

В статті рассмотрен один из методов определения стадии износа контактного провода железнодорожного транспорта, построенный на использовании пирометра спектрального соотношения. Возможность использования пирометра обусловлена тем, что в местах износа уменьшается поперечное сечение проволоки, и он перегревается. Зная допустимые температуры перегрева, можно принять решение о необходимости замены изношенного участка. Результаты измерения пирометром, не зависящие от изменения расстояния до объекта, его формы, состояния атмосферы, но, как показали проведенные авторами исследования, требующие коррекции выходного сигнала вследствие зависимости излучающей способности материала проволоки от его температуры и спектрального диапазона, в котором проводятся измерения. Математическое моделирование позволило определить значение корректирующего коэффициента для определения действительной температуры контактного провода пирометром спектрального соотношения в зависимости от материала и спектральных диапазонов измерения.

**Ключевые слова:** износ контактного провода железнодорожного транспорта; пирометр спектрального соотношения; излучающая способность материалов.

**О. К. Kucherenko, А. Е. Tomashevskа**

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

#### A CORRECTION OF INITIAL SIGNAL OF PYROMETER OF SPECTRAL CORRELATION IS AT DETERMINATION OF THE STATE OF PIN WIRE

The article deals with one of the methods of determining the stage of wear of a contact wire of a railway transport, built on the use of a spectrometer. In practice, the research should be carried out by a non-contact method, since the wire is under high voltage, which is dangerous for the operators involved in the study. The possibility of using a pyrometer is due to the fact that the cross-section of the wire is reduced in places of wear and it overheats, thereby failing. Knowing the permissible overheating temperatures, it is possible to decide on the need to replace the worn area to prevent an emergency. The results of the pyrometer measurement are independent of the distance to the object being studied, its shape, and the state of the atmosphere. These are important factors as they may change during measurement. However, studies have shown that the measurement results require the correction of the output signal due to the dependence of the radiative capacity of the wire material on its temperature and the spectral range in which the measurements are made. The value of the thermal radiation coefficient for the material from which the contact wire is made decreases as the radiation wavelength increases and increases as the temperature of the object increases. The conducted studies have allowed to obtain an analytical ratio to determine the coefficient of spectral ratio in determining the overheating temperature of the contact wire of railway transport. An important factor in calculating this coefficient is the dependence of the radiating power of the contact wire material on temperature and spectral range. Mathematical modeling made it possible to determine the value of the correction factor to determine the actual temperature of the contact wire by a spectrometer-pyrometer depending on the material and spectral ranges of measurement.

**Keywords:** contact wire wear of railway transport; spectral ratio pyrometer; radiant capacity of materials.

*Надійшла до редакції  
12 листопада 2019 року*

*Рецензовано  
22 листопада 2019 року*

УДК 621.384.3

#### ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВІЗОРІВ НА БЕЗПІЛОТНИКАХ

<sup>1)</sup>Колобродов В. Г., <sup>1)</sup>Кузнецов М. С., <sup>1)</sup>Налбандова В. П., <sup>1)</sup>Сокол Б. В., <sup>1,2)</sup>Имиев А. Д.

<sup>1)</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

<sup>2)</sup>Server Tibbi Cihazlar San. Tic. Ltd. Şti., Istanbul, Turkey

E-mail: [sokolbohdan@ukr.net](mailto:sokolbohdan@ukr.net)

**Вступ.** У даній статті розглянуто найпоширеніші сфери застосування тепловізорів, що розміщені на безпілотних літальних апаратах. Авторами розглянуто відмінності у конструкціях крил та спричинені цим переваги і недоліки безпілотних літальних апаратів. **Мета.** Як головну мету роботи автори визначають проблему поліпшення вихідних параметрів тепловізійних камер. **Основна частина.** Особлива увага приділена типу конструкції крил безпілотного літального апарата, значенню місця розташування камери на корпусі, проблемі

усунення нестабільності зображення, що може бути спричинена вібрацією від двигуна. Наведено конструктивні і цифрові можливості для підвищення стабільності зображення. Окрім цього, автор акцентує увагу на шляхах підвищення ефективності вимірювань тепловізором внаслідок узгодження характеристик приймача випромінювання з параметрами об'єктива. Наголошується, що використання спеціального набору матеріалів дозволяє підвищити якість виготовлення неохолоджуваних мікроболометрів. Наведено порівняльну характеристику основних готових рішень тепловізійних модулів, що можуть використовуватися на безпілотному літальному апараті, а також метод оцінки якості зображення за допомогою розрахунку мінімальної ефективною різниці температур.

**Висновки.** Розглянуті аналоги модулів тепловізорів дають підстави вважати, що окрім узгодження параметрів мікроболометричної матриці та об'єктива велику роль грає програмне забезпечення, а саме алгоритми обробки потоку кадрів для стабілізації зображення. Авторами отримали фізико-математичну модель тепловізора, що розташований на безпілотному літальному апараті, та шляхи контролю найбільш важливих вихідних параметрів тепловізорів: просторової та температурної роздільної здатності, мінімальної роздільної різниці температур.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати; тепловізор; інфрачервоні об'єктиви; мікроболометрична матриця; виявлення; мінімальна роздільна різниця температур.

### Вступ

Наразі поширеними у різних сферах застосування є такі роботи, як безпілотні літальні апарати (БПЛА). БПЛА часто пов'язані із застосуванням в оборонній сфері, але й також вони можуть мати значний вплив на цивільні завдання, як, наприклад, транспортна сфера, комунікації, сільське господарство, зменшення наслідків стихійних лих, збереження навколишнього середовища. В БПЛА використовують не тільки цифрові відеокамери, а й тепловізійні системи для спостереження об'єктів у інфрачервоному діапазоні випромінювання, що дозволяє безконтактно вимірювати температури об'єктів живої та неживої природи, здійснювати пошук пошкоджень в обладнанні та електричних мережах, недоліків будівництва. Використовують тепловізори, які дозволяють спостерігати теплове (інфрачервоне) випромінювання об'єктів у будь-який час доби, вимірювати температуру в будь-якій точці поверхні об'єкта з високою точністю. Тепловізійні камери створюють чіткі теплові зображення, ґрунтуючись на різниці температур між об'єктом і фоном.

Використання тепловізорів для розвідок вже не новина [1-3]. При застосуванні їх на безпілотнику існує багато особливостей, наприклад, умови розташування на борту апарата, вібрації від мотору, засвічення, фонові завади та ін. Тому необхідно визначити сфери, в яких будуть використовуватися системи спостереження, визначити необхідні характеристики для тепловізорів, а потім знайти шляхи для підвищення ефективності та точності вимірювання тепловізором з урахуванням усіх особливостей.

### Аналіз досліджень і публікацій

У методі, що запропоновано у роботі [1], використовують швидке виявлення об'єкта, визначити координати його розташування тепловізором, що розміщений на БПЛА. Водночас, застосовують інфрачервону (ІЧ) систему візуалізації, що використовують безпілотники, на борту яких буде закріплений тепловізор. Ця система використовує

сучасне ядро ІЧ термографії, що перевершує інші типові системи. Одними з таких переваг є роздільна здатність, що складає 640x512, а також модуль зберігання даних, розроблений спеціально для тепловізійних систем, які в режимі реального часу зберігають дані про зображення і відповідні до них дані глобальної GPS системи позиціонування [1]. Цей метод може забезпечити отримання зображення з високою роздільною здатністю при мінімальних витратах.

БПЛА здебільшого можна класифікувати за типом крила: безпілотник з фіксованим (типу планер) або поворотним (типу мультикоптер) крилом. Безпілотники з нерухомим крилом летять плавно, але вимагають додаткового обладнання для відстеження напрямку руху та ежекційного обладнання, а з поворотним крилом – менш чутливі до місць виявлення, внаслідок вібрацій від моторів. Враховуючи, що більшість об'єктів спостереження, які були розглянуті у статті [1], встановлені на дахах промислових будівель або поблизу них, безпілотники типу мультикоптер краще підходять для їх моніторингу. Перевагою таких апаратів є те, що вони мають більшу маневреність та мають можливість «зависати» у повітрі для сканування ділянок об'єктів спостереження.

Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів застав зміни і у сільському господарстві, так, наприклад [2], фермери використовують безпілотні літаки для моніторингу своїх полів, а також для розробки програм точного землеробства.

Найпростіші системи відеоспостереження постачаються з базовою цифровою камерою (Canon або GoPro), які встановлюються на безпілотниках та знімають відео лише у видимому діапазоні. Їх спектральний діапазон може бути розширений за допомогою додаткових фільтрів та поляризаторів, або встановленням іншого типу датчиків. Власники фруктових садів спостерігають більше за станом культури, а власники овочевих полів, окрім стану культур, також зосереджуються і на бур'яні, що також сильно впливає на якість і швидкість

дозрівання врожаю. Розробники систем контролю використовують значно більше датчиків, які виходять за межі звичайного діапазону простої розвідки. Одним з таких датчиків є камера, що реєструє в інфрачервоному діапазоні. Здорові рослини відображаються як зелені, а, коли вони піддаються впливу шкідливих/поживних речовин або тиску води, всередині плода відбуваються реакції, які можуть бути виявлені даним типом камери.

У статті [2] автор також нашоується на проблему вибору конструкції крил БПЛА: з фіксованим крилом (планер) і мультикоптер, що показані на рис. 1. Кожна з них має свої переваги. Планери здатні літати на більш високій швидкості, від 40 до 50 км/год та можуть просканувати територію в 240 гектарів за годину [2]. Для їх запуску в повітря необхідна спеціальна пускова установка та посадкова смуга. Можна використовувати парашут в обмежених умовах, але це значно скоротить термін служби літака. Мультикоптери здатні зависати і зосереджуватись на певних проблемних місцях у полі, жертвуючи максимальною швидкістю. Вони мають трохи менший час автономної роботи

порівняно з планерами, тому що їм часто доводиться працювати з чотирма або більше двигунами. Злети і посадки можуть виконуватися в більш обмежених зонах, тому вони краще підходять для початківців та при використанні на густозасаджених ділянках.

Для аналізу отриманих даних доступно безліч різних програм. Більш корисні зшивають окремі зображення в одну картину, а потім можуть включати зображення в GIS-системи (Geographic information system). Після цього аплікатори зі змінною швидкістю можуть використовувати ці зображення, щоб знайти ділянки поля з низьким вмістом поживних речовин або під тиском бур'янів.

Певні галузі, такі як сільське господарство та гірничодобувна промисловість, вже реалізували потенційні переваги таких [1-2] рішень. Проте, будівельна промисловість, схоже, менш усвідомлює можливі переваги комбінування БПЛА та ІЧ-технологій [3]. Саме по собі застосування термографії при будівництві вже є відомою практикою, оскільки термографія дозволяє розрізняти поверхні з різними температурами.

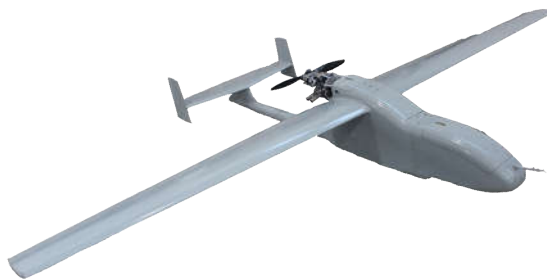


Рис. 1. Два типи безпілотних літальних апаратів: мультикоптер (ліворуч) і планер (праворуч)

Дані про температуру від портативних тепловізорів можуть, наприклад, виявити недоліки в теплової оболонці будівель, проблеми з електрикою в приладовій панелі або допомогти у виявленні підземних структурних недоліків. Експериментальні докази можуть свідчити про те, що деякі поверхневі тріщини не виявляються неозброєним оком, а термографічний аналіз може краще відображати базові показники пошкоджень, викликаних землетрусом [3]. У роботі [4] автори розробили і випробували метод використання ІЧ-термографії для виявлення слабких точок у стародавніх стінових структурах. Таким чином, термографія надає широкий спектр застосувань від визначення теплових втрат до неруйнівного контролю конструкцій.

#### **Напрямки підвищення ефективності вимірювань тепловізором**

У зазначених вище сферах висока точність і якість зображення не є надважливими. Але для військово-рятувальних служб, кожне значення

пікселя на екрані є важливим, тому що в цьому пікселі може бути ворог або потерпіла особа. Тому актуальною проблемою є покращення вихідних параметрів тепловізійної камери. Основними параметрами тепловізора є максимальна дальність виявлення і роздільна здатність. Ці два параметри залежать від приймача випромінювання і об'єктива. Тому після вибору конструкції БПЛА основною задачею цієї роботи стає дослідження матеріалів та методів виготовлення матриці і об'єктива, щоб у подальшому мати основу для покращення вихідних параметрів тепловізора.

Так, мікроболометр використовується в якості детектора в тепловізорі. ІЧ випромінювання з довжиною хвиль від 7,5 до 14 мкм поглинається матеріалом детектора, нагріваючи його, і, таким чином, змінюючи його електричний опір. Ця зміна опору вимірюється і обробляється в температурах, які можуть бути використані для створення зображення. На відміну від інших типів інфрачервоного обладнання, мікроболометри не потребують охо-

лодження. Двома найбільш часто використовуваними матеріалами для виявлення ІЧ-випромінювання в мікроболометрах є аморфний кремній і оксид ванадію. Було проведено багато досліджень [5-6], щоб перевірити доцільність використання інших матеріалів, наприклад, Ti, YBaCuO, GeSiO, poly-SiGe, BiLaSrMnO і цитохром на основі білка і альбумін бичачої сироватки. Крім того, було прийнято до уваги аналіз на вібрацію та ІЧ поглинання неохолоджуваного мікроболометра [7] і новий підхід до корекції теплового дрейфу в мікроболометричних теплових камерах [8].

Основна відмінність від камер, що записують відео у видимому спектрі, полягає в тому, що фокусуєчі лінзи об'єктива не можуть бути вироблені зі скла, оскільки вони не пропускають довгохвильове інфрачервоне світло. Отже, необхідно використовувати спеціальні матеріали, такі як кристали германію або сапфіру. Лінзи германію досить крихкі, тому часто мають тверде покриття для захисту від випадкового контакту. Більш висока вартість цих спеціальних лінз є однією з причин того, що тепловізори є дорогими. Для покращення фізичних характеристик використовуються хімічні сполуки з декількох матеріалів, наприклад, лінзи Ge-Sb-Se [9] та халькогенідного скла [10]. Халькогенні лінзи (наприклад, скло на основі елементів, S, Se, Ti) є прозорими в ІЧ області, а саме в діапазоні довжин хвиль від 2 до 12 мкм, мають низьку енергію фонів, є хімічно міцні, і можуть бути витягнуті в оптоволокно [10].

В якості захисного покриття використовують тонкі алмазоподібні (DLC – diamond-like carbon) плівки, що можуть бути виготовлені різними способами, включаючи розпилення іонного пучка, хімічне осадження з парової фази і лазерну абляцію. Тонкі плівки DLC мають чудові механічні властивості та хімічну стабільність, а також високий рівень оптичної прозорості [9]. Однак вони також мають низьку адгезійну міцність до металевих матеріалів і окислення за низьких температур, оскільки містять водень.

Зазвичай камера жорстко прикріплена до корпусу БПЛА. Коли БПЛА працює, його двигун викликає вібрацію та хиткі маневри через неконтрольовані повітряні поштовхи з навколишнього середовища. Ці рухи створюють нестабільне відеозображення. Більший розмір БПЛА може нести більше корисних навантажень, таких як високоякісні камери і стабілізовані пристрої або акумулятори. Один із таких стабілізаторів є карданна підвіска, яка має можливість компенсувати нахили БПЛА в протилежному напрямку, таким чином, щоб поле зору камери залишалось незмінним (відносно осі Землі). Таким чином, отримані відеозображення виглядають більш плавними для перегляду. З іншого боку, для меншого розміру БПЛА

недостатньо вільного місця для встановлення як відеокамери, так і карданної підвіски.

Очевидно, що відеозображення з нерухомої камери на невеликому БПЛА є недостатньо гладкими для людського ока. Для реєстрації невеликих об'єктів їх зображення та рух можуть бути важко помітними. Стабілізація зображення може бути досягнута, за допомогою механічних пристроїв або оптичних датчиків, а також за допомогою програмних методів цифрової обробки. Для цифрової стабілізації існують різні добре розроблені алгоритми, наприклад, метод масштабування-інваріантного перетворення ознак (SIFT) і метод прискореної надійної характеристики (SURF).

У статті [11] розглядається алгоритм обробки цифрового зображення для стабілізації відео, записаного з камери без стабілізованих механічних інструментів на борту невеликого за розміром безпілота. Зокрема, застосовано реалізацію методу прискореного підвищення надійності (SURF). Основна концепція полягає в тому, щоб зіставити два зображення, одне з яких отримано з поточного кадру зображення, а інше з попереднього (або еталонного) кадру. Алгоритм SURF виявляє ключові точки кожного кадру зображення і визначає місце розташування, де інтенсивність кольору має максимальне значення серед усіх точок навколо його ділянки. В експериментах, що наведені у роботі [11], використовуються чотири зразки відео, які зареєстровані за допомогою фіксованої камери на невеликому БПЛА для перевірки ефективності методу. Ці відео містять умови при нормальному денному світлі і часткові тіні на записаних зображеннях. Фактично алгоритм SURF виявляє ключові точки кожного кадру зображення і порівнює місце розташування між поточним і попереднім кадрами. Відповідні ключові точки перетворюються шляхом компенсації руху поточного кадру, так що ці ключові точки розташовані якомога ближче до тих, які були в попередньому кадрі. Ці компенсовані кадри зображення об'єднуються в стабілізоване відео.

На рис. 2 наведені аналоги готових модулів тепловізорів, що використовують у БПЛА, а в табл. 1 наведені їх технічні характеристики.

У підсумку можна зазначити, що необхідно буде для кожного тепловізійного модуля, що кріпитиметься до безпілота, оцінити якість зображення.

Найбільш важливими характеристиками тепловізорів є просторова роздільна здатність та температурна роздільна здатність. Фундаментальне співвідношення між цими характеристиками встановлюється мінімальною роздільною різницею температур MRTD. Одним з важливих елементів запропонованої моделі MRTD є модуляційно-передатна функція MTF зорової системи оператора.



Рис. 2. Модулі тепловізорів для безпілотників

$MRTD(v_x)$  визначається мінімальною ефективною різницею температур стовпців і пробілів (штрихів) тестового об'єкта Фуко при заданій просторовій частоті  $v_x$ , в якій спостерігач може візуально розрізнити зображення стовпців на екрані. Тест-об'єкт має чотири смуги, в яких стовпці та пробіли мають однакову ширину  $V_{tp}$ , а їх висота –

$7 V_{tp}$ . Це дозволяє розглядати одновимірну модель, припускаючи, що великі вертикальні розміри тестованого об'єкта не викликають помітного спотворення частоти в горизонтальному напрямку. Також передбачається, що тест-об'єкт і фон випромінюють як чорне тіло.

Таблиця 1. Технічні характеристики модулів тепловізорів для безпілотників

Модель	Vue Pro R	Vue Pro	FLIR Duo
Роздільна здатність	640x512	336x256	160x120; 1920x1080 – у видимому діапазоні
Поле зору	$f=9$ мм: $69^\circ \times 56^\circ$ ; $f=13$ мм: $45^\circ \times 37^\circ$ ; $f=19$ мм: $32^\circ \times 26^\circ$ ;	$f=6.8$ мм: $45^\circ \times 35^\circ$ ; $f=9$ мм: $35^\circ \times 27^\circ$ ; $f=13$ мм: $24^\circ \times 19^\circ$ ;	$57^\circ \times 44^\circ$
Спектральний діапазон	від 7,5 мкм до 13,5 мкм		
Вхідна напруга	від 4,8 В до 6,0 В постійного струму		
Потужність	2,1 Вт (3,9 Вт)		
Розміри	64x44x44 мм		41x59x30 мм
Вага	98 г		84 г
Робоча температура	від $-20^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$		від $-20^\circ\text{C}$ до $+60^\circ\text{C}$
Дальність дії	до 10 км		до 3 км

В роботі [12] було отримано удосконалене рішення для розрахунку мінімальної роздільної різниці температур тепловізора, засноване на більш надійній візуальній системі наближення MTF за Нілом [12]

$$MRTD(v_x) = 0,66 \cdot SNR_V \cdot NETD \frac{v_x}{M_S(v_x)} \sqrt{\frac{\alpha_D \beta_D}{\Delta f t_0 f_f t_V}},$$

де  $SNR_V$  – відношення сигнал/шум для розпізнавання штрихової міри на зашумленому фоні;  $NETD$  – еквівалентна шуму різниця температур (порогова різниця температур);  $f_f$  – частота кадрів;  $\alpha_D$ ,  $\beta_D$  – кутові розміри пікселя;  $t_0$  – час зчитування одного елемента;  $\Delta f$  – ефективна шумова смуга;  $t_V$  – час інтегрування оком (стала часу ока).

## Висновки

У даній роботі розглянуто сфери використання тепловізорів на безпілотному літальному апараті в цивільних сферах, а саме аграрній, будівельній, археологічній та в побуті. Також розглянуті можливі варіанти конструкцій приймачів випромінювання та матеріалів для їх виготовлення, матеріали для лінз і захисного покриття. Створено фізико-математичну модель для дослідження характеристик тепловізорів, а саме: просторової та температурної роздільної здатності, мінімальної роздільної різниці температур. За допомогою цієї моделі можна оцінити вплив зовнішніх факторів на вихідні параметри тепловізора. Для усунення вібрацій необхідно використовувати карданну підвіску, а за допомогою програмного забезпечення, а саме алгоритму SURF зменшити розмиття та підвищити чіткість зображення. Наступним кроком

буде розрахунок параметрів тепловізора з урахуванням зазначених вище удосконалень і пошук максимальної дальності дії та розпізнавання об'єктів.

#### Література

- [1] Peng Zhang, Lifu Zhang, Taixia Wu, Hongming Zhang and Xuejian Sun, "Detection and location of fouling on photovoltaic panels using a drone-mounted infrared thermography system," *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(1), 016026 (11 February 2017). <https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.016026>
- [2] N. J. Stehr, "Drones: The newest technology for precision agriculture." *Natural Sciences Education*, 44.1 (2015): 89-91.
- [3] A. G. Entrop and A. Vasenev. "Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures." *Energy procedia*, 132 (2017): 63-68.
- [4] F. Bisegna et al. "A qualitative method for combining thermal imprints to emerging weak points of ancient wall structures by passive infrared thermography – A case study." *Journal of cultural heritage*, 15.2 (2014): 199-202.
- [5] R. Mohajeri et al., "Deposition of high quality epitaxial YBCO film on thin crystalline substrate for bolometer fabrication." *23rd Iranian Conference on Electrical Engineering. IEEE, 2015.*
- [6] J. Nazdrowicz et al., "Comparative study on various microbolometer structures." *International Journal of Microelectronics and Computer Science*, 7.1 (2016).
- [7] C. Chen et al. "Analysis on vibrations and infrared absorption of uncooled microbolometer", *Journal of Vibroengineering*, 17.5 (2015): 2733-2741.
- [8] Olbrycht, Robert, and Bogusław Więcek. "New approach to thermal drift correction in microbolometer thermal cameras", *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 12.2 (2015): 184-195.
- [9] Jun Ho Lee, et al. "Broken chemical order in Ge-Sb-Se glasses for use as infrared-transmitting lenses", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 456 (2017): 27-32.
- [10] W. H. Kim et al. "Recent progress in chalcogenide fiber technology at NRL", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 431 (2016): 8-15.
- [11] Mingkhwan, Ekkaphon, and Weerawat Khawsuk. "Digital image stabilization technique for fixed camera on small size drone", *Third Asian Conference on Defence Technology (ACDT). IEEE, 2017.*
- [12] V. G. Kolobrodov and V. I. Mykytenko. "Refinement of thermal imager minimum resolvable temperature difference calculating method", *Twelfth International Conference on Correlation Optics*. Vol. 9809. International Society for Optics and Photonics, 2015.

УДК 621.384.3

<sup>1)</sup>В. Г. Колобродов, <sup>1)</sup>М. С. Кузнецов, <sup>1)</sup>В. П. Налбандова, <sup>1)</sup>Б. В. Сокол, <sup>1,2)</sup>А. Д. Имиев

<sup>1)</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського», Київ, Україна

<sup>2)</sup>Server Tibbi Cihazlar San. Tic. Ltd. Şti., Istanbul, Turkey

#### ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВИЗОРОВ НА БЕСПИЛОТНИКАХ

В данной статье рассмотрены самые распространенные сферы применения тепловизоров, которые размещены на беспилотных летательных аппаратах. Авторами рассмотрены различия конструктивных особенностей крыльев, вызванные этим преимуществами и недостатками беспилотных летательных аппаратов. Основной целью является рассмотрение проблемы улучшения выходных параметров тепловизионных камер. Авторы рассматривают пути повышения эффективности измерений тепловизором за счет согласования характеристик приемника излучения с параметрами объектива. Отмечается, что использование специального набора материалов позволяет повысить качество изготовления неохлаждаемых микроболлометров.

Рассмотренные аналоги модулей тепловизоров дают основания считать, что кроме согласования параметров микроболлометрической матрицы и объектива большую роль играют алгоритмы обработки потока кадров для стабилизации изображения. В заключении авторы описывают физико-математическую модель тепловизора, который расположен на беспилотном летательном аппарате, и пути контроля наиболее важных исходных параметров тепловизоров: пространственной и температурной разрешающей способностей, минимальной разрешающей разности температур.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты; тепловизор; инфракрасные объективы; микроболлометрические матрица; выявления; минимальная разность температур.

<sup>1)</sup>V. Kolobrodov, <sup>1)</sup>M. Kuznetsov, <sup>1)</sup>V. Nalbandova, <sup>1)</sup>B. Sokol, <sup>1,2)</sup>A. D. Imiev

<sup>1)</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

<sup>2)</sup>Server Tibbi Cihazlar San. Tic. Ltd. Şti., Istanbul, Turkey



**FEATURES OF USE OF THERMAL IMAGER ON UNMANNED AERIAL VEHICLES**

The article explains the features of the use of thermal imagers for military intelligence is no longer news, and but when applying them to the unmanned aerial vehicle, there are many features, for example, the conditions of location on board, vibration from the motor, lighting, background noise. This article is devoted to the review of spheres of use of drones and recommended designs. The main initial task is to determine the design of the drone, depending on its purpose: type multicopter or glider. The actual problem is improving the output parameters of thermal imaging cameras. Special technologies will enhance the quality of the manufacture of uncooled microbolometers. To improve the physical characteristics of the camera lens, chemical compounds from several materials are used, for example, lenses from Ge-Sb-Se and enlightenment coatings. An overview of analogue devices gives reason to believe that in order to improve the minimum resolution temperature difference, it is necessary to use more light-weight lenses and to coordinate them with microbolometer matrices. The article gives a comparative description of the basic ready-made solutions of thermal imaging modules that can be used on an unmanned aerial vehicle, as well as a method of estimating the image quality by calculating the minimum effective temperature difference. **The results** show that considered analogs of thermal imaging modules suggest that in addition to matching the parameters of the microbolometric matrix and the lens plays a big role software, namely algorithms for processing the flow of frames to stabilize the image. In conclusion, the author describes the obtained physico-mathematical model of the thermal imager, which is located on an unmanned aerial vehicle, and ways of controlling the most important output parameters of thermal imagers: spatial and temperature resolution, minimum resolution of temperature difference.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles; thermal imager camera; infrared camera lenses; microbolometer matrix; detection; minimum resolution temperature difference.

Надійшла до редакції  
11 листопада 2019 року

Рецензовано  
22 листопада 2019 року

УДК 623.4.051

## ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ЛІНІЇ ВІЗУВАННЯ ОПТИЧНОГО ПРИЦІЛУ

<sup>1)</sup>Сенаторов В. М., <sup>1)</sup>Мельник О. Д., <sup>2)</sup>Микитенко В. І.

<sup>1)</sup>Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки  
Збройних Сил України, Київ, Україна

<sup>2)</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна  
E-mail: [v.senatorov1945@i.ua](mailto:v.senatorov1945@i.ua), [v.mikitenko@nil-psf.kpi.ua](mailto:v.mikitenko@nil-psf.kpi.ua)

В статті розглянуто спосіб контролю положення лінії візування прицілів на основі оптико-електронних систем, що використовують сучасну елементну базу: лазерне джерело випромінювання і цифровий фотоприймач. Суть способу полягає у визначенні координат лінії візування прицілу, що контролюється, відносно лазерного променя або нормалі до дзеркала, однозначно зв'язаних з базовими елементами стрілецької зброї. Алгебраїчна різниця координат проекції лінії візування і осі лазерного променя або нормалі до дзеркала до і після стрільби визначить величину відхилення лінії візування прицілу після чергового етапу динамічних (в процесі стрільби) випробувань.

Оцінені три варіанти побудови оптико-електронних комплексів з огляду на їхню точність при контролі стабільності положення лінії візування при динамічних випробуваннях.

В першому варіанті комплекс містить колімаційно-вимірвальний блок, лазер, що однозначно базується на стволі зброї і визначає вісь каналу її ствола. Для підвищення точності наведення сітки прицілу на контрольну точку - за окуляром контрольованого прицілу встановлюється телевізійна камера.

В другому варіанті комплексу лазерне джерело є інтегрованим у конструкцію приймального каналу, а замість лазеру на зброї базується знімне дзеркало, нормаль якого визначає вісь каналу ствола зброї.

У третьому варіанті комплекс містить відбиваючий елемент, виконаний у вигляді призми БС-0°. На вхідну грань призми нанесене напівпрозоре світловідбиваюче покриття, і призма споряджена пристроєм для одно-