та ефективність роботи апаратних або апаратно-програмних комплексів, побудованих на основі тепловізійних пристроїв. Пороговий рівень P_{min} , що визначає мінімальну чутливість приймача тепловізора, залежить від внутрішніх теплових шумів приймача тепловізійного приладу.

Вираз (6) дає змогу прогнозувати параметри створеного або аналізованого тепловізора на основі характеристик приймача. І навпаки, він дозволяє правильно вибрати тип приймачного пристрою, кількість елементів у приймачі та його розміри для забезпечення необхідних параметрів тепловізора.

Наукова новизна описаних пропозицій полягає в їхній комбінації та спрямованості на покращення ефективності фокусууючої системи тепловізора. Збільшення тілесного кута, який охоплюється площею фокусууючої системи може призвести до збільшення кількості випромінювання, що потрапляє на приймач. Це покращує здатність тепловізора реєструвати об'єкти.

Зменшення відстані від випромінюючого об'єкта до приймача тепловізора дає змогу отримувати більше інформації про об'єкт і збільшує сигнал-шумове відношення, що, в свою чергу, покращує якість отриманого зображення. Збільшення коефіцієнта пропускання середовища

та підвищення чутливості приймача тепловізора може підвищити кількість випромінювання, що реєструється приймачем, покращує якість і точність вимірювань.

Розроблені пропозиції з удосконалення технічних характеристик тепловізійних пристроїв підвищують ефективність фокусуєчої системи тепловізора, а їх комбінація дає змогу досягти максимального результату виявлення та розпізнавання радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на ОІД.

Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті розроблено пропозиції з удосконалення технічних характеристик тепловізійних пристроїв, а саме: збільшення величини тілесного кута, який охоплюється площею фокусуєчої системи; зменшення відстані від випромінюючого об'єкта до приймача тепловізора; збільшення коефіцієнта перепускання середовища з одного боку та підвищення чутливості приймача тепловізора.

Ці пропозиції підвищують якість виявлення та нейтралізації радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на ОІД в сучасних умовах. Подані рекомендації спрямовані на покращення ефективності використання тепловізійних пристроїв у виявленні та захисті від потенційних загроз, що походять з радіоелектронних засобів збирання інформації.

Застосування цих технічних інновацій може виявитися критичним у забезпеченні безпеки та конфіденційності на об'єктах інформаційної діяльності в умовах сучасних технологічних викликів.

Практична цінність результатів дослідження полягає в підвищенні якості виявлення та нейтралізації роботи радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на ОІД при проведенні спеціальних досліджень шляхом покращення енергетичного критерія роботи тепловізора.

Таким чином, мета статті, що полягає у розробленні пропозицій з удосконалення технічних характеристик тепловізійних пристроїв для виявлення та нейтралізації радіоелектронних засобів знімання інформації, що можуть бути використані на ОІД, досягнута.

Напрямами подальших досліджень слід вважати удосконалення вбудованих алгоритмів для автоматичного виявлення та аналізу температурних полів, що дасть змогу користувачам ефективно використовувати тепловізори в апаратно-програмних комплексах для створення систем мультисенсорної обробки даних, а також створення додатків та інтерфейсів для мобільних пристроїв, що дозволить оперативно отримувати, аналізувати та документувати теплові дані.

Список бібліографічних посилань

1. Pavlenko Y. Determination of signal level for protection of information in case of its interception by technical means of intelligence. *Technology audit and production are serves*. 2023. Т. 4. № 1(72). С. 25–28. 2. Flir в Україні. URL : <http://www.flir.kiev.ua> (дата звернення: 06.02.2024). 3. Chen P., Yin J., Zhang F., Mak P.-I., Martins R. P., Staszewski R. B., Mismatch Analysis of DTCs With an Improved BIST-TDC in 28-nm CMOS. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. 2022. Vol. 69, № 1. С. 196–206. DOI: 10.1109/TCSI.2021.3105451. 4. Lloyd J. M. Thermal Imaging Systems: New York: Plenum Press, 1975. 456 с. 5. Криксунов Л. З., Падалка Г. А. Тепловізори: Довідник. Київ: Техніка. 1987. 166 с. 6. Венгер Є., Дунаєвський В., Котовський В., Болгарська С., Кислий В., Тимофеев В., Орел В., Назарчук С. Інфрачервона термографія – ефективний інструмент сучасного науково-технічного застосування. *Science and Innovation*. 2021. Т. 17. № 5. С. 20–33.

7. Balko B., Chappell I., Franklin J., Kraig R. Military Applications of Curved Focal Plane Arrays Developed by the HARDI Program. Institute for Defense Analyses. Document NS D-4268. 2011. 98 с. 8. Gaussorgues G. La thermographie infrarouge: principes, technologies, applications. 2nd ed. Paris Lavoisier. 1999. 589 с. 9. Колобродов В., Микитенко В., Балінський Є. Ефективність інфрачервоних оптико-електронних систем спостереження: монографія. Київ: Вікпрінт, 2017. 202 с. 10. Колобродов В., Шустер Н. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування): підручник. Київ: Тираж, 1999. 340 с. 11. Guri M., Monitz M., Mirski Y., Elovici Y. Bit Whisper: Covert Signaling Channel between Air-Gapped Computers Using Thermal Manipulations. *IEEE 28th Computer Security Foundations Symposium CSF*. 2015. С. 276–289.

PROPOSALS FOR IMPROVING THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THERMAL IMAGING DEVICES

Konotopets Mykola (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)
Samoilov Ihor (Candidate of Technical Science, Associate Professor)
Storchak Anton (Candidate of Technical Science)

Institute of Special Communications and Information Protection National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Formulation of the problem in general. The purpose of the article is to develop proposals for improving the technical characteristics of thermal imaging devices for detecting and neutralizing possibly introduced radio electronic means of information acquisition at information activity objects. In the course of writing the article, the technical and technological methods of detection and control of radio electronic means were applied.

Research methods. In the course of writing this article, the methods of analysis and comparison were used to consider the structure and compare the technical characteristics of radio electronic devices. The mathematical apparatus made it possible to analyze the mathematical dependencies of the parameters of the thermal imager based on the characteristics of the receiver. The synthesis method was used to develop proposals for improving the technical characteristics of thermal imaging devices. Also, using technical and technological methods of detection and control of radio electronic means, a model for detecting radio electronic means of information acquisition at information objects according to the energy criterion, which includes the main physical characteristics of the receiver, was formalized.

Analysis of recent researches and publications. Descriptive models of information leakage channels related to technical intelligence data are presented. The methods of mathematical modeling of optoelectronic remote surveillance systems of the infrared spectrum range, which operate in automatic mode or in conjunction with the operator, as well as methods for determining the main characteristics of such systems, are considered. Improving the quality of detection and neutralization of the work of possibly introduced radioelectronic means of information acquisition at the objects of information activity in modern conditions is an urgent scientific task.

Presenting the main material. Incorporated into hardware or hardware-software complexes designed for search and inspection tasks, these thermal imagers rely on the method of thermal non-destructive testing. This method, alongside other non-destructive testing techniques, facilitates obtaining more detailed information about the specified search objects. The article formalizes a model for detecting possible radio electronic communication devices at information objects based on the energy criterion and outlines a sequence of actions to neutralize them.

Elements of scientific novelty. The elements of scientific novelty in the work include the specification of known data and their extension to new objects of research, which are the intrinsic radiation of potentially deployed radio electronic communication means at information objects.

Theoretical and practical significance of the article. The significance of the obtained research results in the military and technical fields lies in gaining knowledge about relevant opportunities to enhance the quality characteristics of passive thermal monitoring equipment and establish a specific sequence of actions for improving the quality of detection and neutralization of potential radio electronic communication means at information facilities in modern conditions.

Conclusion and the perspectives of future researches. Areas for further research include improving built-in algorithms for automatic detection and analysis of temperature fields, which will allow users to effectively use thermal imagers, using thermal imagers in hardware and software systems to create multisensor data processing systems, as well as creating applications and interfaces for mobile devices that will allow you to quickly obtain, analyze and document thermal data.

Keywords: radio-electronic means of information acquisition, thermal imager, thermogram, temperature field, technical channels of information leakage, thermographic control, hardware means, hardware and software complex, thermal radiation indicators.

References

1. Pavlenko, Y., (2023). Determination of signal level for protection of information in case of its interception by technical means of intelligence. Technology audit and production reserves. 4, 1 (72), 25-28.
2. Flirin Ukraine. [online], (2024). Available at: <http://www.flir.kiev.ua> [Accessed: 06.02.2024].
3. Chen P., Yin J., Zhang F., Mak P. -I., Martins, R. P., Staszewski, R. B., (2022). Mismatch Analysis of DTCs With an Improved BIST-TDC in 28-nm CMOS. *Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. 69 (1), 196-206. doi: 10.1109/TCSI.2021.3105451.
4. Lloyd, J. M. (1975) *Thermal Imaging Systems*. New York : Plenum Press, 456.
5. Kryksunov, Z., Padalko, G. A., (1987). *Thermal imagers: Handbook*. Kyiv: Bibliographer. 166.
6. Venher, Y., Dunaevskiy, V., Kotovskiy, V., Bolgarska, S., Kyslyi, V., Timofeyev, V., Orel, V., Nazarchuk, S., (2021). *Infrared Thermography* asan Effective Tool for Research and Industrial Application. *Science and Innovation*. 17(5). 20-33.
7. Balko, B., Chappell, I., Franklin, J., Kraig, R., (2011). *Military Applications of Curved Focal Plane Arrays Developed by the HARDI Program*. Institute for Defense analyses. Document NSD-4268. 98.
8. Gaussorgues G., (1999). *La thermographie infrarouge: principes, technologies, applications*. 2nd ed. Paris Lavoisier. 589.
9. Kolobrodov, V., Mykytenko, V., Balinsky, E., (2017). *Efficiency of infrared optoelectronic surveillance systems: monograph*. Kyiv: Vic Print. 202.
10. Kolobrodov, V., Shuster, N., (1999). *Thermal systems (physical bases, methods of design and control, application)*. Kyiv. 340.
11. Guri M., Monitz M., Mirski Y., Elovici Y., (2015). *Bit Whisper: Covert Signaling Channel between Air-Gapped Computers Using Thermal Manipulations*. IEEE 28th Computer Security Foundations Symposium CSF. 276-289.