

Edward POWIADA, Mariusz KASTEK, Tadeusz PIĄTKOWSKI, Tomasz SOSNOWSKI
 WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI, ZAKŁAD TECHNIKI PODCZERWIENI I TERMOWIZJI

System do precyzyjnego pomiaru i rejestracji temperatury powierzchni wody morskiej

Mgr inż. Edward POWIADA

Absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (1967). Pracuje w WAT ponad 25 lat. Specjalista w dziedzinie oprogramowania i budowy systemów mikroprocesorowych, systemów cyfrowych w szczególności do zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych. Autor wielu oryginalnych projektów układów elektronicznych, oprogramowania, wdrożeń urządzeń i patentów.

e-mail: epowiada@wat.edu.pl



Dr inż. Mariusz KASTEK

Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Od 1997 roku jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej. Tytuł doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2002. Zajmuje się problematyką detekcji obiektów w systemach czujników podczewieni stosowanych w systemach ochrony, a także analizą sygnałów oraz algorytmami detekcji implementowanymi w czujnikach podczewieni. Pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Optoelektroniki WAT.

e-mail: mkastek@wat.edu.pl



Dr inż. Tadeusz PIĄTKOWSKI

Ukończył studia na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej (1981) i Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1984). Od 1995 roku pracuje w Instytucie Optoelektroniki WAT. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 2003 roku. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta. Zajmuje się zdalnymi pomiarami temperatury, projektowaniem układów optycznych i elektronicznych oraz systemów mikroprocesorowych. Jest autorem i współautorem ponad 30 publikacji.

e-mail: tpiatkowski@wat.edu.pl



Dr inż. Tomasz SOSNOWSKI

Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Od 1996 roku jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej. Tytuł doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2003. Zajmuje się problematyką związaną z projektowaniem i programowaniem systemów mikroprocesorowych, cyfrową analizą sygnału, analizą obrazu termograficznego, a także zastosowaniem układów mikroprocesorowych w technice podczewieni i analizie sygnałów wibroakustycznych. Autor i współautor ponad 20 publikacji.

e-mail: tsosnowski@wat.edu.pl



Streszczenie

Precyzyjne pomiary temperatury powierzchni wody morskiej są szeroko stosowane w badaniach jej zanieczyszczenia, jak również w poszukiwaniach ropy naftowej znajdującej się pod dnem morskim. W artykule przedstawiono opracowany w Instytucie Optoelektroniki WAT system do precyzyjnego pomiaru i rejestracji temperatury powierzchni wody morskiej. Jednym z podstawowych elementów systemu jest opracowany w tym celu specjalizowany pirometr wielowidmowy. W celu zwiększenia dokładności i rozdzielczości pomiaru, w pirometrze zastosowano korekcję zakłócającego wpływu promieniowania słonecznego na wynik pomiaru oraz układ eliminacji zakłóceń sieciowych. W systemie oprócz pomiaru i rejestracji temperatury jest kojarzona zmierzona wartość z pozycją geograficzną statku. Opracowany system realizuje pomiary w trybie ciągłym, bez konieczności stałego nadzoru operatora.

Słowa kluczowe: pomiar temperatury, pirometr

System for precise measurement and recording of the temperature of seawater surface

Abstract

Precise temperature measurements of seawater surface are widely used as a method of monitoring the seawater pollution and also as effective tool in searching for oil deposits located under sea bottom. The paper presents precise measurement system tailored for such a task developed in IOE WAT. The key element of this system is a specialized multi-spectral pyrometer. In this unit, compensation of solar radiation and filtered power supply were applied to increase accuracy and resolution. The system records the temperature of seawater surface and geographic coordinates of the point of measurement. The system is fully automated and constant operator's supervision is not required.

Keywords: temperature measurement, pyrometer

1. Wprowadzenie

Precyzyjne pomiary temperatury powierzchni wody morskiej są stosowane głównie w badaniach zanieczyszczenia wody oraz w poszukiwaniach ropy naftowej znajdującej się pod dnem morskim.

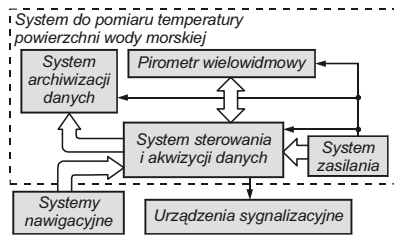
Cienka przypowierzchniowa warstwa wody może gromadzić różnego rodzaju zanieczyszczenia (biologiczne, cząsteczki związków chemicznych w szczególności ropopochodnych), które pochłaniają promieniowanie słoneczne powodując lokalny niewielki wzrost temperatury. Jednak zmiany temperatury powierzchni wody są niewielkie, najczęściej poniżej jednego stopnia. W związku z tym pirometr służący do pomiaru tych zmian musi zapewniać pomiar temperatury z dużą rozdzielczością i dokładnością. Zapewnienie dużej rozdzielczości i dokładności pomiarów jest możliwe jedynie poprzez pomiar w kilku zakresach widmowych oraz poprzez stosowanie dodatkowych układów korekcji wpływu promieniowania słonecznego i minimalizacji elektrycznych zakłóceń pochodzących z sieci energetycznej.

W Instytucie Optoelektroniki WAT wykonano czterokanałowy pirometr podczewieni, przy czym każdy z kanałów pracuje w innym zakresie widmowym promieniowania podczewionego. Pola pomiarowe poszczególnych kanałów pokrywają się, a jednocześnie z tego samego pola, w oddzielnym kanale pomiarowym, rejestrowane jest odbite promieniowanie słoneczne. Zmierzone poziomy promieniowania słonecznego wykorzystywany jest do korekcji wskazań mierzonej temperatury powierzchni wody. Zmiany wartości współczynnika emisyjności wyeliminowano przez zastosowanie ilorazowej metody wyznaczania temperatury. Dalsze zwiększenie dokładności pomiaru uzyskano stosując dwa różne pirometry dwuwidmowe, z których wyniki pomiaru są uśredniane. Opracowany pirometr cechuje się rozdzielczością pomiaru temperatury wynoszącą 0,01 °C oraz dokładnością nie gorszą niż 0,1 °C dla całego zakresu pomiarowego.

2. Ogólna charakterystyka systemu

System składa się z następujących bloków (rys. 1): pirometru wielowidmowego, systemu sterowania i akwizycji danych, systemu zasilania i systemu archiwizacji. Podstawowym zadaniem systemu jest pomiar z dużą dokładnością i rejestrowanie temperatury powierzchni wody morskiej oraz skojarzenie tej temperatury z aktualną pozycją jednostki pływającej. W celu określenia aktualnej pozycji są odczytywane dane z zewnętrznych systemów i urządzeń nawigacyjnych, jak: GPS, żyrokompas oraz oprogra-

mowania nawigacyjnego Norcom. Oprogramowanie Norcom umożliwia otrzymanie wszystkich informacji, które podaje GPS i żyrokompas. W związku z tym oprogramowanie Norcom jest stosowane wymiennie z tymi urządzeniami.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu do precyzyjnego pomiaru i rejestracji temperatury powierzchni wody morskiej oraz współpracujących z nim urządzeń i systemów zewnętrznych

Fig. 1. Block diagram of system for precision measurement and recording of sea surface temperature with additional external systems and devices

Systemy nawigacyjne są podłączone od systemu sterowania i akwizycji danych za pomocą łącza szeregowego w standardzie RS-232 (V.24) i komunikują się z systemem do pomiaru temperatury za pomocą protokołu NMEA – 0183. Ponadto, jest możliwe takie skonfigurowanie systemu, aby komunikacja odbywała się za pomocą innego protokołu znakowego. Oznacza to, że jest możliwa zmiana formatu ciągu znaków opisującego parametry nawigacyjne.

Z systemu do pomiaru temperatury powierzchni wody morskiej jest wyprowadzony sygnał cyfrowy umożliwiający sygnalizowanie sytuacji alarmowych. Sygnał ten może być wykorzystany do włączania i wyłączania urządzeń sygnalizacyjnych takich jak np. syrena i sygnalizator świetlny.

Jednym z głównych bloków funkcjonalnych systemu do pomiaru temperatury jest blok sterowania i akwizycji danych. Został on zbudowany na bazie komputera PC, który został wyposażony w specjalistyczne oprogramowanie ThermoSea. Oprogramowanie realizuje szereg czynności takich jak: odebranie z GPS lub oprogramowania Norcom danych o aktualnej pozycji statku (współrzędne geograficzne), odbieranie z żyrokompasu lub oprogramowania Norcom danych o aktualnym położeniu kątowym statku, sterowanie i odbieranie danych z pirometru wielowidmowego, zapisywanie danych pomiarowych w bazie danych, drukowanie wybranych danych pomiarowych, testowanie podłączonych urządzeń i alarmowanie o ich niesprawności, wizualizacja bieżących wyników pomiarów.

3. Pirometr wielowidmowy

Najważniejszym elementem systemu do pomiaru temperatury powierzchni wody morskiej jest pirometr wielowidmowy. Pirometr dokonuje zdalnego pomiaru promieniowania podczerwonego emitowanego przez wodę morską.

W pirometrze zastosowano system wieloprocesorowy realizujący sekwencję pomiarową, eliminację zakłóceń energetycznych, pomiar natężenia promieniowania słonecznego. Wyznaczone dane pomiarowe, niezbędne do określenia temperatury powierzchni wody morskiej pirometr przesyła do systemu sterowania i akwizycji za pośrednictwem interfejsu komunikacyjnego. Jako interfejs komunikacyjny zostało wykorzystane łącze szeregowo RS-485 zapewniające wymaganą odporność na zakłócenia.

3.1. Metoda wyznaczenia temperatury powierzchni wody morskiej

W pirometrze wielowidmowym zastosowano cztery zespoły detekcji promieniowania podczerwonego. Sygnał w każdym torze optycznym jest proporcjonalny do luminancji obiektu pomiarowego o temperaturze T_O i zgodnie z prawem Plancka może być opisany równaniem:

$$S_i = q_i \cdot \frac{C_1 \cdot \varepsilon_w(\lambda_i)}{\lambda_i^5 \cdot \exp\left(\frac{C_2}{\lambda_i T_O}\right)} \quad (1)$$

gdzie: T_O - temperatura obiektu, $\varepsilon_w(\lambda_i)$ - emisyjność dla długości fali λ_i , λ_i - długość fali promieniowania charakterystyczna dla i -tego kanału pirometru, q_i - stała konstrukcyjna dla i -tego kanału pirometru, C_1 - pierwsza stała termometryczna, $3,74177107(29) \times 10^{-16}$ W·m², C_2 - druga stała termometryczna, $1,4387752(25) \times 10^{-2}$ m·K.

W równaniu (1) skorzystano z przybliżenia Wiena ponieważ dla danego zakresu mierzonych temperatur ($0 \div 35$ °C) oraz wykorzystywanego zakresu spektralnego ($7.5 \div 14 \mu\text{m}$) popełniany błąd jest poniżej 0,1%. Dominującą przyczyną ograniczającą dokładność pomiaru temperatury za pomocą klasycznych pirometrów jest nieznaną zależność wartości widmowego współczynnika emisyjności wody od długości fali.

W przypadku wody morskiej występuje dodatkowo szereg zmiennych i często trudnych do określenia czynników, które wpływają istotnie na wartość emisyjności. Są to zarówno czynniki chemiczne (np. zasolenie) jak i fizyczne oraz inne, jak np. zanieczyszczenia biologiczne czy ropopochodne. Wymienione czynniki są źródłem znacznych błędów przy pomiarach pirometrami jednowidmowymi. W związku z tym zastosowano pirometr wielowidmowy z ilorazową metodą wyznaczania temperatury. Takie rozwiązanie przyjęto, gdyż cechuje się ono względnie małym błędem metody [2].

W tej metodzie korzysta się ze stosunku sygnałów i odpowiednio stosunku gęstości widmowej luminancji dla dwu różnych długości fal [3]. Na podstawie równania (1) iloraz sygnałów można przedstawić za pomocą równania:

$$\eta = \frac{S_1}{S_2} = \frac{q_1 \cdot \varepsilon_w(\lambda_1) \cdot \lambda_2^5 \cdot \exp\left(\frac{C_2}{\lambda_2 T_O}\right)}{q_2 \cdot \varepsilon_w(\lambda_2) \cdot \lambda_1^5 \cdot \exp\left(\frac{C_2}{\lambda_1 T_O}\right)} \quad (2)$$

Przekształcając równanie (2) można wyznaczyć równanie pozwalające obliczyć temperaturę obiektu T_O :

$$T_O = \frac{C_2 \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \left\{ 5 \cdot \ln\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) + \ln\left(\frac{q_1}{q_2}\right) - \ln(\eta) + \ln\left[\frac{\varepsilon_w(\lambda_1)}{\varepsilon_w(\lambda_2)}\right] \right\}} \quad (3)$$

Z powyższego równania wynika, że obliczona wartość temperatura wody zależy od ilorazu emisyjności dla dwu zakresów widmowych pirometru. Dla danego pirometru można założyć, że emisyjność w przyjętych przedziałach widma jest stała oraz, że woda jest ciałem szarym tj.

$$\varepsilon(\lambda) = \text{const} < 1 \quad \text{i} \quad \varepsilon_w(\lambda_1)/\varepsilon_w(\lambda_2) \approx 1 \quad (4)$$

Oznacza to, że zmiany emisyjności np. w zależności od temperatury nie powodują dodatkowego błędu pomiarowego.

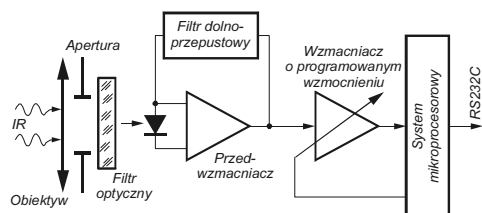
W przedstawionej analizie wpływu emisyjności na wynik pomiaru, do określenia sygnału z detektora zastosowano idealizowane równanie (1). W rzeczywistości wartość sygnału z detektora zależy od wielu dodatkowych czynników, takich jak [4]: widmowa charakterystyka detektora, widmowa charakterystyka filtra optycznego, widmowa charakterystyka przepuszczalności atmosfery, promieniowanie własne pirometru, temperatura otoczenia, temperatura pirometru, zakłócenia elektryczne, szum detektora, promieniowanie słoneczne itp. Dlatego na podstawie pomiarów temperatury powierzchni wody przy zmienianej temperaturze przyrządu i jego otoczenia wyznaczono funkcję aproksymującą charakterystykę kalibracyjną pirometru dwuwidmowego:

$$T_o = (1 - \gamma) \cdot \sqrt{aT_p^2 + (bS^2 + cS + d)} + e \quad (5)$$

przy czym: γ - współczynnik zależny od poziomu promieniowania słonecznego, T_p - temperatura pirometru, S - iloraz sygnałów, a, b, c, d, e - stałe konstrukcyjne pirometru.

3.2. Optoelektroniczny zespół detekcji odbitego promieniowania słonecznego

Jednym z poważnych problemów występujących podczas pomiaru temperatury metodami pirometrycznymi jest odbite promieniowanie słoneczne. Pomiaru zmian luminancji odbitego promieniowania Słońca są wykonywane w układzie detekcji promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni. Rozwiązanie takie przyjęto ze względu na wyższą luminancję promieniowania słonecznego w krótszym zakresie długości fal niż w zakresach wybranych dla zespołów pirometrów dwubarwowych oraz ze względu na znacznie wyższą wykrywalność detektorów krótkofalowych. Schemat blokowy układu detekcji odbitego promieniowania słonecznego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy układu detekcji promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni

Fig. 2. Block diagram of detection system of near infrared radiation

Układ składa się z obiektywu wejściowego, za pomocą którego promieniowanie jest kierowane na detektor. Wiązka promieniowania jest ograniczona geometrycznie za pomocą przesłony, zaś widmo promieniowania zostało ograniczone za pomocą optycznego filtra absorpcyjnego.

Sygnal elektryczny z detektora (fotodiody PIN) jest wzmacniany w niskoszumnym przedwzmacniaczu, a jego pasmo jest zawężane za pomocą filtra dolnoprzepustowego. Zawężenie zakresu częstotliwości pozwoliło na znaczne ograniczenie wpływu szumu na sygnał użyteczny. Następnie poziom sygnału jest dostosowywany do zakresu pomiarowego przetwornika analogowo-cyfrowego za pomocą programowalnego wzmacniacza. Przewidziano osiem wartości wzmocnienia, wybieranych przez system mikroprocesorowy za pomocą słowa trzybitowego. Taka konstrukcja układu pozwala na uzyskanie maksymalnej dynamiki sygnału dla zmiennych warunków oświetleniowych wynikających zarówno z pory dnia, warunków pogodowych jak i pory roku.

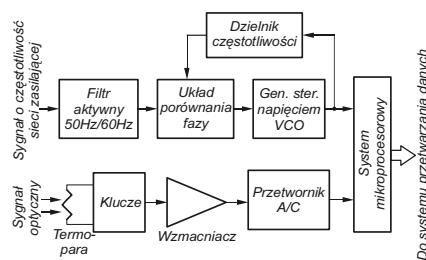
3.3. Układ elektroniczny

Istotny problem związany z uzyskaniem dużej dokładności pomiaru temperatury, stanowią zakłócenia sieciowe i zmiany napięcia niezrównoważenia przedwzmacniaczy termopar radiacyjnych. Schemat blokowy układu eliminującego zakłócenia sieciowe i zmiany napięcia niezrównoważenia przedstawiono na rys. 3.

Aktywny filtr sieciowy, cyfrowy układ porównywania fazy, generator sterowany napięciowo oraz cyfrowy dzielnik częstotliwości próbkowania sygnału zapewniają uzyskanie zadanej liczby próbek w okresie zmian napięcia sieci. Uśrednienie wartości tych próbek przez mikrokontroler zapewnia eliminację zakłóceń sieciowych.

Problem eliminacji zmian napięcia niezrównoważenia rozwiązano poprzez zastosowanie kluczy elektronicznych, przelączanych na wejściu przedwzmacniacza przez mikrokontroler co okres napięcia sieciowego. Podawanie sygnału z termopar na wejście przedwzmacniacza następuje w jednym okresie napięcia sieci

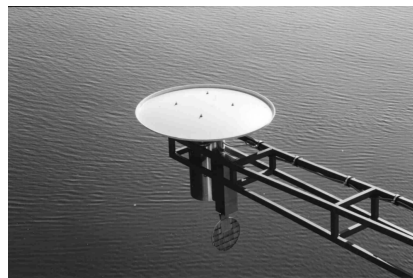
o danej polaryzacji, a w następnym okresie o polaryzacji przeciwnej. Zapewnia to podawanie na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego w jednym okresie wzmocnionego sygnału spolaryzowanego dodatnio wraz z napięciem niezrównoważenia, a w następnym okresie wzmocnionego sygnału spolaryzowanego ujemnie i napięcia niezrównoważenia. Różnica tych sygnałów umożliwia eliminowanie napięcia niezrównoważenia.



Rys. 3. Schemat blokowy układu eliminacji zakłóceń sieciowych i zmian napięcia niezrównoważenia wzmacniacza termopary radiacyjnej

Fig. 3. Block diagram of the system eliminating power supply interferences and changes of offset voltage

Wykonany pirometr zamontowano na wysięgniku przy burcie statku badawczego (rys. 4). Pirometr wyposażono w układ zdalnie otwieranej pokrywy osłaniającej zespoły optyczne (u dołu pirometru) oraz w osłonę zapobiegającą nagrzewaniu się pirometru od promieni słonecznych.



Rys. 4. Wielospektralny pirometr na wysięgniku burtowym statku badawczego

Fig. 4. Multispectral pyrometer on a research ship's side

Na rys. 5 pokazano widok zespołów detekcyjnych pirometru od strony soczewek obiektywów. Widoczne są cztery większe soczewki zespołów detekcji promieniowania podczerwonego. W części centralnej umieszczona jest soczewka obiektywu zespołu detekcji odbitego promieniowania słonecznego.

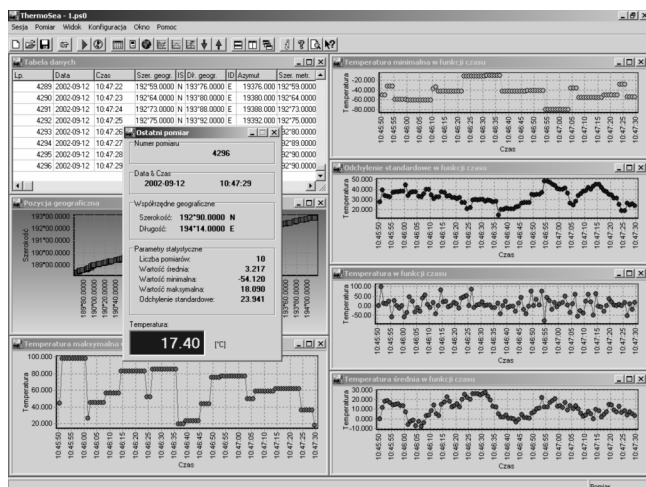


Rys. 5. Widok zespołów detekcyjnych pirometru od strony soczewek obiektywów

Fig. 5. View of detection sets of the pyrometer (from the side of objective lenses)

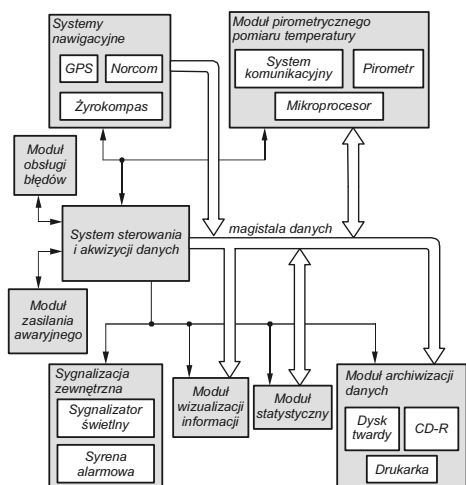
4. Oprogramowanie ThermoSea

Oprogramowanie ThermoSea dla Windows (rys. 6) służy do sterowania procesem pomiarowym oraz akwizycji wartości zmierzonych temperatury i danych ze wszystkich podłączonych urządzeń nawigacyjnych. Podstawowymi zadaniami realizowanymi przez oprogramowanie ThermoSea są: sterowanie procesem pomiaru temperatury powierzchni morza, rejestracja danych temperaturowych, zbieranie danych nawigacyjnych z podłączonych urządzeń, statystyczną obróbkę danych w czasie rzeczywistym, analizę danych pomiarowych.



Rys. 6. Widok oprogramowania ThermoSea
Fig. 6. The view of ThermoSea software

Program ThermoSea został opracowany z wykorzystaniem zaawansowanych technik inżynierii oprogramowania. Oprogramowanie ThermoSea jest wielowarstwowe z przenikaniem oraz charakteryzuje się wielowątkowością. Zastosowane metody (budowa wielowarstwowa, wielowątkowość itp.) pozwoliły na zwiększenie niezawodności i efektywności, odseparowanie poziomu sprzętowego i uzyskanie możliwości konserwacji (rozbudowa i/lub usunięcie wykrytych błędów) oprogramowania. Program ThermoSea cechuje się znaczną złożonością, dlatego w artykule zostaną przedstawione tylko jego najważniejsze elementy funkcjonalne (rys. 7).



Rys. 7. Schemat funkcjonalny oprogramowania
Fig. 7. Functional block diagram of a software

System sterowania i akwizycji danych jest głównym elementem programu ThermoSea. Stanowi on wątek główny i decyduje o działaniu wszystkich elementów oprogramowania. Procesy wykonywane współbieżnie ze sterowaniem są kontrolowane za pomocą zestawów rejestrów oraz za pośrednictwem modułu konfiguracji. Procesy wykonywane synchronicznie i uruchamiane w wątku sterowania są kontrolowane bezpośrednio przez odpowiedni zestaw parametrów lokalnych lub za pomocą wyboru wykonywanej przez proces operacji.

W celu uzyskania informacji niezbędnych do określenia temperatury, oprogramowanie komunikuje się z pirometrem wielowidowym. Sterowanie i komunikacja z pirometrem jest realizowana za pomocą łącza światłowodowego lub szeregowego z wykorzystaniem protokołu UPCD2000 (*Universal Protocol of Communication Devices 2000*).

Z uwagi na specyfikę warunków pracy systemu (bez nadzoru operatora) niezbędne było zaprojektowanie mechanizmów zapewniających bardzo dużą niezawodność. Najważniejszym z mechanizmów zabezpieczających jest mechanizm obsługi błędów, odpowiadający za wykrywanie błędów, awarii, testowanie podłączonych urządzeń oraz za reakcję po wykryciu takiej sytuacji. Po wykryciu błędu moduł obsługi błędów podejmuje czynności mające na celu usunięcie przyczyny błędu i przywrócenie stabilnej pracy systemu. Większość błędów zaistniałych w systemie (także nieznanymi) jest obsługiwana automatycznie, bez udziału użytkownika aplikacji. W przypadkach krytycznych (np. awaria zasilania) moduł obsługi błędów wykonuje awaryjne wyłączenie całego systemu.

Sytuacje alarmowe są sygnalizowane za pomocą zewnętrznych urządzeń sygnalizacyjnych jak syrena, sygnalizator świetlny. System umożliwia programowe włączania i wyłączania urządzeń sygnalizacyjnych.

Oprogramowanie umożliwia skojarzenie zmierzonej wartości temperatury z parametrami nawigacyjnymi statku (współrzędne geograficzne, kurs, itp.). W tym celu zostały w aplikacji zaimplementowane moduły umożliwiające odbiór i dekodowanie informacji z urządzeń nawigacyjnych takich jak GPS, żyrokompas i oprogramowanie nawigacyjne Norcom.

Oprogramowanie umożliwia przedstawienie danych pomiarowych i stanu systemu za pomocą tabeli, charakterystyki temperatury w funkcji czasu (w wybranym przez operatora oknie czasowym), mapki lokalizacyjnej z markerem punktu pomiarowego, panelu ostatniego pomiaru itp. Dodatkowo w oprogramowaniu został zaimplementowany moduł statystyczny, umożliwiający obliczanie i wykreślanie na bieżąco wartości średniej, wartości odchylenia standardowego, wartości maksymalnej i wartości minimalnej w funkcji czasu.

5. Podsumowanie

W wyniku prac badawczo-konstruktorskich został zaprojektowany, wykonany i uruchomiony system do precyzyjnego pomiaru temperatury powierzchni wody morskiej. Zastosowanie pirometru wielowidowego oraz dodatkowych układów eliminacji zakłóceń oraz zaawansowanej metody eliminacji wpływu promieniowania słonecznego na pomiary w zakresie podczerwieni [5] pozwoliło na uzyskanie dużej rozdzielczości i dokładności pomiarów temperatury powierzchni wody morskiej. Przeprowadzone badania w warunkach laboratoryjnych i poligonowych potwierdziły skuteczność systemu. Ma on następujące parametry:

- zakres mierzonych temperatur od 0 do 35 °C,
- dokładność pomiaru 0,1 °C,
- rozdzielczość pomiaru 0,01 °C,
- czas nieprzerwanego pomiaru i rejestracji danych bez nadzoru operatora pomiaru wynosi min. 48 h,
- możliwość rejestracji pozycji statku.

6. Literatura

- [1] Sala A.: Radiant properties of materials, PWN, 1986
- [2] Coates P. B.: Multi-wavelength pyrometry, Metrologia, 17, 2, 1981
- [3] Khan M. A., Allemand C., Eagar T. W.: Noncontact temperature measurement. Interpolation based techniques, Rev. Sci Instrum., 62, 2, 1991
- [4] Piątkowski T., Metoda bezkontaktowego pomiaru temperatury obiektów o dużej dynamice procesów termicznych, praca doktorska, Biblioteka Główna WAT, Warszawa 2003
- [5] Polakowski H., Piątkowski T., Madura H. i inni: Sposób korekcji zakłóceń w odbiornikach promieniowania podczerwonego. Zgłoszenie patentowe P-352889, 2002