

NAPĘD HYDROSTATYCZNY SPYCHAREK GAŚNIENICOWYCH STOSOWANYCH W GÓRNICTWIE ODKRYWKOWYM

APPLICATION OF HYDROSTATIC DRIVE SYSTEM (HST) DOZERS IN SURFACE MINING

Przemysław Bodziony, Zbigniew Kasztelewicz, Michał Patyk - Wydział Górnictwa i Geoinżynierii,
Katedra Górnictwa Odkrywkowego, AGH w Krakowie

Pomimo faktu, iż układy hydrauliczne mogą pracować w różnych warunkach, nawet w klimacie arktycznym, większość typoszeregów spycharek, nadal posiada napęd mechaniczny, a hydraulika stosowana jest w układach roboczych. Stosowanie napędu hydrostatycznego oferuje liczne korzyści w porównaniu z „tradycyjnym” napędem mechanicznym. Jest to szczególnie ważne dla małych i średniej wielkości spycharki. Opisane poniżej, to tylko niektóre z licznych zalet jakie posiada układ napędowy hydrostatyczny (HST).

Słowa kluczowe: napęd hydrostatyczny maszyn, spycharki, maszyny górnicze, układy hydrauliczne

Despite the fact that hydraulic systems can operate in various climates, including arctic conditions, most types of earth moving equipment still rely on a mechanical drive, while only using hydraulics in an auxiliary role. The use of a hydrostatic drive offers numerous advantages over the „traditional” mechanical drive. This is especially true for small to medium sized dozers.

Described below are some of the numerous advantages and specification that a hydrostatic drive system (HST) presents.

Keywords: hydrostatic drive system, dozer, mechanical equipment mining, hydraulic systems

Wstęp

Postępujący rozwój układów hydraulicznych, ich wysoka niezawodność oraz wprowadzanie nowoczesnych układów elektrohydraulicznego i elektronicznego sterowania sprawia, że napędy hydrostatyczne znajdują coraz szersze zastosowanie w maszynach budowlanych i górniczych. Dodatkową zaletą pozostaje fakt iż, przy wyjątkowo małych gabarytach układu hydraulicznego, możliwe jest uzyskiwanie wysokich wartości momentu obrotowego w napędzie hydrostatycznym. Maszyny górnicze, w tym spycharki gaśnicowe stanowią coraz większy typoszereg maszyn wykorzystujących hydrostatyczne układy napędowe. W niektórych z nich stosuje się je zarówno do wprawiania w ruch podzespoły układu bieżnego, jak i tradycyjnie, roboczego układu hydrauliki siłowej. Powyższe rozwiązania dominowały dotychczas, szczególnie w lekkich i średnich spycharkach, o mocach nieprzekraczających 120 kW, gdzie w ich przypadku, z uwagi na wymaganą dużą manewrowość i mobilność, stosuje się wyłącznie układy hydrauliczne (w tym mechanizm) skrzętu. Natomiast, od niedawna napęd hydrostatyczny jest także stosowany w ciężkich górniczych spycharkach o masie własnej wynoszącej ponad 70 Mg i mocy zainstalowanej 565 kW.

Zalety stosowania układów hydraulicznych i hydrostatycznych w spycharkach gaśnicowych

Podstawowymi czynnikami mającymi wpływ na rozwój napędów hydraulicznych w układach bieżnych maszyn

górnictwych są:

- łatwość kształtowania układu przeniesienia napędu od silnika spalinowego do przekładni końcowej wózka gaśnicowego;
- możliwość uzyskania bezstopniowej zmiany przełożeń;
- wykorzystywanie w pełni najbardziej korzystnego zakresu obrotów silnika spalinowego;
- eliminacja rozłączalnych sprzęgieł, skrzyń biegów, przekładni rozdzielczych za silnikiem wysokoprężnym;
- eliminacja przekładni rozdzielczych za skrzyniami biegów do napędu urządzeń dodatkowych wykorzystując energię hydrauliczną cieczy;
- możliwość realizowania napędu odwróconego;
- zabezpieczenie silnika napędowego przed przeciążeniem;
- możliwość realizowania jazdy z automatyczną zmianą przełożenia.

Do innych zalet napędów opartych na układach hydraulicznych należą także:

- możliwość zdalnego sterowania;
 - możliwość zastosowania układów elektronicznego sterowania i automatyzacji;
 - duża trwałość elementów układów hydraulicznych.
- Do nielicznych wad należy zaliczyć:
- trudności związane z uszczelnieniem elementów układu;
 - duże straty energii na pokonywanie oporów przepływu[1].



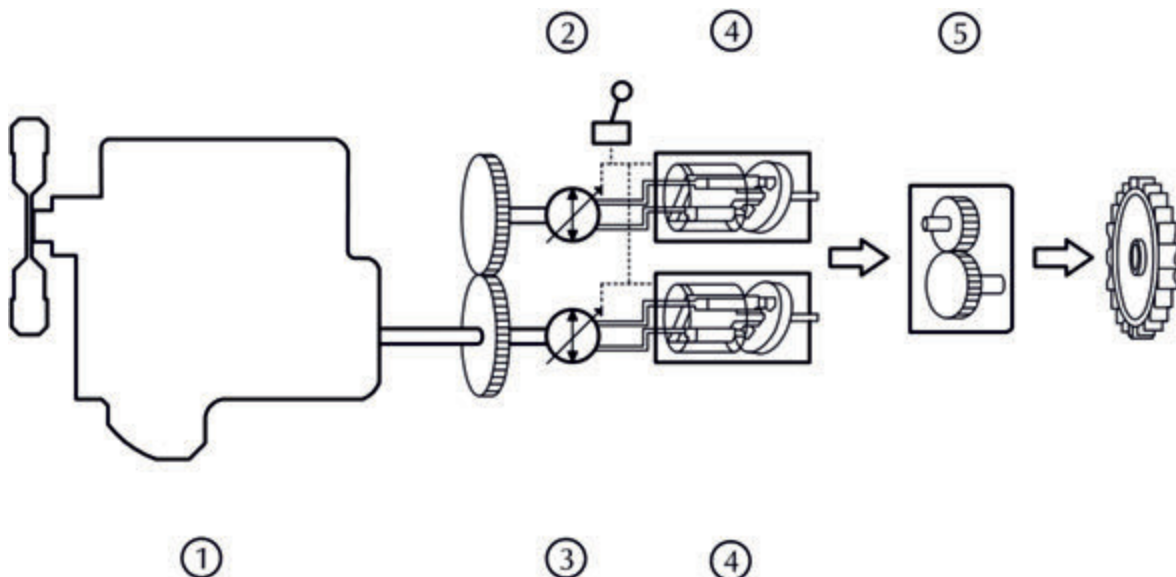
Rys. 1. Ciężka spycharka Liebherr 776 z napędem hydrostatycznym przeznaczona dla górnictwa odkrywkowego [materiały własne]
Fig. 1. Hydrostatic travel drive dozer Liebherr 776

Charakterystyka hydrostatycznego układu napędowego w spycharkach gaśnicowych

Pierwotnym źródłem energii dla napędów hydrostatycznych jest wysokoprężny silnik spalinowy, który przez przekładnię rozdzielczą napędza zespoły pomp hydraulicznych. Podstawowe parametry eksploatacyjne pomp i silników hydraulicznych to wydajność oraz ciśnienie robocze, przy ustalonej prędkości obrotowej elementu pędnego. Pompy hydrauliczne zasilają siłowniki hydrauliczne układów roboczych oraz silniki hydrauliczne mechanizmu skrzyni lub tak jak w omawianym przypadku hydrostatycznego układu przeniesienia napędu. Do napędu każdej gaśnicy zastosowano silniki hydrostatyczne o zmiennej chłonności, zabudowane na przekładni planetarnej koła zabierakowego [4]. W skład napędu hydrostatycznego wchodzi wielotłoczkowa pompa o zmiennej wydajności i przemiennym kierunku tłoczenia oraz dwa silniki hydrauliczne o zmiennej chłonności, połączone równolegle do obwodu

linii zasilających. Zmiana wydajności i kierunku przepływu pompy dokonywana jest przez zawór proporcjonalny. Pompa wyposażona jest w regulator stałej mocy dostarczanej do układu hydraulicznego [3].

Pompa wielotłoczkowa składa się z kilku lub nawet kilkunastu małych pomp tłokowych umieszczonych w jednym korpusie. Pompy wielotłoczkowe dzielą się na promieniowe i osiowe. W obydwu przypadkach zasada działania jest ta sama. Tłoczki pompy umieszczone w korpusie opierają się na pochylonej tarczy (w pompie osiowej) lub na mimośrodowym pierścieniu w pompie promieniowej. Obrotowy ruch pierścienia lub tarczy wymusza ruch posuwistozwrotny tłoczków, co powoduje zasysanie i tłoczenie cieczy hydraulicznej. Pompy wielotłoczkowe nie są wyposażone w zawory. Ich rolę spełniają tarcza rozdzielcza w pompie osiowej lub wałek rozdzielczy w pompie promieniowej. Obracają się wraz z pierścieniem lub tarczą przyłączając przestrzeń robocze cylinderek na przemian do przewodu ssawnego lub tłocznego. Pompa wielotłoczkowa

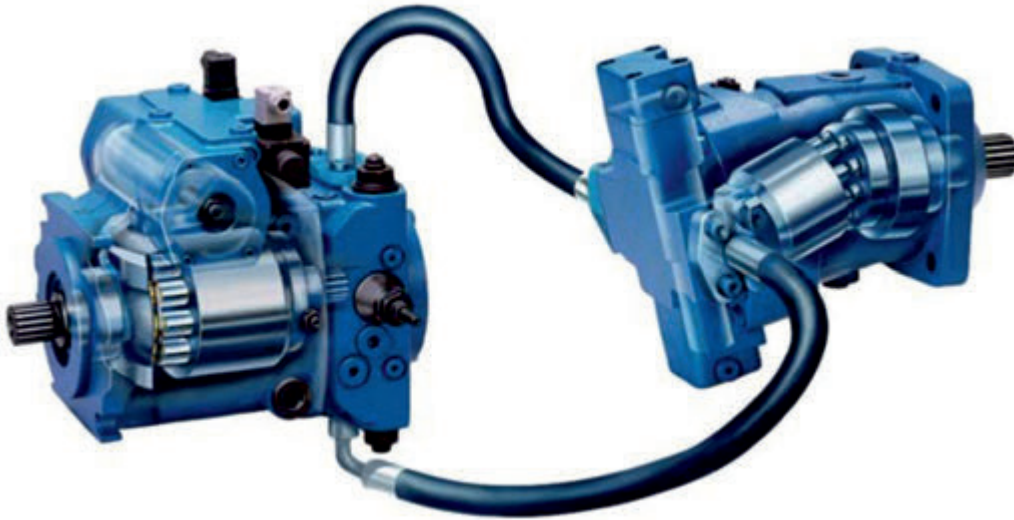


1 – silnik wysokoprężny; 2 – pompa hydrauliczna; 3 – skrzynka rozdzielcza; 4 – silnik hydrauliczny; 5 – przekładnia napędowa
Rys. 2. Schemat hydrostatycznego układu przeniesienia napędu w spycharce gaśnicowej [materiały własne]

Fig. 2. Basic scheme of the hydrostatic drive system transmission

jest zwielokrotnioną pompą tłokową, której każdy z tłoczków pracuje w innej fazie, charakterystyka wydajności takiej pompy jest bliska stałej. Im większa liczba tłoczków, tym niekorzystne dla napędu pulsacje wydajności są mniejsze [5].

częście. Przy sterowaniu równoczesnym obu jednostek, zmiana dokonywana jest jednocześnie według określonego programu. Przy sterowaniu sekwencyjnym korzysta się najpierw z zakresu zmienności nastawy pompy, a następnie z parametru nastawy



Rys. 3. Wizualizacja agregatu hydraulicznego: pompa wielotłoczkowa (z lewej) oraz silnik (z prawej) [7]

Fig. 3. View of hydraulic aggregate (hydrostatic transmission): variable displacement pump and hydraulic engine [7]

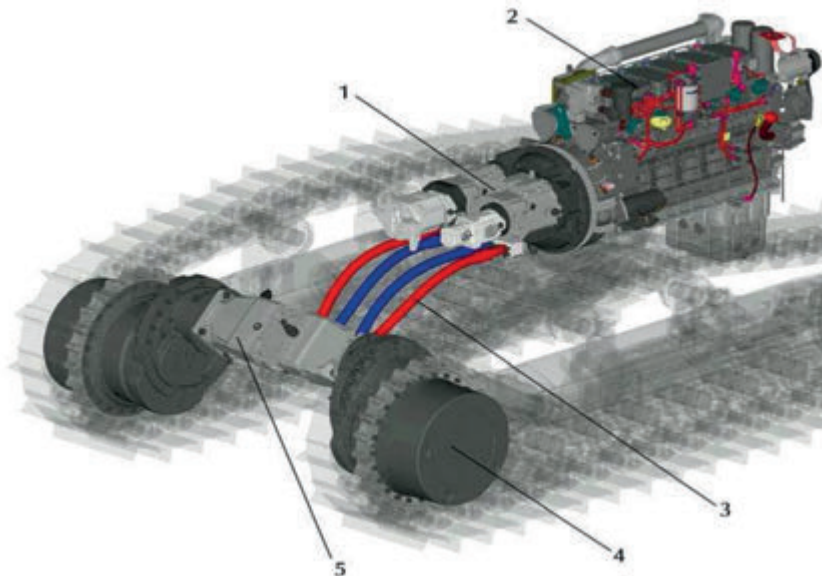
Silniki hydrauliczne wyposażone są w zawory maksymalnego momentu obrotowego. Układ hydrauliczny napędu gąsienic jest typową przekładnią hydrostatyczną, zawierającą moduł pomp o zmiennej wydajności i silniki o zmiennej chłonności.

Napęd hydrostatyczny spycharki składa się zatem z pompy wielotłoczkowej, z wychylną kołyską mocowania tłoczków, połączonej kanałami z silnikiem tłokowym o stałym kącie wychylenia kołyski. Nie istnieje konieczność stosowania bloków zaworowych rozdzielających strumień hydrauliczny, co wynika ze specyficznej budowy wielotłoczkowej pompy i silnika hydraulicznego.

Przekładnia hydrostatyczna, w której zarówno parametry, takie jak nastawy pompy, jak i nastawy silnika, mogą być płynnie i niemal bezzwłocznie zmieniane – sterowane są za pomocą modułów elektronicznych, sekwencyjnie lub równo-

silnika. Przy założeniu, że sprawność przekładni hydrostatycznej nie może spaść poniżej $\eta = 0,8$, sekwencyjny system sterowania pozwala na uzyskanie szerokiego zakresu regulacji. Uzyskana rozpiętość przełożenia dynamicznego i kinematycznego jest większa, w odróżnieniu do sterowania tylko przez zmianę parametrów pompy wielotłoczkowej [3].

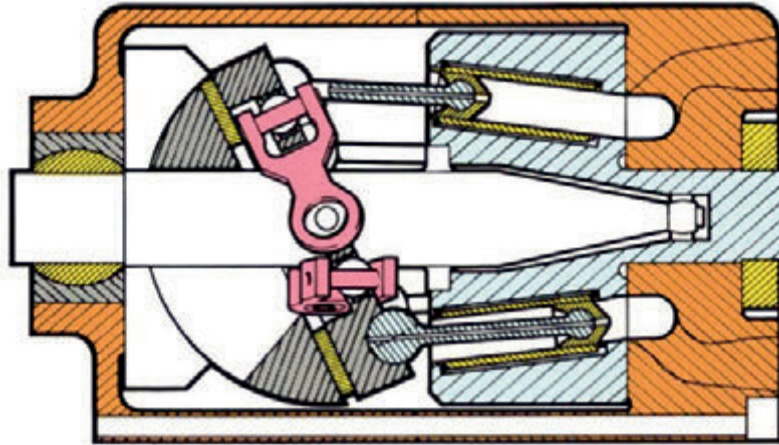
W innych rozwiązaniach, podstawowy układ hydrauliczny maszyny, poprzez główną pompę tłokową układu roboczego spycharki zasila blok zaworów sterujących i rozdzielaczy, które regulują i kontrolują ciśnienie w obwodzie hydraulicznym napędu oraz pracy osprzętu spycharkowego oraz zrywającego lub wyciągarki (jeżeli jest na wyposażeniu). Pompa zębata, napędzana silnikiem spalinowym, generuje wysokie ciśnienie oleju i zasila układ hydrauliczny oraz układ skrętu. Układ hydrauliczny jest kontrolowany przez cyfrowy moduł sterujący



1 – zespół pomp wielotłoczkowych; 2 – silnik wysokoprężny; 3 – przewody hydrauliczne; 4 – przekładnia końcowa koła napędowego; 5 – zespół silników hydraulicznych

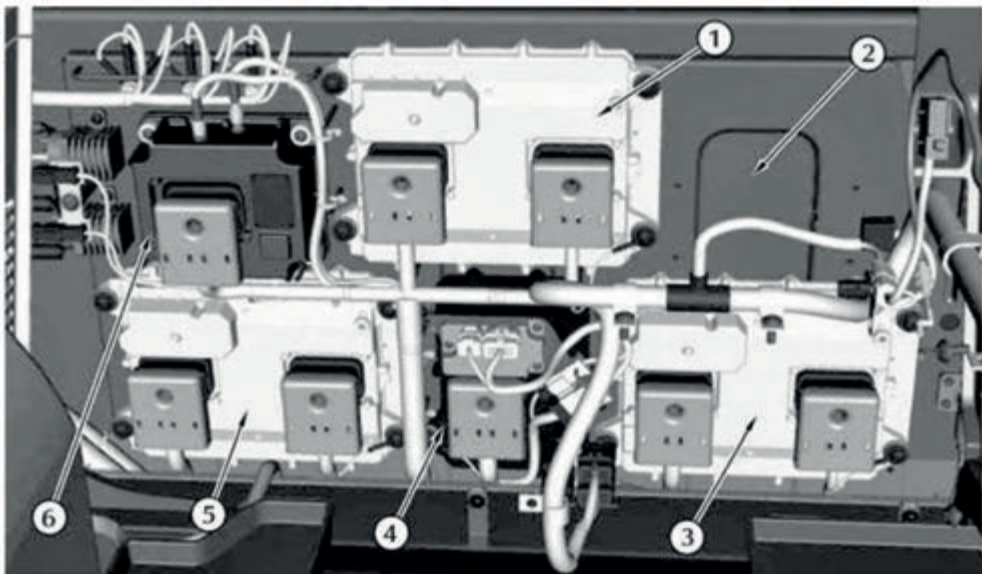
Rys. 4. Widok hydrostatycznego układu napędu spycharki gąsienicowej [9]

Fig. 4. The hydrostatic travel drive schematics [9]



Rys. 5. Przekrój pompy wielotłoczkowej z wychylną kołyską mocowania tłoczków [10]

Fig. 5. Hydrostatic axial piston pump with a control port, a cradle supported swashplate and a swashplate actuating piston



1, 4, 6 – elektroniczny moduł sterujący pojedynczym układem hydraulicznym (1 – spycharkowym, 2 – zrywakowym 6 – skrętu); 2 – mocowanie modułu; 3 – główny układ sterujący; 5 – moduł przekładnikowy

Rys. 6. Elektroniczny moduł sterujący ECM systemem hydrauliki siłowej spycharki gaśnicowej zlokalizowany za siedzeniem operatora [6]

Fig. 6. Electronic control module ECM in hydraulic dozer [6]



1 – przyrządy sterujące, 2 – silnik wysokoprężny; 3 – chłodnica silnika i układu hydraulicznego wraz z wentylatorem; 4 – przekładnia redukcyjna; 5 – agregat hydrauliczny napędu spycharki; 6 – przekładnia boczna.

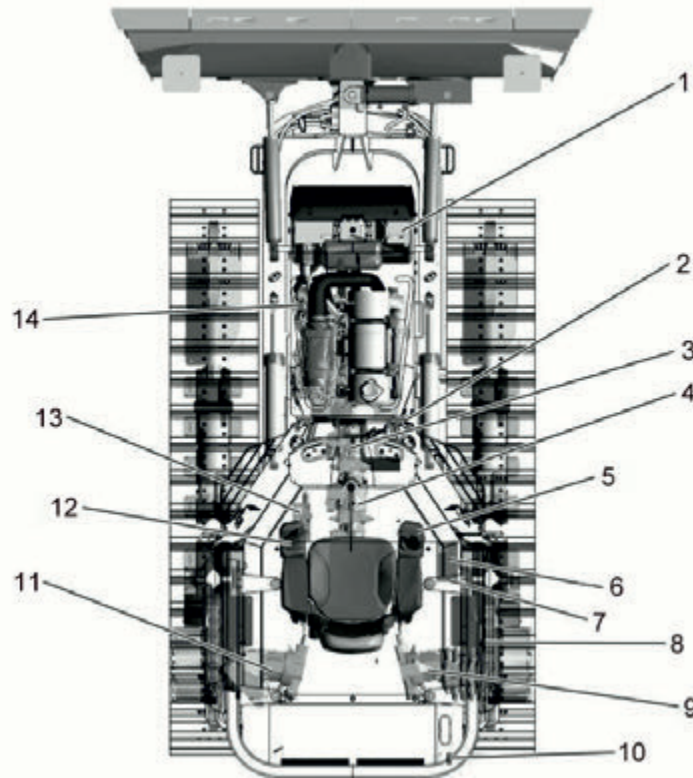
Rys. 7. Rozmieszczenie najważniejszych elementów hydrostatycznego układu napędowego w spycharce gaśnicowej [6]

Fig. 7. Basic scheme of the crawler hydrostatic drive system transmission [6]

ECM i przyrządy sterownicze operatora [6].

Elektroniczny moduł sterujący ECM, zbliżony jest do powszechnie stosowanego systemu CAN-Bus, opracowanego przez firmę Bosch Rexroth. Początkowo konstrukcja CAN-Bus opracowana była w celu optymalizacji układów sterujących oraz osiągnięcia odporności na czynniki zewnętrzne pozwalając na zastosowanie tych układów w przemyśle samochodowym. W międzyczasie system CAN-Bus zastosowano również w innych dziedzinach przemysłu, jak również w pojazdach specjalnych,

z ruchu maszyny, a następnie ustala wielkość wydatku pompy i chłonność silnika przekładni hydrostatycznej, tak aby uzyskać optymalną prędkość i siłę uciągu. Ponadto, jednostka sterująca reguluje moc obydwu przekładni podczas skrętów, umożliwiając obrót maszyny w miejscu, nawet przy bardzo małych prędkościach jazdy. Dzięki temu spycharka wyposażona w hydrostatyczny układ napędowy jest wyjątkowo zwrotna. Jednostka sterująca przekładnią automatycznie i bezstopniowo reguluje także prędkość jazdy we wszystkich zakresach pracy spycharki [8].



1 - zintegrowana chłodnica najważniejszych układów spycharki, 2 - blok zaworów rozdzielczych, 3 - pompa hydrauliczna układu roboczego, 4 - pompa hydrauliczna napędu spycharki, 5 - przyrządy sterownicze osprzętem spycharkowym, 6 - konsola układu jazdy i osprzętu, 7 - dźwignia sterowania osprzętem zrywakowym, 8 - moduł elektroniczny sterujący układem hydraulicznym, 9 - silnik hydrostatyczny, 10 - zbiornik oleju hydraulicznego, 11 - przekładnia boczna, 12 - przyrządy sterujące poruszaniem się spycharki, 13 - blok zaworowy, 14 - silnik wysokoprężny

Rys. 8. Schemat rozmieszczenia podstawowych podzespołów układu hydraulicznego spycharki gąsienicowej z hydrostatycznym układem napędowym (widok z góry) [6]

Fig. 8. Schematic of basic components hydraulic system of hydrostatic travel drive dozer (top view) [6]

ciągnikach rolniczych i maszynach budowlanych. Zastosowany moduł sterujący pozwala na precyzyjne sterowanie układem hydraulicznym nawet w niekorzystnych warunkach pracy (mikroklimat, drgania, pole elektromagnetyczne) [1].

W napędach hydrostatycznych spycharek stosuje się z reguły sterowanie prędkością obrotową, które polega na zmianie wydajności pompy i zmianie oporów przepływu cieczy w układzie oraz zmianie jednostkowej chłonności silnika lub zmianie powierzchni czynnej tłoka siłownika.

Hydrostatyczny napęd jezdny jest sprzęgnięty ze sterownikiem elektronicznym pozwalającym na uzyskanie wysokiej sprawności w całym zakresie prędkości – także podczas wolnej jazdy i przy dużym zapotrzebowaniu na moc. Napęd spycharki jest stale przenoszony na wózki gąsienicowe, także podczas poruszania się po wzniesieniach. Spycharka z reguły dysponuje trzema zakresami prędkości jazdy [2]. Jednostka sterująca przekładnią hydrostatyczną monitoruje parametry silnika oraz obciążenie i wydatek osprzętu roboczego oraz opory układu napędowego wynikające

Podsumowanie

Dodatkową zaletą, zwłaszcza w przypadku spycharek gąsienicowych z hydrostatycznym układem napędowym - jest brak konieczności stosowania dodatkowego układu skrętu maszyny ponieważ układ przeniesienia napędu jednocześnie realizuje proces skrętu spycharki. Sterowanie polega na pracy pompy hydraulicznej o zmiennej wydajności i odbywa się za pomocą zintegrowanego w korpusie regulatora elektro-proporcjonalnego. Medium robocze przekazywane jest z pompy do silników hydraulicznych z regulatorem elektro-proporcjonalnym i czujnikiem obrotu wbudowanym w korpusie silnika hydraulicznego. Napęd od silników hydraulicznych przekazywany jest poprzez dwustopniową przekładnię boczną na koło napędzające gąsienice spycharki. Sterowanie jazdą odbywa się poprzez sterownik elektroniczny z dedykowanym programem. W sterowniku zaimplementowane są wszystkie funkcje związane z możliwością korzystania z układu hydrostatycznego jazdy [7].

Wymienione właściwości napędu hydrostatycznego, a w szczególności możliwość precyzyjnego sterowania prędkością jazdy i rozwijania, w znacznym jej zakresie, dużej siły napędowej sprawiły, że stosuje się je coraz częściej i to do coraz większych spycharek.

Literatura

- [1] Bartnicki A., Sprawka P.: Zastosowanie hydrostatycznych układów napędowych we współczesnych maszynach i pojazdach lądowych, Logistyka, 2008. 2;
- [2] Budny E.: Napęd i sterowanie układów hydraulicznych w maszynach roboczych. ITE, Radom 2001;
- [3] Chrostowski H., Domagała Z., Sradomski W.: Modelowanie i symulacja hydrostatycznego napędu jazdy transportera gąsienicowego TUR 600. Napędy i sterowanie, 2012. 6: 86-90;
- [4] Kasztelewicz Z. Patyk M., Bodziony P.: Spycharki, dźwigi boczne i przesuwarki przenośników taśmowych. Budowa i technologia pracy. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, Kraków 2015;
- [5] Kijewski J., Miller A., Pawlicki K., Szolc T.: Maszynoznawstwo, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1993;
- [6] www.cat.com
- [7] www.boschrexroth.com
- [8] www.komatsu.com
- [9] www.liebherr.com
- [10] www.pigeonsnest.co.uk



Fot. Renata S-K

Z cyklu: „Pustka na granicy nicości”