



## Ocena możliwości diagnozowania instalacji hydraulicznych statków powietrznych

MAREK ROŚKOWICZ, GRZEGORZ JASTRZĘBSKI<sup>1</sup>

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki, Instytut Techniki Lotniczej,  
00-908 Warszawa ul. S. Kaliskiego 2

<sup>1</sup>Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych,  
01-494 Warszawa, ul. Księcia Bolesława 6

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych wykonywanych w celu oceny możliwości diagnozowania instalacji hydraulicznych statków powietrznych. Badania przeprowadzono w układzie zasilania oraz układach steru wysokości i steru kierunku instalacji hydraulicznej samolotu Mig-29, gdzie jako elementy wykonawcze wykorzystywane są wzmacniacze hydrauliczne serii RP. Obecnie wzmacniacze eksploatowane są w systemie według rezerwu technicznego i podlegają diagnostyce wizualnej po ich demontażu z samolotu. Jako parametry diagnostyczne wykorzystano sygnały zmiany ciśnienia w układzie oraz zmiany czasu przesterowań elementów wykonawczych instalacji hydraulicznej. Określono wartości minimalnego i maksymalnego ciśnienia występującego w układzie steru wysokości, w czasie jednoczesnego działania różnych układów instalacji. Wykazano możliwość diagnozowania instalacji hydraulicznej statku powietrznego na podstawie modułów diagnostycznych — bez demontażu elementów instalacji z samolotu.

**Słowa kluczowe:** budowa maszyn, diagnozowanie instalacji hydraulicznej, moduł diagnostyczny, wzmacniacz hydrauliczny

**Symbole UKD:** 623.746.06

### 1. Wstęp

Jednym z istotnych podzespołów konstrukcyjnych statków powietrznych, warunkujących ich bezpieczeństwo i niezawodność w procesie eksploatacji, jest instalacja hydrauliczna [1]. Instalacja pełni bowiem ważne funkcje nie tylko w czasie wykonywania lotu statku powietrznego, lecz także jest wykorzystywana w czasie wykonywania obsługi naziemnych do uruchamiania szeregu zespołów

statku powietrznego. Szerokie zastosowanie instalacji hydraulicznych w statkach powietrznych podyktowane jest przede wszystkim stosunkowo niewielką jej masą oraz dużą wydajnością energetyczną w stosunku do zajmowanej objętości. Dodatkowo instalacje hydrauliczne w układach płatowcowych statków powietrznych są stosowane ze względu na korzystne charakterystyki, zapewniające bardzo dobrą płynność ruchu elementów płatowca. Taką płynność dużo trudniej jest uzyskać za pomocą napędów elektrycznych czy pneumatycznych [2]. Można więc powiedzieć, że instalacja hydrauliczna stanowi jedną z ważniejszych instalacji całego wyposażenia płatowca [1].

Instalacje hydrauliczne można podzielić na układy zasilające i układy odbioru energii. Ze względu na charakter odbioru energii rozróżnia się układy wymagające ciągłego lub periodycznego zasilania. W układach płatowcowych zespoły instalacji hydraulicznej wymagające ciągłego zasilania to zespoły wykorzystywane przede wszystkim do wspomagania systemów sterowania statków powietrznych (sterowanie usterzeniem wysokości i kierunku, sterowanie lotkami, sterowanie systemem autopilota). Układy zasilane periodycznie to przede wszystkim wspomagające systemy startu i lądowania (sterowanie podwoziem, hamulcami aerodynamicznymi, kłapami, stożkiem dyfuzora wlotowego silnika, zwieraczem zasłonek dyszy wylotowej, obrotem ruchomych części skrzydła, obrotem przedniej goleni, automatycznym hamowaniem kół podczas chowania podwozia oraz włączaniem i wyłączeniem obciążenia pedałów) [2, 3].

Elementy sterujące i wykonawcze zespołów hydraulicznych wykonane są z bardzo dużą dokładnością i pasowane z bardzo małymi luzami, rzędu kilku mikrometrów oraz precyzyjnymi przykryciami otworów przepływowych i kanałów. Przemieszczenie suwaka, trzonu, obrót tarczy, odsłonięcie lub przysłonięcie odpowiedniego otworu przepływowego powoduje w ostateczności odpowiednie przemieszczenie elementów płatowca statku powietrznego. Jednym z głównych mankamentów układów hydraulicznych jest potrzeba zachowania szczelności połączeń oraz wrażliwość na zanieczyszczenie cieczy roboczej produktami procesów tribologicznych. W związku z tym trwałość i niezawodność układów hydraulicznych zależy w decydującym stopniu od stanu technicznego cieczy roboczej [3]. Dodatkowo w procesie eksploatacji instalacja hydrauliczna i jej zespoły poddawane są oddziaływaniom wielu czynników wpływających w różny sposób na ich stan techniczny, związanych m.in. z przekroczeniem warunków pracy przewidzianych przez konstruktora dla danego typu zespołu lub nieprzestrzeganiem zasad eksploatacji sformułowanych w dokumentacji technicznej. Jak wynika z doświadczeń, ze wszystkich znanych zjawisk fizycznych wpływających na stan techniczny zespołów hydraulicznych, można wyróżnić następujące: *mechaniczne* — niszczenie materiału elementów wskutek tarcia i zużycia erozyjnego, *zmęczeniowe* — niszczenie elementów narażonych na działanie obciążeń dynamicznych, *starzenie się* materiałów w czasie eksploatacji, dotyczące w szczególności różnego rodzaju uszczelnień

wykonanych z gumy. Uszkodzenie zespołu hydraulicznego może być nagłe lub może być skutkiem dających się przewidzieć narastających zmian zużycia elementów zespołu hydraulicznego. Uszkodzenia nagłe są trudne do przewidzenia i zazwyczaj spowodowane zjawiskami zmęczenia w elementach zespołów niepodatnych do ich kontroli w czasie eksploatacji. Uszkodzenia będące skutkiem narastających zmian spowodowanych zużyciem elementów zespołu hydraulicznego, starzeniem materiałów uszczelnień wykonanych z gumy oraz zmian fizykochemicznych zachodzących w cieczy roboczej są uszkodzeniami stopniowymi, parametrycznymi — występującymi w czasie eksploatacji. Są zależne od czasu pracy napędu, a także od jego cech indywidualnych, np. jakości produkcji [3, 4]. Występowanie uszkodzeń, zarówno z pierwszej, jak i drugiej grupy, można przewidywać we właściwie przygotowanym i realizowanym procesie diagnozowania, pod warunkiem ciągłego analizowania zmian stanu technicznego instalacji.

W celu opisanie zmian stanu technicznego instalacji hydraulicznej oraz realizacji procesu diagnozowania, należy wykonać następujące przedsięwzięcia:

- przeprowadzić podział (dekompozycję) instalacji na układy funkcjonalne;
- opisać parametry funkcjonalne i techniczne układów i zespołów w każdym układzie;
- wytypować parametry diagnostyczne oraz określić ich wartości dopuszczalne i graniczne charakteryzujące stan zdadności układu;
- dokonać pomiaru wielkości parametru funkcjonalnego i technicznego.

Ocena stanu technicznego instalacji hydraulicznej opiera się na porównaniu wartości parametrów rzeczywistych (zmierzonych) z ich wartościami dopuszczalnymi lub granicznymi [5].

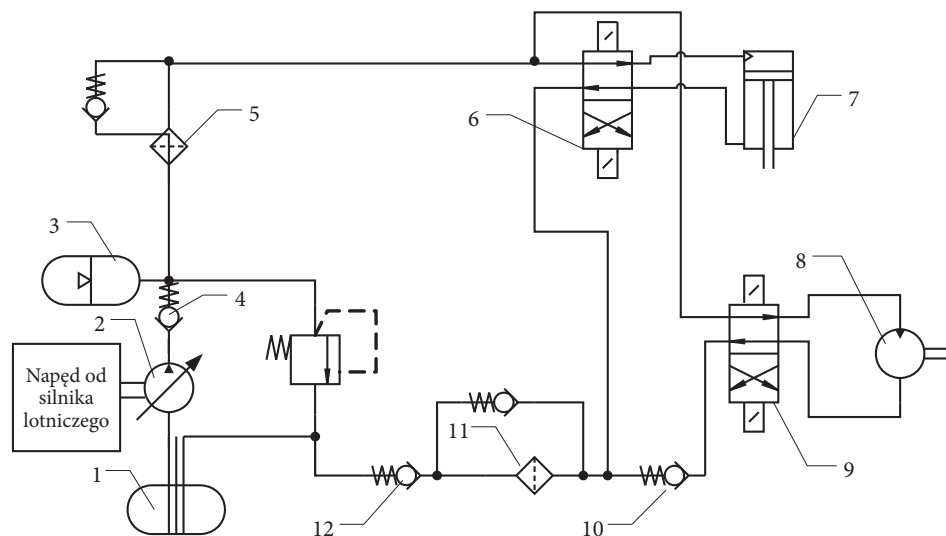
## **2. Diagnozowanie instalacji hydraulicznych statków powietrznych**

Efektywność eksploatacji lotniczej instalacji hydraulicznej w dużym stopniu zależy od możliwości oceny jej aktualnego stanu technicznego przeprowadzanej w procesie diagnozowania. Instalacja hydrauliczna jest złożonym i niepodatnym diagnostycznie obiektem. Z tego względu kompleksowe diagnozowanie (zbieranie, przetwarzanie informacji i lokalizacja uszkodzeń) całej instalacji jest bardzo trudne do przeprowadzenia. Powszechnie stosowane metody diagnostyczne instalacji hydraulicznych wykorzystują podział instalacji na mniejsze składowe elementy funkcyjne (moduły diagnostyczne), w których w sposób jednoznaczny można powiązać zmiany stanu dynamicznego (procesy, przebiegi przejściowe) ze zmianami stanu technicznego (parametry konstrukcyjne, fizyczne). Proces wyodrębniania modułów diagnostycznych z instalacji nie jest z góry jednoznacznie określony. Instalacje do celów diagnostycznych można podzielić na bloki i układy [5].

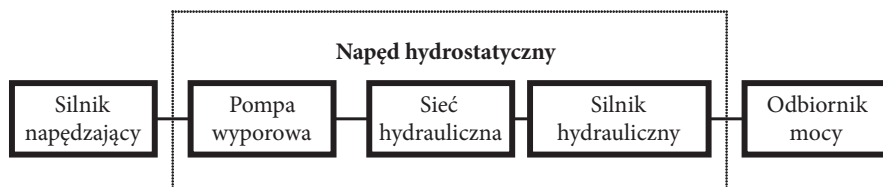
Poszczególne bloki opisują różne modele matematyczne. Każdy blok ma własne niepowtarzalne charakterystyki. Taki podział wymaga indywidualnych metod i środków diagnozowania dla każdego bloku. Podział na bloki powoduje w konsekwencji nadmierny rozrost systemu diagnostycznego. Pomimo tych wad jest on powszechnie stosowany w procesie diagnozowania instalacji samolotów.

Podział instalacji na układy jest stosunkowo trudny, ale dzięki niemu proces diagnozowania staje się znacznie łatwiejszy. Można zapewnić, aby wyodrębnione układy opisywały taki sam model matematyczny. Ich charakterystyki będą miały wiele wspólnych cech, co ułatwi ich interpretację [3, 4].

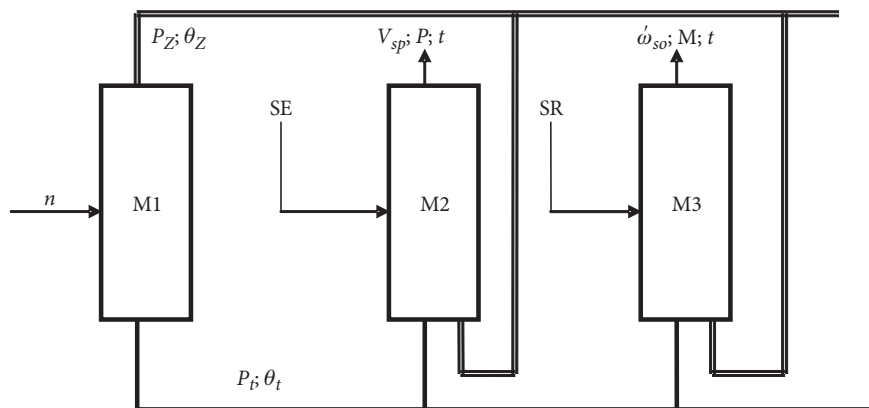
Schemat przykładowej instalacji hydraulicznej przedstawiono na rysunku 1, natomiast ogólny jej model blokowy z wyróżnieniem podstawowych elementów na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat ideowy przykładowej instalacji hydraulicznej: 1 — zbiornik hydrauliczny; 2 — pompa hydrauliczna wyporowa; 3 — akumulator hydrauliczny; 4, 10, 12 — zawór zwrotny; 5/11 — filtr hydrauliczny wysokiego/niskiego ciśnienia; 6, 9 — zawór rozdzielczy; 7/8 — silnik hydrauliczny o prostoliniowym ruchu tłoka/o obrotowym ruchu wału; 13 — zawór bezpieczeństwa



Rys. 2. Model blokowy instalacji hydraulicznej z wyróżnieniem elementów podstawowych



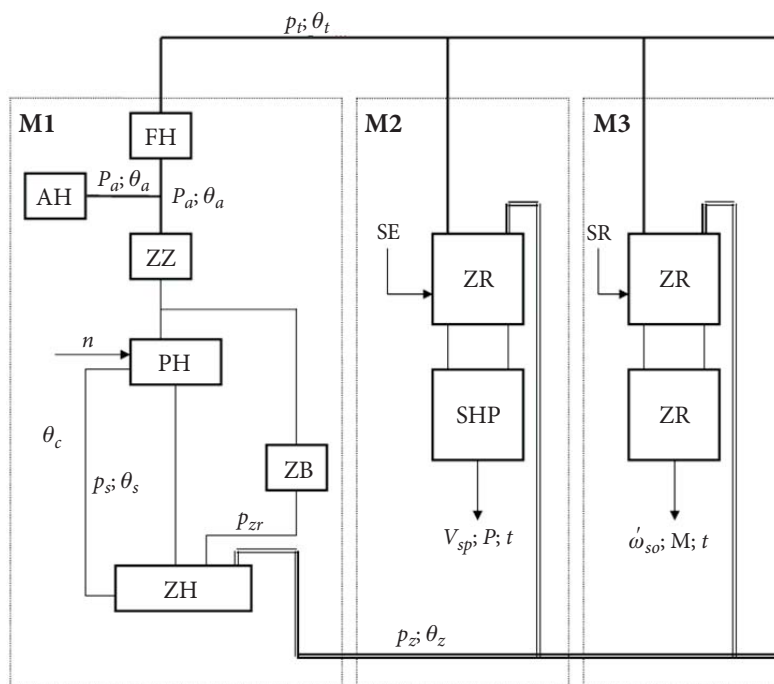
Rys. 3. Schemat blokowy instalacji hydraulicznej z podziałem na moduły funkcjonalne: M1 — moduł układu zasilania; M2 — moduł układu silnika hydraulicznego o prostoliniowym ruchu tłoka; M3 — moduł silnika hydraulicznego o ruchu obrotowym wału;  $n$  — prędkość obrotowa przekazywana na wał pompy hydraulicznej;  $p_d/p_z$  — ciśnienie tłoczenia/zlewu w instalacji hydraulicznej;  $\theta_l/\theta_z$  — natężenie przepływu cieczy roboczej w linii tłoczenia/w linii zlewowej instalacji hydraulicznej;  $V_{sp}$  — prędkość ruchu tłoka w silniku hydraulicznym o prostoliniowym ruchu tłoka;  $\omega_{so}$  — prędkość kątowna na wale silnika hydraulicznego o ruchu obrotowym wału;  $P$  — siła wytwarzana przez silnik hydrauliczny;  $M$  — moment obrotowy wytwarzany przez silnik hydrauliczny; SE — sygnał elektryczny sterowania zaworem rozdzielczym układu silnika hydraulicznego o prostoliniowym ruchu tłoka; SR — sygnał ręczny sterowania zaworem rozdzielczym układu silnika hydraulicznego o ruchu obrotowym wału;  $t$  — czas ruchu odbiornika mocy [4]

W instalacji hydraulicznej można wyróżnić, jako jej podstawowe elementy, pompę wporową, sieć hydrauliczną oraz silnik hydrauliczny, przekazujący napęd do odbiornika mocy. W sieci hydraulicznej mogą być umiejscowione zawory hydrauliczne sterujące kierunkiem, natężeniem przepływu i ciśnieniem w instalacji oraz elementy pomocnicze, jak: filtry, akumulatory hydrauliczne, zbiorniki, chłodnice oraz mierniki [4].

Na bazie schematu instalacji hydraulicznej dokonuje się jej dekompozycji na moduły (z reguły oparte na układach funkcjonalnych) i bloki (poszczególne zespoły hydrauliczne). Schemat instalacji hydraulicznej z jej podziałem na moduły wraz z opisem ich parametrów technicznych przedstawiono na rysunku 3 [4].

W kolejnym etapie procesu diagnostyki analizie poddaje się poszczególne moduły instalacji. Celem tej analizy jest wyselekcjonowanie parametrów technicznych poszczególnych modułów istotnych w procesie diagnozowania. Na rysunku 4 przedstawiono schemat modułów zasilania i modułów silników hydraulicznych z opisem ich parametrów technicznych, które można wykorzystać w procesie diagnozowania.

Wielkości fizyczne wynikające z obiegu informacji między modułami instalacji hydraulicznej i między blokami w module stanowią zbiór parametrów technicznych modułów i bloków. Wielkości te wykorzystywane są do identyfikacji parametrycznej instalacji i zespołów hydraulicznych.



Rys. 4. Schemat modułowy instalacji hydraulicznej z podziałem na bloki funkcjonalne: M1 — moduł zasilania; M2 — moduł silnika hydraulicznego o prostoliniowym ruchu tłoka; M3 — moduł silnika hydraulicznego o ruchu obrotowym wału; ZH — zbiornik hydrauliczny; PH — pompa hydrauliczna; AH — akumulator hydrauliczny; FH — filtr hydrauliczny; ZB — zawór bezpieczeństwa; ZR — zawór rozdzielczy; SHP — silnik hydrauliczny o prostoliniowym ruchu tłoka; SHO — silnika hydraulicznego o ruchu obrotowym wału;  $p_s$  — ciśnienie ssania pompy hydraulicznej;  $\theta_c$  — natężenie przepływu cieczy roboczej w obiegu cyrkulacji (chłodzenia) pompy hydraulicznej;  $\theta_s$  — natężenie przepływu cieczy roboczej na ssaniu pompy hydraulicznej;  $\theta_a$  — natężenie przepływu cieczy roboczej w linii zasilania hydroakumulatora [4]

Stan techniczny instalacji hydraulicznej i jej zespołów należy określać w rzeczywistych warunkach ich eksploatacji, z uwzględnieniem wszystkich związanych z eksploatacją czynników. Pomiaru parametrów instalacji i układów hydraulicznych dokonuje się podczas pracy silnika samolotu lub bez pracy silnika przy zasilaniu instalacji z naziemnego lotniskowego źródła zasilania hydraulicznego. Podczas sprawdzania instalacji hydraulicznej bez pracującego silnika należy zasilać ją ciśnieniem o wartości ciśnienia roboczego wytwarzanego przez samolotową pompę hydrauliczną i wydatkiem o wartości minimalnego wydatku wytwarzanego przez samolotową pompę hydrauliczną, a samolot ustawić na podnośnikach.

Składowe kryterium wykorzystywanego do oceny stanu technicznego instalacji hydraulicznej samolotu mogą obejmować m.in. [3]:

- spadki ciśnienia w instalacji hydraulicznej przy ruchu elementów wykonawczych (stery, skrzydło, hamulce aerodynamiczne, podwozie);

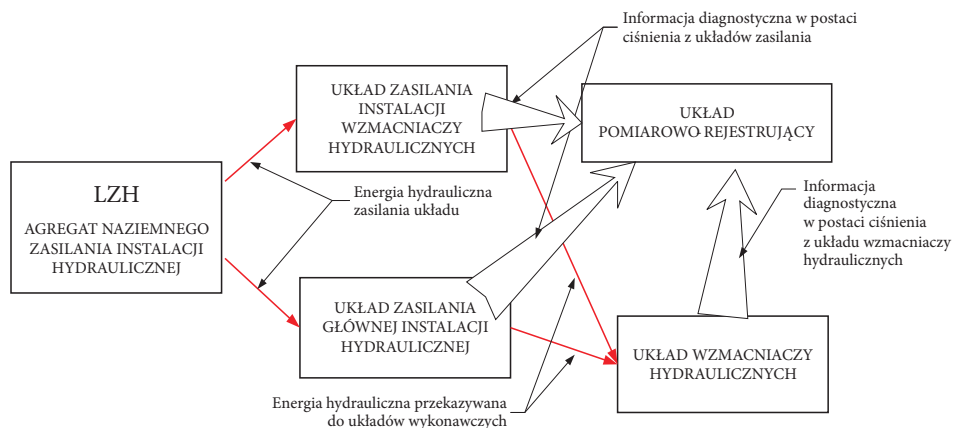
- czasy, po których ciśnienie w instalacji hydraulicznej osiąga wartość nominalną;
- czasy chowania i wypuszczania elementów statku powietrznego;
- ocenę jej szczelności wewnętrznej (na podstawie czasu spadku ciśnienia w instalacji od wartości nominanej do wartości granicznej przy różnych położeniach zaworów i rozdzielaczy układów).

Dodatkowo jako składowe kryterium oceny stanu technicznego modułów, w których znajduje się np. wzmacniacz hydrauliczny, może obejmować [3]:

- wartości przemieszczenia płytek rozdzielczych;
- siłę tarcia w czasie przemieszczenia płytek rozdzielczych;
- prędkość ruchu trzonu wykonawczego wzmacniacza.

Należy jednak zaznaczyć, że tego rodzaju badania wykonuje się na specjalnie zaprojektowanych stanowiskach badawczych, poza instalacją hydrauliczną statku powietrznego.

W badaniach eksperymentalnych postanowiono ocenić możliwości diagnozowania instalacji hydraulicznej eksploatowanych już statków powietrznych bez demontażu jego elementów. Do badań wytypowano instalację hydrauliczną samolotu MiG-29, który znajduje się na wyposażeniu Laboratorium Zakładu Budowy i Eksploatacji Statków Powietrznych ITL WAT. Celem badania było zebranie danych (przede wszystkim przez pomiar spadku ciśnień przy ruchu elementów wykonawczych układów instalacji hydraulicznej), które mogą stanowić składowe kryterium oceny stanu technicznego instalacji hydraulicznej w procesie jej diagnozowania. W badaniach dokonano pomiaru spadku ciśnień przy ruchu elementów wykonawczych oraz czasy, po których ciśnienie w instalacji osiąga wartość nominalną. Parametry otrzymane w badaniach eksperymentalnych mogą zostać wykorzystane jako parametry wejścia przy projektowaniu modułów diagnostycznych instalacji hydraulicznej.



Rys. 5. Schemat blokowy rejestracji parametrów z układu wzmacniaczy hydraulicznych

Schemat blokowy zaprojektowanego na potrzeby badań eksperymentalnych, stanowiska diagnozowania instalacji hydraulicznej z podziałem na bloki funkcjonalne przedstawiono na rysunku 5.

### 3. Badania eksperymentalne

W badaniach eksperymentalnych oceniono zmiany ciśnienia występujące w instalacji hydraulicznej samolotu MiG-29 w układzie steru wysokości i steru kierunku. W układach elementami wykonawczymi są wzmacniacze hydrauliczne RP-260A (wzmacniacz hydrauliczny steru wysokości) oraz RP-270 (wzmacniacz hydrauliczny steru kierunku). Są to wzmacniacze z siłownikami dwustronnymi zasilanymi jednocześnie z głównego układu zasilania instalacji hydraulicznej oraz tzw. układu zasilania wzmacniaczy hydraulicznych (tego rodzaju rozwiązanie jest wykorzystywane w celu zwiększenia niezawodności układów sterowania samolotem). Parametry techniczne wzmacniaczy hydraulicznych podawane w dokumentacji eksploatacyjnej samolotu mają następujące wartości [6]:

- skok rozdzielacza  $4,5_{-0,5}^{+1,0}$  [mm];
- siła potrzebna do przesterowania rozdzielacza nie większa od 8,8 [N];
- przecieki wewnętrzne nie większe od 1000 [cm<sup>3</sup>/min];
- skok wahacza  $80_{-2}^{+8}$  [mm];
- strefa nieczułości nie większa niż 0,12 [mm];
- prędkość przesuwu trzonu: wysuw  $115_{-5}^{+35}$  [mm/s], chowanie  $120_{-10}^{+25}$  [mm/s].

Do budowy stanowiska pomiarowego wykorzystano następujące elementy:

- piezorezystancyjne **czujniki wysokiego ciśnienia** amerykańskiej firmy ENDEVCO model 85IIA-5K (czujniki tego rodzaju są przeznaczone do badania ciśnienia w zakresie 0÷35 [MPa], w temperaturze -54 [°C] do +121 [°C], zakres napięć wyjściowych z czujnika ±10[V] [7]) (rys. 6).
- moduł **wzmacniacza czujników ciśnień** — wykorzystywany do wzmacniania sygnału napięciowego generowanego przez czujniki ciśnienia;
- **układ rejestracji i archiwizacji danych** — oparty na karcie pomiarowej firmy AMBEX model LC-012-1612, zintegrowanej z komputerem klasy PC. Moduł LC-012-1612 jest uniwersalnym urządzeniem pomiarowym przystosowanym do pracy z komputerami klasy PC.

Tor pomiarowy modułu LC-012-1612 miał uniwersalną konfigurację i składał się z:

- przetwornika analogowo-cyfrowego;
- układu próbkująco-pamiętającego;
- multiplexera pracującego niesymetrycznie.





Rys. 6. Piezorezystancyjny czujnik Endevco zamontowany w układzie hydraulicznym

Do zarządzania procesami sterowania i analizy danych wykorzystano aplikacje Snap-Master firmy HEM Data Corporation. Oprogramowanie umożliwiło akwizycję danych, bezpośredni zapis danych pomiarowych na dysku, odtwarzanie danych, rozbudowane analizy w funkcji czasu i częstotliwości, przy jednoczesnym wyświetlaniu przebiegów, monitoringu i sterowaniu w czasie rzeczywistym [8].

Schemat układów zasilania i układów, w których wykorzystywane są wzmacniacze hydrauliczne (układ lotek, steru kierunku i wysokości) z zaznaczeniem miejsca przyłączenia czujników pomiarowych przedstawiono na rysunku 7.

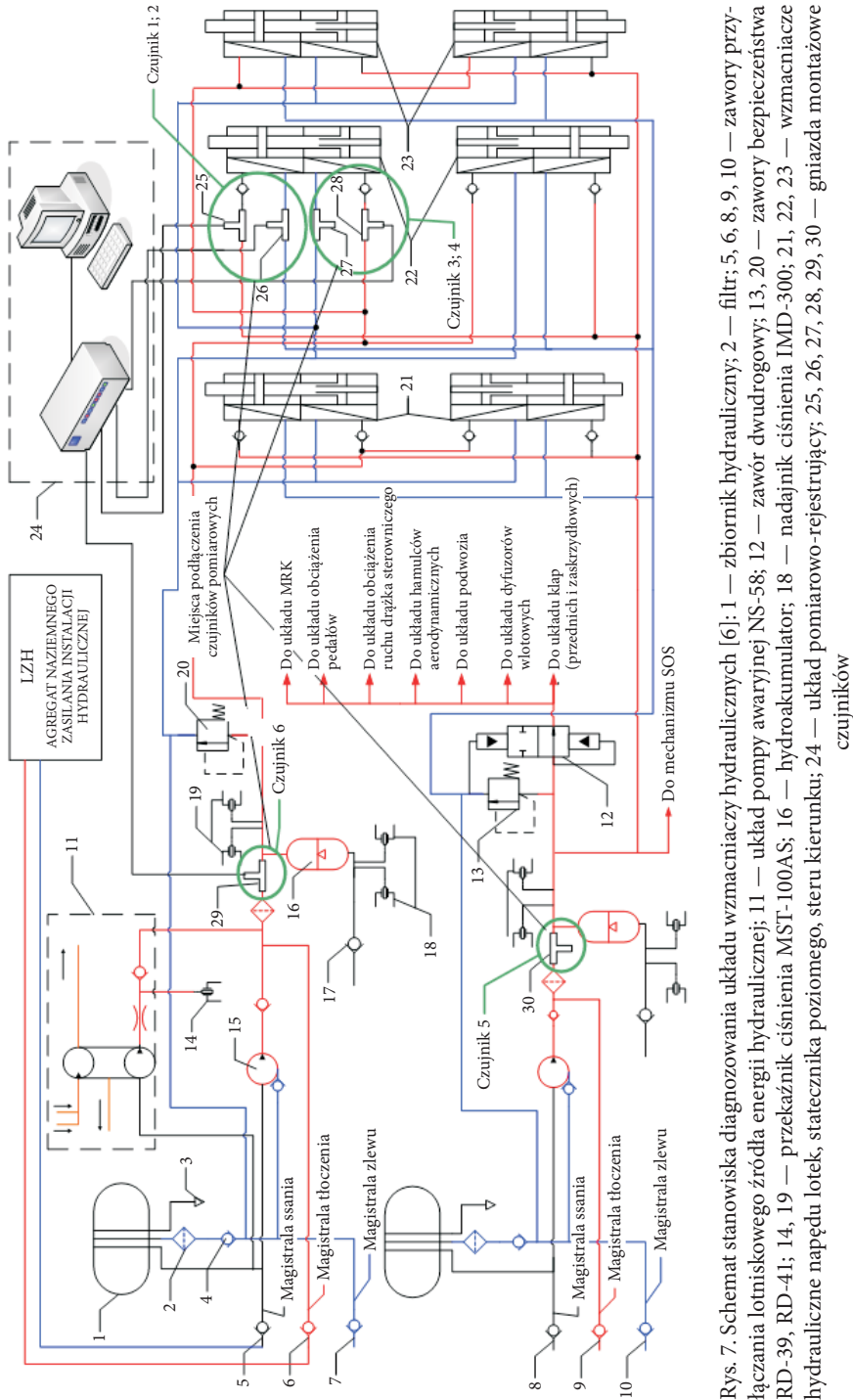
Dostępność do poszczególnych wzmacniaczy hydraulicznych na samolocie stwarza możliwości montażu węzłów pomiarowych w instalacji — dodatkowe przyłącza czujników wykonano w okolicy prawego wzmacniacza steru wysokości (rys. 8). W celu zamontowania w instalacji hydraulicznej czujników ciśnienia, wykonano dodatkowe złącza trójdrogowe (z gniazdami pod czujniki ciśnienia). W badaniach wykorzystano 6 czujników — po jednym umieszczono w głównym układzie zasilania i w układzie zasilania wzmacniaczy (rys. 7), natomiast pozostałe czujniki zamontowano w linii tłoczenia i zlewu wzmacniacza hydraulicznego napędu steru wysokości (rys. 8).

Sygnały z czujników zostały przetwarzane i archiwizowane przez układ pomiarowo-rejestrujący. Na potrzeby badań zbudowano i skonfigurowano w programie moduł pomiarowy i moduł analizy. Do tego ostatniego wprowadzono m.in. charakterystyki skalowania czujników ciśnienia. Przykład widoku modułu analizy przedstawiono na rysunku 9.

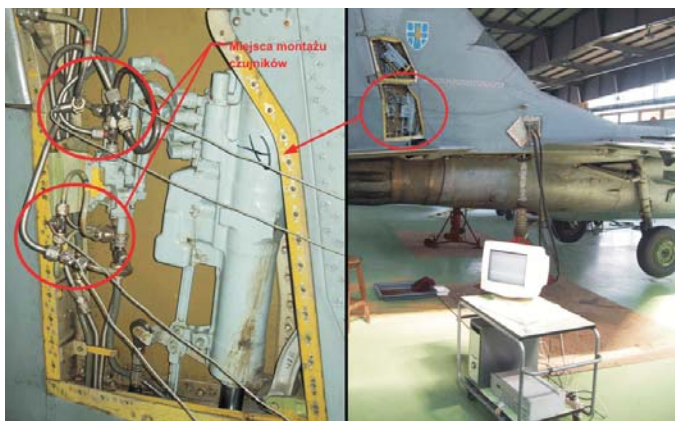
W badaniach do sterowania pracą wzmacniaczy hydraulicznych wykorzystano dźwąż sterowy pilota i sterownice nożne (orczyk). Wychylenie organów sterowych przyjęto według schematu prezentowanego na rysunku 10. Zmiany kątów powierzchni sterowych zgodne są z układem odniesienia związanym z samolotem OXYZ.

Badania przeprowadzono w kilku etapach, rejestrując zmianę parametrów instalacji hydraulicznej, zmiany ciśnienia i czasu przesterowania (układ wzmacniaczy) dla wybranej sekwencji manewrów wykonywanej sterownicami samolotu.

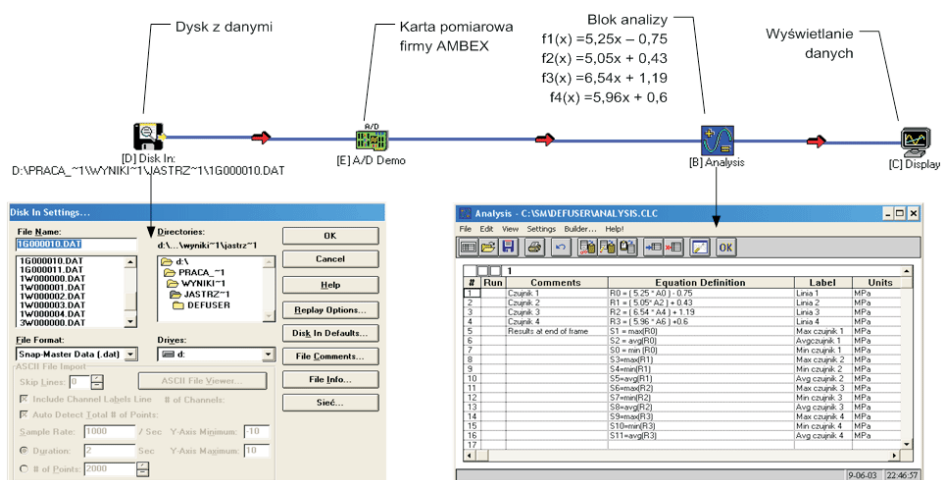
Wybrane charakterystyki zmian ciśnienia (w postaci funkcji  $\Delta p = f(t)$ ) zarejestrowane dla różnych etapów badań eksperymentalnych przedstawiono



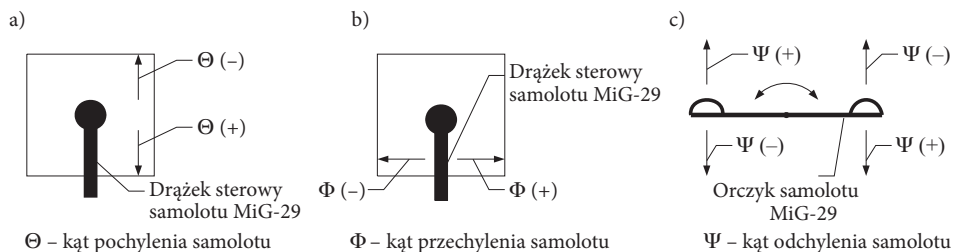
Rys. 7. Schemat stanowiska diagnozowania układu wzmacniaczy hydraulicznych [6]: 1 — zbiornik hydrauliczny; 2 — filtr; 5, 6, 8, 9, 10 — zawory bezpieczeństwa łącząca lotniskowego źródła energii hydraulicznej; 11 — układ pompy awaryjnej NS-58; 12 — zawór dwudrogowy; 13, 20 — zawory bezpieczeństwa RD-39, RD-41; 14, 19 — przekładnik ciśnienia MST-100AS; 16 — hydroakumulator; 18 — nadajnik ciśnienia IMD-300; 21, 22, 23 — wzmacniacze hydrauliczne napędu lotek, statecznika poziomego, steru kierunku; 24 — układ pomiarowo-rejestrujący; 25, 26, 27, 28, 29, 30 — gniazda montażowe czujników



Rys. 8. Układ pomiarowo-rejestrujący i fragment instalacji z miejscami przyłączenia czujników ciśnienia

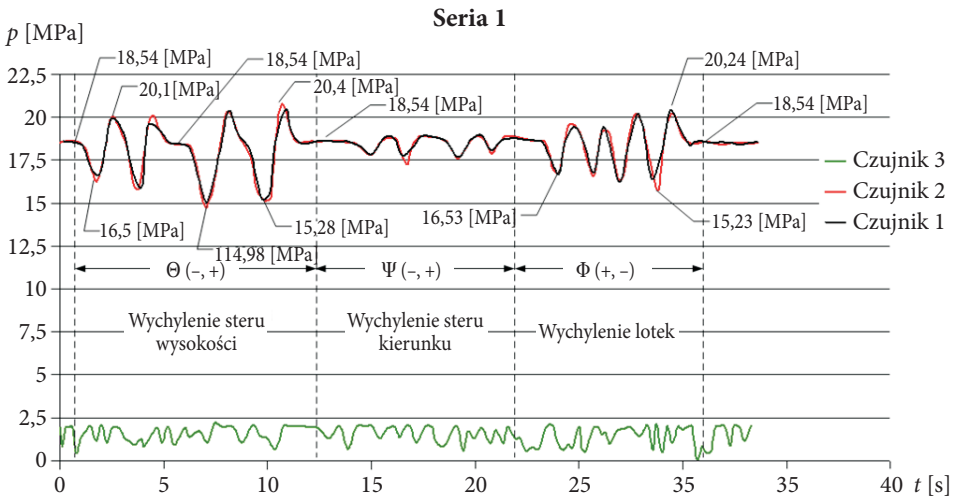


Rys. 9. Widok modułu zbudowanego i skonfigurowanego w programie Snap-Master

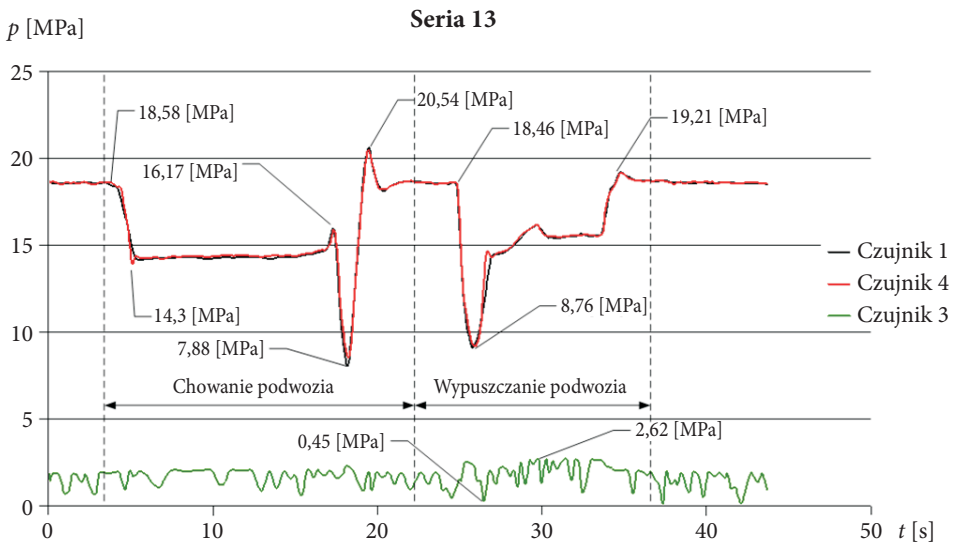


Rys. 10. Oznaczenie zmiany położenia organów sterowania a) w kanale pochylenia; b) w kanale przechylenia; c) w kanale odchylenia samolotu

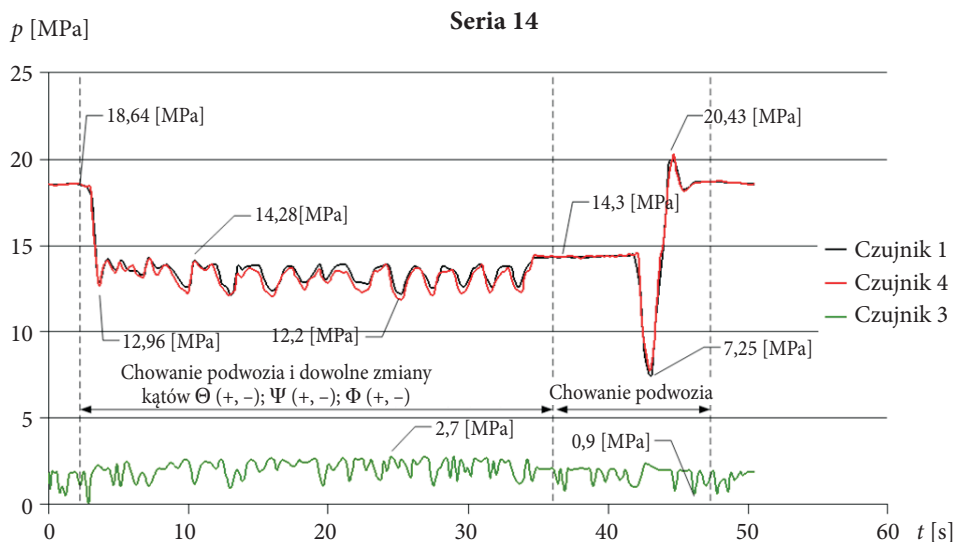
na rysunkach 11-14. Na rysunku 11 przedstawiono zmiany ciśnienia występujące w układzie zasilania (linia tłoczenia — czujnik 1) oraz układzie steru wysokości (linia tłoczenia — czujnik 2 i linia zlewu — czujnik 3) dla przypadków: wychylenia steru wysokości, steru kierunku i wychylenia lotek. W układzie obserwowano gwałtowne



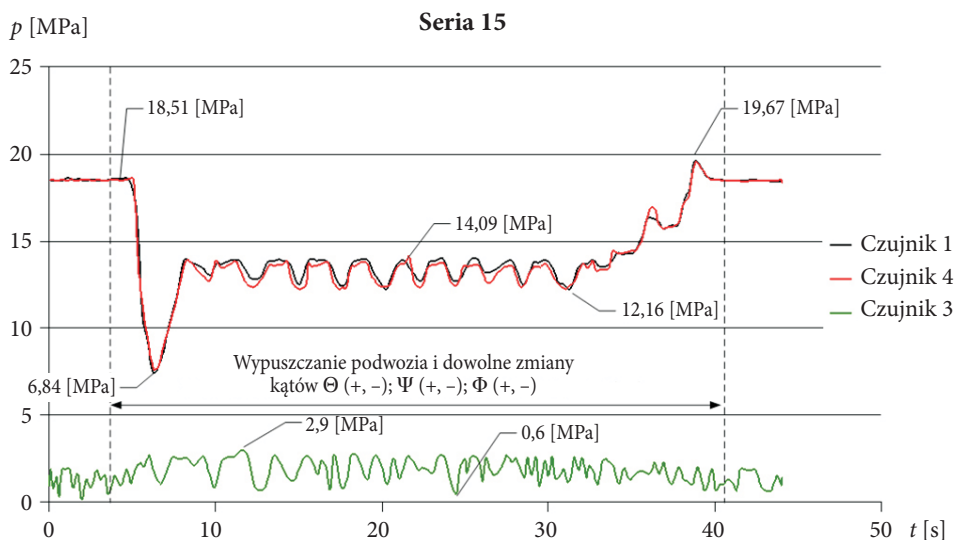
Rys. 11. Zmiany wartości ciśnienia w układzie zasilania oraz układzie steru wysokości (linia tłoczenia — czujnik 1, 2, linia zlewu czujnik 3) dla 3 przypadków wychylenia powierzchni sterowych



Rys. 12. Zmiany wartości ciśnienia w układzie zasilania oraz układzie steru wysokości (linia tłoczenia — czujnik 1, 4; linia zlewu — czujnik 3) w czasie chowania i wypuszczania podwozia



Rys. 13. Zmiany ciśnienia w układzie zasilania i układzie steru wysokości w czasie chowania podwozia



Rys. 14. Zmiany ciśnienia w układzie zasilania i układzie steru wysokości w czasie wypuszczania podwozia

zmiany ciśnienia w czasie przesterowania wzmacniaczy spowodowane zjawiskiem uderzenia hydraulicznego. Przy nominalnym ciśnieniu zasilania na poziomie 18,5 [MPa], rejestrowano zmiany ciśnienia w zakresie 14,7÷20,7 [MPa]. Stwierdzono, że charakter i wartości zmian ciśnienia w linii tłoczenia układu zasilania oraz układu

steru wysokości są bardzo zbliżone. Ponieważ czujniki ciśnienia umieszczone były w różnych miejscach instalacji hydraulicznej samolotu, wydaje się, że w instalacji o tego rodzaju gabarytach, zmiany ciśnienia spowodowane oporami miejscowymi i oporami liniowymi mogą być pomijane w analizie diagnostycznej.

Na rysunku 12 przedstawiono zmiany ciśnienia występujące w układzie zasilania (linia tłoczenia — czujnik 1) oraz układzie steru wysokości (linia tłoczenia czujnik — czujnik 4, linia zlewu — czujnik 3) w czasie chowania i wypuszczania podwozia. Przy nominalnej wartości ciśnienia 18,5 [MPa] obserwowano zmiany ciśnienia w zakresie 7,8÷20,5 [MPa]. Na rysunkach 13 i 14 natomiast przedstawiono zmiany ciśnienia w układzie zasilania oraz układzie steru wysokości przy jednoczesnym wykorzystaniu układu steru wysokości, steru kierunku i układu lotek w momencie chowania i wypuszczania podwozia. Spadki ciśnienia były na tyle istotne, że w układzie następowały opóźnienia płynności ruchów powierzchni sterowych oraz przekroczenie (kilkakrotne) dopuszczalnego czasu wypuszczania i chowania podwozia.

## Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań eksperymentalnych można sformułować następujące wnioski:

- istnieje potrzeba zwiększania podatności diagnostycznej systemów hydraulicznych, przez proste zabiegi konstrukcyjne (np. zwiększanie dostępu do układów, zwiększanie liczby luków i wzierników) oraz przez budowanie zawansowanych systemów diagnostycznych opartych na coraz doskonalszych środkach do zbierania i przetwarzania informacji diagnostycznej;
- skuteczną metodą diagnozowania instalacji jest metoda oparta na tzw. modułach diagnostycznych;
- do oceny stanu technicznego instalacji hydraulicznej (jako parametry diagnostyczne) mogą być wykorzystywane sygnały ciśnienia występujące w instalacji w czasie przemieszczania jej elementów wykonawczych oraz czas chowania i wypuszczania elementów statku powietrznego;
- wykorzystanie jednocześnie w instalacji wielu układów, np.: steru wysokości, steru kierunku, układu lotek i układu podwozia (sytuacja występująca w czasie startu i lądowania samolotu) powoduje gwałtowne zmiany ciśnienia w instalacji i istotne opóźnienia czasu przesterowania poszczególnych elementów statku powietrznego. W związku z tym, w przypadku projektowania systemu diagnostycznego eksploatowanej już instalacji hydraulicznej tego rodzaju sytuacje należy przewidzieć, tak aby uniknąć ryzyka generowania przez pokładowy system diagnostyczny sygnałów o uszkodzeniu w przypadku jej bezawaryjnej pracy.

- wydaje się, że instalacja samolotu Mig-29 powinna być wyposażona, w układach sterowania samolotem, w dodatkowe źródła energii hydraulicznej (np. hydroakumulatory). Tego rodzaju rozwiązanie (spotkane np. w samolocie F-16) powinno wyeliminować sytuację istotnej zmiany czasu działania elementów układów sterowania samolotem w momentach wykorzystywania jednocześnie kilku układów instalacji.

Artykuł wpłynął do redakcji 15.07.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w październiku 2009 r.

#### LITERATURA

- [1] B. ŻÓŁTOWSKI, Z. ĆWIKA, *Leksykon diagnostyki technicznej*, Wyd. ATR, Bydgoszcz, 1996.
- [2] T. BANEL, K. RUTKOWSKI, *Wyposażenie hydropneumatyczne samolotów i śmigłowców, część II: Instalacje*, WAT, Warszawa, 1990.
- [3] J. LEWITOWICZ, J. BORGON, W. ZĄBKOWICZ, *Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej — Ocena stanu technicznego lotniczych instalacji hydraulicznych w procesie ich eksploatacji*, t. 5, ITWL, Warszawa, 1993.
- [4] J. LEWITOWICZ, J. BORGON, W. ZĄBKOWICZ, *Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej*, t. 2, r. 9: L. Ułanowicz, *Problemy eksploatacji lotniczych instalacji hydraulicznych*, ITWL, Warszawa, 1993.
- [5] P. LINDSTEDT, *Praktyczna diagnostyka maszyn i jej teoretyczne podstawy*, Wydawnictwo Naukowe ASKON, Warszawa, 2002.
- [6] Dokumentacja eksploatacyjna samolotu Mig-29 *Samolot Mig-29UB książka 1 Układy płatowca*, Dowództwo Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej, Poznań, 1993.
- [7] [www.endevco.com/resources/catalog](http://www.endevco.com/resources/catalog)
- [8] Materiały szkoleniowe firmy HEM Data Corporation *Snap-Master for Windows*.

M. ROŚKOWICZ, G. JASTRZĘBSKI

#### Possibilities of diagnosis of aircraft hydraulic systems

**Abstract.** This dissertation presents the results of experimental research conducted in order to appraise the possibilities of diagnosis of hydraulic system in aircraft. Investigations were conducted on horizontal and vertical rudder system of MiG-29, with hydraulic amplifiers RP series used as actuators. At present, amplifiers are operated in “overhaul life” system and are visually diagnosed after their disassembling from the aircraft. The measured diagnostic parameters were: changes in pressure value in hydraulic system and changes in hydraulic actuators repositioning time. There are defined minimum and maximum values of pressure in rudder system during simultaneous work of different part of system. The dissertation indicates the possibility of diagnosis of aircraft hydraulic system basing on diagnostic modules without necessity of disassembling hydraulic elements from the aircraft.

**Keywords:** mechanical engineering, hydraulic system diagnosis, diagnostic modules, hydraulic amplifier

**Universal Decimal Classification:** 623.746.06

