

Opolska, 2001. – S. 367–376 (XX Sympozjon PKM, Polanica-Zdrój 24-28.09.2001). 11. Wróbel J., Fitowski M., Linkiewicz G. Wykorzystanie Internetu do zarządzania dokumentacją projektową, Przegląd Mechaniczny, no 2. – 2002. – S. 35–39. 12. Wróbel J., Szlom M., Jaworski R. Komputeryzacja obiegu dokumentów, Przegląd Mechaniczny, no 2. – 2002. – S. 5–6.

УДК 621.868

J. Żebrowski, Z. Żebrowski

Wydział Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Instytut Maszyn Roboczych Ciężkich Politechniki Warszawskiej, Poland

AUTOMATYZACJA STEROWANIA SKRZYNKAMI BIEGÓW CIĄGNIKÓW ROLNICZYCH

© Żebrowski J., Żebrowski Z., 2002

In article criteria of serviceability of agricultural machines are considered on dynamic modes of operation. Recommendations for efficiency configuration of power units are developed.

WSTĘP

Ciągniki są pojazdami, których zadaniem jest praca z wykorzystaniem ich siły uciągu (ciągnięcie lub pchanie narzędzia, maszyny). Szczególne wymagania muszą spełniać ciągniki terenowe, w tym rolnicze.

Ciągniki rolnicze wykonują różnorodne prace. Stąd istnieje konieczność łączenia ciągników z różnymi narzędziami i maszynami (agregaty ciągnikowe), do których napęd często jest doprowadzany od silnika ciągnika przez wał odbioru mocy lub (i) układ zasilania hydraulicznego. Ważnym elementem przenoszącym moc w układzie napędowym ciągnika jest skrzynka biegów i jej sterowanie.

1. WYMAGANIA STAWIANE CIĄGNIKOM ROLNICZYM

Wymagania stawiane ciągnikom wynikają z warunków, w jakich muszą się poruszać i prac, jakie w tych warunkach wykonują.

Prędkości, z jakimi pracuje ciągnik muszą być odpowiednie dla wykonywanych zabiegów agrotechnicznych, co jest uwarunkowane wymogami tego zabiegu i cechami narzędzia, czy maszyny współpracującej z ciągnikiem.

Rozpiętości prędkości podczas prac wykonywanych przez ciągniki rolnicze są duże:

- czasami od prędkości poniżej 1 km/h, na tzw. biegach pełzających (prace w budynkach inwentarskich, siew, nawożenie),

- przez prędkości 4–12 km/h (najczęściej), które są stosowane przy głównych pracach wykonywanych przez ciągnik (w tym zakresie prędkości ciągnik pracuje zazwyczaj z największymi siłami uciągu – są to takie prace jak: orka, bronowanie, kultywacja),

- do prędkości 30 lub 40 km/h, a nawet 50 km/h, w zależności od przepisów drogowych i konstrukcji ciągnika (ciągnięcie przyczep, przejazdy ciągnika, dojazdy na miejsce pracy z narzędziem zawieszonym) [1, 2, 3].

Siły działające na ciągnik również zmieniają się w szerokim zakresie. Zależą one od rodzaju prac i warunków, w jakich porusza się agregat ciągnikowy, dlatego siła uciągu może zmieniać się od wartości $P_u = 0$ (np. przy pracy z zawieszonym opryskiwaczem), do maksymalnej wartości $P_{u\max}$ wynikającej z przyczepności kół do gruntu (np. podczas orki).

W związku z powyższymi wymaganiami, właściwości trakcyjne agregatu ciągnikowego zależą od niżej wymienionych czynników:

- Ciężaru ciągnika i jego rozkładu na poszczególne osie, nacisków jednostkowych kół [4];
- Układu i liczby kół napędowych ciągnika;
- Sterowania załączaniem blokad mechanizmów różnicowych [5];
- Zawieszenia kół ciągnika;
- Silników stosowanych w ciągnikach rolniczych;
- Układu zasilania hydraulicznego;
- Wałka odbioru mocy (WOM) [6];
- Dodatkowych układów przekazywania energii z ciągnika do maszyny;
- Skrzynek przekładniowych ciągników rolniczych [7].

Z pośród wymienionych powyżej czynników prezentowana praca dotyczy zagadnień automatyzacji sterowania przełoženiami skrzynek przekładniowych.

2. KRYTERIA DETERMINUJĄCE PRACĘ CIĄGNIKA ROLNICZEGO

Istotną rzeczą jest uzyskanie jak najlepszych tych parametrów pracy ciągnika, które w danej sytuacji mają największe znaczenie.

Kryteriami, jakie bierze się pod uwagę przy wykonywaniu prac polowych, są:

- sprawność uciągu ciągnika η_u (gdy ciągnik pracuje z siłą uciągu P_u);
- poślizgi s , z jakimi pracują koła napędowe (gdy ciągnik pracuje z siłą uciągu P_u);
- czas obróbki jednostki powierzchni T_{ha} ;
- ilość zużytego paliwa na jednostkę obróbiojonej powierzchni G_{ha} ;
- koszt obróbki jednostki powierzchni K_{ha} ;
- łatwość manewrowania.

Aby spełnić podane powyżej kryteria należy zbudować i zastosować odpowiednie algorytmy sterowania zespołami ciągnika, dotyczące:

1. zmiany przełożenia w układzie napędowym ciągnika [8];
2. załączania i rozłączania napędu przedniego [9, 10];
3. załączania i rozłączania blokad mechanizmów różnicowych [5];
4. doboru ciśnienia w ogumieniu [11];
5. ograniczenia poślizgu [12];
6. sterowania układami zawieszenia narzędzi [8].

Niniejsza praca dotyczy punktu pierwszego.

Sterowanie skrzynką biegów w większości ciągników odbywa się “ręcznie” niezależnie od rodzaju zastosowanej skrzynki. W najnowszych konstrukcjach ciągników ciężkich wyposażonych w skrzynki typu “power shift” lub hybrydowe, przełożenia są zmieniane automatycznie w zależności od prędkości obrotowej silnika, lub także w nowszych systemach w zależności od położenia elementu sterującego wydatkiem paliwa pompy wtryskowej.

Najbardziej rozbudowane układy sterujące zmianą przełożeń skrzynki, przy nastawionym przez kierowcę trybie pracy ciągnika uwzględniają:

- prędkość obrotową silnika;

- moment obrotowy silnika;
- nastawienie dawkowania paliwa;
- sterowanie hamulcami pojazdu.

Jak na razie systemy sterowania skrzynką nie dobierają samoczynnie przełożeń ze względu na zadane kryteria pracy.

Podstawy omawianych zagadnień, tj. możliwości automatyzacji pracy ciągnika zostały podane w [13].

Wg algorytmu określającego dobór biegu, należy sterować skrzynką biegów w taki sposób, aby ciągnik pracował w zakresie wymaganych prędkości przy wykonywaniu danego zabiegu agrotechnicznego, w zależności od wybranej opcji, tj.:

- minimalizacji zużycia paliwa;
- maksymalizacji wydajności przy najmniejszym zużyciu paliwa;
- minimalizacji kosztów pracy (koszt paliwa i płaca operatora).

Układ sterujący powinien w przypadku skrzynek „hybrydowych” lub typu „power shift” zmieniać ich przełożenie, a w przypadku klasycznych skrzynek wskazywać bieg, na którym należy pracować.

Podane tu kryteria doboru przełożeń powinny stanowić podstawę pracy systemu elektronicznego sterowania skrzynką przekładniową.

3. SKRZYNKI PRZEKŁADNIOWE CIĄGNIKÓW ROLNICZYCH

Istotnym elementem przenoszącym w odpowiedni sposób moc z silnika do kół napędowych i umożliwiającym pracę silnika w odpowiednim zakresie jego charakterystyki jest skrzynka przekładniowa.

Biorąc pod uwagę charakter pracy uniwersalnych ciągników rolniczych, rozpiętości przełożeń skrzynek biegów powinny wynosić około czterdzieści (w przypadku biegów pełzających – nawet więcej).

Taką rozpiętość mogą posiadać:

- stopniowe skrzynki przekładniowe o odpowiedniej liczbie biegów;
- hydromechaniczne skrzynki przekładniowe;
- hybrydowe skrzynki przekładniowe.

W związku z taką rozpiętością przełożeń (bez uwzględnienia biegów pełzających), liczba biegów stopniowych skrzynek przekładniowych stosowanych w ciągnikach powinna wynosić około 20, co umożliwia właściwe dobranie stopniowania tych przełożeń. Zapewnia to odpowiednio niską prędkość na biegu pierwszym i dużą prędkość na biegu najwyższym (dojazdowym).

Niskie biegi są wykorzystywane głównie do prac z maszynami napędzanymi dodatkowo za pomocą wałka WOM. Małe prędkości, jakie uzyskuje na tych biegach ciągnik muszą odpowiadać prędkościom, z którymi pracują te maszyny. Z kolei silnik powinien pracować z nominalną prędkością obrotową, w celu zapewnienia znormalizowanej nominalnej prędkości obrotowej wałka WOM. Im większa liczba biegów, tym ciągnik wydajniej może wykonywać różne prace.

Stopniowe skrzynki przekładniowe można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- bez możliwości przełączania biegów pod obciążeniem. W celu zmiany przełożenia trzeba najpierw od skrzynki odłączyć napęd (rozwiązanie tańsze i najczęściej spotykane - klasyczna skrzynka przekładniowa - najczęściej o osiach stałych).

– z możliwością prawie natychmiastowego przełączania biegów pod obciążeniem (rozwiązania droższe) ;

Skrzynki przełączane po odłączeniu napędu (klasyczne) powinny być synchronizowane (folia), co ułatwia i umożliwia przyśpieszenie przełączania biegów. Nie eliminuje to jednak konieczności rozłączania sprzęgła, co przy dużym obciążeniu ciągnika podczas prac polowych powoduje jego prawie natychmiastowe zatrzymanie.

Przełączenie biegu i ponowne ruszenie z miejsca zabiera czas i pochłania dodatkowo energię.

Problemu tego unika się, stosując skrzynki przełączane pod obciążeniem (a więc w sposób natychmiastowy, bez używania przez kierowcę sprzęgła), zwane skrzynkami typu „Power Shift”.

Stosowane są następujące rozwiązania:

- skrzynki o osiach stałych;
- skrzynki o osiach ruchomych (planetarne).

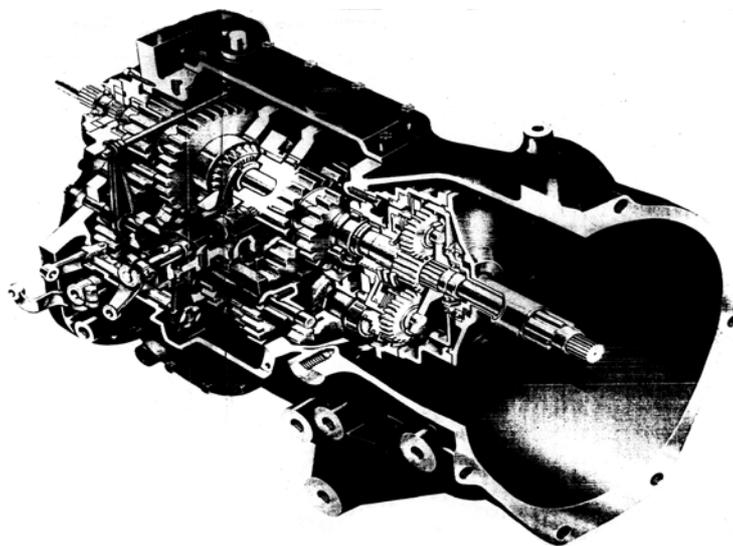
Skrzynki typu „Power Shift” o osiach stałych są tańsze od planetarnych (m.in. przy tej samej liczbie biegów posiadają mniejszą liczbę kół zębatach niż skrzynki planetarne),

jednak wymagają stosowania uszczelnień ruchowych, przy doprowadzaniu oleju sterującego sprzęgłami wielotarczowymi mokrymi służącymi do włączania wszystkich biegów.

W związku z tym szersze wprowadzenie tego typu skrzynek stało się możliwe dopiero po opanowaniu technologii wykonywania odpowiednio trwałych uszczelnień ruchowych.

Planetarne skrzynki przekładniowe o tej samej liczbie biegów, co o osiach stałych i przenoszące moce o podobnej wielkości, mają mniejsze gabaryty i większą trwałość.

Wymagają także stosowania mniejszej liczby uszczelnień ruchowych, gdyż część biegów załączana jest hamulcami.



Rys. 1. Skrzynka biegów ciągnika Ford z dwubiegowym wzmacniaczem momentu

W ciągnikach stosowane są skrzynki typu „Power Shift” o różnej liczbie biegów:

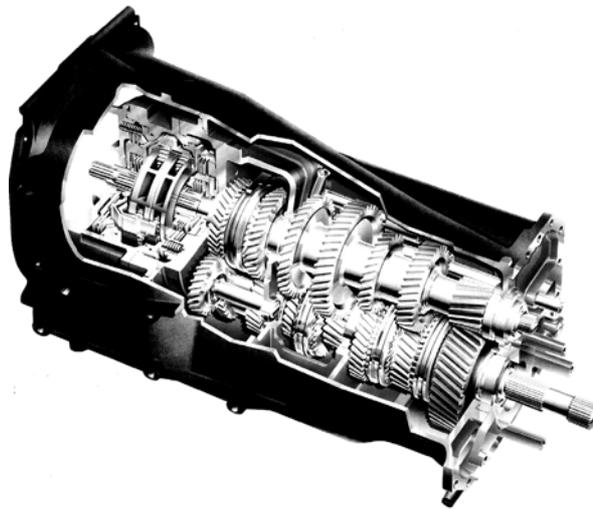
– dwubiegowa skrzynka Power Shift (rys. 1.) [15] (zwana wzmacniaczem momentu), połączona następnie szeregowo z klasyczną skrzynką przekładniową (wariant najtańszy stosowany w ciągnikach średnich);

– czterobiegowa skrzynka typu „Power Shift” (rys. 2.) [16] połączona szeregowo z czterobiegową (lub o większej liczbie biegów) klasyczną skrzynką, która służy do wyboru zakresu pracy, w ramach którego zmienia się przełożenie tylko za pomocą skrzynki przełączanej pod obciążeniem.

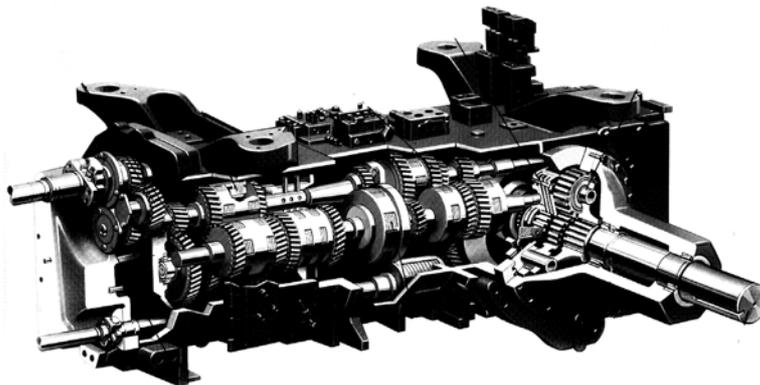
W wielu przypadkach takie rozwiązanie jest wystarczające (wariant droższy stosowany w ciągnikach średnich i alternatywnie ze skrzynką Power Shift w ciągnikach ciężkich),

– Skrzynka Power Shift stosowana w ciągnikach o większych mocach (rys. 3) [17].

Przydatne są szczególnie w ciągnikach pracujących na zróżnicowanych glebach i zróżnicowanym ukształtowaniu terenu (dzięki tym skrzynkom zwiększa się wydajność ciągnika w stosunku do ciągnika wyposażonego w klasyczną skrzynkę biegów).



Rys. 2. Cztero biegowa skrzynka typu Power Shift połączona szeregowo z czterobiegową klasyczną skrzynką



Rys. 3. Skrzynka Power Shift stosowana w ciągnikach o większych mocach (CASE MX MAGNUM)

Ułatwiają one prace, w których wykorzystywany jest wałek WOM (łatwiejsze utrzymywanie stałej prędkości WOM przy zmieniających się oporach ruchu agregatu). Ponadto poprawiają warunki pracy kierowcy, gdyż przełączanie biegów odbywa się w sposób natychmiastowy za pomocą jednej dźwigni (lub za pomocą joystick'a).

Istnieją także ciągniki, w których kierowca może zaprogramować w pewnym zakresie automatyczną zmianę biegów. Dotyczy to przełączania biegów wyższych. Np. w ciągnikach New Holland serii 70.automatyczna zmiana biegów może odbywać się w zakresie 10 do 18 – najwyższego biegu. Układ sterowania działa wtedy, gdy prędkość silnika nie spada poniżej pewnej wartości. Jest to prędkość nieco większa od prędkości, jaka występuje przy maksymalnym momencie obrotowym silnika i wynosi około 1600 obr/min) [18].

Gdy prędkość obrotowa silnika wzrośnie do pewnej wartości, nastąpi przełączenie na bieg wyższy, a jeżeli prędkość obrotowa silnika zmniejszy się, następuje włączenie niższego biegu.

Na biegach niższych, gdy maksymalna wartość siły napędowej zależy od przyczepności kół do podłoża, na żadnym z tych biegów, na skutek nadmiernego zagłębienia narzędzia nie dojdzie do zdławienia silnika. Tak więc efektem końcowym przeciążenia ciągnika zbyt dużą siłą uciagu będzie jego zatrzymanie się i praca kół napędowych ze 100% poślizgiem.

Dobór biegu z tego zakresu, podczas pracy z maszyną, której zespoły są napędzane wałkiem WOM wynika z konieczności utrzymania określonej prędkości jazdy, jaka jest wymagana ze względów agrotechnicznych przy współpracy z tą maszyną i utrzymania prędkości obrotowej silnika zbliżonej do nominalnej (ze względu na WOM).

W przypadku pracy ciągnika w omawianym zakresie biegów, przy nastawieniu elementu sterującego na pełne dawkowanie paliwa, a więc przy pracy silnika na charakterystyce zewnętrznej, ciągnik może pracować z daną maszyną na każdym biegu tego zakresu, wykazując wraz ze wzrostem biegu coraz mniejsze jednostkowe zużycie paliwa.

Z tego powodu kryterium doboru biegu wynika z wymaganej prędkości jazdy maszyny.

W najnowszych ciągnikach przełączanie biegów, jeśli kierowca wybierze odpowiednią opcję odbywa się automatycznie. Kierowca wprowadza jedynie ograniczenie określające najwyższy bieg, na jakim może pracować ciągnik (np. w ciągnikach serii 8000 firmy John Deere). Inaczej jest w ciągnikach serii TM firmy New Holland, gdzie skrzynka przekładniowa Power Command jest przełączana w zależności od [18]:

- położenia dźwigni sterującej dawkowaniem paliwa;
- prędkości obrotowej silnika;
- momentu obrotowego silnika;
- położenia pedałów hamulców (redukcja biegów, gdy zostaną naciśnięte pedały hamulców).

Chcąc korzystać z automatycznej zmiany biegów kierowca musi wybrać jeden z dwóch trybów pracy:

- praca polowa;
- praca transportowa.

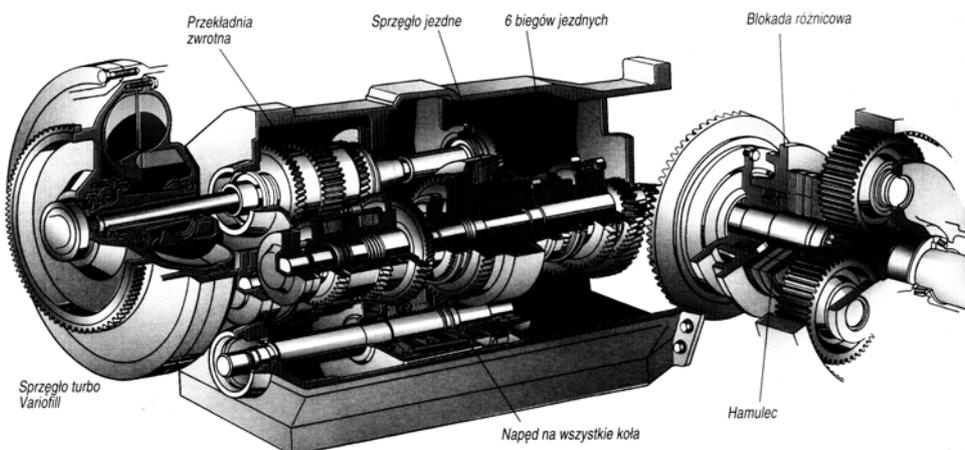
Tryb polowy może być włączony w zakresie 1 – 12 biegu. Automatyczna zmiana biegów następuje w zakresie dwóch biegów poniżej i dwóch biegów powyżej biegu nastawionego (automatyczna zmiana w zakresie pięciu biegów).

Tryb pracy transportowej może być włączony, gdy jazda odbywa się na biegach 12–18 (grupa najwyższych biegów) i w tym zakresie biegi są przełączane automatycznie.

W tych przypadkach silnik pracuje w całym zakresie swojej charakterystyki uniwersalnej.

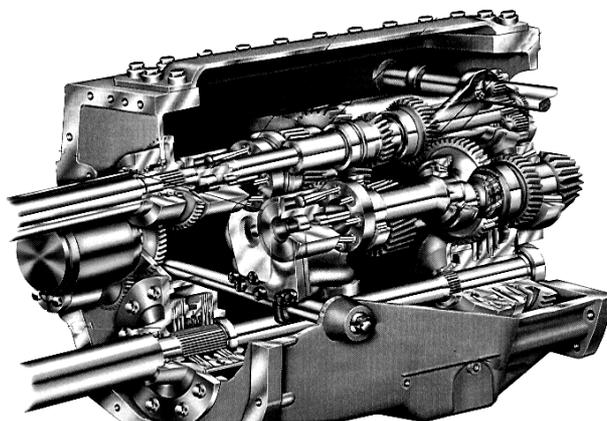
Stosowane obecnie w ciągnikach przez niektóre firmy skrzynki hydromechaniczne składają się ze sprzęgła hydrokinetycznego, czterobiegowej skrzynki przekładniowej typu Power Shift i klasycznej skrzynki przekładniowej (rys. 4) [19]. Zespoły te są ze sobą połączone szeregowo. Sprzęgło hydrokinetyczne zastosowane w układach napędowych umożliwia łagodne ruszanie z miejsca i rzadsze przełączanie biegów. Sprzęgła te doskonale tłumią drgania, co zwiększa żywotność silnika i układu napędowego.

Wadą takiego rozwiązania jest większe zużycie paliwa podczas pracy ciągnika, spowodowane poślizgiem jaki musi wystąpić w tego typu sprzęgle, a także konieczność ponoszenia kosztów związanych z okresową wymianą dodatkowej ilości drogiego oleju znajdującego się w sprzęgle.



Rys. 4. Hydromechaniczna skrzynka biegów ciągnika Fendt Favorit

Automatyczne sterowanie tym zespołem jak na razie sprowadza się do przestawiania silnika na obroty biegu jałowego, gdy sprzęgło hydrokinetyczne pracuje z nadmiernym poślizgiem, co ma na celu chronienie oleju znajdującego się w sprzęgle przed przegrzaniem. Powoduje to zatrzymanie się ciągnika. Ruszenie z miejsca odbywa się po zredukowaniu biegu w skrzynce typu „Power shift” do pierwszego, co warunkuje także ponowną możliwość sterowania prędkością obrotową silnika.



Rys. 5. Hybrydowa skrzynka ciągnika Fendt Vario

Najnowszą generację stanowią skrzynki hybrydowe. Składają się one z równolegle połączonych przekładni:

- hydrostatycznej o zmiennym bezstopniowo przełożeniu;
- stopniowej przekładni mechanicznej, która w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego ma pewną liczbę biegów.

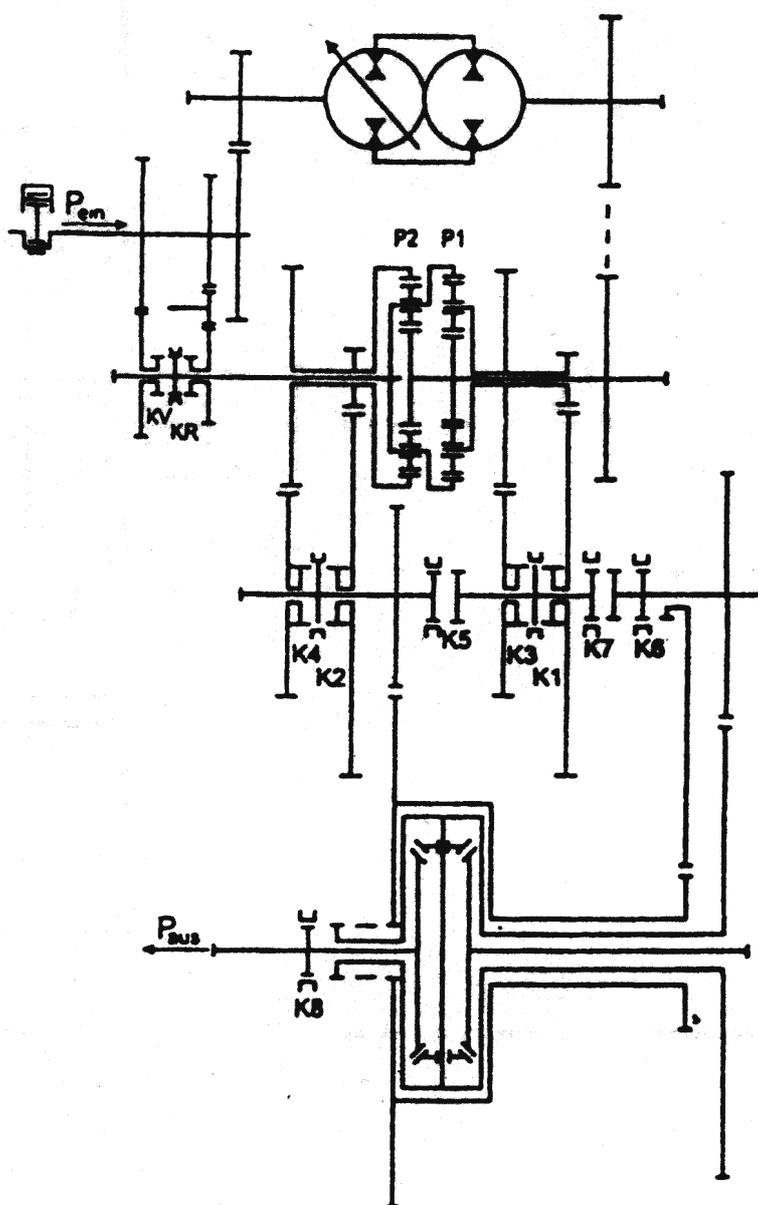
Skrzynki hybrydowe budowane są według dwóch koncepcji.

Pierwsza koncepcja polega na wyborze za pomocą stopniowej części skrzynki przekładniowej zakresu prędkości jazdy: od zerowej do maksymalnej na danym zakresie,

np. Fendt Vario (rys. 5.) [19], który ma dwa biegi:

- zakres prac roboczych;
- zakres prac transportowych.

Druga koncepcja polega na wykorzystywaniu obydwu przekładni w celu uzyskania pełnego zakresu rozpiętości przełożeń skrzynki. Część mechaniczna ma kilka przełożeń i jest przełączana podczas pracy automatycznie. Jej przełożenia są tak dobrane, że przełożenie najmniejsze na danym biegu odpowiada największemu przełożeniu na biegu wyższym zapewniając w końcowym efekcie odpowiednią rozpiętość bezstopniowej zmiany przełożenia. Na rys. 6. [14, 20] przedstawiono skrzynkę ciągnika Xerion firmy Claas, która posiada w części mechanicznej ośmiobiegową skrzynkę przekładniową.



Rys. 6. Schemat hybrydowej skrzynki ciągnika Claas Xerion

Działanie tych skrzynek polega na tym, że moc dostarczana z silnika rozdziela się na dwa strumienie płynące równolegle przez przekładnie mechaniczną i hydrostatyczną.

Proporcja rozdziału strumienia mocy zależy od nastawionego przełożenia przekładni hydrostatycznej i włączonego przełożenia przekładni mechanicznej. Strumienie te łączą się na wale sumującym, który jest wałem wyjściowym skrzynki przekładniowej.

W przypadku automatyzacji sterowania skrzynką i silnikiem, przekładnie te umożliwiają wykorzystywanie całego zakresu charakterystyki ogólnej silnika, co pozwala realizować pracę ciągnika wg podanych na wstępie kryteriów:

- największej sprawności uciągu;
- najmniejszego jednostkowego zużycia paliwa;
- największej wydajności.

Wymaga to jednak zastosowania bezstopniowej automatycznie sterowanej przekładni napędzającej wałek WOM, w celu utrzymywania jego stałej prędkości obrotowej niezależnie od prędkości obrotowej silnika.

Już dzisiaj w ciągnikach Xerion można nastawiać tzw. “strategie pracy” [14, 20].

Umożliwiają one np.:

- zmianę prędkości jazdy ciągnika przy stałej prędkości obrotowej silnika (strategia przełożeń);
- zmianę prędkości jazdy, poprzez zmianę prędkości obrotowej silnika, przy ograniczeniu maksymalnej prędkości jazdy za pomocą dźwigni sterującej skrzynką (strategia pedału gazu);
- utrzymanie prędkości roboczej na stałym poziomie, przy różnej prędkości obrotowej silnika (strategia stałej prędkości);
- pracowanie ze stałą nastawioną mocą silnika (strategia stałej mocy).

W celu uzyskania jak najbardziej efektywnej pracy ciągnika, sterowanie skrzynką biegów powinno odbywać się na podstawie informacji, które na bieżąco wskazują kierowcy, na jakim biegu powinien pracować. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest w pełni automatyczne sterowanie doбором przełożeń w skrzynce. W nowych konstrukcjach ciągników widać wyraźnie taką tendencję.

W eksploatowanych do tej pory klasycznych ciągnikach rolniczych najczęściej doboru biegu skrzynki przekładniowej (niezależnie od sposobu przełączania biegów) dokonuje kierowca w oparciu o swoje doświadczenie, w zależności od wymogów agrotechnicznych, warunków pracy i możliwości narzędzia.

Zastosowanie automatycznego przełączania biegów wymaga użycia elektronicznych systemów przetwarzania danych i odpowiednich czujników, które w zależności od stopnia poziomu zaawansowania regulacji muszą mierzyć różne wielkości.

Prostsze układy sterują skrzynką tylko na podstawie prędkości obrotowej silnika, bardziej skomplikowane dodatkowo uwzględniają położenie elementu sterującego dawką paliwa (rys. 7) [21], a jeszcze bardziej precyzyjne muszą ponadto otrzymywać informację o wielkości momentu obrotowego z jakim pracuje silnik, przy uwzględnieniu położenia pedałów hamulców.



Rys. 7. Pulpit sterowania ciągnika John Deree serii 8010 gdzie:

1 – Centralne sterowanie: automatyczną skrzynką biegów (APS), dawką paliwa, trzypunktowym układem zawieszenia narzędzi, hydrauliką zewnętrzną, maszynami towarzyszącymi (IMS), WOM-em; 2 – Tempomat (stałe obroty silnika/ WOM-u); 3 – Wyświetlacz najważniejszych funkcji ciągnika; 4 – Wskaźniki temperatury w układzie chłodzenia, ciśnienia oleju i poziomu paliwa; 5 – Przelączniki dotykowe informujące o: poślizgu kół, prędkości jazdy, prędkości obrotowej WOM-u, przejechanym dystansie, kodach diagnostycznych itp.; 6 – Pokrętło kontroli temperatury; 7 – Wylączniki automatycznych funkcji ciągnika: automatycznej przekładni biegów (APS), systemu sterowania maszynami towarzyszącymi (IMS), systemu kontroli poślizgu (HSC); 8 – Pokrętła regulacji: wentylatora, klimatyzacji, przedniej wycieraczki i spryskiwacza, świateł drogowych i polowych; 9 – Regulacja i wskaźniki wydatku oleju oraz czasu pracy każdego z gniazd hydrauliki; 10 – Wlącznik świateł awaryjnych; 11 – Załączanie/ rozłączanie napędu przedniej osi; 12 – Wycieraczka i spryskiwacz tylnej szyby; 13 – Zapalniczka; 14 – Gniazdo diagnostyczne; 15 –Gniazdo 12 voltowe

Zastosowanie czujników, a zwłaszcza czujnika pomiaru momentu obrotowego musi być uwzględnione już w fazie projektowania ciągnika. W związku z tym takie układy nie są uniwersalne i nie można zastosować ich w dowolnym ciągniku.

PODSUMOWANIE

Biorąc pod uwagę współczesne konstrukcje ciągników rolniczych należy stwierdzić, że obecnie stosowane są następujące rozwiązania:

– w ciągnikach o małych i średnich mocach silników stosowane są dwubiegowe wzmacniacze momentu sterowane “ręcznie”;

– w ciągnikach, o mocach silników średnich (droższych wariantach) i wyższych stosowane są czterobiegowe układy typu “power shift” połączone z 4 lub 5 biegową skrzynką o osiach stałych, posiadającą na życzenie biegi pełzające. Układy “power shift” w tym przypadku sterowane są również “ręcznie”;

– w ciągnikach droższych o dużych mocach silników, stosuje się skrzynki typu “power shift”, w których wybrana przez kierowcę pewna liczba kolejnych biegów przełączana jest automatycznie (rysuje się tendencja pełnej automatyzacji przełączania wszystkich biegów).

– W najprostszych układach, wielkością sterującą przełączaniem biegów jest jedynie prędkość obrotowa silnika.

– W najnowszych ciągnikach, w większości przypadków stosowane systemy sterujące przełączaniem biegów opierają się na pomiarze prędkości obrotowej silnika i pośrednim

określaniu momentu obrotowego z jakim pracuje ciągnik, na podstawie położenia elementu sterującego dawką paliwa.

– W najbardziej zaawansowanych układach sterujących skrzynkami typu „power shift” wykorzystywane są informacje o prędkości obrotowej silnika, mierzonym bezpośrednio momencie obrotowym silnika, położeniu dźwigni sterującej dawkowaniem paliwa, położenia pedałów hamulców (redukcja biegów, gdy zostaną naciśnięte pedały hamulców).

– Silniki niektórych ciągników w zależności od wybranej przez kierowcę opcji mogą pracować wg różnych charakterystyk, co uwzględniają systemy sterujące skrzynką przekładniową.

– Celowym byłoby stworzenie takiego układu, który mógłby być zainstalowany w każdym ciągniku i w zależności od konstrukcji ciągnika i stopnia zastosowania elektroniki umożliwiłby albo sterowaniem skrzynką biegów, albo wskazywałby kierowcy na którym biegu powinien pracować, przy założonych ograniczeniach w danych warunkach.

1. Dajniak H. *Ciągniki. Teoria ruchu i konstruowanie*. WKŁ. – Warszawa, 1985.
2. Renius K.T. *Traktoren. Technik und ihre Anwendung*. BLV Verlag Verlagsgesellschaft GmbH. – München, 1987.
3. Żebrowski Jerzy, Żebrowski Zbigniew. *Mechanika ciągników kołowych*. Wydawnictwo ART. – Olsztyn, 1997.
4. Kolator B., Żebrowski J., Żebrowski Z. *Dobór ciężaru ciągnika i jego rozkład na poszczególne osie / Przegląd Mechaniczny*, 2’01.
5. Żebrowski J., Żebrowski Z. *Kryteria załączania blokad mechanizmów różnicowych mostów napędowych ciągników rolniczych: II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna “Motrol ’99” pt.: Motoryzacja i energetyka rolnictwa*. 8–10 .09.1999. Wydawnictwo Akademii Rolniczej. – Lublin, 1999.
6. Żebrowski J., Żebrowski Z. *Przegląd rozwiązań sposobu napędów końcówki wału odbioru mocy / Przegląd Mechaniczny. Organ Główny Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich*. – Nr 22’96.
7. Żebrowski J. Żebrowski Z. *Rozwój planetarnych skrzynek biegów w ciągnikach kołowych: XII Konferencja Naukowa Napęd, Sterowanie, Automatyzacja Maszyn Roboczych i Pojazdów / Instytut Budowy Maszyn Wydziału Mechanicznego WAT, Sekcja Podstaw Konstrukcji Maszyn KBM PAN. Rynia k/Warszawy, 18–20 październik, 2000*.
8. Żebrowski J, Żebrowski Z. *Anpassung des Arbeitsganges und der Arbeitsbreite des Ackerschleppers in Verbindung mit einem Zusatzgerät: XII Deutsch-Polnisches Wissenschaftliches Seminar Development Trends in Design of Machines and Vehicles*. – Warsawa, October, 2000.
9. Żebrowski J. *Algorytm sterowania załączeniem i rozłączeniem napędu przedniego w ciągniku kołowym / Przegląd Mechaniczny* 1’01.
10. Mirosław T., Żebrowski Z. *Sterowanie załączeniem i rozłączeniem napędu przedniego ciągników kołowych / Przegląd Mechaniczny* 1’01.
11. Żebrowski J, Żebrowski Z. *Einfluß des Reifendrucks im Allradschlepper auf die Leistungsverteilung im Antriebsstrang: XI Deutsch-Polnisches Wissenschaftliches Seminar „Engineering and Studying for the Next Millenium“ University of Applied Sciences Cologne-TU*. – Warschau, Köln, 18. bis 21. Oktober 1999.
12. Żebrowski J. *Metody praktycznego wyznaczania poślizgu kół w celu poprawienia efektywności funkcjonowania agregatu ciągnikowego: II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna “Motrol ’99” pt.: Motoryzacja i energetyka rolnictwa*. 8 – 10.09.1999. Wydawnictwo Akademii Rolniczej. – Lublin, 1999.
13. Żebrowski J, Żebrowski Z. *Możliwości automatyzacji pracy ciągnika: VIII Ukraińsko-Polska Konferencja. CAD w budowie maszyn. “SAPR”, Politechnika Lwowska, Lwów, maj 2000*.
14. Lang Th, Römer A, Seeger J. *Entwicklungen der Hydraulik in Traktoren und Landmaschinen / Ölhydraulik und Pneumatyk* 42 (1998) Nr 2.
15. *Prospekty i materiały firmy FORD*.
16. *Prospekty i materiały firmy Massey Ferguson*.
17. *Prospekty i materiały firmy CASE IH*.
18. *Prospekty i materiały firmy New Holland*.
19. *Prospekty i materiały firmy FENDT*.
20. *Prospekty i materiały firmy CLAAS*.
21. *Prospekty i materiały firmy John Deere*.