

Wiesław **CICHOCKI**
Andrzej **GARBACIK**
Marian **HOLOTA**
Tadeusz **MARTYNIAK**

BADANIA WOJSKOWYCH MASZYN INŻYNIERYJNYCH W KOMORZE TERMOKLIMATYCZNEJ W WARUNKACH OBNIŻONYCH TEMPERATUR

Streszczenie: W artykule zasygnalizowane zostały wybrane problemy z zakresu metodyki prowadzenia doświadczalnych badań atestacyjnych wojskowych maszyn inżynierskich w warunkach symulowanego klimatu zimnego. Wskazane zostały główne tendencje z zakresu doboru technik i środków pomiarowych oraz własne doświadczenia obejmujące problemy związane z budową systemu akwizycji i obróbki danych pomiarowych. Ponadto zaprezentowane zostały dane techniczne posiadanej bazy badawczej oraz własne uwagi metodyczne z tego zakresu.

1. WPROWADZENIE

Na ocenę konstrukcji wyrobów specjalnych (maszyn inżynierskich) przystosowanych do pracy w różnych warunkach klimatycznych jest w dużej mierze właściwa realizacja badań wstępnych według opracowanego programu i metodyki. Z uwagi na to, że w badaniach eksploatacyjnych i poligonowych (eksperyment bierny) brak jest możliwości parametrycznego wyodrębnienia czynników stanowiących narażenia (temperatura, wilgotność powietrza, prędkość wiatru itp.), jak również sterowania ich poziomem, badania mogą być mało efektywne. Z tych względów często stosowane są badania podzespołów w komorach termoklimatycznych. W tych badaniach warunki pracy symulowane są na wyspecjalizowanych stanowiskach pomiarowych, umożliwiających sterowanie i ustalanie związków korelacyjnych mierzonych wielkości oraz opracowanie wniosków.

Przeprowadzone wcześniej badania wytypowanych podzespołów przy jednoczesnych uzyskanych pozytywnych wyników pozwala na podjęcie ostatecznej decyzji na przebadanie całego wyrobu w komorze klimatycznej.

Przedstawiony powyżej standardowy cykl badawczy pozwala na obniżenie kosztów wykonania całego wyrobu i prawidłowe sterowanie ewentualnymi zmianami w konstrukcji.

2. STANOWISKO BADAWCZE – KOMORY TERMOKLIMATYCZNE

Badania atestacyjne, studialne silników ZS oraz zespołów napędowo-sterujących maszyn prowadzone są od ponad dwudziestu lat w Politechnice Krakowskiej w Instytucie Maszyn Roboczych w specjalnie zbudowanych do tego celu komorach termoklimatycznych. Podstawowe dane techniczno-eksploatacyjne wymienionych komór termoklimatycznych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

Charakterystyka techniczno-eksploatacyjna komór termoklimatycznych

Wielkość charakterystyczna	typ komory		
	Wielkogabarytowa obniżonych temp.	Wielkogabarytowa tropikalna	Małogabarytowa ujemnych temp.
Zakres stabilizowanych temperatur granicznych	-38 ⁰ C (-40 ⁰ C)	+50 ⁰ C	-70 ⁰ C (-80 ⁰ C) +70 ⁰ C
Dokładność stabilizacji temperatury na wybranym poziomie - dla całej objętości komory - lokalnie w wybranym punkcie	± 3 deg ± 1 deg	± 2 deg ± 1 deg	± 0,5 deg -----
Wymiary wnętrza - długość - szerokość - wysokość	24 m 6 m 7 m	16 m 3,6 m 6 m	1 m 1 m 1 m
Zakres wilgotności	Sterowanie automatyczne	55% ÷ 100%	55% ÷ 100%
Zakres zmiany prędkości ruchu powietrza (cyrkulacji w komorze) - Globalnie - lokalnie w wybranym punkcie	0 ÷ 3 m/s 0 ÷ 8 m/s	0 ÷ 2 m/s 0 ÷ 5 m/s	0 ÷ 4 m/s -----



Rys. 1. Przygotowanie komory ujemnych temperatur do wjazdu samojednego układacza min SUM KALINA

Przedmiotowe komory termoklimatyczne umożliwiają wykonywanie badań funkcjonalnych silnikowych zespołów napędowych, prób ruchowych maszyn oraz wyrobów specjalnych na podwoziu kołowym, gąsienicowym o maksymalnym nacisku do 70 kN na oś. W wielkogabarytowej komorze ujemnych temperatur prowadzone były badania wstępne

prototypowych egzemplarzy wyrobów specjalnych: transportera inżynieryjno-drogowego MID „BIZON-S”, oczyszczarki lotniskowej OLH-4500, samojezdnego układacza min w wersji SUM/MLG i SUM/KALINA, koparki do rowów strzeleckich KRS-1,5/0,6 oraz w lipcu bieżącego roku wieży pojazdu PWU-148. Przykładowo na rys. 1 oraz rys. 2 pokazano odpowiednie przygotowania komory do badań SUM KALINA i maszynę inżynieryjną BIZON-S.

3. ŚRODKI I TECHNIKI POMIAROWE

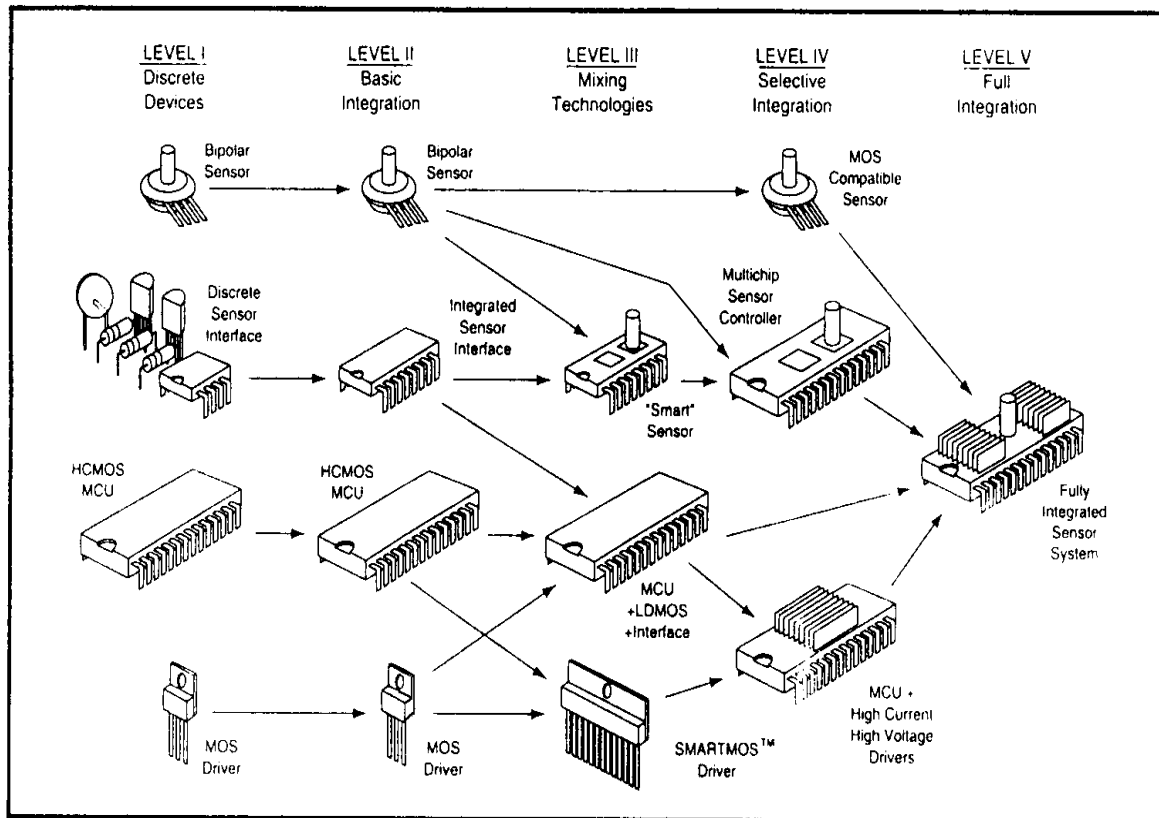
Podstawowa trudność w prowadzeniu badań w ujemnych temperaturach do -40°C związana jest z prawidłowym doбором aparatury kontrolno-pomiarowej, która w standardowym wykonaniu nie jest przystosowana do prowadzenia eksperymentu w szerokim zakresie zmian temperatury. W pomiarach zespołów napędowych maszyn zwykle temperatura traktowana jest jako czynnik zakłócający, (parametr mierzony) nie podlegający sterowaniu. Stąd staranny dobór aparatury pomiarowej, a w szczególności przetworników wielkości fizycznych (czujników) decyduje w znacznym stopniu o powodzeniu w prowadzeniu badań w tych warunkach [1], [2].



Rys. 2. Maszyna inżynieryjno-drogowa BIZON-S z zainstalowanymi czujnikami pomiarowymi.

Zauważyć należy, że tendencją w konstruowanych współcześnie przetwornikach wielkości fizycznych przystosowanych do pomiarów w ujemnych temperaturach jest podnoszenie niezawodności i obniżanie wrażliwości na zakłócenia temperaturowe poprzez integrację funkcji przetwornika i przedwzmacniacza. Jako przykład tych tendencji wymieni

można przetworniki do bezkontaktowych pomiarów temperatury, przemieszczeń i prędkości. Integrują one oprócz samego przetwornika także wzmacniacze, filtry, sterowniki, kontrolery, zasilacze i przetworniki A/C. Zintegrowana budowa przetworników pomiarowych z przedwzmacniaczami i przetwornikami A/C umożliwia praktycznie całkowitą eliminację wpływu linii pomiarowych na dokładność mierzonych wielkości (do komputerowego systemu akwizycji danych pomiarowych gdzie przesyłane są informacje przetworzone do postaci numerycznej). Analizując postęp związany z łączeniem funkcji czujnika (sensora) analogowego z układami cyfrowymi, firma Motorola przedstawiła ścieżkę integracji układów pomiarowych. Jest ona pokazana na rys. 3, gdzie przedstawiono różny poziom integracji (level I do V).



Rys. 3. Ścieżka integracji czujników i sterowników od analogowych do cyfrowych.

Na I poziomie współpraca czujnika z jednostką procesorową (o wysokiej skali integracji) odbywa się za pośrednictwem specjalnych układów dopasowujących. Układ pomiarowy w tej konfiguracji może sterować układem wykonawczym po zastosowaniu specjalnego sterownika (MOS driver). Na poziomie II podstawowa integracja dokonywana jest na poziomie układów dopasowania (interface), natomiast na wyższych poziomach wyjście czujnika ma dopasowanie cyfrowe do jednostki procesorowej, a przy w pełni zintegrowanych układach czujnik jest w swej istocie odrębnym zespołem pomiarowo-sterującym.

Specyfika badań w ujemnych temperaturach wymaga przede wszystkim automatyzacji procesu pomiarowego i dlatego oprócz zintegrowanych przetworników pomiarowych wykorzystuje się szeroką gamę uniwersalnych kart pomiarowych, które bazują na magistrali PC. Dzięki temu badania doświadczalne oraz obróbka wyników może odbywać się na tej samej jednostce obliczeniowej, (komputerze), co ma swoje głębokie implikacje praktyczne. W grupie kart pomiarowych o wysokich parametrach (rozdzielczość, szybkość, pamięć),

warto wskazać przykładowo na mikroprocesorową kartę pomiarowo-sterującą MODEL 310 (firmy Delanco Spry). Karty tego typu spełniają wymagania stawiane dotąd specjalizowanym wielokanałowym analizatorom danych doświadczalnych. Przewyższają je jednak często elastycznością tworzenia własnych nowych aplikacji z wykorzystaniem architektury i oprogramowania karty (umożliwiając np. współbieżne przetwarzanie - w działaniu wieloprocessorowym). Omawiając karty bazujące na magistralach PC należy także wspomnieć o wygodnych w zastosowaniach do badań maszyn i pojazdów, wielokanałowych kartach typu Direct Connect. Prócz przetwornika analogowo-cyfrowego, zawierają one przedwzmacniacze, mostki pomiarowe, filtry, zegary i często moduły optoizolacyjne. Praktyczne wykorzystanie takich kart polega na przyłączeniu do wejść karty czujników - na przykład w postaci termoelementów, przetworników ciśnienia, akcelerometrów, liczników, itp., przy wykorzystaniu własnego lub dostarczanego przez producenta oprogramowania. Przykładowo, producentem kart tego typu są amerykańskie firmy ADAC, National Instruments oraz niemiecka firma AHLBORN. Oferują one także karty i urządzenia do wielkoskalowej akwizycji i opracowania danych, w innych niż PC standardach szyn, mianowicie VME i Qbus.

Analiza kierunków rozwoju technik pomiarowych pod kątem zastosowania ich w zakresie sterowania eksperymentem złożonych układów wykazuje, że o ile w przypadku sprzętu pomiarowego wyraźnie widoczne są tendencje do integracji, o tyle w zakresie oprogramowania urządzeń pomiarowych, w przypadku używania kart pomiarowych do PC lub komputerów przemysłowych pojawia się oczekiwana tendencja do wprowadzania „softwerowej” kompatybilności ze znanymi i powszechnie używanymi programami typu: LABTECH NOTEBOOK, LABTECH CONTROL, GENESIS, LaVIEW czy LabWindows. W możliwościach tych programów leży nie tylko obsługa gromadzenia danych (DAQ) lecz także współpraca z modułami programowo realizującymi cyfrowe przetwarzanie danych (DSP).

Przykładowa specyfikacja elementów toru pomiarowego temperatury, gęstości strumienia ciepła oraz prędkości ruchu powietrza:

- czujniki temperatury: termoelementy foliowe NiCr-Ni typu T686-2 z liniami pomiarowymi długości około 10 mb, dokładność pomiaru rzędu $0,1^{\circ}\text{C}$ przy zachowanym zakresie pomiarowym od -200°C do $+320^{\circ}\text{C}$; osiągnięta zdolność rozdzielcza torów pomiarowych temperatury $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ przy dokładności pomiarowej rzędu 0,1%.
- czujniki gęstości strumienia ciepła: typu 111, 112 (działanie oparte na metodzie znanego oporu cieplnego: ścianka badana-ścianka pomocnicza) o zakresach pomiarowych od 50 $[\text{W}/\text{m}^2]$ do 100 $[\text{W}/\text{m}^2]$ oraz 15 $[\text{W}/\text{m}^2]$ do 30 $[\text{W}/\text{m}^2]$ przy czułości progowej wynoszącej odpowiednio 1 $[\text{W}/\text{m}^2]$ oraz 0,2 $[\text{W}/\text{m}^2]$;
- czujniki prędkości ruchu powietrza: sondy sferyczne ANT-93 -termoanemometry stałotemperaturowe z automatyczną kompensacją zmian temperatury otoczenia, które umożliwiają pomiar chwilowej wartości prędkości ruchu powietrza oraz intensywności jego fluktuacji.

Zbieranie danych doświadczalnych.

Charakter badanych zjawisk (monitorowanych w czasie stanowiskowych badań podzespołów i wyrobów specjalnych) należy do szerokiej klasy zagadnień, wymagających pomiaru i rejestracji wartości wielkości fizycznych z prędkością kilkudziesięciu pomiarów na sekundę. Ponadto bezpośredni wgląd prowadzącego **badania na tworzony wykres pozwala na jego obserwację** i zarazem bieżącą analizę danych. Pragnąc na przykład otrzymać wykres przebiegu zmian ciśnienia oleju w czasie rozruchu silnika, czujnik ciśnienia musi być

podłączony do odpowiednio szybkiego układu pobierania i konwersji danych. Konwersja danych na postać cyfrową dokonywana była w układach przetworników analogowo-cyfrowych - tutaj za pomocą karty 5508LC firmy ADAC. Karta ta posiada źródłowe oprogramowanie w językach wyższego poziomu (np. FORTRAN, PASCAL, QUICKBASIC, C++), wykorzystujące procedury konfiguracyjne i sterujące napisane w języku C. Standardowe oprogramowanie (jako uniwersalne dla całego typoszeregu kart) wymaga przed uruchomieniem wcześniejszego wczytania rezydentnego programu sterującego z wieloma opcjami, co wiąże się ze spowolnieniem działania karty. W celu uproszczenia programowej obsługi karty i jej przyspieszenia napisano pomocniczy program odnoszący się tylko do jednego typu karty. Program ten przyjmuje tryb pracy bez przerw, pomija skanowanie kanałów i wybiera tryb kodowania binarny dla bipolarnych napięć wejściowych. Po interaktywnym zapytaniu o liczbę kanałów aktualnie przetwarzanych, ustawiany jest wskaźnik numeru ostatniego kanału oraz otwierana jest pętla, w której wybierany jest kolejny numer kanału. Następnie uruchamiane jest przetwarzanie analogowo-cyfrowe, sprawdzana faza przetwarzania oraz odczytywanie i przeliczanie wartości sygnału. Celem opracowanego programu sterującego jest wyłączenie bezpośredniego zapisu wyników na zbiór sekwencyjny poza pętlę główną programu. Zwiększa to możliwość rejestracji wyższych częstotliwości badanych przebiegów, ponieważ w takim trybie pracy programu wyniki przetwarzania są najpierw wpisywane do tablicy, a następnie poza pętlę główną przepisywane do zbioru sekwencyjnego. Operacje zapisu wykonywane na RAM-dysku i przy wyłączonym wyświetlaniu pośrednich wyników na ekranie zwiększają zakres rejestrowanych częstotliwości. Tak uzyskane dane podlegały dalszej obróbce cyfrowej, między innymi filtracji i analizie FFT.

Zgodnie z przyjętym programem i metodyką badań wstępnych, których rejestracja i akwizycja dokonywana była w formie tabelarycznych wartości dyskretnych w funkcji czasu, prowadzone były również badania symulacyjne. Badania realizowano w oparciu o język symulacyjny ACSL. Wyniki tych badań dzięki takiej formie zapisu mogą łatwo być wykorzystane do dalszych analiz statystycznych przy wykorzystaniu standardowych pakietów (STATGRAPHIS 5.2 PLUS oraz SYSTAT).

4. WYNIKI BADAŃ ROZRUCHU SILNIKA W46-6 TRANSPORTERA MID BIZON-S (POZNAWCZE)

Przy ujemnych temperaturach otoczenia rozruch silników z zapłonem samoczynnym (ZS) jest utrudniony wskutek zmiany warunków termodynamicznych procesów zachodzących w komorze spalania i lepkości paliwa. Trudności rozruchu silników ZS mają swoje źródło w niekorzystnych warunkach tworzenia się mieszaniny paliwowo-powietrznej często zbyt niskiej prędkości obrotowej wału korbowego oraz niedostatecznej temperaturze w fazie końcowej sprężania. Mając na uwadze ograniczone możliwości polepszania własności rozruchowych silników ZS w ujemnych temperaturach na drodze zmiany ich parametrów konstrukcyjnych, cel ten osiąga się innymi sposobami, które można zgrupować w pięciu zasadniczych kierunkach działania. Ich skuteczność zależy z jednej strony od warunków przyszłej eksploatacji, a z drugiej strony od cech danego typu lub odmiany silnika i obejmują:

- dobór parametrów regulacyjnych silnika, takich jak zwiększenie dawki paliwowej oraz zmianę kąta wyprzedzenia wtrysku;
- dobór materiałów eksploatacyjnych silnika takich jak olej napędowy i olej silnikowy, ciecze chłodzące, smary (o lepszych parametrach pracy);
- stosowanie środków wpływających w okresie rozruchu oraz wstępnej pracy silnika na obniżenie lepkości dobranych olejów silnikowych;

- stosowanie środków i urządzeń obniżających efektywną temperaturę samozapłonu paliwa;
- stosowanie optymalnych układów i systemów pozwalających na podgrzanie wybranych stref silnika, które decydują o jego skutecznym rozruchu (zmodyfikowany system grzewczo-rozruchowy).

W ramach wymienionych kierunków działania, najskuteczniejszym z nich, w temperaturach poniżej -20°C , jest dostarczenie przed rozruchem silnika dodatkowej energii cieplnej. Realizowane jest to przy zastosowaniu odpowiednio zaprojektowanych systemów strefowego bądź kompleksowego podgrzewania silnika. Główną zaletą tego kierunku działania jest możliwość uzyskania rozruchu i normalnej pracy silnika nawet w najniższych spotykanych w klimacie zimnym temperaturach (tj. do -60°C), przy równoczesnym znacznym wyeliminowaniu wpływu dodatkowego zużycia rozruchowego elementów składowych silnika.

Ten właśnie sposób zastosowano w konstrukcji zespołu napędowego maszyny inżynierjno-drogowej MID"BIZON"S, celem ułatwienia rozruchu silnika W46-6 w warunkach ujemnych temperatur pracy do -40°C za pomocą podgrzewania silnika.

Badaniami objęto ocenę funkcjonowania układów podgrzewania, smarowania oraz rozruchu silnika W46-6, który prowadzono przy wykorzystaniu układu rozrusznika elektrycznego, układu rozrusznika pneumatycznego oraz systemem kombinowanym. Szczegółowy opis zastosowanej metodyki pomiarowej oraz użytej aparatury kontrolno-pomiarowej w warunkach badań komorowych podano w [4]. Materiałami eksploatacyjnymi były: w układzie podgrzewania i chłodzenia silnika - ciecz "Antyfriz-40", w układzie smarowania silnika - olej silnikowy SUPEROL CB SAE 50, w układzie zasilania podgrzewacza i silnika - olej napędowy IZ40, w układzie przeniesienia mocy - olej TSZp-8.

Schemat układu grzewczego silnika oraz jego podzespołów wraz z zaznaczeniem wybranych punktów pomiaru temperatury (łącznie ilość zainstalowanych czujników temperatury wynosiła 24 pkt) przedstawiono na rys. 3. Objasnienie przyjętych na rys. 3 oznaczeń: 1-zawór powietrzno-parowy, 2-gardziel wlewowa zbiornika kompensacyjnego, 3-świeca żarowa ogrzewacza, 4-komora spalania ogrzewacza, 5-wtryskiwacz paliwa ogrzewacza, 6-zawór paliwowy ogrzewacza, 7-filtr, 8-zawór przelewowy, 9-pompa paliwowa ogrzewacza, 10-dmuchała, 11-pompa wodna ogrzewacza, 12-ogrzewacz, 13-kocioł ogrzewacza, 14-wylot spalin z ogrzewacza, 15-wymiennik ciepła pompy olejowej HPSG, 16-podstawowy wskaźnik temperatury cieczy chłodzącej, 17-wskaźnik temperatury cieczy na wylocie z silnika, 18-wymiennik ciepła w zbiorniku oleju układu smarowania silnika, 19-gardziel wlewowa chłodnicy, 20-wymiennik ciepła w układzie hydraulicznym UPM, 21-zawór spustowy, 22-pompa wodna silnika, 23-zbiornik kompensacyjny cieczy, 24-zbiornik kompensacyjny uzupełniający.

Badania stanowiskowe prowadzono po uprzednim wyziębieniu pojazdu i jego stabilizacji w określonej ujemnej temperaturze (okres wyziębienia i stabilizacji każdorazowo trwał od kilkunastu do kilkudziesięciu godzin). Wszystkie przeprowadzone próby startu podgrzewacza silnika były udane. Na podstawie zarejestrowanych w czasie badań przebiegów zmian temperatury stwierdzono, że efektywna moc grzewcza ogrzewacza umożliwia uzyskanie szybkich przyrostów temperatury w silniku W46-6 oraz w głównych jego podzespołach. Na podkreślenie zasługuje fakt, że struktura układu grzewczego nie zapewnia jednak właściwego odbioru i transmisji wytworzonej w podgrzewaczu energii cieplnej. Przyczyną powyższego jest brak możliwości uzyskania dla danych warunków strukturalnych układu oraz parametrów eksploatacyjnych cieczy właściwego obiegu cieczy zwłaszcza w chwili startu podgrzewacza. Przez właściwy obieg cieczy rozumie się w tym przypadku takie wymuszenie przepływu cieczy przez pompę wodną ogrzewacza, który gwarantuje odbiór wytworzonej energii cieplnej z ogrzewacza na poziomie, na którym temperatura cieczy w

wymienniku nie przekracza $+100^{\circ}\text{C}$. Ponadto przyjęty sposób rozwiązania konstrukcyjnego struktury układu nagrzewania bazuje na włączeniu równoległym wymiennika ciepła w układzie hydraulicznym przesterowania startera-generatora (HPSG) oraz wymiennika ciepła w zbiorniku oleju układu przeniesienia mocy (UPM) do innych wymienników oraz przewodów przepływowych cieczy. Wobec powyższego, w tym rozwiązaniu trudne jest zagwarantowanie właściwego podziału strumienia przepływającej cieczy jako nośnika energii cieplnej do wymienników odpowiedzialnych za podgrzanie układów HPSG oraz UPM. Stwierdzono, że przepływ ten jest w określonych warunkach temperaturowych znikomy lub nie występuje zupełnie. W takich warunkach transmisja energii cieplnej dokonuje się głównie poprzez przewodnictwo elementami konstrukcji oraz przejmowanie powierzchniowe (konwekcja, promieniowanie) od znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie nagranych innych zespołów silnika.

Przykładowo na kolejnych rysunkach 5a oraz 5b przedstawiono wyniki badań przebiegów zmian temperatury w wybranych punktach układu grzewczego silnika i jego podzespołów dla okresu podgrzewania oraz wstępnej pracy silnika w temperaturze otoczenia $T_0 = -35^{\circ}\text{C}$ (objaśnienie użytych oznaczeń specyfikujących miejsce instalacji czujników temperatury: T_{20} -powierzchnia kotła grzewczego ogrzewacza, T_{21} -przewód wyjściowy z ogrzewacza, T_{22} -blok silnika w strefie komór spalania, T_{23} -misa olejowa silnika, T_{24} -komora silnikowa, T_{25} -wylot cieczy z chłodnicy, T_{26} -obok miejsca instalacji fabrycznego czujnika temperatury cieczy, T_{27} -zbiornik oleju silnikowego, T_{28} -zbiornik układu UPM, T_{29} -wlot cieczy do ogrzewacza, T_{30} -wymiennik ciepła przewodu transmisji oleju silnikowego, T_{31} -przewód wodny, T_{33} -na wylocie z wymiennika ciepła układu UPM, T_{34} -obok miejsca instalacji fabrycznego czujnika temperatury oleju silnikowego, T_{36} -zbiornik kompensacyjny układu chłodzenia, T_p -fabryczny czujnik temperatury w pogrzewaczu, T_s -fabryczny czujnik temperatury cieczy w silniku, T_{O1} -fabryczny czujnik temperatury oleju w układzie smarowania).

Na podstawie uzyskanych w czasie badań przebiegów zmian temperatury można stwierdzić, że celem osiągnięcia wymaganego stanu cieplnego podgrzewanego silnika, który zapewni udany jego rozruch koniecznym celem jest stosowanie cyklicznie przerywanej metody podgrzewania. Niezbędny czas podgrzewania silnika wynosi odpowiednio:

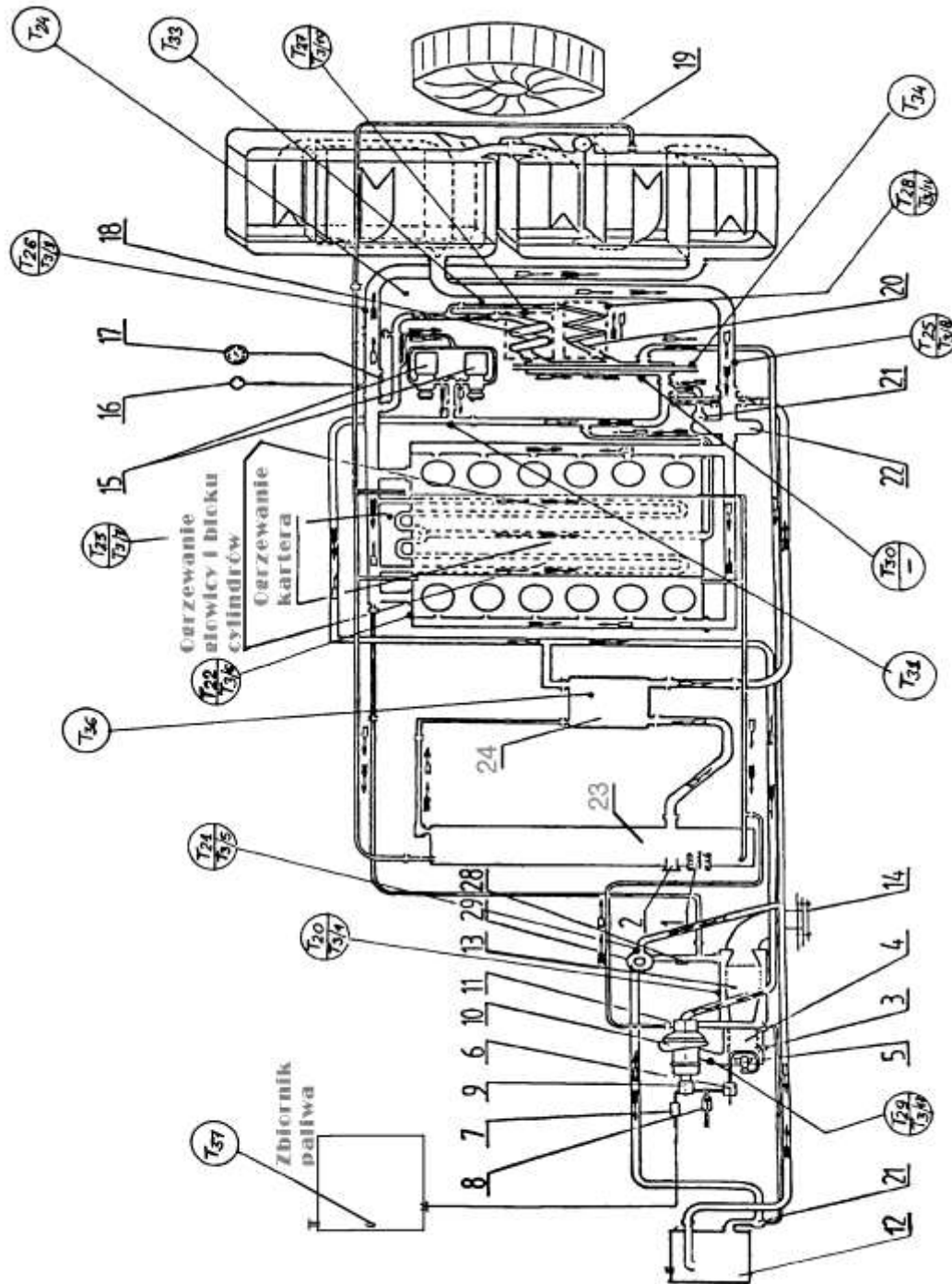
- dla temp. od 0°C do -10°C około 20-25 minut w jednym cyklu grzewczym,
- dla temp. od -15°C do -20°C około 35-40 minut w jednym cyklu grzewczym,
- dla temp. od -25°C do -30°C około 58-65 minut w dwóch cyklach grzewczych,
- dla temp. od -35°C do -40°C około 75-85 minut w trzech cyklach grzewczych.

Podane powyżej czasy podgrzewania silnika przed rozruchem wydają się być zbyt długie (potrójny cykl ogrzewania z wydłużonym czasem przedmuchu). Wynikają one jednakże z konieczności przygotowania do pracy układu startera-generatora oraz układu UPM (kryteria temperaturowe określające stan cieplny hydraulicznego układu przesterowania startera-generatora, dla którego możliwe będzie zapewnienie poprawnego działania tego zespołu).

Badania układu rozruchowego silnika przeprowadzono przy wykorzystaniu rozrusznika elektrycznego, rozrusznika pneumatycznego oraz obu rozruszników równocześnie w systemie kombinowanym. Przykładowe przebiegi zarejestrowanych parametrów takich jak prąd J_A , napięcie rozruchu U_A w układzie rozrusznika elektrycznego oraz ciśnienie powietrza P_{pow} w układzie rozrusznika pneumatycznego przedstawiono na rys. 5, gdzie: a) dla temperatury otoczenia -20°C ; b) dla temperatury otoczenia -35°C (w

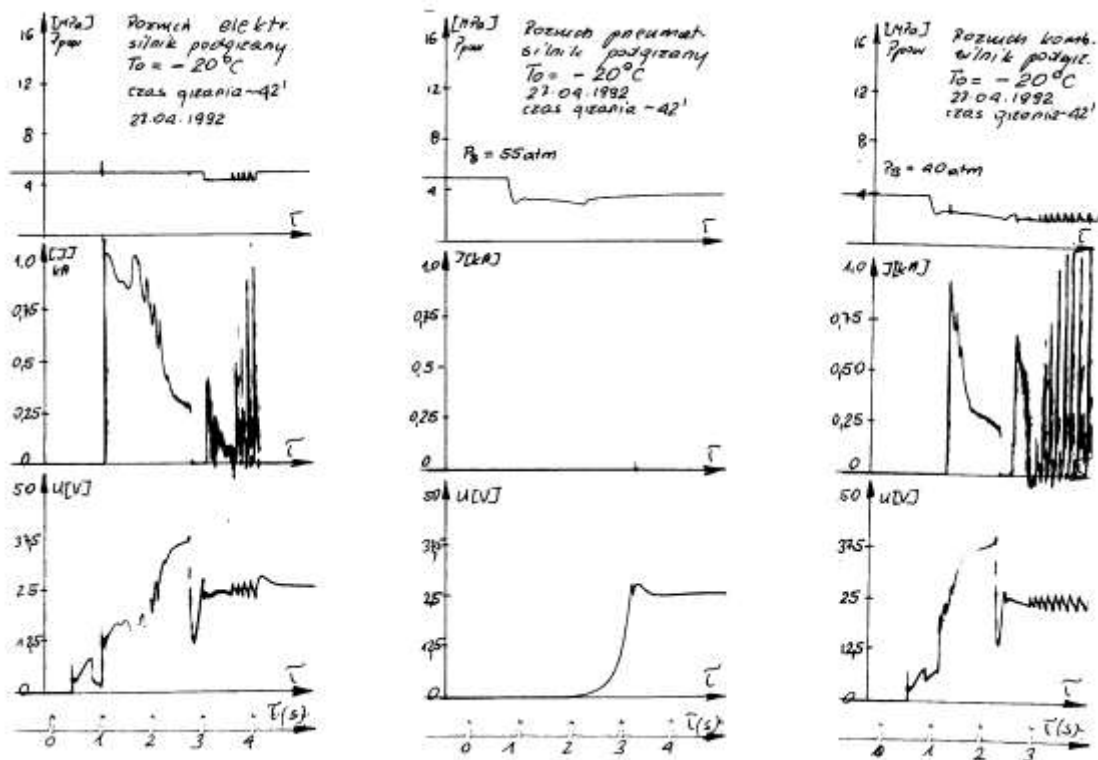
temperaturach otoczenia poniżej -20°C wymagana jest przeprowadzanie rozruchu wyłącznie systemem kombinowanym).

Z uzyskanych danych pomiarowych wynika, że praca układu rozrusznika elektrycznego lub pneumatycznego w zakresie temperatur do -20°C była możliwa pod warunkiem wcześniejszego odpowiedniego podgrzania silnika (rys. 5a).

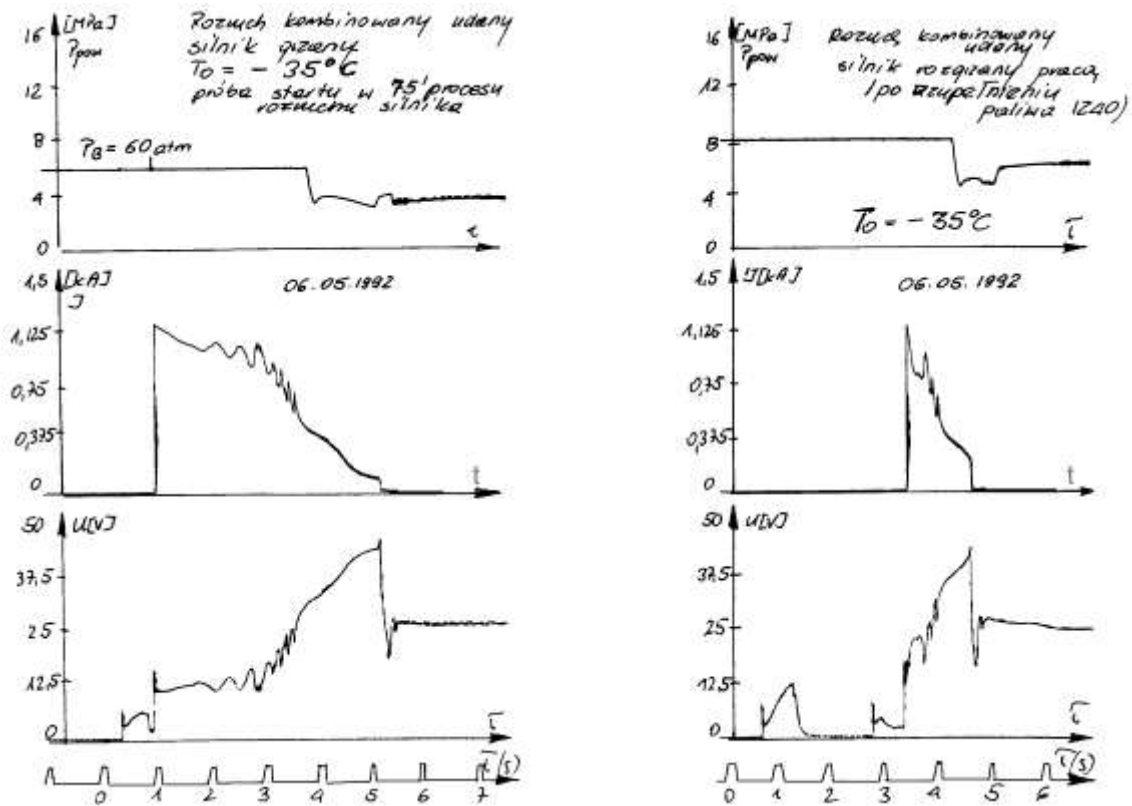


Rys. 4. Schemat układu podgrzewania silnika W46-6 i jego podzespołów wraz z układem punktów pomiarowych temperatur.

a)



b)



Rys. 5. Przebiegi ciśnienia powietrza w układzie rozrusznika pneumatycznego, prądu i napięcia w układzie rozrusznika elektrycznego dla rozruchów prowadzonych w temperaturach: -20°C (a) oraz -35°C (b).

W przypadku kojarzenia energii rozruchowej obu układów rozruchowych w systemie kombinowanym dla rozruchów silnika prowadzonych w temperaturach poniżej -20°C stwierdzono brak właściwej ich synchronizacji i tym samym nieuniknione były przesunięcia czasowe początkowych faz zadziałania kojarzonych układów rozruchowych. W efekcie w takich przypadkach rozruch właściwy zrealizowany był w zasadzie przez jeden z tych układów (rys. 5b).

Wyjaśnienie powyższego stanu należy upatrywać w niedogrzeniu podukładu przesterowania startera-generatora do chwili, w której stan cieplny pozostałych podukładów odpowiedzialnych za rozruch silnika napędowego jest odpowiedni. Reasumując wyniki badań układu rozruchowego należy stwierdzić, że zarejestrowane wartości czasu rozruchu oraz prądu i spadku napięcia w fazie rozruchu silnika dla temperatur ujemnych do -40°C nie przekraczają wartości dopuszczalnych (silnik podgrzany) i są zbliżone do wartości tych parametrów zarejestrowanych w temperaturze otoczenia powyżej $+7^{\circ}\text{C}$ (silnik nie podgrzewany). Próby rozruchu silnika prowadzono przy wykorzystaniu tzw. "ciepłych baterii akumulatorowych".

Jako podstawowe kryterium poprawności pracy (funkcjonalności) systemu smarowania w podgrzanym silniku układem grzewczym przyjęto dla wszystkich testów badawczych możliwość przetłaczania oleju w układzie smarowania pompą MZN bezpośrednio przed rozruchem oraz w czasie rozruchu silnika przy ciśnieniu min. 0.2 MPa oraz uzyskanie ciśnienia oleju w czasie początkowej fazy pracy silnika na poziomie min. 0.18 MPa. Układ smarowania w każdej z podjętych tzw. "właściwych" prób rozruchu silnika spełniał ww. wymagania. Przez pojęcie tzw. "właściwych prób rozruchu" rozumie się próby startu silnika po zakończonym procesie grzewczym. Dla celów badawczych kontrolowano możliwość przetłaczania oleju w układzie w okresach pośrednich, były one analizowane na bieżąco w czasie badań i były uwzględniane w procesie prowadzenia dalszego cyklu nagrzewania silnika.

5. WNIOSKI

Zrealizowane badania doświadczalne wykazały, że rozruch silnika wysokoprężnego typu: W46-6 jest możliwy do przeprowadzenia w warunkach ujemnych temperatur do -40°C pod warunkiem odpowiedniego jego podgrzania przedrozruchowego. Praca systemu podgrzewania przy wykorzystaniu cieczowo-spalinowego ogrzewacza o wymuszonym przepływie jest poprawna i zapewniony jest tym samym stosunkowy szybki przyrost temperatur w bloku, głowicach oraz układzie smarowania silnika. Natomiast za strefy niedogrzone w systemie podgrzewania pojazdu należy uznać układ przesterowania startera-generatora oraz układ przenoszenia mocy. **Wobec powyższego zalecić należy przeanalizowanie istniejącej struktury systemu grzewczego silnika pod kątem zoptymalizowania skuteczności grzewczej dla każdego z podstawowych układów i zespołów (analiza poprawności pracy struktury układu grzewczego bazującego na połączonych szeregowo-równolegle wymiennikach ciepła).** W układzie rozruchowym silnika zaleca się wprowadzenie zespołu sterującego automatycznie procesem kojarzenia pracy układów rozruchowych elektrycznego i pneumatycznego w systemie kombinowanym wykorzystując znane rozwiązania z wyrobu SUM „KALINA” – Elektropneumatyczny zawór do rozruchu powietrznego silnika [7]. W niniejszym artykule przedstawiono wyłącznie wnioski o charakterze ogólnym, a wnioski o charakterze szczegółowym stanowiące wynik badań zostały przekazane zleceniodawcy pracy to jest Ośrodkowi Badawczo-Rozwojowemu Urządzeń Mechanicznych OBRUM w Gliwicach.

Autorzy artykułu pragnęli zasygnalizować, że na przykładzie badań zespołu napędowego w ekstremalnych warunkach maszyny inżynieryjno-drogowej MID – BIZON S zaadaptowanego z wyrobu bazowego, tj. czołgu T-72M1 i PT91A1 wykazana została zamienność zastosowania nowej generacji systemu grzewczo-rozruchowego silnika.

Ponadto, mając na uwadze, że szereg podzespołów wyrobu bazowego T-72M1 jest i będzie wykorzystywana w przyszłości do nowych wyrobów specjalnych (np. pojazd PWU-148). Celowe jest zastosowanie najlepszych nowych lub zmodernizowanych podzespołów.

5. LITERATURA

- [1] BIAŁY J.: Wybrane problemy prowadzenia badań w komorach termoklimatycznych. Sympozjum pt: Stanowiskowe badania w komorach termoklimatycznych. WAT, Warszawa 1997.
- [2] GARBACIK A., CICHOCKI W., SZEWCZYK K.: Metodyka badań maszyn roboczych ciężkich w komorach termoklimatycznych. Prace naukowe PIMB zeszyt 2-5, s.83-98, Warszawa 1992.
- [3] SZEWCZYK K., CICHOCKI W., GARBACIK A.: Badania prototypu transportera inżynieryjno-drogowego MID"BIZON"S w komorze niskich temperatur. Niepublikowane sprawozdanie z badań - IMRC. Politechnika Krakowska 1992.
- [4] SZEWCZYK K., GARBACIK A., CICHOCKI W.: Badania prototypu wyrobu SUM/KALINA w obniżonych temperaturach. Niepublikowane sprawozdanie z badań - IMRC. Politechnika Krakowska 1992.
- [5] PRZYCHODZIEN T.: Eksploatacja maszyn roboczych w warunkach zimowych. WNT. Warszawa 1990.
- [6] MYSŁOWSKI K., PALCZEWSKI W., HAZNAR K.: Wybrane problemy eksploatacyjno- konstrukcyjne maszyn inżynieryjno-drogowych. VI Konferencja Naukowa "Sterowanie, napęd, wytrzymałość zmęczeniowa i projektowanie maszyn budowlanych". WAT zeszyt 2261/94, Warszawa 1994.
- [7] MARTYNIAK T.: Elektropneumatyczny zawór do rozruchu powietrznego silnika. Projekt racjonalizatorski nr 9/2/93.
- [8] WPN-84/N-01003: Aparatura, przyrządy, urządzenia i wyposażenie o przeznaczeniu wojskowym. Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań. Wymagania dotyczące działania czynników środowiskowych.
- [9] WPN-84/N-01005: Aparatura, przyrządy, urządzenia i wyposażenie o przeznaczeniu wojskowym.

TESTING MILITARY ENGINEERING VEHICLES IN A CLIMATIC CHAMBER AT LOW AMBIENT TEMPERATURES

Abstract: The methodology of investigations under simulated climate conditions is presented in this paper. The main trends as well as own results regarding the construction of measurement data acquisition and processing system. As an example the test facility used to study the Diesel engine is described. This paper presents selected results of research on start-up of W46-6 engine, which is the driving source of MID "BIZON" S heavy-duty machine at low ambient temperatures. The tests were conducted in a thermo-climatic chamber at temperatures down to minus 40°C. The research-included evaluation of functionality of heating systems, lubrication and start-up of the engine conducted using electric, pneumatic and hybrid starter systems.

Recenzent: dr inż. Andrzej SZAFRANIEC