

Przykłady zastosowań mikroprocesorowych systemów sterowania i rejestracji w badaniach napędów hydrostatycznych maszyn roboczych

SŁAWOMIR BEDNARSKI
MAREK GOZDALIK
ANDRZEJ KOSUCKI

Nawet najprostsze napędy hydrostatyczne są wyposażone w większości w pewien system pomiarowy. Zwykle jest to system pomiarowo-kontrolny będący integralną częścią procesu sterowania napędu oraz bieżącej kontroli parametrów jego pracy. Typowym przykładem jest tu pomiar ciśnienia, temperatury i poziomu cieczy roboczej oraz pomiar spadków ciśnień na elementach filtrujących. W napędach bardziej złożonych, zwłaszcza w napędach sterowanych programowo, konieczne są pomiary wielkości biorących udział w procesie regulacji. Może to być przykładowo pomiar prędkości wału silnika hydrostatycznego zasilanego ze stałociśnieniowej sieci hydraulicznej czy też pomiar kąta wychylenia tarczy pompy w układzie regulacji jej objętości roboczej. Jednak w napędzie hydrostatycznym pojawia się niekiedy konieczność rozpoznania zjawisk zachodzących w trakcie jego eksploatacji. Wynika to z zakłóceń prawidłowej pracy napędu lub z potrzeb czysto badawczych. W obu przypadkach systemy pomiarowe są bardziej rozbudowane i wyposażone w elementy umożliwiające rejestrację przebiegów dynamicznych. W artykule zostaną przedstawione przykłady zastosowań pomiarowych systemów diagnostyczno-badawczych, jakie wykorzystano w trakcie prac prowadzonych przez Zakład MRiNH Politechniki Łódzkiej.

Charakterystyka systemu kontrolno-pomiarowego

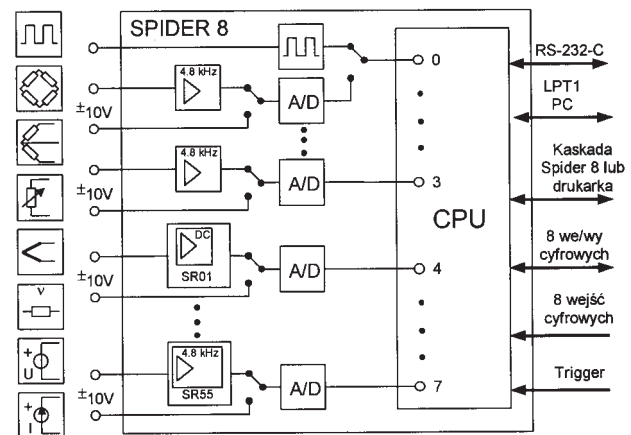
Do pomiarów wykorzystano nowoczesne przetworniki pomiarowe oraz wysokiej klasy sprzęt rejestracyjny. Stacja akwizycji danych została zbudowana z wykorzystaniem 8-kanalowego elektronicznego urządzenia pomiarowego Spider8 firmy HBM, przenośnego komputera pomiarowego Pentium III 433 MHz wraz z oprogramowaniem – Catman® v2.2 firmy HBM.

• Charakterystyka wzmacniacza pomiarowego

Spider8 jest ośmiokanałowym mikroprocesorowym elektronicznym urządzeniem pomiarowym, umożliwiającym jednoczesny (równoległy) dynamiczny pomiar wielkości we wszystkich kanałach. Na rys. 1 przedstawiono jego schemat funkcjonalny.

Spider8 charakteryzuje się kompaktową budową o rozmiarze niewiele większym od notebooka. Każdy kanał pomiarowy urządzenia dysponuje własnym zasilaniem pasywnego odbiornika (czujnika), wzmac-

niaczem, filtrem i przetwornikiem analogowo-cyfrowym. Praca wszystkich przetworników A/D jest zsynchronizowana, maksymalna częstotliwość wynosi 9600 pomiarów na sekundę na jeden kanał z 16-bitową rozdzielczością. Odporne na zakłócenia i stabilne wzmacniacze o częstotliwości nośnej 4,8 kHz umożliwiają uniwersalność zastosowania urządzenia do pomiaru siły, drogi, ciśnienia i innych wielkości mechanicznych przy użyciu tensometrycznych (mostek, półmostek) i indukcyjnych przetworników. Dwa kanały są przystosowane do współpracy z czujnikami inkrementalnymi (pomiar częstotliwości bądź licznik impulsów). Jeden z kanałów umożliwia współpracę z elementem typu termopara, wszystkie zaś pozwalają na pomiar napięcia i prądu stałego oraz oporności.



Rys. 1. Schemat wielokanałowego rejestratora Spider8

Dodatkowo Spider8 dysponuje 8 wejściami i 16 wyjściami cyfrowymi oraz specjalnym wejściem zewnętrznego sterowania (trigger). Istnieje możliwość rozszerzenia do 64 kanałów pomiarowych poprzez kaskadowe połączenie do 8 urządzeń Spider8.

• Charakterystyka oprogramowania

Oprogramowanie Catman® v2.2 jest elastyczne i umożliwia tworzenie nowych oraz dostosowywanie do własnych potrzeb istniejących modułów pomiarowych oraz paneli do wizualizacji danych. Za jego zastosowaniem w systemie przemawiają następujące cechy:

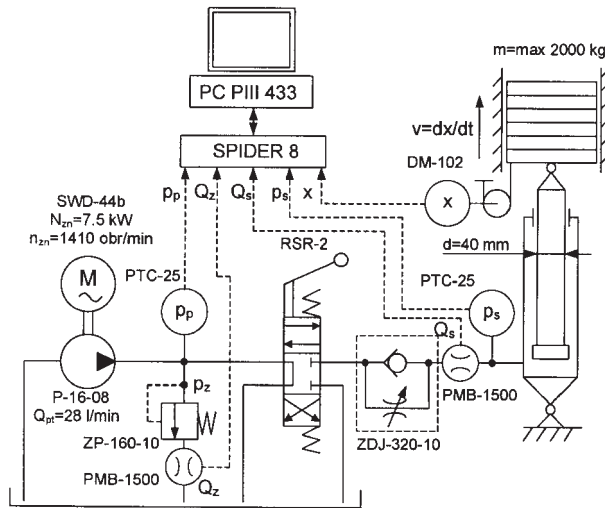
- prosta i szybka konfiguracja kanałów wzmacniacza pomiarowego Spider8 (wybór typu przetwornika pomiarowego, typu i parametrów filtra, skalowanie),
- gotowe rozwiązania dla typowych zadań (gotowe moduły pomiarowe i diagnostyczne),

Dr inż. Sławomir Bednarski, mgr inż. Marek Gozdalik i dr inż. Andrzej Kosucki są pracownikami Zakładu Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych Politechniki Łódzkiej.

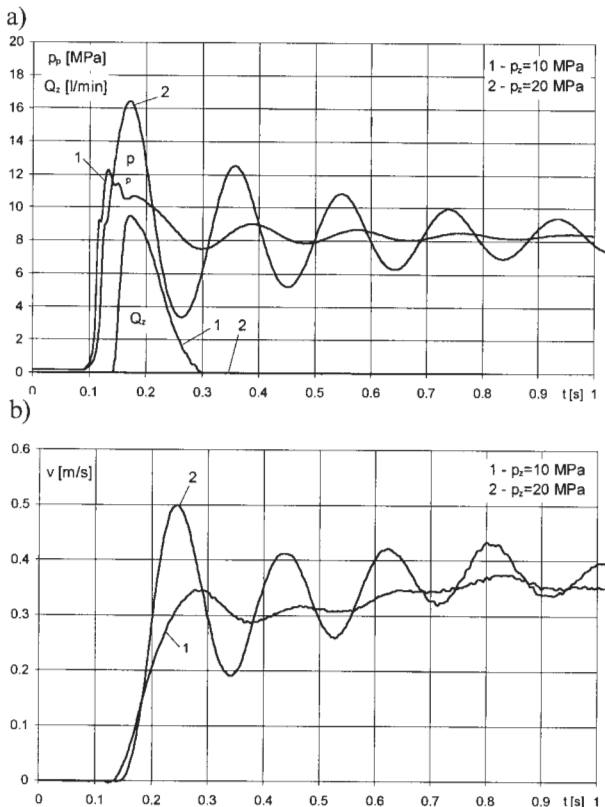
- obróbka pomiarów online i offline (filtrowanie, różniczkowanie, przeliczanie, kompresja danych itp.),
- wizualizacja i analiza graficzna danych pomiarowych,
- możliwość eksportu danych do formatów: Excel, ASCII, DIAdem™, E.D.A.S.Win®, FlexPro®.

Badanie dynamiki rozruchu napędu sterowanego rozdzielaczem

Badanym obiektem jest napęd hydrostatyczny z pompą o stałej wydajności i z siłownikiem jednostronnego działania. Schemat tego napędu wraz z punktami pomiarowymi przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat napędu z siłownikiem nurnikowym



Rys. 3. Przebiegi czasowe: a) ciśnienia i przepływu, b) prędkości tłoka siłownika

Celem badań było sprawdzenie wpływu nastawy zaworu ciśnieniowego na przebiegi dynamiczne ciśnienia w obwodzie oraz prędkości ruchu tłoka siłownika. Przy gwałtownym (skokowym) przestawieniu suwaka rozdzielacza rejestrowano przebiegi czasowe ciśnienia w obwodzie, przepływów oraz przemieszczenia tłoka siłownika. Badania wykonywano przy różnych nastawach ciśnienia otwarcia zaworu ciśnieniowego oraz różnych stanach napięcia więzi.

Na rys. 3a i 3b przedstawiono przykładowe przebiegi zarejestrowane w trakcie badań. Rys. 3a przedstawia przebiegi czasowe ciśnienia p_p na wyjściu z pompy hydraulicznej oraz przepływu Q_z przez zawór ciśnieniowy. Zarejestrowano zmianę tych wielkości w czasie dla dwóch wartości nastawy zaworu ciśnieniowego $p_z = 10$ MPa (krzywe 1) i $p_z = 20$ MPa (krzywe 2). W pierwszym przypadku, przy nastawie zaworu ok. 20% wyższej od ciśnienia statycznego, przeciążenia oraz pulsacja ciśnienia w obwodzie są małe. W sytuacji gdy nastawa zaworu ciśnieniowego znacznie przekracza wartość ciśnienia statycznego, zawór nie bierze udziału w rozruchu, przeciążenia oraz pulsacja ciśnienia w obwodzie są znaczne. Ma to bezpośredni wpływ na przebieg prędkości tłoka siłownika przedstawionej na rys. 3b. Widać, że wartość nastawy zaworu ciśnieniowego należy ustalać nie tylko dla ograniczenia maksymalnego ciśnienia w układzie, ale również w celu uniknięcia nadmiernych pulsacji prędkości siłownika w stanach nieustalonych.

Pomiary parametrów hydraulicznych transportera gąsienicowego TUR 500.1

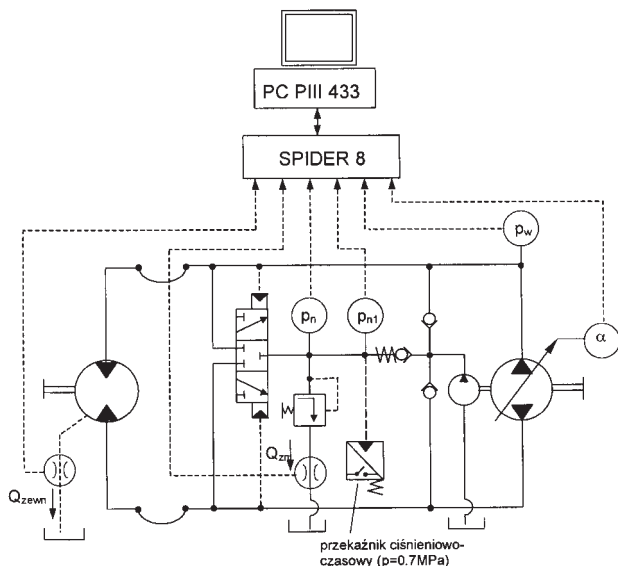
W Kopalni Węgla Brunatnego w Bełchatowie podczas eksploatacji transportera gąsienicowego TUR 500.1 wystąpiły nieprawidłowości w pracy mechanizmów napędowych gąsienic, polegające na okresowych spadkach ciśnienia w linii niskociśnieniowej, uniemożliwiających rozruch i prowadzących w konsekwencji do zatrzymania układu. Podjęto próbę zdiagnozowania napędu poprzez serię badań poligonowych i powiązanych z nimi badań symulacyjnych hydrostatycznego napędu mechanizmu jazdy transportera. Badania eksperymentalne wykonano na pracującej maszynie. Uproszczony schemat hydrauliczny napędu jednej gąsienicy pokazano na rys. 4. Zaznaczono na nim również położenie punktów pomiarowych wielkości mierzonych.

Transporter ma osobny dla każdej gąsienicy mechanizm hydrauliczny napędu jazdy oraz mechanizm hydrauliczny podnoszenia transportowanej stacji przenośnikowej. Oba mechanizmy zasilane są pierwotnym silnikiem spalinowym zaopatrzonym w wielozakresowy regulator prędkości kątowej. Przedmiotem badań był mechanizm jazdy transportera.

Pompa wielotłoczkowa osiowa firmy Rexroth A2T250HDGR5G00P o zmiennej wydajności (maksymalna wydajność $Q_p = 390$ l/min) pracuje w obiegu zamkniętym z zespołem czterech połączonych równolegle silników hydraulicznych SOK 400, które poprzez przekładnię obiegową o przełożeniu $i_m = 65$ napędzają koło zabierakowe gąsienicy. Różne konfiguracje połączeń silników hydraulicznych umożliwiają zmianę przełożenia przekładni hydrostatycznej i jazdę transportera na trzech biegach.



W celu przeprowadzenia badań eksperymentalnych wytypowano wielkości, które powinny być mierzone i rejestrowane, a następnie ustalono punkty pomiarowe, których rozmieszczenie pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Uproszczony schemat hydrauliczny napędu gaśnicy z zaznaczeniem punktów pomiarowych

Wielkościami mierzonymi były:

p_w – ciśnienie w wysokociśnieniowej gałęzi obwodu (czujnik ciśnienia HBM P8AP, zakres pomiarowy 50 MPa, klasa dokładności 0,3),

p_n – ciśnienie w niskociśnieniowej gałęzi obwodu na wyjściu pompy przepływająco-dofadawującej (czujnik ciśnienia HBM P8AP, zakres pomiarowy 10 MPa, klasa dokładności 0,3),

p_{n1} – ciśnienie w niskociśnieniowej gałęzi obwodu w pobliżu przełącznika ciśnieniowo-czasowego,

Q_{zm} – strumień płuczący (turbinkowy czujnik przepływu PMB 6000, zakres pomiarowy 100 l/min, klasa dokładności 2),

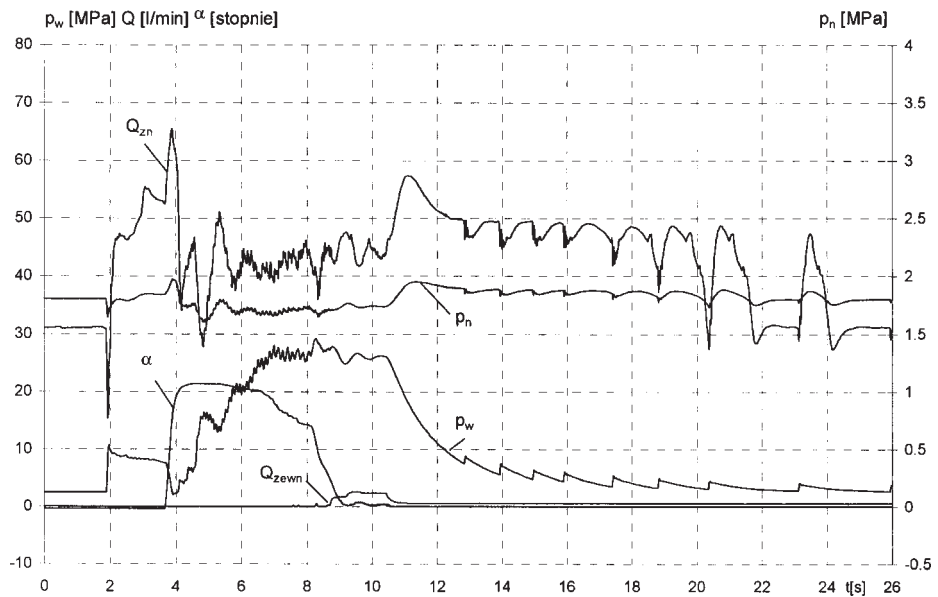
Q_{zewn} – strumień przecieków zewnętrznych silników SOK (czujnik iw.),

α – kąt wychylenia bloku cylindrów pompy głównej (potencjometryczny nadajnik kąta położenia firmy Helipot, liniowość 0,25%).

Przeprowadzono badania przy jeździe transportera obciążonego i nie obciążonego stacją napędową. Pomiary przeprowadzono z częstotliwością próbkowania 1200 Hz. Rejestrowano przebiegi czasowe mierzonych wielkości dla lewej i prawej gaśnicy. Wykonano przejazdy na I i II biegu, zarówno w przód, jak i w tył.

Dokonano również pomiarów w ekstremalnych przypadkach pracy układu,

Rys. 5. Badania eksperymentalne napędu lewej gaśnicy: skręcanie w prawo przy jeździe do przodu na drugim biegu



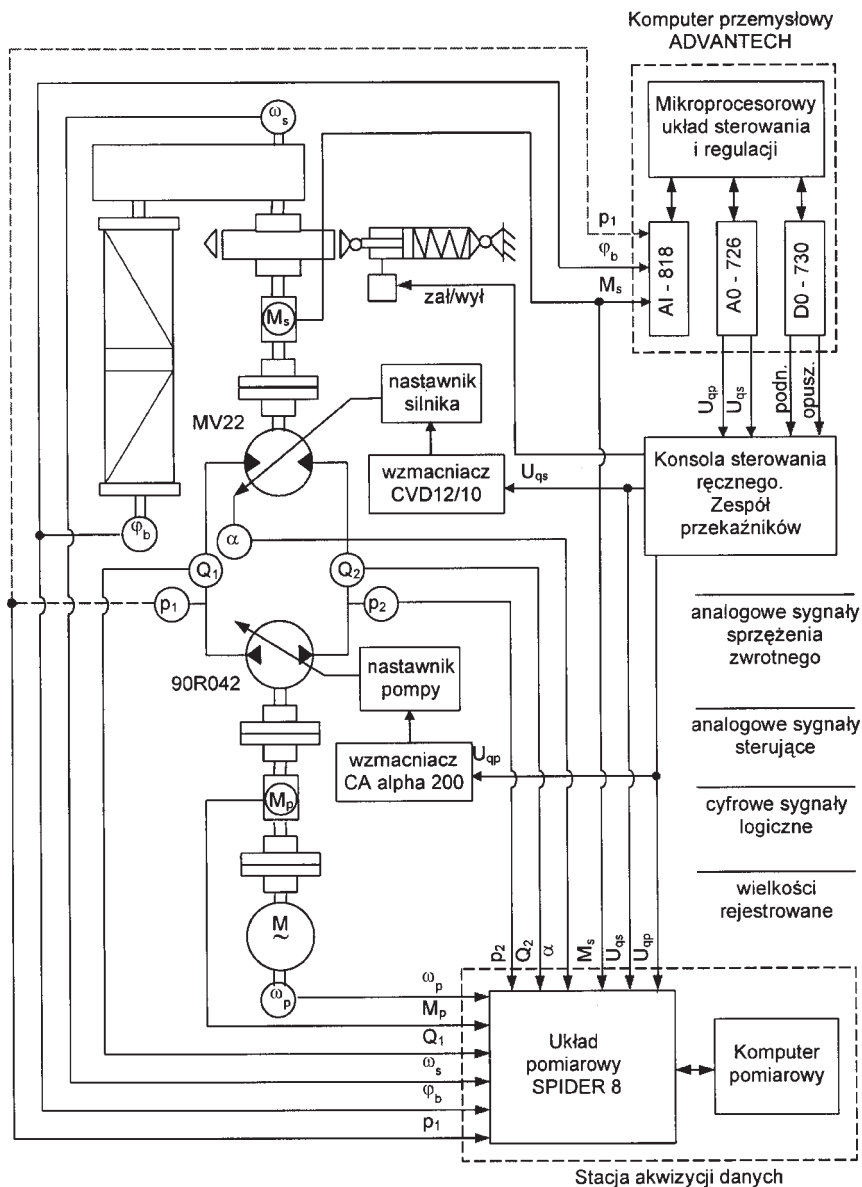
takich jak skręcanie transportera obciążonego stacją na drugim biegu czy najazd transportera na przeszkodę w postaci usypanej przyzmy z piasku. W niektórych przypadkach zbadano ciśnienie w linii niskociśnieniowej w dwóch miejscach ($p_{n'}$, p_{n1}), aby określić spadek ciśnienia w linii przepływającej.

Na rys. 5 pokazano przykładowe wyniki badań napędu lewej gaśnicy przy skręceniu w prawo podczas jazdy do przodu na drugim biegu. Można zaobserwować znaczący wzrost ciśnienia wysokiego do poziomu 28 MPa. Po około 4 sekundach utrzymywania się wysokiego ciśnienia występuje zjawisko rozszczelnienia silników SOK, co objawia się zauważalnym wzrostem strumienia przecieków zewnętrznych Q_{zewn} . Duże ciśnienie w linii wysokociśnieniowej utrzymuje się jeszcze przez około dwie sekundy po sprowadzeniu wydajności pompy do zera.

Przeprowadzone badania eksperymentalne pozwoliły zlokalizować większość źródeł nieprawidłowej pracy napędu oraz sformułować zalecenia eksploatacyjne (doraźne i długofalowe) dla użytkownika maszyny.

Badanie dynamiki wciągarki hydrostatycznej z układem pozycjonowania i regulacją stałej mocy

W nowoczesnych napędach hydrostatycznych zachodzi często konieczność wyposażenia ich w dwa niezależne systemy. Jeden to system pomiarowo-rejestrujący, drugi zaś to system sterowania. Systemy te zwykle pracują jednocześnie, lecz ze względu na bardzo złożone funkcje, jakie spełniają w układzie, są zbudowane z dwóch mikroprocesorowych jednostek centralnych. Takim przykładem jest przedstawiony na rys. 6 hydrostatyczny napęd wciągarki bębnowej. Na tym rysunku przedstawiono również układ pomiarowy i układy sterowania i regulacji. Napęd mechanizmu podnoszenia stanowi przekładnia hydrostatyczna o obiegu zamkniętym z obiema jednostkami o zmiennych pojemnościach jednostkowych. Asynchroniczny silnik klatkowy napędza za pośrednictwem dwu sprzęgieł zębatach i pomiarowego wału dystansowego pompę wielotłoczkową osiową o zmiennej wydajności jednostkowej firmy



Rys. 6. Schemat napędu wciągarki z układem pomiarowym oraz sterowania i regulacji

nikami pomiarowymi ciśnień i przepływów, takie jak opisano w rozdziale poprzednim.

Pomiar jednostkowej chłonności silnika dokonywany jest w sposób pośredni poprzez określenie kąta wychylenia tarczy silnika. W tym celu dokonano ingerencji w konstrukcję silnika i wyprowadzono na zewnątrz wałek związany z wychylną tarczą zespołu zmiany chłonności jednostkowej. Do pomiaru kąta zastosowano potencjometryczny przetwornik kąta położenia typu 5711 firmy HELIPOT BECKMAN INSTRUMENT (zakres 360°, liniowość 0,25%). Silnik jest normalnie ustawiony na chłonność maksymalną q_{sm} (przy braku sygnału napięciowego na serwonastawniku), podanie napięcia powoduje zmniejszenie kąta wychylenia tarczy silnika.

Do pomiarów prędkości pompy użyto fotokomórkowego licznika impulsów (60 impulsów na obrót), a do pomiaru prędkości silnika zastosowano prądniczkę tachometryczną PTZK 78-14 (40 V – 1000 obr/min, liniowość 0,1%). Do określenia bezwzględnego położenia kąтового bębna linowego niezbędnego do realizacji układu pozycjonowania zastosowano 10-obrotowy potencjometr typu DW-101 firmy TEL-POD (1 V/obr, liniowość 0,1%).

SAUER-SUNSTRAND 90R042, pracującą w obiegu zamkniętym z hydrostatycznym silnikiem wielotłoczkowym osiowym o zmiennej chłonności jednostkowej MV22 produkcji ZHS Łódź (na licencji firmy Sunstrand). Zarówno pompa, jak i silnik wyposażone są w nowoczesne elektrohydrauliczne serwonastawniki zmiany wydajności (chłonności) jednostkowej.

Wciągarka jest wyposażona w układ pozycjonowania i układ regulacji stałej mocy. Do realizacji tych zadań zastosowano komputer przemysłowy ADVANTECH AWS-842TP, wyposażony w 12-bitowe karty wejścia – wyjścia.

Jako oprogramowanie wykorzystano elastyczny pakiet do zbierania danych i sterowania GENIE v.2.12, pracujący w środowisku Windows. Pakiet umożliwia stosunkowo łatwe tworzenie przez użytkownika i uruchamianie pracujących w czasie rzeczywistym procedur sterowania i regulacji. Za jego pomocą zrealizowano układy pozycjonowania i regulacji stałej mocy.

W układzie pomiaru i rejestracji wykorzystano wielokanałowe urządzenie pomiarowe Spider8 z czuj-

Podsumowanie

Stosowane metody pomiarowe wsparte współczesną techniką cyfrową i elektroniką, umożliwiają prowadzenie badań napędów hydrostatycznych w bardzo szerokim zakresie. Wykorzystanie tych systemów wynika z aktualnych potrzeb użytkownika napędu. Przedstawione przykłady pokazują trzy główne potrzeby wykonywania pomiarów w eksploatacji napędów hydrostatycznych:

- kontrolną mającą na celu sprawdzanie właściwych parametrów pracy napędu.
- diagnostyczną, której celem jest zidentyfikowanie źródeł nieprawidłowej pracy napędu.
- badawczą, stosowaną w celach poznawczych, służącą do weryfikacji badań teoretycznych, a w efekcie do tworzenia lepszych konstrukcji tego typu napędów.

LITERATURA PRZEDMIOTU

1. Hagel R., Zakrzewski J.: Miernictwo dynamiczne. WNT, Warszawa 1984.

Dokończenie z 30 str.

2. Podręcznik obsługi oprogramowania stacji akwizycji danych. CATMAN® V2.2 HBM Software. User Manual.
3. *Gozdalik M.*: Własności dynamiczne i eksploatacyjne mechanizmu podnoszenia z elementami o zmiennych pojemnościach jednostkowych. Praca doktorska, Politechnika Łódzka, Łódź 2002.
4. *Winiecki W.*: Organizacja komputerowych systemów pomiarowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
5. „Badanie układu hydraulicznego napędu jazdy transportera gąsienicowego TUR 500.1”. Opracowanie dla KWB Bełchatów. Zakład Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych PŁ.

