

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **235969**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **427454**

(22) Data zgłoszenia: **18.10.2018**

(51) Int.Cl.  
**G01K 11/32 (2006.01)**  
**H04J 14/04 (2006.01)**  
**G01D 5/26 (2006.01)**  
**G02B 6/00 (2006.01)**

(54) **Urządzenie do monitorowania temperatury, sposób monitorowania temperatury  
oraz system monitorowania temperatury**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**20.04.2020 BUP 09/20**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**16.11.2020 WUP 18/20**

(73) Uprawniony z patentu:

**INPHOTECH SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ  
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Ołtarzew, PL**  
**EL -CAB SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ  
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ,  
Bolechowo-Osiedle, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**TOMASZ NASIŁOWSKI, Warszawa, PL**  
**MAREK NAPIERAŁA, Warszawa, PL**  
**ŁUKASZ SZOSTKIEWICZ, Toruń, PL**  
**ALEJANDRO DOMINIGUEZ LOPEZ,  
Granada, ES**  
**KRZYSZTOF MARKIEWICZ, Warszawa, PL**  
**JAKUB KACZOROWSKI, Marki, PL**  
**MARIUSZ BIELA, Rakownia, PL**  
**PIOTR PŁASZCZYKOWSKI, Osówiec, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Marek Bury**

**PL 235969 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do monitorowania temperatury, sposób monitorowania temperatury oraz system monitorowania temperatury. Wynalazek znajduje zastosowanie zwłaszcza we wczesnym wykrywaniu ryzyka pożaru w pojeździe, zwłaszcza w komorze silnika lub w komorze magazynów energii elektrycznej w szczególności akumulatorów i baterii.

W stanie techniki znane są liczne rozwiązania rozłożonego pomiaru temperatury za pomocą włókien światłowodowych. Podstawą tych rozwiązań są m.in. trzy zjawiska fizyczne: rozpraszanie Rayleigha, efekt Ramana oraz efekt Brillouina.

Rozpraszanie Rayleigha to rozpraszanie światła pod wpływem niejednorodności ośrodka w którym światło się propaguje. Wadą technik związanych z wykorzystaniem tego zjawiska jest brak bezpośredniej informacji o zmianie temperatury badanego ośrodka.

Efekt Ramana jest wykorzystywany do pomiaru temperatury z wykorzystaniem analizy różnic natężenia sygnału Stokesa i anty Stokesa w funkcji długości światłowodu. Analiza mocy światła umożliwia wyznaczenie bezwzględnej wartości temperatury, niestety z relatywnie niewielką rozdzielczością – na poziomie 1 m – w funkcji długości światłowodu. Ponadto wykorzystanie efektu Ramana do monitorowania temperatury wymaga zastosowania bardzo czułych detektorów lub dużej liczby uśrednień, gdyż efekt ten jest dość słaby.

Wykorzystanie efektu Brillouina do pomiaru temperatury polega na analizie częstotliwości z którą rozchodzi się fala akustyczna generowana w światłowodzie pobudzonym światłem o dużym natężeniu.

W publikacji nr WO2006027369 międzynarodowego zgłoszenia patentowego, z dnia 2006-03-16, wynalazku pt. „Calibrating an optical fmcw backscattering measurement system” ujawniono optyczny system monitorowania temperatury działający w oparciu o efekt Rayleigha, ze źródłem światła o przestrajanej przebiegiem piłokształtnym długości, w którym zmianę temperatury w funkcji długości światłowodu pomiarowego ustala się na podstawie detekcji fali analizy fali odbitej interferującej z falą źródłową.

Z publikacji nr EP3246683 europejskiego zgłoszenia patentowego wynalazku pt. „Optical health monitoring for aircraft overheat and fire detection”, z dnia 2017-05-17, znany jest sposób wykrywania przegrzania i ryzyka pożaru poprzez monitorowanie temperatury za pomocą włókna światłowodowego obejmujący pomiar temperatury, wykrywanie przekroczenia wartości progowej oraz generację alarmu kiedy to nastąpi.

Celem wynalazku jest zapewnienie urządzenia przystosowanego do monitorowania temperatury w silnikach pojazdów, zwłaszcza samochodów i autobusów, umożliwiającego wykrywanie skorelowanych ze zmianą, a w szczególności wzrostem temperatury awarii podzespołów pojazdu.

Urządzenie do monitorowania temperatury według wynalazku zawiera układ sterujący przystosowany do generowania zasadniczo okresowego przebiegu sterującego podawanego na wejście sterujące źródła światła o przestrajanej długości fali połączonego z interferometrem światłowodowym, który w jednym ze swoich ramion ma dołączony światłowód pomiarowy. Do wyjścia z interferometru jest podłączony detektor, którego wyjście jest połączone z modułem przetwarzania sygnałów, przystosowanym do identyfikacji zmian temperatury w funkcji długości światłowodu. Droga koherencji źródła światła jest większa niż 0,5 m, korzystnie 2 m, korzystnie powyżej 20 m. Okres zasadniczo okresowego przebiegu sterującego jest mniejszy niż 20 s, korzystnie jest mniejszy niż 10 s, lub nawet mniejszy niż 4 s. Zastosowanie przebiegu okresowego o takich długościach umożliwia uzyskanie rozdzielczości przestrzennej pomiaru odpowiednio poniżej 50 cm, 20 cm, i 10 cm, przy zastosowaniu źródła o zakresie przestrajania długości fali odpowiednio przynajmniej 3 pm, 8 pm i 17 pm. Światłowód jest przystosowany do umieszczania w sąsiedztwie urządzeń egzoenergetycznych w pojeździe, w trakcie jego pracy co oznacza, m.in. że jego pokrycie musi znosić bez szkody temperatury przynajmniej powyżej 70°C, przy czym pokrycie powinno być dobrane tak, żeby wytrzymało do temperatury co najmniej takiej, jak temperatura normalnej pracy elementu w sąsiedztwie którego pracuje światłowód.

Korzystnie światłowód pomiarowy stanowi światłowód jednomodowy. Takie rozwiązanie umożliwia prostą implementację algorytmów a jednocześnie nie wymaga dodatkowych układów wymuszających pracę jednomodową.

Alternatywnie połączenie pomiędzy interferometrem a światłowodem pomiarowym realizuje się przez układ pobudzania jednomodowego.

Również alternatywnie pomiędzy źródłem światła a detektorem znajduje się przynajmniej jeden filtr modowy lub zapewniający pracę jednomodową.

Pomiędzy źródłem światła a detektorem znajduje się przynajmniej jeden polaryzator lub dzielnik polaryzacji zapewniające działanie w jednej polaryzacji i światła i uniknięcie stosowania układów dzielących polaryzację i osobnej detekcji ortogonalnych jej stanów.

Korzystnie światłowód pomiarowy stanowi światłowód podtrzymujący polaryzację zapewniający możliwość pracy na jednej polaryzacji światła bez dodatkowych układów.

Korzystnie detektor charakteryzuje się równoważną mocą szumów równą  $60 \text{ pW} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$  lub mniejszą, co upraszcza implementację algorytmów sterujących i redukuje ryzyko wystąpienia błędów.

Korzystnie równoważna moc szumów jest niższa niż  $20 \text{ pW} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ .

Korzystnie układ przetwarzania sygnałów jest połączony z detektorem za pośrednictwem przetwornika analogowo-cyfrowego o rozdzielczości przynajmniej 6 bitów i częstości próbkowania 20 kHz lub więcej, co upraszcza implementację algorytmów sterujących i zapewnienie dostatecznej rozdzielczości.

Urządzenie korzystnie zawiera sensor temperatury otoczenia połączony z układem sterującym.

Światłowód pomiarowy korzystnie jest zakończony elementem redukującym odbicie wsteczne, w szczególności elementem tłumiącym.

Sposób monitorowania temperatury w pojeździe za pomocą czujnika temperatury obejmujący wykrywanie temperatury przekraczającej określoną progową wartość i generowanie sygnału alarmowego gdy wartość ta zostanie przekroczona, zgodnie z wynalazkiem cechuje się tym, że temperaturę przekraczającą określoną wartość wykrywa się za pomocą czujnika według wynalazku. Światłowód pomiarowy umieszcza się w sąsiedztwie elementów egzoenergetycznych w pojeździe, ustala się temperaturę początkową, a następnie w kolejnych okresach przestrajania źródła światła iteracyjnie monitoruje się zmiany temperatury wzdłuż światłowodu pomiarowego, aktualizując kumulatywnie wartości bieżące w przynajmniej jednym punkcie pomiarowym na długości światłowodu pomiarowego, którą porównuje się z progową wartością.

Korzystnie światłowód pomiarowy układa się w pojeździe tak, że przebiega on w sąsiedztwie przynajmniej jednego elementu wybranego z grupy obejmującej pompę paliwową, kolektor paliwowy, turbo-sprężarkę, kolektor wydechowy, alternator, rozrusznik, sprężarkę powietrza, pompę oleju, miskę olejową, agregat grzewczy, sprężarkę klimatyzacji, układ sterowania elektronicznego, wiązkę przewodów elektrycznych, akumulator, baterię oraz ogniwo paliwowe, przy czym przynajmniej jeden punkt pomiarowy, jest zlokalizowany przy tym przynajmniej jednym elemencie. W szczególności monitorowanie tych elementów pozwala wykryć wzrost temperatury z którym skorelowane jest ryzyko pożaru lub awaria wymagająca interwencji.

Wyposażenie światłowodu pomiarowego w podziałkę ze wskazaniem odległości od początku światłowodu pomiarowego lub przynajmniej jednego punktu pomiarowego umożliwia łatwiejsze ułożenie światłowodu pomiarowego w pojeździe i przyporządkowanie punktów pomiarowych do elementów pojazdu. Podziałka może stanowić dodatkowy element dołączony do światłowodu lub oznakowanie na jego wierzchniej warstwie.

Korzystnie temperaturę początkową ustala się przez automatyczny odczyt z sensora temperatury otoczenia.

Temperaturę początkową korzystnie wprowadza się do układu sterującego za pomocą jego interfejsu.

Generowany sygnał alarmowy korzystnie wybiera się zależnie od tego w którym punkcie światłowodu pomiarowego temperatura przekracza wartość progową.

System monitorowania temperatury podzespołów pojazdu zawierający światłowodowy układ do pomiaru temperatury umieszczony przy przynajmniej jednym podzespołe pojazdu, zgodnie z wynalazkiem cechuje się tym, że światłowodowy układ do pomiaru temperatury stanowi układ według wynalazku.

Światłowód pomiarowy korzystnie przebiega w sąsiedztwie przynajmniej jednego elementu wybranego z grupy obejmującej turbosprężarkę, kolektor wydechowy, alternator, sprężarkę powietrza, pompę oleju, agregat grzewczy, sprężarkę klimatyzacji, miskę olejową, rozrusznik, układ sterowania elektronicznego, wiązkę przewodów elektrycznych, akumulator, baterię oraz ogniwo paliwowe.

System korzystnie zawiera układ cyfrowy przystosowany do automatycznego wykonywania sposobu według wynalazku.

Przedmiot wynalazku został ukazany w przykładach wykonania na rysunku, na którym Fig. 1a przedstawia schemat blokowy urządzenia według przykładu wykonania wynalazku, Fig. 1b przedstawia

schemat blokowy urządzenia według alternatywnego przykładu wykonania wynalazku, Fig. 2 przedstawia sieć działań w przykładzie wykonania sposobu według wynalazku, Fig. 3 przedstawia tabelę z wartościami temperatur pracy i temperatur progowych elementów w przykładzie wykonania systemu według wynalazku, natomiast Fig. 4 przedstawia tabelę w której zestawiono maksymalne teoretyczne rozdzielczości przestrzenne możliwe do uzyskania dla wybranych korzystnych par wartości czasu przestrajania i zakresu przestrajania źródła.

Urządzenie, według przykładu wykonania wynalazku, którego schemat blokowy ukazano na Fig. 1a jest wyposażone w przestrajane źródło światła 111 sterowane z układu sterującego 100. Długość fali światła generowanego przez źródło światła 111 podlega przestrajaniu. Najlepsze efekty z uwagi na łatwość implementacji sposobu wyznaczania zmian temperatury uzyskiwano ze zmianami liniowymi – piłokształtymi lub trójkątnymi. Możliwe są jednak rozwiązania z innymi okresowymi przebiegami. Źródło jest połączone z interferometrem 112, w którym podlega podziałowi. Propagację światła zaznaczono na Fig. 1 podwójną linią ze strzałkami w uproszeniu pokazującymi kierunek propagacji.

Część światła stanowiąca wiązkę odniesienia jest kierowana do detektora 113 wprost bądź przez ramię odniesienia (niepokazane na rysunku), zaś druga część do światłowodu pomiarowego 120 stanowi wiązkę pomiarową. Wiązka pomiarowa, skierowana do światłowodu pomiarowego podlega wzdłuż jego długości rozproszeniu Rayleigha. Skutkiem rozproszenia, światło to jest zawracane do interferometru 112, który kieruje je do detektora 113. W detektorze 113 obserwuje się interferencję wiązki odniesienia z rozproszonym w różnych punktach światłowodu pomiarowego światłem pochodzącym z wiązki pomiarowej.

Zmiana temperatury w punktach rozpraszania światła powoduje zmiany w detekowanym w detektorze 113 sygnale. Sygnał z detektora 113 jest doprowadzany do modułu przetwarzania 101, w którym na podstawie zmian w sygnale określa się zmianę temperatury  $\Delta T$  w punkcie pomiarowym.

Moduł przetwarzania sygnałów 101 jest połączony z układem sterującym 100. Układ sterujący 100 jest połączony z przestrajającym źródłem światła 111. Dzięki temu możliwe jest synchronizowanie przetwarzania z przestrajaniem źródła i oznaczenie położenia punktów pomiarowych wzdłuż długości światłowodu pomiarowego 120. Połączenia sygnałowe zaznaczono na Fig. 1 linią pojedynczą.

Każdy punkt w światłowodzie pomiarowym 120 można traktować jako źródło światła skierowanego wstecz. Częstotliwość zdudnienia sygnału pochodzącego od takiego źródła z sygnałem referencyjnym jest proporcjonalna do odległości w światłowodzie. Na tej podstawie ustala się położenie punktu danego pomiarowego względem początku światłowodu. Pomiar temperatury polega na analizie odwrotnej transformaty Fouriera z określonego odcinka światłowodu. Pod wpływem temperatury zmienia się faza obserwowanego zdudnienia i to jednoznacznie wskazuje na zmianę temperatury. Tym samym pojęcie punktu pomiarowego ma znaczenie wycinka światłowodu o długości równej rozdzielczości przestrzennej gdzie zmiana temperatury jest odczytywana jako średnią zmianę temperatury w długości analizowanego odcinka. Długość tego odcinka zależy od rozdzielczości pomiaru. Od rozdzielczości zależy również możliwość rozróżniania elementów. W razie konieczności możliwe jest sztuczne wydłużenie odcinków światłowodu między punktami pomiarowymi tj. poprowadzenie dłuższych odcinków niż jest to konieczne, jak również przeprowadzenie wielokrotnie przy tym samym elemencie.

Działanie układu poprawia zastosowanie ograniczającego odbicie wsteczne 121, w szczególności elementu tłumiącego zmniejszającego poziom mocy sygnału powracającego na końcu światłowodu pomiarowego. Taki element zapobiega odbiciu silnego sygnału od końca światłowodu i przekłada się na poprawę dokładności pomiaru. Korzystnie jest zapewniać tłumienie odbicia na poziomie 6 dB lub większym. Tę funkcję może spełnić na przykład złącze kątowe APC lub zakończenie światłowodu ukośnym cięciem pokrytym substancją o współczynniku załamania zbliżonym współczynniku załamania do szkła lub zastosowanie tłumika albo izolatora optycznego. Znaczne polepszenie dokładności pomiaru uzyskiwano przy zastosowaniu układów tłumiących odbicie o 20 dB lub więcej. Urządzenia zapewniające tłumienie na poziomie 60 dB upraszały znacznie realizację sposobu według wynalazku.

Droga koherencji źródła światła 111 powinna być większa od dwukrotności długości światłowodu pomiarowego 120. Długości drogi koherencji mające zastosowanie w monitorowaniu komór silnika, czy komór akumulatorów pojazdów mieszczą się z reguły w zakresie od 1 m do 1 km. Oznacza to, że źródło światła 111 powinno mieć pasmo maksymalnie 70 MHz, lepiej mniej niż 1 MHz. Najlepsze efekty uzyskano dla źródeł o paśmie węższym od 100 kHz.

Przestrajane źródło światła 111 w niniejszym przykładzie wykonania ma moc 0 dBm ale uzyskiwano dobre efekty ze źródłami o mocy w zakresie od -5 dBm do 24 dBm.

Sposób według wynalazku łatwo zaimplementować gdy źródło jest przestrajane liniowo od dobrze znanej początkowej długości fali korzystnie z dokładnością 5 pm lub lepszą do znanej długości fali. Zakres przestrajania powinien przekraczać 50 pm. Dokładność ustawienia początkowego punktu przestrajania ma wpływ na niepewność pomiaru. Błąd na poziomie 1 pm przekłada się na około 0,8 stopnia błędnego odczytu. W niniejszym przykładzie źródło światła 111 jest przystosowane do przestrajania długości fali w sposób ciągły z zakresem przynajmniej 1 nm.

W zastosowaniach wymagających tylko kilku punktów pomiarowych lub monitorowanie większych urządzeń można niekiedy wykorzystać źródła światła o znacznie węższym paśmie, nawet do 3 pm. Wartości maksymalnej teoretycznej rozdzielczości przestrzennej dla typowych par czasu przestrajania i zakresu długości przestrajania zestawiono w tabeli ukazanej na Fig. 4. Trzeba przy tym zaznaczyć, że wartości, które faktycznie można osiągnąć w realnych warunkach pracy niekiedy bardzo znacząco – nawet więcej niż o rząd wielkości – odbiegają od teoretycznych. Wówczas jest zasadne nadmiarowe projektowanie systemu.

Światłowód pomiarowy 120 powinien być przystosowany do adresowania jednej grupy modowej. Najlepiej by był to światłowód jednomodowy na długości fali pracy, najlepiej o wysokiej aperturze numerycznej tj. większej lub równej 0,12. Taka apertura zapewnia dostateczny poziom sygnału wstecznego i dopuszczalny poziom strat zgięciowych. Dobre efekty uzyskiwano dla światłowodów jednomodowych spełniających wymogi rekomendacji ITU-T G.652.

Pokrycie światłowodu powinno być przystosowane do długotrwałej pracy w temperaturze 85°C. Może to być na przykład pokrycie wykonane z poliamidu, aluminium, miedzi, ormoceru lub złota. W niektórych zastosowaniach konieczne jest ograniczenie się do bardziej wytrzymałych pokryć zapewniających odporność na temperatury przynajmniej do 200°C. Przykładowo, pokrycie zawierające miedź zapewnia odporność na temperatury w zakresie do 400°C, a pokrycie zawierające złoto w temperaturze w zakresie do 600°C.

Detektor 113 w niniejszym przykładzie ma równoważną moc szumów równą  $8 \text{ pW} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$  oraz pasmo 3 dB od 0 do 80 kHz. Układ przetwarzania sygnałów 101 jest połączony z detektorem 113 za pośrednictwem przetwornika analogowo-cyfrowego o rozdzielczości przynajmniej 8 bitów i częstotści próbkowania przynajmniej 0,5 MHz. Z przeprowadzonych eksperymentów wynika, że takie lub lepsze parametry detektora i przetwornika umożliwiają dostatecznie szybko i dostatecznie dokładnie mierzyć sygnał by móc uzyskać informacje o temperaturze na podstawie jego zmian za pomocą względnie prostych i łatwych w implementacji algorytmów. Zastosowanie detektora o niższej równoważnej mocy szumów i/lub szerszym paśmie oraz przetwornika o wyższej rozdzielczości i/lub szybszej częstotści próbkowania wpłynie na poprawę parametrów urządzenia i systemu według wynalazku.

Alternatywny przykład wykonania ukazano na Fig. 1b. Alternatywą lub uzupełnieniem dla zastosowania światłowodu jednomodowego jest wprowadzenie do toru pomiarowego pomiędzy źródłem światła 111 filtru jednomodowego 114. Będzie on działał najlepiej umieszczony przy detektorze 113.

Kolejnym dopuszczalnym rozwiązaniem alternatywnym jest selektywne zwiększenie strat modów wyższych rzędów przed światłowodem wielomodowym lub poprzez zastosowanie specjalnego pobudzenia światłowodu wielomodowego tak, aby efektywnie propagował się 1 mod.

Dodatkowo można zastosować pomiędzy interferometrem a światłowodem pomiarowym układ pobudzania jednomodowego 115.

Wyposażenie urządzenia w polaryzator 116 pomiędzy źródłem światła 111 a detektorem 113 stanowi alternatywę dla stosowania spolaryzowanego źródła światła. Gdy w takim układzie stosuje się dzielnik polaryzacji i detektor z detekcją ortogonalnych polaryzacji umożliwiającą uzyskanie sygnału poprzez sumowanie sygnału z dwóch ortogonalnych polaryzacji, możliwa jest praca w układzie niepodtrzymującym polaryzacji samoistnie.

W alternatywnym przykładzie wykonania możliwe jest zastosowanie światłowodów podtrzymujących polaryzację, co umożliwi wyeliminowanie z układu elementów polaryzacyjnych (polaryzatora czy dzielnika polaryzacji). Światłowody podtrzymujące polaryzację, które mogą być zastosowane to np. światłowody typu panda, bow-tie czy też światłowody z eliptycznym rdzeniem znane ze stanu techniki np. z publikacji pt. „Polarization-maintaining fibers and their applications”, Noda J., et al., 1986, Journal of Lightwave Technology, vol. 4, issue 8.

Zastosowanie dodatkowego sensora 130 temperatury otoczenia połączonego z układem sterującym 100 ułatwia ustalenie temperatury początkowej  $T_0$  względem której aktualizuje się temperaturę bieżącą wyznaczając kolejne zmiany  $\Delta T$ . Alternatywnie lub komplementarnie można zastosować układ

pozwalający na wprowadzenie wartości temperatury od użytkownika lub odbiornika sygnału z zewnętrznego czujnika temperatury niezależnego od urządzenia.

Sposób monitorowania temperatury według wynalazku można zastosować do wykrywania ryzyka pożaru poprzez monitoring temperatury w komorze silnika lub w komorze akumulatorów i ustalając jedną wartość progową dla wszystkich punktów pomiarowych. Wartość progową wybiera się wówczas w zakresie od 130°C do 220°, w niniejszym przykładzie 175°C. Taki wybór zakresu oraz wartości wymaga zastosowania bardziej odpornego pokrycia światłowodu pomiarowego – w niniejszym przykładzie zastosowano pokrycie zawierające miedź. Gdy wartość ta zostanie przekroczona generuje się sygnał alarmowy. Zastosowanie urządzenia według wynalazku umożliwia wskazanie wraz z sygnałem alarmowym punktu pomiarowego, w którym odnotowano przekroczenie progowej wartości temperatury. Temperaturę monitoruje się za pomocą urządzenia według wynalazku, którego światłowód pomiarowy 120, który umieszcza się w komorze silnika lub komorze akumulatorów i rozmieszcza się w sąsiedztwie egzotermicznych elementów, a następnie kumulatywnie aktualizuje się zmiany w odpowiadających tym elementom punktach pomiarowych rozmieszczonych na światłowodzie pomiarowym 120. Taki sposób analizy wymaga ustalenia temperatury początkowej. W urządzeniu według wynalazku wprowadza się temperaturę początkową panującą w komorze silnika lub odczytuje się ją z sensora temperatury otoczenia 130, względnie odbiera się sygnał, który ją reprezentuje. Ustalenie temperatury początkowej  $T_0(d)$  w przynajmniej jednym punkcie na długości światłowodu zalicza się do etapu inicjalizacji 200 w sieci działań ukazanej na Fig. 2. Następnie w etapie przemiatania 202 okresowo przestrajają się źródło światła 111 zmieniając jego długość piłokształtnym przebiegiem. Może to być również symetryczny przebieg z liniowymi zmianami długości fali lub inny przebieg znany ze stanu techniki. W kolejnych okresach przestrajania indeksowaną zmienną  $n$  iteracyjnie wyznacza 203 się zmiany  $\Delta T$  temperatury wzdłuż światłowodu  $\Delta T(d)$  pomiarowego 120, aktualizując 204 kumulatywnie wartości bieżące w przynajmniej jednym punkcie pomiarowym na jego długości podstawiając  $T(d,t=n) = T(d,t=n-1) + \Delta T$ , którą porównuje się 205 z progową wartością temperatury – w niniejszym przykładzie 175°C. Jeżeli temperatura  $T(d,t=n)$  przekracza wartość progową generuje się alarm 206. Dodatkową wartością jest możliwość podania punktu pomiarowego, w którym doszło do przekroczenia. Następnie przeprowadza się kolejne –  $n+1$  przemiatanie.

Zmianę temperatury w punkcie pomiarowym  $P$ , zlokalizowanym w odległości  $d$ , od początku światłowodu pomiarowego 120 określa się znaną ze stanu techniki metodą OFDR (ang. Optical Frequency Domain Reflectometry) za pomocą korelacji krzyżowej 2 sygnałów – sygnału przy temperaturze zmiennej – w bieżącej iteracji i referencyjnej – w poprzedniej iteracji. Sygnały te można wyznaczyć za pomocą odwrotnej zespolonej transformaty Fouriera sygnału pochodzącego z badanego odcinka światłowodu. Brany jest pod uwagę tylko wycinek częstotliwości zdudnień obecnych na detektorze odpowiadających rozdzielczości przestrzennej. Przesunięcie korelacji krzyżowej dwóch pomiarów odpowiada przesunięciu długości fali która odtwarza sygnał referencyjny. Różne techniki w tym zakresie przedstawiono w pracy magisterskiej Jia Song, pt. „Optical Frequency Domain Reflectometry: sensing range extension and enhanced temperature sensitivity”, Ottawa – Carleton Institute for Physics University of Ottawa, Canada 2014. Znamca z tej dziedziny jest jednak w stanie rutynowo zaproponować inne nadające się do wykorzystania metody wyznaczania temperatury za pomocą światłowodu pomiarowego pobudzanego źródłem światła o przestrajanej okresowo długości fali.

Światłowód pomiarowy 120 w komorze silnika pojazdu dobrze jest ułożyć tak, że przebiega obok elementów podatnych na przegrzewanie w niektórych okolicznościach i mogących powodować pożary – takich jak, przykładowo: pompa paliwowa, kolektor paliwowy, alternator, rozrusznik, elektronika silnika, turbosprężarka, miska olejowa. Punkty pomiarowe na światłowodzie pomiarowym 120 dobiera się tak by znajdowały się w bezpośrednim sąsiedztwie tych elementów. Normalne temperatury pracy ww. elementów zestawiono w tabeli ukazanej na Fig. 3. Ponieważ temperatury te różnią się znacząco poprawę swoistości wykrywania pożarów w systemie według wynalazku, sposobem według wynalazku, za pomocą urządzenia według wynalazku można uzyskać stosując różne wartości progowe w różnych punktach pomiarowych  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$  światłowodu pomiarowego 120, zlokalizowanych w różnych odległościach od jego początku. Z uwagi na znaczny rozrzut normalnych wartości pracy zasadne jest zastosowanie różnych wartości temperatury progowej w różnych punktach pomiarowych. Wartości zastosowane w niniejszym przykładzie zestawiono również w tabeli ukazanej na Fig. 3. Zastosowano kryterium przekroczenia normalnej temperatury pracy o 30° C lub więcej. Można zaproponować również inne bardziej złożone kryteria adekwatne do wymagań odnośnie swoistości i czułości systemu

w zakresie wykrywania sytuacji grożących pożarem. W szczególności dla zwiększenia swoistości zasadne może być zwiększanie wartości progowej wraz ze wzrostem temperatury otoczenia. Wybór pokrycia światłowodu pomiarowego zależy od tego, które podzespoły pojazdu mają być monitorowane. Przykładowo do monitorowania kolektora paliwowego zwykle wystarczy jeżeli światłowód pomiarowy będzie odporny na temperatury powyżej 70° monitorowanie turbosprężarki wymaga odporności na temperatury przynajmniej do 140°C a w niektórych modelach nawet wyższe.

Grupę elementów z której wybiera się elementy objęte analizą temperatury pomiarowi dobiera się indywidualnie dla pojazdu. Względem wymienionych powyżej można ją rozszerzyć o kolektor wydechowy, sprężarkę powietrza, pompę oleju, agregat grzewczy, sprężarkę klimatyzacji, wiązkę przewodów elektrycznych, a w przypadku pojazdów elektrycznych i hybrydowych: akumulator, ogniwo paliwowe i przetwornicę.

Korzystnie światłowód pomiarowy zaopatrzone jest w podziałkę ze wskazaniem odległości od początku światłowodu pomiarowego lub przynajmniej jednego punktu pomiarowego – takie rozwiązanie ułatwia układanie światłowodu pomiarowego w pojeździe i przyporządkowanie punktów pomiarowych do elementów pojazdu.

Zastosowanie systemu według wynalazku pozwala wykrywać ryzyko pożaru ale również inne niekorzystne zjawiska skorelowane ze wzrostem temperatury w takich sytuacjach należy stosować wartości progowe właściwe dla danego zjawiska. Przykładowo rozszczelnienie układu wydechowego np. w obszarze kolektora wydechowego lub turbo-sprężarki wiąże się z wydobywaniem się gorących spalin na zewnątrz co samo w sobie stanowi usterkę wymagającą interwencji. W niektórych wypadkach gorące spaliny mogą też doprowadzić do zapłonu elementów będących w pobliżu. Zapchanie układu powietrza może doprowadzić do wzrostu ciśnienia w kompresorze powietrza i tym samym wzrostu temperatury również może spowodować zapłon. Zablokowanie koła pasowego może doprowadzić do tarcia pasków klinowych o koło pasowe i tym samym spowodowanie zapłonu tych pasków.

W zależności od sposobu poprowadzenia światłowodu pomiarowego pojedynczemu elementowi może być przyporządkowany jeden lub więcej punktów pomiarowych. Prowadząc światłowód pomiarowy wielokrotnie przy danym elemencie np. przez zawijanie można zwielokrotnić liczbę punktów pomiarowych i zastosować dodatkowe kryteria dotyczące rozkładu temperatury w tych punktach.

Urządzenie sposób i system można również zastosować do wykrywania awarii skorelowanych z obniżoną temperaturą urządzeń, względem zakresu normalnej temperatury pracy. Wówczas temperaturę progową ustala się w sąsiedztwie dolnego zakresu normalnych temperatur pracy i wykrywa się sytuację, w której temperatura urządzenia jest niższa niż temperatura progowa. Możliwe są również rozwiązania hybrydowe, w których ustala się dwie temperatury progowe i wykrywa zarówno temperatury pracy wyższe od pierwszej temperatury progowej jak i niższe od drugiej temperatury progowej, obie sytuacje oznaczając stosownymi alarmami.

Znawca zapoznawszy się z powyższym opisem jest w stanie rutynowo zaproponować liczne alternatywne rozwiązania w zakresie prowadzenia światłowodu pomiarowego, rozkładu punktów pomiarowych, ustalania temperatur progowych, czy też ustalania złożonych warunków generacji alarmów związanych z rozkładem temperatur punktach pomiarowych i ich relacji względem temperatur progowych.

Znawca zapoznawszy się z wymaganiami i parametrami wskazanymi w niniejszym opisie jest w stanie również rutynowo zaproponować liczne rozwiązania konstrukcyjne podzespołów urządzenia według wynalazku – w szczególności różne rodzaje światłowodów i ich pokryć, jak również adekwatne detektory, źródła światła czy układy sterujące. Układ sterujący można wykonać w technice analogowej, jako układ w pełni cyfrowy lub jako układ cyfrowy z analogowymi układami peryferyjnymi do generowania przebiegu sterującego. W szczególności możliwe jest w wykorzystanie w tym zakresie procesorów sygnałowych i FPGA.

Sposób według wynalazku może być realizowany z udziałem operatora lub w sposób zautomatyzowany.

Te i inne warianty realizacji wynalazku mieszczą się w zakresie ochrony zdefiniowanym w załączonych zastrzeżeniach patentowych.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do monitorowania temperatury zawierające układ sterujący (100) przystosowany do generowania zasadniczo okresowego przebiegu sterującego podawanego na wejście sterujące źródła światła (111) o przestrajanej długości fali połączonego z interferometrem światłowodowym (112), który w jednym ze swoich ramiom ma dołączony światłowód pomiarowy (120), przy czym do wyjścia z interferometru (112) jest podłączony detektor (113), którego wyjście jest połączone z modułem przetwarzania sygnałów (101), przystosowanym do identyfikacji zmian temperatury w funkcji długości światłowodu **znamiennie tym**, że droga koherencji źródła światła (111) jest większa niż 0,5 m, a okres okresowego przebiegu jest mniejszy lub równy 20 s, różnica pomiędzy maksymalną a minimalną długością fali jest większa niż 3 pm, zaś światłowód pomiarowy 120 jest przystosowany do umieszczania w sąsiedztwie urządzeń egzoenergetycznych w pojeździe, w trakcie jego pracy.
2. Urządzenie według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że światłowód pomiarowy (120) stanowi światłowód jednomodowy.
3. Urządzenie według dowolnego z zastrz. 1 albo 2, **znamiennie tym**, że połączenie pomiędzy interferometrem a światłowodem pomiarowym (120) przebiega przez układ pobudzania jednomodowego (115).
4. Urządzenie według zastrz. 1 albo 2 albo 3, **znamiennie tym**, że pomiędzy źródłem światła (111) a detektorem (113) znajduje się przynajmniej jeden filtr jednomodowy (114).
5. Urządzenie według dowolnego z zastrz. od 1 do 4, **znamiennie tym**, że pomiędzy źródłem światła (111) a detektorem (113) znajduje się przynajmniej jeden polaryzator (116) lub dzielnik polaryzacji.
6. Urządzenie według dowolnego z zastrz. od 1 do 4, **znamiennie tym**, że światłowód pomiarowy (120) stanowi światłowód podtrzymujący polaryzację.
7. Urządzenie według dowolnego z zastrz. od 1 do 6, **znamiennie tym**, że detektor charakteryzuje się równoważną mocą szumów równą  $60 \text{ pW} \cdot \text{Hz} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$  lub mniejszą.
8. Urządzenie według dowolnego z zastrz. od 1 do 7, **znamiennie tym**, że moduł przetwarzania sygnałów (101) jest połączony z detektorem (113) za pośrednictwem przetwornika analogowo-cyfrowego o rozdzielczości przynajmniej 6 bitów i częstotści próbkowania przynajmniej 20 kHz.
9. Urządzenie według zastrz. 8, **znamiennie tym**, że zawiera sensor temperatury otoczenia (130) połączony z układem sterującym (100).
10. Urządzenie według dowolnego z zastrz. od 1 do 9, **znamiennie tym**, że światłowód pomiarowy (120) jest zakończony elementem ograniczającym odbicie wsteczne (121).
11. Sposób monitorowania temperatury w pojeździe za pomocą czujnika temperatury obejmujący wykrywanie (205) temperatury przekraczającej określoną wartość temperatury progowej i generowanie sygnału alarmowego (206) gdy wartość ta zostanie przekroczona, **znamiennie tym**, że temperaturę przekraczającą temperaturę progową wykrywa się za pomocą czujnika jak określono w dowolnym z zastrz. od 1 do 10, przy czym, światłowód pomiarowy (120) umieszcza się w sąsiedztwie elementów egzoenergetycznych w pojeździe, ustala się temperaturę początkową (201), a następnie w kolejnych etapach przemiatania (202), którym odpowiadają okresy przestrajania źródła światła (111), iteracyjnie wyznacza się zmiany temperatury (203) wzdłuż światłowodu pomiarowego (120), aktualizując kumulatywnie (204) wartość bieżącą temperatury w przynajmniej jednym punkcie pomiarowym na długości światłowodu pomiarowego, przy czym wartość tę porównuje się z temperaturą progową.
12. Sposób według zastrz. 11, **znamiennie tym**, że światłowód pomiarowy (120) układa się w pojeździe tak, że światłowód pomiarowy (120) przebiega w sąsiedztwie przynajmniej jednego elementu wybranego z grupy obejmującej pompę paliwową, kolektor paliwowy, turbosprężarkę, kolektor wydechowy, alternator, rozrusznik, sprężarkę powietrza, pompę oleju, miskę olejową, agregat grzewczy, sprężarkę klimatyzacji, układ sterowania elektronicznego, wiązkę przewodów elektrycznych, akumulator, baterię oraz ogniwo paliwowe, przy czym przynajmniej jeden punkt pomiarowy, jest zlokalizowany przy tym przynajmniej jednym elemencie.
13. Sposób według zastrz. 11 albo 12, **znamiennie tym** że temperaturę początkową ustala się (201) przez automatyczny odczyt z sensora temperatury otoczenia (130).

14. Sposób według zastrz. 11 albo 12, **znamienny tym**, że temperaturę początkową wprowadza się do układu sterującego (100) za pomocą jego interfejsu.
15. Sposób według dowolnego z zastrz. od 11 do 14, **znamienny tym**, że generowany sygnał alarmowy wybiera się zależnie od tego w którym punkcie światłowodu pomiarowego (120) temperatura przekracza temperaturę progową.
16. System monitorowania temperatury podzespołów pojazdu zawierający światłowodowy układ do pomiaru temperatury umieszczony przy przynajmniej jednym podzespołe, **znamienny tym**, że światłowodowy układ do pomiaru temperatury stanowi układ jak określono w dowolnym z zastrz. od 1 do 10.
17. System według zastrz. 16, **znamienny tym**, że światłowód pomiarowy (120) przebiega w sąsiedztwie przynajmniej jednego elementu wybranego z grupy obejmującej pompę paliwową, kolektor paliwowy, turbo-sprężarkę, kolektor wydechowy, alternator, rozrusznik, sprężarkę powietrza, pompę oleju, miskę olejową, agregat grzewczy, sprężarkę klimatyzacji, układ sterowania elektronicznego, wiązkę przewodów elektrycznych, akumulator, baterię oraz ogniwo paliwowe.

## Rysunki

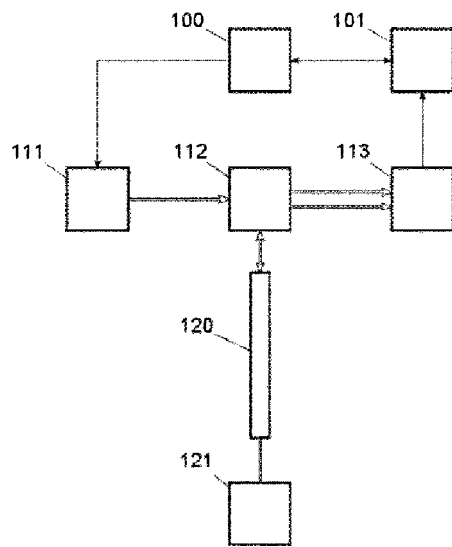


Fig. 1a

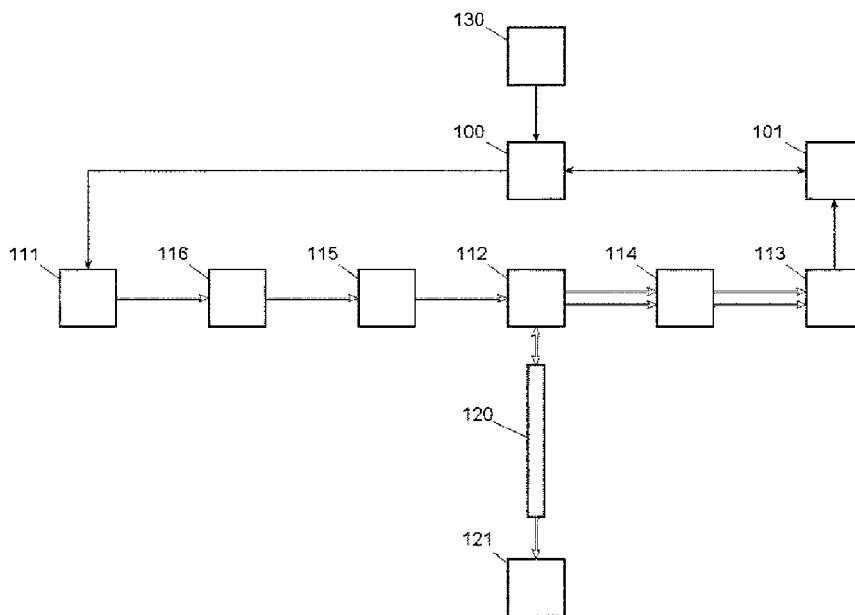


Fig. 1b

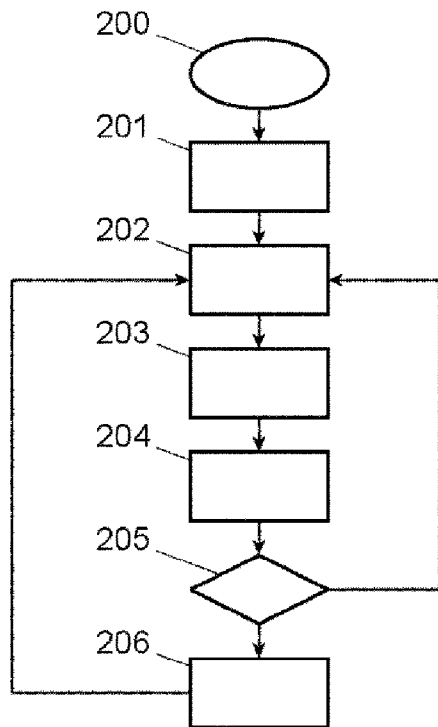


Fig. 2

Punkt pomiarowy	Element	Normalna temperatura pracy [° C]	Temperatura progowa [° C]
P1	Pompa paliwowa	80	110
P2	Kolektor paliwowy	74	104
P3	Alternator	85	115
P4	Rozrusznik	85	115
P5	Układ sterowania elektronicznego	60	90
P6	Turbosprężarka	140	170
P7	Miska olejowa	88	118

Fig. 3

Czas przestrajania [s]	Zakres przestrajania [pm]	Maksymalna teoretyczna rozdzielczość przestrzenna [cm]
20	3	54,85
8	8	20,57
4	17	9,68
1	50	3,29

Fig. 4