

Jan Chajda, Piotr Paczyński
Politechnika Poznańska

ZASTOSOWANIE TECHNIKI KOMPUTEROWEJ DO POMIARÓW I AUTOMATYZACJI PROCESÓW BADAŃ SILNIKA PRZEPLYWOWEGO W HAMOWNI

Streszczenie. W referacie postuluje się możliwość automatyzacji procesów związanych z badaniami silników przepływowych, przeprowadzanych dotychczas bardzo tradycyjnymi metodami.

W procesie prowadzenia prób określonych warunkami technicznymi, wiele parametrów pracy silnika podlega pomiarom, ich rejestracji i przetwarzaniu.

Obecnie budowane hamownie pod względem konstrukcyjnym, architektonicznym i wygłuszenia hałasu są obiektami nowoczesnymi, natomiast systemy pomiarowe wydają się tradycyjnymi. Większość pomiarów odbywa się bowiem metodami czysto analogowymi zaś wyniki pomiarów są odczytywane i przetwarzane ręcznie.

Analiza istniejących systemów pomiarowych wykazuje, że proces pomiarów w czasie prowadzenia prób silników odrzutowych można daleko zautomatyzować.

1. Postawienie problemu

Od silników lotniczych wymaga się, aby przy spełnieniu swoich zadań napędowych miały jednocześnie możliwie małą masę, możliwie małe wymiary gabarytowe a także były ekonomiczne w eksploatacji, tzn. posiadały jak najmniejsze zużycie paliwa.

Jak wynika z ogólnych wymagań jakim winny odpowiadać silniki lotnicze, a tym samym i silniki odrzutowe, nieodzowne staje się przeprowadzenie prób dla określenia przydatności. Wytwórca silników odrzutowych zobowiązany jest do przeprowadzania badań mających na celu zdjęcie charakterystyki obrotowej silnika w warunkach naziemnych, która musi się zawierać w granicach ustalonych warunków technicznych, stanowiących podstawę do odbioru silnika do eksploatacji.

Przebieg charakterystyki obrotowej silnika odrzutowego ilustruje rys.1, a zmienność ciągu silnika i jednostkowego zużycia paliwa od ciśnienia atmosferycznego i temperatury otoczenia przedstawia rys.2.

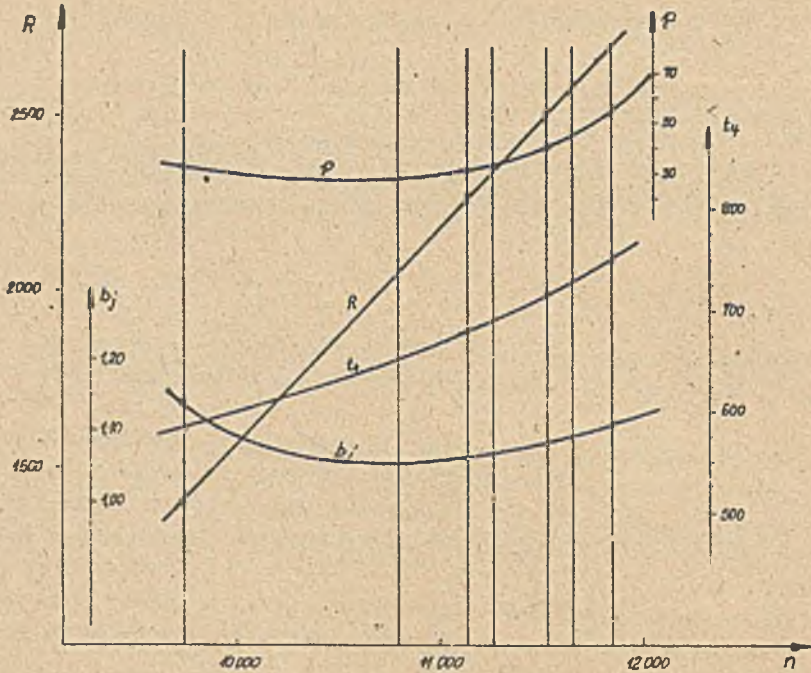
Ze względu na tą zmienność należy w czasie prób korzystać z wzorów redukcyjnych, umożliwiających obliczanie parametrów silnika w warunkach wzorcowych, czyli dla parametrów zredukowanych. Biorąc pod uwagę warunki wzorcowe $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ i $t = 15^\circ\text{C}$, zredukowane parametry są związane zależnościami [1].

a/ ciąg silnika R

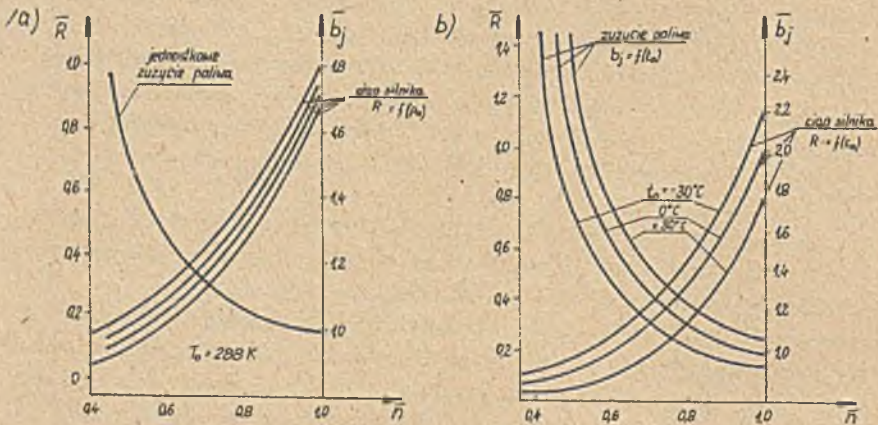
$$R_{zr} = R_{zm} \frac{101,325}{p_0}$$

R_{zm} -- ciąg zmierzony

p_0 -- ciśnienie atmosferyczne zmierzone w danych warunkach (kPa)



Rys. 1. Charakterystyka silnika, gdzie: R - ciężar silnika, n - obroty silnika, p - ciśnienie paliwa w magistrali, b_j - zużycie paliwa, t_4 - temperatura gazów w rurze reakcyjnej /średnia z 4 punktów pomiarowych/



Rys. 2. Zależność charakterystyki obrotowej silnika odrzutowego od:
 a/ ciśnienia atmosferycznego,
 b/ temperatury otoczenia

b/ obroty zredukowane

$$n_{zr} = n_{zm} \sqrt{\frac{288}{T_0}}$$

 n_{zm} - obroty zmierzone

$$T_0 = 273 + t_0$$

 t_0 - temperatura otoczenia [$^{\circ}\text{C}$]

c/ jednostkowe zużycie paliwa zredukowane

$$b_{jzr} = b_j \sqrt{\frac{288}{T_0}}$$

 b_j - jednostkowe zużycie paliwa /zmierzone/

d/ zredukowana temperatura spalin

$$t_{zr} = t_{zm} \frac{288}{T_0}$$

$$T_0 = 273 + t_0$$

e/ ciśnienie paliwa zredukowane

$$P_{zr} = P_{zm} \frac{288}{T_0} \left(\frac{101,325}{P_0} \right)^2$$

 P_{zm} - ciśnienie zmierzone

W czasie pomiaru silnika konieczne jest określenie i rejestracja wielu parametrów pracy silnika, wg tabeli 1, w pełnym zakresie prędkości obrotowych, aby stwierdzić prawdziwość jego pracy i zgodność z warunkami technicznymi.

Po zakończeniu prób, na podstawie zarejestrowanych i zredukowanych parametrów wykonuje się wykres charakterystyki silnika. Wykres sporządzany jest dla powtórnego redukowania mierzonych parametrów w odniesieniu do prędkości obrotowej zredukowanej. Z wykresu na przecięciu krzywych poszczególnych charakterystyk z obrotami zredukowanymi odczytuje się rzeczywiste wartości. W przypadku spełniania warunków technicznych nanosi się je do protokołu prób, który jest podstawą przekazania silnika do eksploatacji.

Czynności te są długotrwałe i realizowanie ich dotychczas jest dopiero możliwe po zakończeniu próby. Ze względu na występowanie negatywnych odbiorów silnika odrzutowego, zależnie od dobranej nasadki, zmniejsza się przepustowość hamowni oraz powoduje duże straty prowadzenia próby /zużycie paliwa, koszty stanowiskowe, obsługa/.

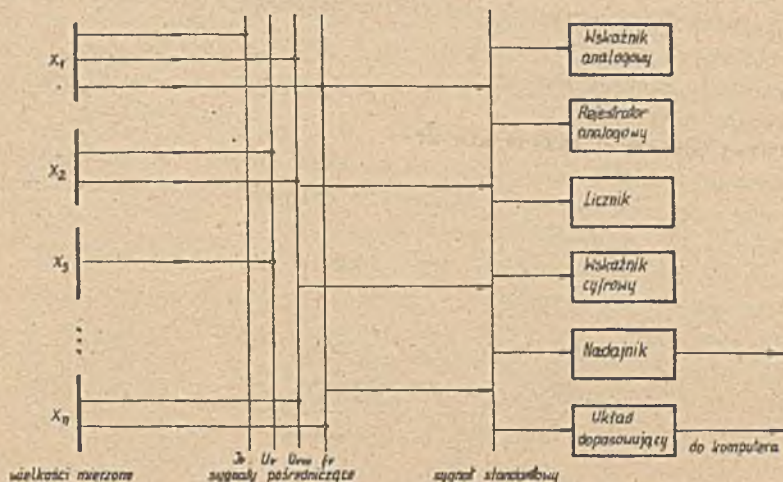
Zastosowanie komputera, który prowadziłby całą próbę, a więc:

- realizował pracę silnika w zakresie obrotów, określonych próbą /tabela 1/,
 - prowadził przeliczenia wg wzorów redukcyjnych na bieżąco i sygnalizował o złej jakości charakterystyk silnika,
 - dawał wydruk mierzonych parametrów wg założonego programu pomiarów,
 - dawał dane na rejestrator X - Y w celu wykreślenia charakterystyk silnika, w przypadku pozytywnej próby,
- zapewni prawdziwość i dokładność jej prowadzenia oraz umożliwi uzyskanie dużych oszczędności. Wymaga jednak zmiany dotychczas stosowanych metod pomiarowych.

2. Koncepcja rozwiązania problemu

Nowoczesna technika opiera się na mierzeniu i przetwarzaniu wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi polegającymi na wstępnym przetwo-

rzeniu mierzonych wielkości nieelektrycznych w sygnały elektryczne i wykonaniu dalszych operacji pomiaru i przetwarzania na sygnałach elektrycznych. Uniwersalność oraz możliwość standaryzacji i centralizacji elektrycznych metod pomiarów i przetwarzania leżą u podstaw tworzenia systemów pomiarów. Stopień wejściowy systemu pomiarowego obejmuje przyrządy przetwarzające poszczególne wielkości X_1 kilka elektrycznych sygnałów pośredniczących (napięciowy U_V , prądowy I_V , amplitudowy U_{VM} , częstotliwościowy f_V) - rys.3. Jedna wielkość może być przetwarzana w kilka sygnałów pośredniczących.



Rys.3. Schemat ideowy systemu pomiarów wielkości nieelektrycznych

Stopień formujący systemu obejmuje przyrządy przetwarzające sygnały pośredniczące w jeden sygnał standardowy, najczęściej prąd stały J_s . Ostatni stopień systemu obejmuje przyrządy pomiarowe, nadajniki, przetworniki dopasowujące do EEC. Sprowadzenie wielu wielkości nieelektrycznych do kilku sygnałów pośredniczących i do jednego sygnału standardowego umożliwia ograniczenie asortymentu stosowanych przyrządów pomiarowych zarówno w stopniu formującym jak i końcowym. Informacje pomiarowe o n -wielkościach mierzonych są odbierane przez n -przetworników wejściowych, które przetwarzają je w kilka typów sygnałów pośredniczących. Przetworniki formujące sygnał standardowy są przyłączane do wyjść przetworników wejściowych przez komutator. W ten sposób do centrum pomiaru (kabinę sterowniczej) doprowadza się informacje o wielkości mierzonej wybranej w komutatorze, przy czym informacja ta jest przenoszona przez sygnał standardowy zawsze o tej samej postaci. Można więc zastosować w centrum pomiarowym jeden miernik do pomiaru wszystkich wielkości. Równolegle do miernika włącza się zwykle rejestrator n -kanałowy o kanałach wybieranych tym samym komutatorem. Opierając się o wspomniane założenia, określono metody pozwalające na przetwarzanie mierzonych wielkości mechanicznych na

wielkości elektryczne dla wszystkich parametrów podlegających pomiarom, rejestracji i przetwarzaniu podczas prób fabrycznych silników odrzutowych.

a/ Pomiar prędkości obrotowej

Do pomiaru prędkości obrotowej turbiny silnika proponuje się zastosować układ pomiarowy składający się z:

- przetwornika obrotowo-impulsowego,
- cyfrowego miernika prędkości obrotowej

b/ Pomiar zużycia paliwa

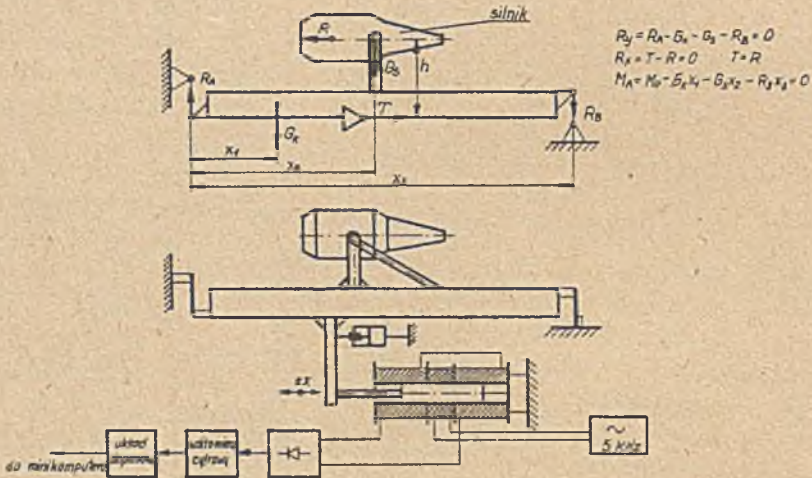
Układ pomiarowy składa się z:

- nadajnika turbinkowego przepływu sprzężonego z przetwornikiem obrotowo-impulsowym,
- cyfrowego miernika obrotów

c/ Pomiar siły ciągu

Układ pomiarowy składa się z:

- ruchomej kołyski zawieszanej na płytach sprężystych łącznie z zespołem tarowania, o konstrukcji i zasadzie działania wg rysunku 4 oraz amortyzatorów jako elementów uśredniania,
- przetwornika indukcyjnego różnicowego,
- woltomierza cyfrowego



Rys.4. Schemat ideowy układu pomiarowego siły ciągu

d/ Pomiar temperatur

W pomiarach temperatur zastosowano przetworniki oporowe i termoelektryczne. Wybór przetwornika uzależniony jest od rodzaju ośrodka, którego temperaturę określa się oraz od zakresu i wymaganej dokładności pomiaru. Do pomiaru temperatury spalin proponuje się zastosować termopary chromel - alumel, a do pomiaru temperatury oleju, powietrza i paliwa przetworniki oporowe. Różnice temperatur oraz średnią temperaturę dla układu:

- 4 pkt pomiarowych, - 9 pkt pomiarowych. jak i średnią temperaturę zredukowaną dla 4 pkt pomiarowych wyznacza się przy pomocy komputera. Wynik

analogowy pomiaru temperatury jest podawany do komputera poprzez przetwornik A/C.

e/ Pomiar ciśnień

Do pomiaru ciśnień paliwa, oleju i powietrza proponuje się zastosować przetworniki transformatorowe, a w celu przekazania informacji do komputera - przetwornik A/C.

f/ Pomiar wibroprzeciążenia

Drgania silnika wywołane są głównie niewyważeniem wirników sprężarki i turbiny. Układ pomiarowy składa się z:

- czujnika drgań zamontowanego na kadłubie sprężarki,
- miernika drgań wraz z filtrami korelacyjnymi.

Wibroprzeciążenie K określa się wg zależności /z warunków technicznych odbioru silników odrzutowych/:

$$K = 0,0064 n V \text{ [cm/s}^2\text{]}$$

gdzie: n = obroty [1/min]

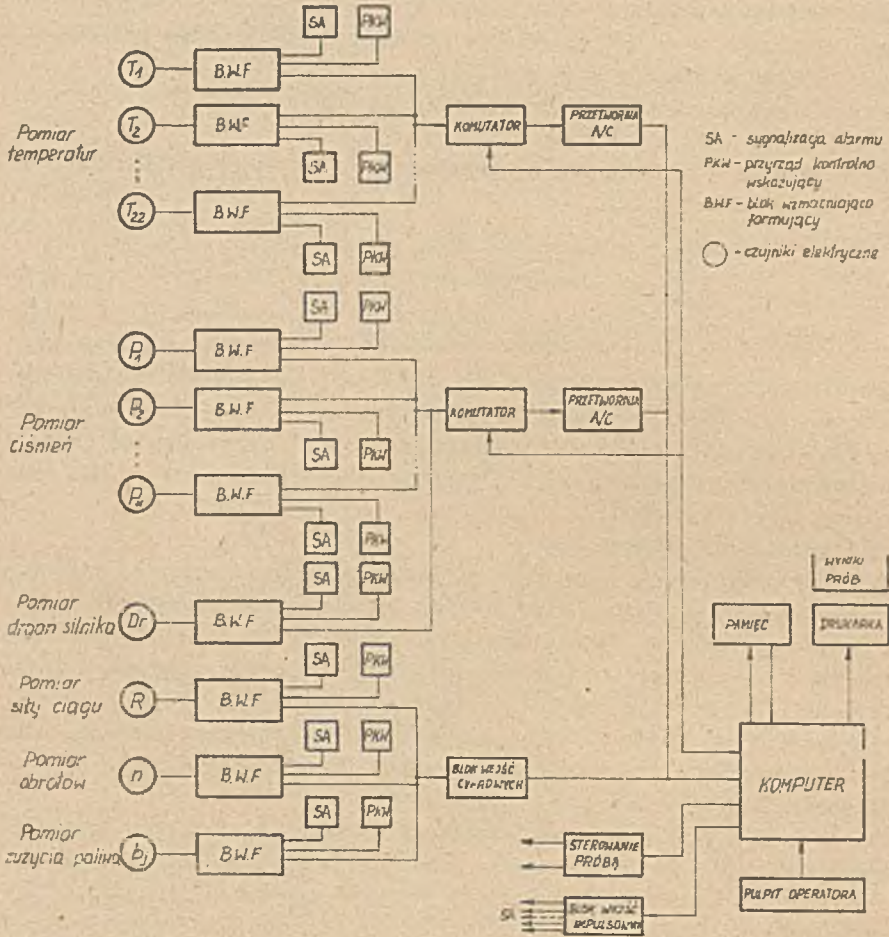
V = chwilowa prędkość drgań [cm/s]

Pomiaru wibroprzeciążenia dokonuje się w czasie pracy silnika w zakresie jego obrotów $n = 7000$ stopniując co 100obr/min aż do $n = 9500$ i przetwarzając od 9500 do 7000 z takim samym stopniowaniem. W całym zakresie pracy silnika wyznaczone z przedstawionej zależności wibroprzeciążenie nie może przekroczyć $K_{max} \leq 1,5 \text{ cm/s}^2$.

g/ Układ automatyzacji pomiarów

Proponowaną koncepcję automatyzacji próby silnika odrzutowego oparto o sprzęt produkowany w kraju. Układ systemu automatyzacji pomiarów przedstawiony jest na rysunku 5. Składa się on z następujących głównych elementów:

- z przetworników pomiarowych przetwarzających wielkości fizyczne i mechaniczne na wielkości elektryczne względnie cyfrowe,
- minikomputera np. Momik 8b/100 jako podstawowej jednostki systemu, z kanałem programowym i dodatkowo wyposażonym w kanał multipleksera i kanału bezpośredniego dojścia,
- rozszerzonego bloku wejść analogowych. Blok wejść analogowych dokonuje komputacji a następnie wzmocnienia i konwersji analog - cyfra. Połączenie bloku z komputerem odbywa się poprzez jednostkę sterującą.
- blok wejść cyfrowych statycznych. Dołączony jest do minikomputera poprzez jednostkę sterującą,
- blok wyjść impulsowych do generowania sygnałów alarmowych lub sygnalizujących. Jest również połączony z minikomputerem poprzez jednostkę sterującą,
- drukarka znakowo-mozaikowa DZM-180 wykorzystana do dwustronnej współpracy z systemem. Drukarka służy do rejestracji wyników pomiarów i obliczonych wartości zredukowanych oraz zapisu dokumentów całej próby. Można również wprowadzić dodatkowe próby silnika, np. rodzaju próby, numeru silnika, daty próby itp.
- zegar czasu rzeczywistego,



Rys.5. Układ automatyzacji pomiarów i sterowania próbą silnika przepływowego

- pamięć masowa magnetyczna wraz ze swoją jednostką sterującą przeznaczona jest do dodatkowego rejestrowania w odpowiednim kodzie wszystkich uzyskanych i przetworzonych informacji. Można zapisać również program próby, który system będzie realizował. Zmiana rodzaju próby ogranicza się wówczas do zmiany taśmy,
- pulpit operatora przeznaczony do sterowania pracą całego systemu.

3. Zalety i efekty wynikające z proponowanego systemu: automatyzacji pomiarów

Porównując obecny system pomiarów i ich rejestracji z systemem proponowanym nasuwają się następujące zalety przemawiające za ich modernizacją. Do głównych zalet zaliczyć można:

- znaczne podniesienie dokładności i obiektywności pomiarów,
- zautomatyzowana forma rejestracji i obliczeń,
- znaczne skrócenie czasu pomiaru i uzyskiwania dokumentacji,
- szybkie wykrywanie stanów anormalnych,
- automatyczna rejestracja parametrów i automatyczne obliczanie wartości zredukowanych pozwala na określenie dyskretnych punktów charakterystyki silnika w każdej fazie próby. Znajomość wszystkich mierzonych parametrów łącznie z wielkościami zredukowanymi w każdej fazie próby, pozwala na przerwanie próby i dokonanie regulacji poszczególnych elementów silnika bez potrzeby realizacji całego programu próby. Z tego tytułu można osiągnąć znaczne oszczędności paliwa,
- większą przepustowość stanowisk hamownianych.

LITERATURA

1. Barzecz L., Golis E.: Opracowanie metodyki badania silników przepływowych, Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Budowy Maszyn, Praca dyplomowa 1975.
2. Nagel R.: Miernictwo dynamiczne. WNT, Warszawa 1975.
3. Romer E.: Miernictwo przemysłowe. PWN, Warszawa 1975.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ТОРМОЗНОМ СТЕНДЕ

Резюме

В работе даётся анализ автоматизации измерений на тормозном стенде при исследованиях реактивных двигателей с применением электронно-вычислительной техники.

APPLICATION OF COMPUTER TECHNIQUES TO MEASUREMENTS AND AUTOMATIZATION
OF JET-MOTOR INVESTIGATIONS ..

S u m m a r y

The methods and systems used broadly for measurements of jet-motor parameters seem to be very traditional. Analysis of existing measurement systems shows that the measurement processes may be performed automatically.