ISSN 0209-2069

ZESZYTY NAUKOWE NR 1(73)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

EXPLO-SHIP 2004

Andrzej Klewski, Józef Sanecki, Piotr Sacha

Nowe rozwiązania techniki termalnej zastosowane do diagnostyki urządzeń

Słowa kluczowe: diagnostyka urządzeń, termowizja, kamera termowizyjna

Przedstawiono najnowsze osiągnięcia w dziedzinie techniki termalnej w aspekcie wykorzystania ich w diagnostyce urządzeń. Zdaniem autorów przełom wieków rozpoczął nową erę w technologii systemów zobrazowania termalnego, jak i ich dostępności. Kamery termowizyjne zostały zminiaturyzowane, są bardzo łatwe w użyciu i tworzą wysokiej rozdzielczości obraz w czasie rzeczywistym. Pomiary termowizyjne możemy wykonać z bezpiecznej odległości, nawet gdy urządzenie jest pod obciążeniem. Dzięki tym zaletom kamera termowizyjna jest idealnym narzędziem do prowadzenia przeglądów technicznych urządzeń.

New Solutions of Thermal (IR) Technology Used For Equipment Diagnosis

Key words: equipment diagnosis, thermovision, thermal camera

The article deals with the latest developments in the thermal technology used for equipment diagnosis. According to the authors, the turn of the century started a new age of the technology of the thermal imaging systems and their availability. Infrared cameras have been significantly miniaturized, are easy to use and create high resolution real-time image. Thermal measurements can be done from a safe distance, even if the equipment is under load. These features make a thermal camera a perfect tool for technical condition monitoring.

Wstęp

Diagnostyka termalna ma zastosowanie tam, gdzie występowanie niesprawności lub informacji o stanie urządzenia może ujawnić się zmianą rozkładu temperatury na powierzchni urządzenia. We wszystkich urządzeniach transmitujących lub zużywających energię przed uszkodzeniem lub w stanie krytycznym wzrasta ich temperatura, powyżej stanu normalnego. Poprzez wykrycie i wskazanie anomalii temperaturowych, bardzo często niewidocznych dla ludzkiego oka, termowizja pozwala na podjęcie działań naprawczych. Kamera termowizyjna jest więc idealnym narzędziem do prowadzenia przeglądów technicznych urządzeń, umożliwiającym szybkie, dokładne i bezpieczne zlokalizowanie problemów i niesprawności, jeszcze zanim nastąpi awaria lub uszkodzenie. Jest to możliwe zarówno w przypadku zewnętrznych i wewnętrznych instalacji elektrycznych, urządzeń mechanicznych, jak również instalacji przemysłowych. Współczesne zastosowania termowizji i jej narzędzi zaskakują nawet specjalistów z tej dziedziny, np. zastosowania medyczne, wykrywanie podsłuchów itp. Okazuje się, że obecnie zobrazowania z wykorzystaniem termowizji stały się najbardziej wiarygodną metodą pomiaru rozkładu temperatury. Pomiary z wykorzystaniem kamer termowizyjnych można wykonywać z bezpiecznej odległości, nawet gdy urządzenie jest pod obciążeniem. Pomiary termowizyjne ponadto umożliwiają:

- pomiary bezkontaktowe,
- przegląd urządzeń pod obciążeniem,
- lokalizację i identyfikację uszkodzenia zanim dojdzie do awarii,
- prezentację pełnego obrazu sytuacji,
- odczyt temperatury,
- zapis obrazu termalnego,
- szeroko pojęte oszczędności czasu i pieniędzy.

Współczesne kamery termowizyjne zapewniają:

- doskonałą jakość obrazu,
- zobrazowanie w zakresie widzialnym i podczerwieni,
- możliwość wprowadzenia komentarza (tekst, dźwięk),
- łatwą i szybką obsługę jak kamery wideo,
- ergonomiczną, lekką i przenośną konstrukcję,
- pracę z własnego źródła zasilania,
- łącza bezprzewodowe, transmisję i zapis obrazu w postaci cyfrowej,
- analizę zarejestrowanych termogramów.

Wszystkie te cechy oraz ciągle malejąca cena urządzeń do zobrazowania w podczerwieni sprawiają, że diagnostyka termalna w ostatnich latach przeżywa swój renesans.

1. Tendencje rozwojowe współczesnych kamer termowizyjnych

W związku z faktem istnienia w podczerwieni dwóch pasm dobrego przepuszczania promieniowania przez atmosferę (okna atmosferyczne), tj. krótkofalowego SW 2 – 5 μm oraz długofalowego LW 8 – 14 μm, istnieje także naturalny podział detektorów a tym samym kamer termowizyjnych na krótkofalowe i długofalowe. Aparaturę termowizyjną możemy podzielić także, ze względu na rodzaj zastosowanych detektorów, na kamery z detektorami: chłodzonymi (w których zastosowano chłodziarki) i niechłodzonymi, pracującymi w temperaturze otoczenia. Ponadto na rynku występują kamery pomiarowe, mogące służyć do pomiaru temperatury oraz kamery obserwacyjne, zobrazowujące rozkład temperatury na powierzchni obiektów.

Sercem każdej kamery termowizyjnej jest detektor. Przy doborze detektorów do kamer należy zapewnić, aby w paśmie jej pracy charakteryzował się on maksymalną czułością. Detektory w kamerach termowizyjnych mogą występować pojedynczo, w linijce lub też w postaci matrycy FPA (ang.: *Focal Plane Array*), składającej się np. z 320×240 pojedynczych detektorów (pikseli).

W początkowym okresie rozwoju techniki termowizyjnej stosowano w kamerach pojedyncze detektory promieniowania oraz skomplikowane systemy mechaniczno-optyczne (skanujące) umożliwiające badanie powierzchniowych rozkładów temperatury. Obecnie w konstrukcji kamer zaczyna dominować stosowanie matryc detektorów, co upraszcza znacznie ich konstrukcję, jak i pozwala na poprawę ich parametrów metrologicznych. Jako szczególne osiągnięcie technologiczne ostatnich lat należy wymienić opracowanie niechłodzonych, tanich matryc detektorów termicznych. Fakt ten stanowił o przełomie w masowym stosowaniu systemów termowizyjnych w codziennej praktyce: w przemyśle, medycynie i wielu innych dziedzinach życia. Obecnie produkowane i oferowane na rynku są matryce, w których liczba pojedynczych detektorów sięga rozmiarów 320×240, a nawet 640×480 (512) elementów, a prowadzone są intensywne prace rozwojowe nad zwiększeniem tej liczby.

Matryce detektorów są wykonywane z typowych materiałów półprzewodnikowych stosowanych w konstrukcji detektorów indywidualnych, takich jak np.: InGaAs na zakres 0,9 – 1,7 μm; InSb w zakresie 2 – 5,6 μm, HgCdTe o zakresie zależnym od składu procentowego składników, typowo 7 – 12 μm, jak i szeregu innych. Matryce takie wymagają chłodzenia, tak samo jak indywidualne detektory półprzewodnikowe. Obecnie na rynku najczęściej są stosowane matryce z chłodzeniem za pomocą chłodziarki Stirlinga.

Natomiast matryce niechłodzone są wykonywane z materiałów typowych dla detektorów termicznych, takich jak amorficzne mikrobolometry krzemowe czy bolometry z tlenku wanadu VO_x. Jednak ostatnio pojawiły się rozwiązania techniczne stosujące matrycę detektorów piroelektrycznych. Na rynku dostępna jest obecnie tania kamera z mozaiką FPA z ferroelektrycznej ceramiki BST (tytanian barowo-strontowy), jak i matryce z PZT (cyrkoniano-tytanianu ołowiu) i modyfikowanego lantanem PLZT. Przed detektorami umieszcza się wibrującą tarczę mechaniczną (z szybkością 30 lub nawet 60 Hz). Powoduje ona, że poziom promieniowania padający na dwa sąsiednie detektory (piksele pomiarowe) jest porównywalny.

Kamery wyposażone w pojedyncze lub linijkowe detektory zwane są też odpowiednio skanerami punktowymi lub liniowymi. Obraz pola temperaturowego powstawał w nich za pomocą optomechanicznego układu omiatającego (skanującego), zbudowanego z wirujących lub drgających zwierciadeł albo z graniastosłupów skanujących. Częstotliwość skanowania wynosiła zwykle 25 Hz (50 Hz) dla sygnału PAL (Europa) oraz 30 Hz (60 Hz) dla sygnału NTSC (USA). Powstające w wyniku skanowania sekwencje sygnałów są przekazywane do detektora, przetwarzającego go na sygnał elektryczny. Sygnał ten jest proporcjonalny do natężenia promieniowania w poszczególnych punktach przetwarzanego obrazu. Po wzmocnieniu, jest przekazywany synchronicznie z ruchem skanującym na ekran monitora, gdzie powstaje termowizyjny obraz pola temperaturowego badanego obiektu (termogram).

Opisana wyżej zasada działania była wykorzystywana od początku powstania kamer termowizyjnych przez około 20 lat. Charakterystyka detektora określała wówczas rodzaj skanera oraz jego rozdzielczość: temperaturową, zdolność określania różnic temperatury pomiędzy dwoma sąsiednimi punktami oraz przestrzenną ilość punktów w termogramie. Od lat dziewięćdziesiątych XX wieku, są produkowane kamery wyposażone w matryce detektorów typu FPA.

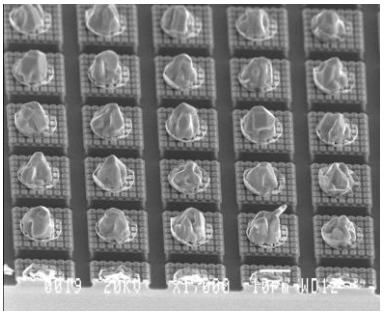
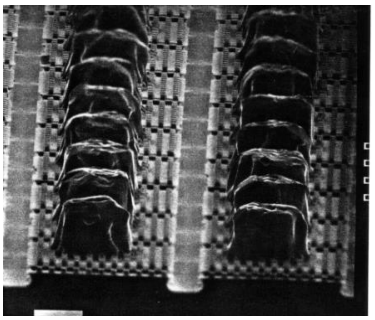
W takich kamerach nie ma ruchomych elementów mechanicznych. Zastosowanie szybkich matryc umożliwiło budowanie kamer do rejestracji ultraszybkich procesów cieplnych. W związku z tym faktem powstała nowa dziedzina pomiarów termowizyjnych, tzw. ultraszybka termografia (ang. *ultrafast thermography*). Obecnie na rynku są oferowane systemy termowizyjne, pozwalające na uzyskanie nawet do kilkuset termogramów na sekundę.

Kolejnym etapem w budowie współczesnych kamer termowizyjnych, było wprowadzenie na rynek w roku 1997 pierwszej kamery z mikrobolometryczną matrycą termicznych detektorów niechłodzonych. Kilka lat później wprowadzono niechłodzone matryce zbudowane z detektorów piroelektrycznych. Możliwość wyeliminowania konieczności skanowania oraz chłodzenia poprawiła znacznie parametry eksploatacyjne kamer, które ze względu na wyeliminowanie części mechanicznej stały się lekkie i bardziej niezawodne. Czas schładzania

detektora do temperatury kriogenicznej, trwał niekiedy nawet do 10 minut, natomiast czas potrzebny na stabilizację temperatury jego pracy, w kamerach bez chłodziarek, nie przekracza obecnie l minuty. Kamera jest więc szybciej gotowa do pracy.

Następnie pojawiły się kamery termowizyjne, pracujące w standardzie szybkości stosowanych w przekazie telewizyjnym. Tak więc możliwe stało się uzyskanie obrazu w „czasie rzeczywistym". Powstanie szybkich systemów akwizycji danych i obróbka cyfrowa obrazu spowodowały, że kamera termowizyjna stała się wspaniałym narzędziem w pracy badawczej, ale także w kontroli produkcji, w nie destrukcyjnym testowaniu materiałów, w diagnostyce medycznej i w wielu innych dziedzinach.

Zaletą matryc detektorów jest zdecydowana poprawa stosunku sygnału do szumu, gdyż przetwarzanie obrazu następuje równolegle. Nie ma potrzeby stosowania tu tak szybkich układów pomiarowych, jak w przypadku np. pojedynczego detektora promieniowania. Tak więc pasmo układu pomiarowego może zostać zdecydowanie zawężone. Także gabaryty i waga kamery gwałtownie maleją, do wartości podobnych do kamer wideo. Użytkowanie kamery staje się niezwykle wygodne, szczególnie jeśli nie potrzeba np. używać ciekłego azotu. Także szybkość przetwarzania obrazu wzrasta. Stosując matryce półprzewodnikowe, można uzyskać nawet paręset obrazów na sekundę. Równocześnie dostępne stały się kamery o rozdzielczości pojedynczych milikelwinów. Oczywiście, komplikuje się układ elektroniczny, ale postępy technologii i miniaturyzacja w tej dziedzinie spowodowały, że użytkownik nie widzi tego problemu. Nawet zastosowanie wibrującej przesłony, w kamerach z niechłodzonymi detektorami termicznymi, jest niezauważalne dla użytkownika. Stąd kamery te można traktować, jako niezwykle wygodne i wreszcie stosunkowo tanie rozwiązanie, spełniające wymagania techniczne niezbędne dla większości zastosowań praktycznych, w tym diagnostyki urządzeń.

a)  b) 

Rys. 1. Widok detektora QWIP – Quantum Well Infrared Photodetector;
a) piksel 25 μm (640×480 elementów), b) piksel 38 μm (320×240 elementów)
Fig. 1. Detector QWIP – Quantum Well Infrared Photodetector

Technologia produkcji detektorów podczerwieni należy obecnie do najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin nauki. Dlatego corocznie pojawiają się setki publikacji przeglądowych i patentów na ten temat. Plany rozwojowe firm produkujących detektory podczerwieni najczęściej nie są jawne. Wydaje się jednak, że tendencje rozwojowe w ich produkcji będą dotyczyć (w najbliższych latach):

- stworzenia większych matryc, np. 640×480 (512) lub 1024×1024 pikseli – obecny standard to 320×240 pikseli;
- opracowania detektorów dwubarwnych, tj. scalonych detektorów krótkofalowych (SW) i długofalowych (LW).

2. Budowa współczesnej kamery termowizyjnej

Obecnie oferowane kamery termowizyjne to zestawy składające się z: samej kamery, oprogramowania, zestawu obiektywów, baterii wraz z ładowarką. Wszystko to zazwyczaj w praktycznym opakowaniu transportowym (walizce).

Występujące na rynku produkty tej branży możemy podzielić na trzy kategorie:

- podręczne małe i tanie kamery termowizyjne przeznaczone do szybkiej diagnostyki urządzeń przemysłowych w podczerwieni;
- uniwersalne specjalistyczne kamery inspekcyjne stosowane w zależności od posiadanego wyposażenia,
- zestawy termowizyjne pracujące w kilku oknach, przeznaczone do badań naukowo-badawczych oraz realizacji prac rozwojowych.

Przykładem pierwszej kategorii jest kamera ThermaCam™E2 (rys. 2) amerykańskiej firmy FLIR Systems. Jest to wyjątkowo małe, lekkie i eleganckie urządzenie za niewielką cenę. Daje ono pełne zobrazowanie sytuacji poprzez zastosowanie dwuwymiarowej matrycy detektorów (niechłodzonych mikrobolometrów) o wymiarach 160×120 elementów i rozdzielczości termicznej 0,12°C. Zakres pracy kamery to 7,5 – 13 μm. Kamera wyświetla na wbudowanym w swoją konstrukcję kolorowym monitorze LCD o przekątnej 2,5" doskonałe, ostre oraz niezaszumione termogramy (obrazy obiektu w podczerwieni). Obsługa kamery jest niezwykle prosta i nie wymaga skomplikowanego szkolenia. Jednym palcem możemy ustawić wszystkie parametry obrazu, dokonać pomiaru i rejestracji obrazu.

Kamera umożliwia zapisanie, w pamięci własnej, 50 obrazów termowizyjnych (termogramów) w formacie JPEG. Obrazy można przeglądać na miejscu pomiaru lub po podłączeniu urządzenia do komputera. Do sprzedawanego zestawu producent dołącza proste w obsłudze oprogramowanie, dzięki któremu

wbudowana w kamerę pamięć pojawia się w komputerze użytkownika jako katalog i można korzystać z niej za pomocą np. narzędzi explorera systemu Windows. Kamera dzięki zastosowaniu nowoczesnych litowo-jonowych baterii umożliwia nieprzerwaną pracę przez około 2 godziny. Dodatkowo wbudowany laserowy wskaźnik umożliwia ustalenie rzeczywistego położenia punktów oglądanych na ekranie kamery. Wykorzystany obiektyw pozwala na oglądanie obiektu pomiaru w polu widzenia – 24°X18° i minimalnej ogniskowej 0,3 m. Transmisja zarejestrowanych obrazów do komputera możliwa jest poprzez złącza USB i RS-232.

Przykładem drugiej kategorii urządzeń jest zestaw produkowany przez tego samego producenta o nazwie ThermaCam^{TM}P60 (rys. 3). System projektowany jako narzędzie do przeprowadzania inspekcji, ze względu na swoje ogromne możliwości znalazł szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach. Stanowi on nowy standard wśród kamer termowizyjnych.

Rys. 2. Kamera termowizyjna ThermaCam^{TM}E2
Fig. 2. Thermal camera ThermaCam^{TM}E2

Rys. 3. Kamera termowizyjna ThermaCam^{TM}P60
Fig. 3. Thermal camera ThermaCam^{TM}P60

Kamerę zaprojektowano przy współpracy z profesjonalistami w dziedzinie pomiarów termowizyjnych, jest lekka i poręczna. Jej masa wraz z bateriami nie przekracza 2 kg – jest najlżejsza z dostępnych kamer w tej klasie. Zaprojektowana do pracy w trudnych warunkach (udar, wibracje, temperatura), pyłoszczelna i bryzgoszczelna. Podobnie jak omawiana poprzednio kamera, jest wyposażona we własny monitor LCD, a także dodatkowo we wszystkie niezbędne przyciski sterujące, umożliwiające odłączenie go od korpusu kamery. Pozwala to na oglądanie obrazów nawet wówczas, gdy kamera użyta jest do obserwacji miejsc trudno dostępnych. Nadzwyczajną jakość obrazu uzyskano dzięki zastosowaniu matrycy niechłodzonych mikrobolometrów o wymiarach 320×240 pikseli, pracujących w zakresie 7,5 – 13 μm. Zastosowany detektor czwartej generacji wykrywa różnice temperatury wynoszące zaledwie 0,08°C.

Kamera zapisuje 14-bitowe obrazy termalne oraz jednocześnie obrazy w paśmie widzialnym, dzięki wbudowanemu aparatowi cyfrowemu (640×480 pikseli, pełny kolor). Obrazy są zapisywane na wymiennej karcie FLASH lub wewnętrznej pamięci kamery. Dodatkowo istnieje możliwość rejestracji komentarza głosowego lub tekstowego do rejestrowanych obrazów.

Do poruszania się w opcjach menu kamery służy joystick. Jego obsługa przypomina używanie myszki w komputerze. Dzięki niemu możliwe jest dokonywanie w trakcie pomiaru prostej analizy obrazu przez wyznaczenie różnic temperatur, naniesienie izotermy, analizy profilów linii. Wszystko to jest możliwe dla punktu, prostej czy też obszaru. Podobnie jak poprzednia kamera, posiada własne zasilanie z baterii oraz wbudowany wskaźnik laserowy. Komunikacja z komputerem dodatkowo jest możliwa przez łącze podczerwieni IRDA oraz wyjścia sygnału composite i S-Video. Niestandardowe wyposażenie stanowi zestaw czterech teleobiektywów o różnych polach widzenia. Pozwalają one na rejestrację obiektu ze znacznej odległości, w tym najbardziej wyszukane zastosowania systemu.

Analiza zarejestrowanych termogramów na komputerze jest możliwa dzięki dołączonemu oprogramowaniu ThermaCAM^{TM}Reporter. Posiada on rozbudowane funkcje analizy i tworzenia raportów z pomiarów.

3. Termografia dynamiczna

W latach siedemdziesiątych XX wieku w wyniku połączenia techniki termografii w podczerwieni oraz wymuszeń termicznych z modelowaniem przenoszenia ciepła narodziła się termografia dynamiczna. Powstała tak dziedzina badań nieniszczących oznaczana jako T/I NDT (ang. *Thermal/Infrared Nondestructive Testing*), która jest konkurencyjną i uzupełniającą metodą w stosunku do badań ultrasonograficznych czy rentgenowskich. Zaletą nowej metody było, że dysponując odpowiednio silnym źródłem pobudzenia termicznego można w jednym cyklu badać duże powierzchnie obiektu. Znalazło to zaraz praktyczne zastosowania np. w badaniach stopnia korozji poszycia samolotów czy też w badaniach obiektów zabytkowych – stopnia zawilgocenia; stanu fresków oraz w badaniach konstrukcji wielowarstwowych (przekładkowych, laminatów, spawów, nitów). Początkowo były to tylko badania jakościowe, w których oczekiwano wykrycia defektu bez jego opisu, który przy ówczesnym poziomie techniki był niemożliwy. Jednak rozwój techniki komputerowej w latach dziewięćdziesiątych umożliwił ilościową ocenę defektu. Obecnie są prowadzone zaawansowane prace nad rekonstrukcją 3D określaną jako tomografia termiczna trójwymiarowa oraz nad automatyzacją procesu diagnostyki z wykorzystaniem metod sieci neuronowych. Prace te skupiają się na badaniach materiałów

sztucznych, wytworzonych przez człowieka (konstrukcje metalowe, plastikowe), gdzie nie występują tak silne zjawiska nieliniowości i wielości parametrów.

Ogólnie ujmując, celem termograficznych badań dynamicznych jest określenie właściwości obiektu w czasie trwania procesów przejściowych, takich jak grzanie lub chłodzenie (badanie dynamiczne). Badany obiekt jest pobudzany zewnętrznym sygnałem cieplnym. Formą odpowiedzi obiektu na to pobudzenie jest zmiana temperatury (wzrost lub spadek), a szybkość tych zmian zawiera informację o wartościach pojemności i przewodności cieplnej badanego obiektu. Odpowiedź obiektu na pobudzenie zewnętrzne może być rejestrowana bezpośrednio na pobudzonej powierzchni – przednia projekcja (ang. *forward projection*) lub też na powierzchni przeciwnej, po przejściu fali cieplnej przez obiekt – projekcja tylna (ang. *back projection*).

Jako źródło pobudzenia w termografii dynamicznej można stosować zarówno fale dźwiękowe (ultradźwięki), jak i promieniowanie podczerwone lub mikrofalowe. Pobudzenie takie ma najczęściej charakter impulsowy lub ciągłej fali sinusoidalnej. Odpowiedź obiektu na pobudzenie jest rejestrowana za pomocą systemu termowizyjnego, a na podstawie zapisanych termogramów (w dokładnie określonym czasie) są obliczane wynikowe obrazy parametryczne. Należy pamiętać o tym, aby tak dobrać sygnał wejściowy (pobudzający), najczęściej moc źródła ciepła, jego charakter (impulsowy, harmoniczny) oraz czas trwania i liczbę powtórzeń, by uzyskać jak najwięcej informacji o badanym obiekcie. W termografii dynamicznej istotny więc jest dobór rodzaju źródła zewnętrznego pobudzenia oraz późniejsza obróbka cyfrowa zarejestrowanej sekwencji stanów przejściowych i powrotu do stanu ustalonego rozkładu temperatury.

Podstawowym założeniem, na którym opiera się metoda badań nieniszczących jest to, że każda klasa badanych obiektów w sposób specyficzny reaguje na pobudzenie zewnętrzne.

W badaniach tych najczęściej stosuje się źródła optyczne jako najwygodniejsze w sterowaniu, a jednocześnie zapewniające dostateczne moce do wywołania pożądanego efektu. Jako źródła ciepła najczęściej stosuje się więc: źródła laserowe, żarowe promienniki podczerwieni, lampy halogenowe, bądź generatory mikrofal lub ultradźwięków. Znane są też zastosowania generatorów mikrofalowych. Jednakże w tym przypadku trudno jest kontrolować precyzyjnie wydzielaną moc w obiekcie.

Badania dynamiczne w podczerwieni można podzielić na kilka technik, oczywiście ze względu na rodzaj pobudzenia termicznego:

- termografia synchroniczna (ang. *lock-in thermography, modulated thermography*);
- termografia impulsowa (ang. *pulse thermography*);
- termografia impulsowa fazowa (ang. *pulse phase termography*).

Stanowisko pomiarowe do dynamicznych badań w podczerwieni w podstawowej konfiguracji składa się z: kamery termowizyjnej, jednostki sterującej oraz źródła pobudzenia. Badany obiekt jest pobudzany ze źródła o znanych parametrach sygnału, a kamera termowizyjna rejestruje obrazy zmian rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu, wymuszone pobudzeniem. Rejestracja obrazów jest synchronizowana z cyklem pobudzania, co pozwala na określenie relacji pomiędzy pobudzeniem a odpowiedzią.

Wnioski końcowe

Współczesne kamery termowizyjne znacznie różnią się od tych produkowanych kilka lub kilkanaście lat temu. Jest to wynikiem ogromnego postępu, jaki dokonał się w ostatnich latach w technologii produkcji detektorów, jak również w konstrukcji kamer. Kamery, lub raczej systemy termowizyjne tworzą obecnie wysokiej rozdzielczości obraz badanego obiektu w podczerwieni, przy tym rejestrują jego obraz w paśmie widzialnym. Są lekkie, ładne i proste w użyciu. Ponadto obserwujemy znaczny spadek ich cen powiązany ze wzrostem jakości produktu. Stwarza to niebywałe warunki na zmianę dotychczas używanej lub zakup nowej, jeżeli widzimy taką potrzebę.

Nowe zastosowania systemów termowizyjnych potwierdzają tezę, że są one idealnym narzędziem do diagnostyki urządzeń np. izolacyjności cieplnej, stanu przewodów, lokalizacji pęknięć, oceny jakości chłodzenia.

Literatura

1. Bielecki Z., Rogalski A., *Detekcja sygnałów optycznych*, Warszawa 2001.
2. Nowakowski A., *Postępy termografii – aplikacje medyczne*, Gdańsk 2001.
3. Materiały reklamowe i artykuły wydane przez firmę FLIR Systems.
4. Minkina W., *Pomiary termowizyjne w praktyce*, Warszawa 2004.
5. Rudowski G., *Termowizja i jej zastosowanie*, Warszawa 1978.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.

Recenzenci

dr hab. inż. Oleh Klyus, prof. AM
dr hab. inż. Piotr Bielawski, prof. AM

Adresy Autorów

dr hab. inż. Andrzej Klewski, prof. WAT
prof. dr hab. inż. Józef Sanecki
dr inż. Piotr Sacha
Wojskowa Akademia Techniczna, Zakład Teledetekcji i Geoinformatyki
ul. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa