

Maciej SZEWCZYK, Józef POTEMPA

STANOWISKO DO BADAŃ ORAZ CZUJNIKI I APARATURA POMIAROWO-REJESTRUJĄCA,
STOSOWANA DO OCENY PODSTAWOWYCH WŁASNOŚCI EKSPLOATACYJNYCH
POMP I SILNIKÓW HYDRAULICZNYCH

Streszczenie. Przedstawiono metodę współczesnych badań diagnostycznych oraz nowoczesną aparaturę pomiarowo-rejestrującą do badań pełnych charakterystyk eksploatacyjnych pomp dla układów hydraulicznych. Przedstawiono również oryginalne czujniki pomiarowe własnej konstrukcji, a także sposób opracowania wyników badań.

1. WSTĘP

Własności eksploatacyjne pompy, stanowiącej jeden z ważniejszych elementów hydraulicznych układów napędowych, decydują w znacznym stopniu o prawidłowej pracy całego urządzenia. Dlatego istnieje uzasadniona celowość badania pomp zarówno nowo wyprodukowanych, jak również okresowego badania pomp w czasie eksploatacji.

Pełny zakres badań pomp obejmuje:

- wyznaczenie charakterystyk mechaniczno-hydraulicznych
- pomiar głośności pracy
- badanie trwałości obiektu jako całości
- określenie stopnia zużycia elementów roboczych.

Część z tych badań może być wykorzystywana wyłącznie do badań odbiorczych, a część może stanowić podstawę do bieżącej oceny stanu przydatności eksploatacyjnej.

Celem artykułu jest wskazanie aktualnych możliwości pomiarowych ważniejszych wielkości fizycznych pomp, a także zaprezentowanie czujników pomiarowych używanych w pomiarach, stanowiących własne opracowania.

W zasadzie wszystkie opisane w dalszej części artykułu metody pomiaru i urządzenia pomiarowe do badań pomp mogą być wykorzystane również do eksploatacyjnych badań silników hydraulicznych. Podane wskazówki praktyczne mogą być wykorzystane nie tylko w przedmiocie badań pomp i silników hydraulicznych, lecz również w innych gałęziach techniki pomiarowej.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Badanie pompy lub silnika hydraulicznego przeprowadza się najczęściej na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku. Przykładem budowy takiego urządzenia może być pokazane schematycznie na rysunku 1 stanowisko badawcze Instytutu Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej, wykorzystywane w pracach badawczych i procesach dydaktycznych. Na stanowisku istnieje możliwość badania maszyn hydraulicznych o przepływach do $100 [\text{dm}^3/\text{min}]$, przy ciśnieniach do 35 MPa. Dzięki odpowiedniej konstrukcji stału i wsporników możliwe jest mocowanie pomp i silników różnych typów i wielkości.

Do podstawowych urządzeń stanowiska zaliczyć należy dwa zbiorniki oleju 4 i 5 z wymuszonym przez dodatkową pompę 14 obiegiem oleju, regulowany silnik napędowy 2, urządzenie do stabilizacji temperatury 13 i 18, elementy filtrujące 15 i 15a, zawory sterująco-regulacyjne, m.in. zawór przelewowy 3 i bezpieczeństwa 16 oraz zawory dławiące 23.

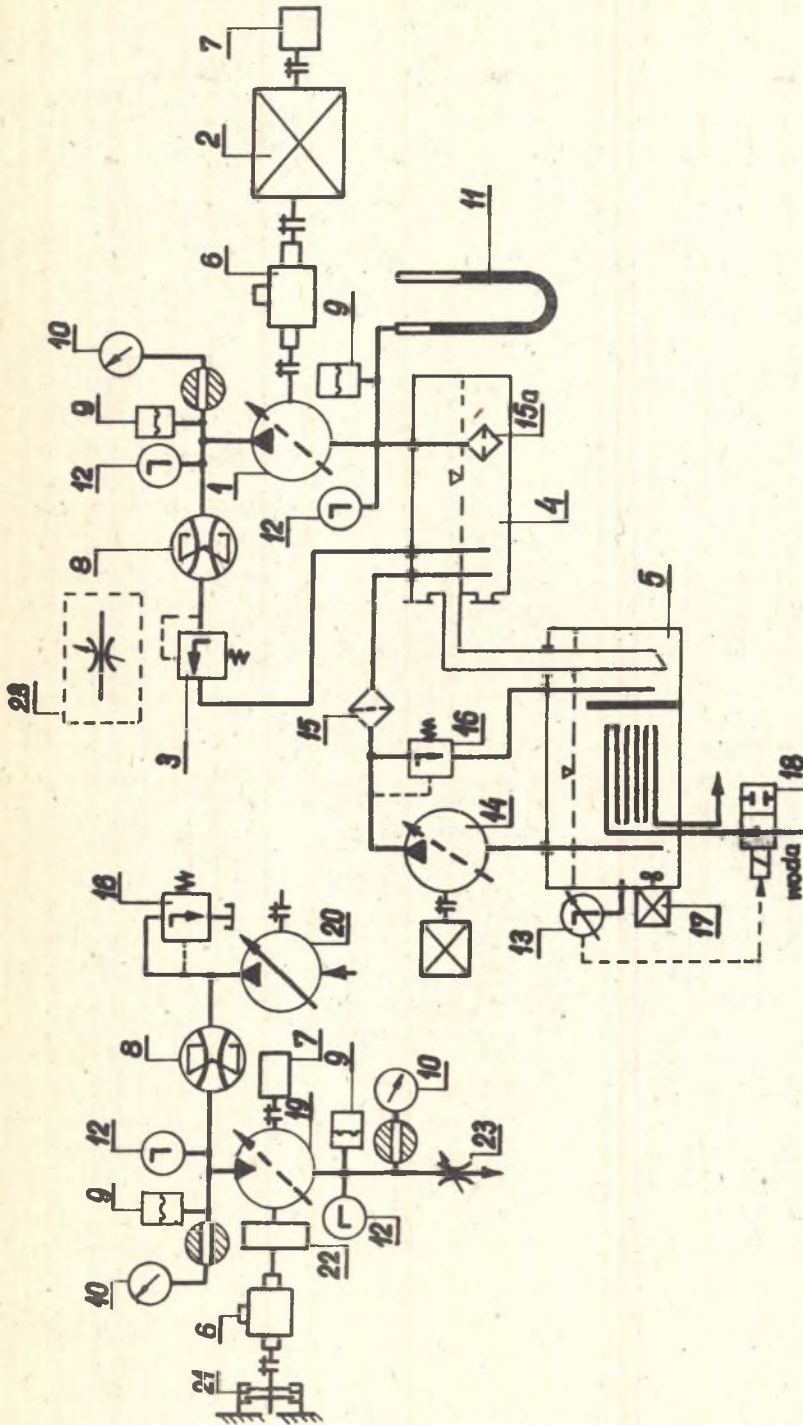
Napęd ruchu obrotowego wału pompy umożliwia bezstopniową regulację prędkości obrotowej w zakresie $n = 100 - 2000 [\text{obr}/\text{min}]$. Dokładność filtrowania oleju zawiera się w granicach $10 \div 40 [\mu\text{m}]$, natomiast temperatura w zbiorniku ($t = 293 \div 343^\circ\text{K}$) jest stabilizowana podczas badań z niedokładnością $\pm 1 [^\circ\text{K}]$. Dobre rezultaty w zakresie stabilizacji temperatury oleju osiągnięto stosując dwa zbiorniki zasilające (rys. 1) z wymuszonym za pomocą pompy 14 obiegiem oleju. Na przewodzie ssawnym zastosowano jedynie filtry średnio dokładne z uwagi na zapewnienie małych oporów przepływu. Stanowisko posiada możliwość kontrolowanego różnicowania oporów przepływu na przewodzie ssawnym badanej pompy.

W tym celu na przewodzie dopływowym można umieścić urządzenie dławiące korzystniejsze jednak jest przyłączenie przewodu przelewowego do odpowiedniej końcówki w bocznej ścianie zbiornika 4, zapewniające zmianę wysokości ssania w granicach 200 - 700 [mm]. Wielkość zbiorników, przekroje przewodów przelotowych a także wielkości i typy elementów sterujących zostały dobrane według zaleceń normowych, podawanych przez literaturę [1].

Właściwości użytego oleju (lub innej cieczy) powinny być jak najbardziej zbliżone do tych, które zaleca się w warunkach eksploatacji pompy. Najczęściej używa się na stanowisku olejów grupy HYDROL jako cieczy zalecanych do stosowania w większości urządzeń hydraulicznych.

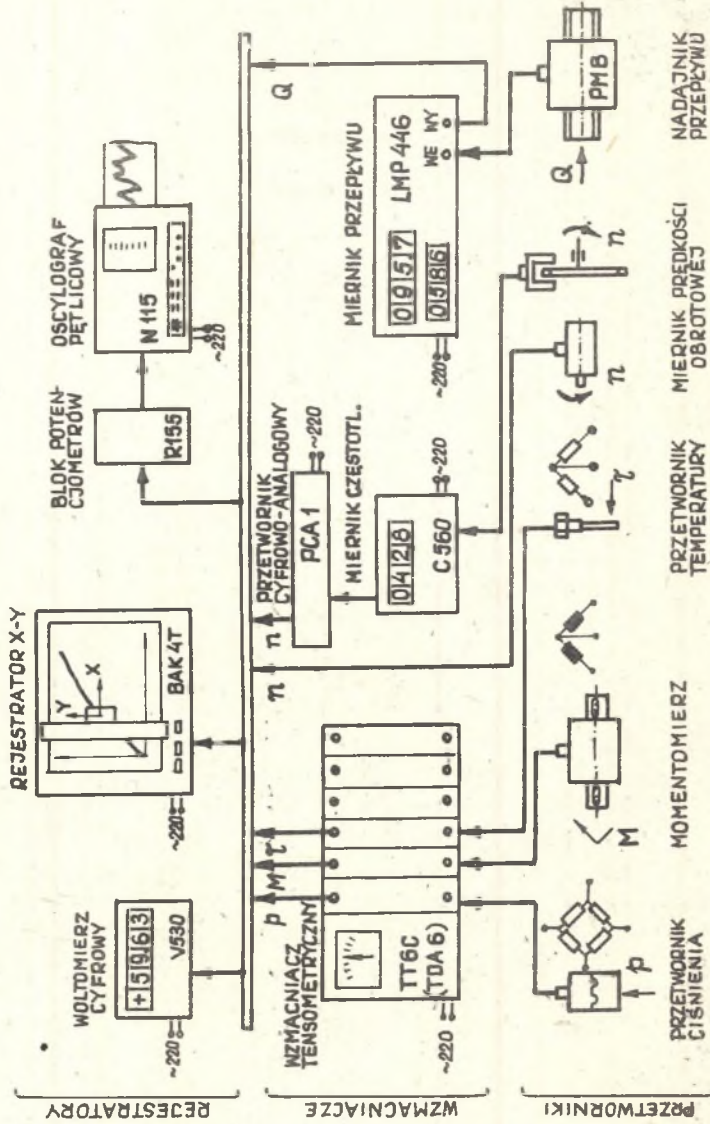
3. APARATURA POMIAROWO-REJESTRUJĄCA

Stanowisko badawcze jest wyposażone w urządzenia umożliwiające nie tylko dokładny i szybki odczyt wartości mierzonych, lecz również zarejestrowanie poszczególnych wielkości fizycznych (dotyczy to w szczególności badań dynamicznych, np. procesów rozruchu i hamowania silnika hydraulicznego, pulsacji ciśnienia i innych). Do podstawowych przyrządów pomiarowych



Rys. 1. Stanowisko do badań pomp i silników hydraulicznych

1 - pompa badana, 2 - silnik prądowy, 4 - zbiornik pomocniczy, 5 - zbiornik główny, 6 - momentenierz, 7 - miernik prędkości obrotowej, 8 - zawór przelotowy, 9 - manometr tansometryczny, 10 - manometr wskazówkowy, 11 - miernik różniowy, 12 - miernik temperatury, 13 - termoregulator, 14 - pompa układu do zasillania, 15, 15a - filtr dokładny i zgrubny, 16 - zawór bezpieczeństwa, 17 - mieszadło, 18 - rozdzielacz układu chłodzenia, 19 - silnik hydrauliczny badany, 20 - zawór zasillający, regulowany, 21 - hamulec, 22 - bezwładność, 23 - zawór dławiący



rys. 2. Aparatura pomiarowa stanowiska badawczego

należą urządzenia do pomiaru ciśnienia, przepływu, prędkości obrotowej, momentu obrotowego i temperatury oleju.

Stosowane przyrządy pomiarowe są z reguły przetwornikami analogowymi wielkości mierzonych na napięcie lub prąd elektryczny, które w dalszej kolejności mogą być rejestrowane lub przekształcane do wygodnej przy odczytanie formy cyfrowej.

Podstawowy zestaw aparatury badawczej pokazano schematycznie na rysunku 2. Zestaw zawiera 3 grupy przyrządów:

- przetworniki wielkości mierzonych (ciśnienia, momentu, prędkości obrotowej, przepływu i temperatury);
- przyrządy wzmacniające i przekształcające (wzmacniacz tensometryczny, miernik częstotliwości, miernik przepływu, przetwornik cyfrowo-analogowy);
- przyrządy wskazujące i rejestrujące (woltomierz cyfrowy, oscylograf, rejestrator X-Y).

Poniżej opisano dokładniej cechy poszczególnych przetworników urządzeń pomiarowych oraz podano praktyczne zalecenia stosowane przy pomiarach na stanowisku badawczym.

Przy wyborze konkretnych przyrządów pomiarowych w maksymalnym stopniu uwzględniono możliwość ich nabycia na rynku krajowym lub wykonania w własnym zakresie.

3.1. Pomiar ciśnienia

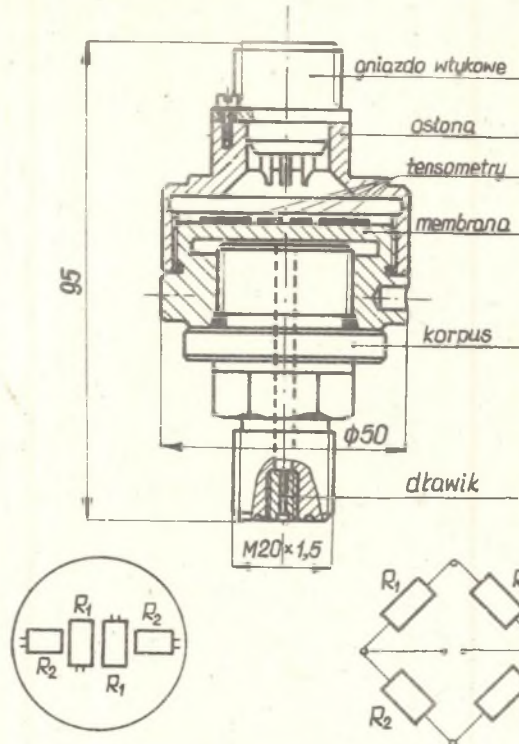
Z uwagi na niewielką wartość podciśnienia na przewodach ssawnych pomiar jego pomiaru najlepiej dokonać za pomocą manometru różnicowego (U-rurki), np. typu MRT-100, produkcji "Chemopomiaru", wypełnionego rtęcią lub wodą. Na przewodach ciśnieniowych instaluje się zwykle dwa przyrządy: do pomiarów statycznych - manometr wskazówkowy, a do pomiarów dynamicznych (np. pulsacja ciśnienia pompy) - przetwornik ciśnieniowy, tensometryczny lub indukcyjny.

Ze względu na prostą budowę i możliwość wykonania we własnym zakresie, rozpowszechnione są tensometryczne przetworniki membranowe. Jedno z możliwych rozwiązań konstrukcyjnych takiego przetwornika pokazano na rys.3. Przetworniki tego typu budowane mogą być dla ciśnień do kilkudziesięciu MPa i przenosić częstotliwości 1000 Hz i więcej.

Przy pomiarach pulsacji ciśnienia zawór przelewowy na stanowisku zastępuje się zaworem działającym. Unika się w ten sposób zniekształcenia charakteru pomiaru, występującego na skutek wzbudzenia się ruchomych części zaworu przelewowego.

Do pomiaru i rejestracji ciśnienia użyć można również z powodzeniem czujników ciśnienia typu OT-2, opracowanych przez Instytut Lotnictwa.

W celu zwiększenia dokładności pomiarów statycznych manometry wskazówkowe wzorcuje się za pomocą manometrów obciążnikowo-tłokowych typu MT, o zakresie ciśnień do 60 [MPa], uzyskując niedokładność odczytu w granicach 0,5 - 1,0[%].



Rys. 3. Tensometryczny przetwornik ciśnienia

3.2. Pomiar przepływu

Bardzo praktycznym instrumentem do pomiaru przepływu oleju w przewodach hydraulicznych są zestawy złożone z turbinkowego nadajnika przepływu typu PMB oraz elektronicznego miernika przepływu typu LMP 446 [2]. Istniejący zestaw 8 nadajników o możliwościach pomiarowych 1 - 1000 [dm³/min] pokrywa w zupełności zakres wydajności stosowanych pomp. Nadajnik charakteryzuje niską wartość stałej czasowej ok. 0,1 [s] oraz stosunkowo dużą dokładność pomiaru (błąd pomiaru w granicach 3 - 4% przy lepkości ≤ 7 [cSt]). Dzięki tym walorom urządzenie stwarza możliwość zarejestrowania przebiegu zmian wartości przepływu w czasie.

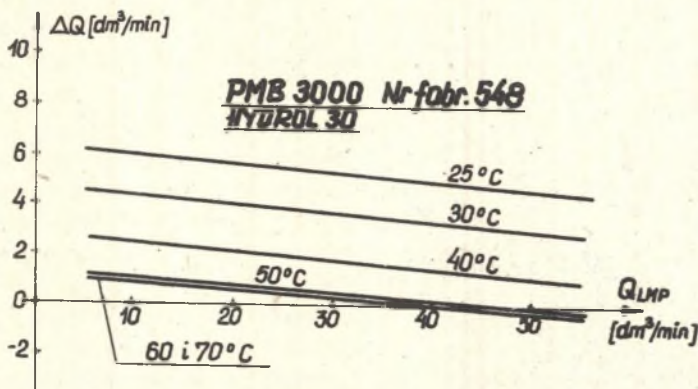
Stosowane w układach hydraulicznych i wypełniające stanowisko oleje typu HYDROL posiadają lepkość przekraczającą znacznie 7 [cSt]. W tej sytuacji podczas pomiarów wystąpić mogą błędy, nierzadko osiągające wartość kilkudziesięciu procent.

Nieodzwone jest więc dla każdego zastosowanego nadajnika przepływu i rodzaju oleju użytego do badań dokonać wzorcowania przyrządu. Przykładowo, dla oleju HYDROL 30 dokonano wzorcowania nadajnika typu PMB 3000 w zakre-

się temperatur 298 - 343 [°K] (lepkość 80 - 15 [cSt]), używając do tego celu dokładnego przepływomierza objętościowego z kołami owalnymi.

Na rysunku 4 pokazano wykres poprawek ΔQ w funkcji przepływu Q_{LMP} , odczytanego z miernika dla kilku wartości temperatur oleju. Rzeczywistą wartość przepływu określa się ze wzoru:

$$Q_{rzecz} = Q_{LMP} + \Delta Q.$$



Rys. 4. Wykres wartości poprawek dla nadajnika przepływu typu PMB

Konieczność wprowadzenia poprawek w celu zwiększenia dokładności pomiaru przepływu w znacznym stopniu ogranicza możliwość rejestrowania tej wielkości na rejestratorach. Poprawę sytuacji w tym względzie można osiągnąć przez skorygowanie analogowego napięcia wyjściowego miernika przepływu za pomocą układu termistorów kompensujących wpływ temperatury oleju.

3.3. Pomiar prędkości obrotowej

Praktyka pomiarowa dowodzi, że pomiar prędkości obrotowej za pomocą prądu tachometrycznej prądu stałego, np. typu FBF EVERSHED oraz woltomierza cyfrowego typu V530 jest wystarczająco dokładny. Prądnice te odznaczają się dobrą liniowością w zakresie 100 - 3000 [obr./min] oraz małym poziomem szumów.

Również zastosowanie miernika częstotliwości i obrotów typu C 560 z oszujnikiem fotoelektrycznym daje możliwość cyfrowego pomiaru prędkości obrotowej z dużą dokładnością. Przy zastosowaniu przetwornika cyfrowo-analogowego typu PCA-1 prędkość tę można również rejestrować.

3.4. Pomiar momentu obrotowego

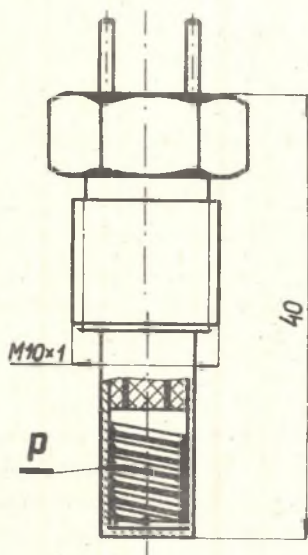
Możliwość pomiaru i rejestracji momentu na obracających się wałach sterujących specjalnej budowy momentomierze.

W budowie przyrządów tego typu specjalizuje się zaledwie kilku firmna świecie i dla użytkownika krajowego są one trudno osiągalne. W Instytucie Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej opracowano oryginalną konstrukcję momentomierza [3], którym dokonuje się pomiaru momentu na stanowisku do badań pomp.

Momentomierz działa na zasadzie indukcyjnej, dokonując pomiaru momentu na wirującym wale w sposób bezdotykowy. Momentomierze o zakresie pomiarowym 50, 100, 200 i 500 [Nm] posiadają liniowe charakterystyki statyczne, zapewniają pomiar momentów z niedokładnością 2%, przy częstotliwościach pomiarowych osiągających wartość 200 [Hz] i nadają się do współpracy z krajową i zagraniczną aparaturą tensometryczną.

3.5. Pomiar temperatury

Do pomiaru i rejestracji temperatury w dowolnym miejscu instalacji hydraulicznej, w szczególności zaś przed i za badanym obiektem (pompa lub silnik), proponuje się wykorzystanie wzmacniacza tensometrycznego wraz z odpowiednim przetwornikiem temperatury. Jedno z przykładowych rozwiązań czujnika temperatury pokazano na rysunku 5. Element pomiarowy P czujnika, wykonany z drutu platynowego lub niklowego o średnicy $0,05 \pm 0,1$ [mm] i rezystancji kilku omów, włącza się w układ półmostka z dwoma tensometrami R1 i R2. Element pomiarowy umieszcza się na przewodzie przepływowym, natomiast tensometry - w miejscu o możliwie stałej temperaturze. Tego typu czujnikiem można mierzyć i rejestrować temperaturę w zakresie $273 - 373$ [°K], a nawet większym.



Rys. 5. Czujnik temperatury

4. WYBÓR METODY I ŚRODKÓW POMIAROWYCH

Na stanowisku badawczym Instytutu Budowy Maszyn istnieje możliwość dokonywania pomiarów:

- z odczytem (najczęściej cyfrowym) wartości mierzonych,
- z automatycznym rejestrowaniem wielkości fizycznych w czasie lub funkcji dwóch wielkości mierzonych.

W przypadku dokonywania pomiarów z odczytem wartości otrzymuje się zbiór liczb, a następnie zbiór punktów na wykresach, które po zastosowaniu wybranej metody statystycznej zastępuje się jedną krzywą - charakterystyką. Przy pomiarach automatycznych z graficznym zapisem wartości na urządzeniach rejestrujących, w wyniku występowania błędów przypadkowych, przy wielokrotnym zapisie tej samej zależności, otrzymuje się zbiór krzywych w ograniczonym polu, z których każda jest przybliżonym obrazem badanego przebiegu lub funkcji.

W zależności od głównego celu, jaki postawiono przed pomiarem, należy w sposób właściwy dokonać wyboru środków i metody pomiarowej. W warunkach laboratoryjnych, gdzie decydującym czynnikiem jest dokładność pomiarów, należałoby skłaniać się do pomiarów z odczytem wartości mierzonych. W tych przypadkach, w których decydujące znaczenie posiada szybkość dokonywania pomiarów, przy mniej wygórowanych wymaganiach dokładności (badania orientacyjne, ekspertyzy), uzasadnione jest stosowanie daleko posuniętej automatyzacji pomiarów.

LITERATURA

- [1] ZIELIŃSKI A.: Napęd i sterowanie hydrauliczne obrabiarek. WNT, Warszawa 1969.
- [2] LIPSKI J.: Napędy i sterowania hydrauliczne. WKL, Warszawa 1977.
- [3] SZEWCZYK M.: Momentomierz indukcyjny do bezdotykowego pomiaru momentu skręcającego. Przegląd Mechaniczny nr 17/78.

ПОСТ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ А ТАКЖЕ ДАТЧИКИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНО-РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА, ПРИМЕНЯЕМАЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ НАСОСОВ И ДВИГАТЕЛЕЙ

Резюме

В статье описан метод совершенных диагностических исследований а также новейшая измерительно-регистрающая аппаратура для исследования полных эксплуатационных характеристик насосов для гидравлических систем. Представлены также оригинальные измерительные датчики собственной конструкции, а также способ разработки результатов исследований.

THE STAND SENSING MEASURING AND RECORDING EQUIPMENT
FOR EVALUATION OF THE BASIC WORKING PROPERTIES OF
HYDRAULIC PUMPS AND MOTORS

S u m m a r y

The method of modern diagnostic examination and an up-to-date measuring and recording equipment for testing the full working characteristics of the pumps for the hydraulic system are given. The new, original sensing device, and a way of test data handling are presented.