

dr hab. inż. Franciszek KUCZMARSKI,
Wojskowa Akademia Techniczna
dr inż. Andrzej TYPIAK,
Wojskowa Akademia Techniczna
mgr inż. Zbigniew ZIENOWICZ,
HYDROMEGA Sp. z o.o.

KONCEPCJA SYSTEMU ROZPOZNANIA OTOCZENIA DLA ZDALNIE STEROWANEGO WIELOZADANIOWEGO POJAZDU KOŁOWEGO

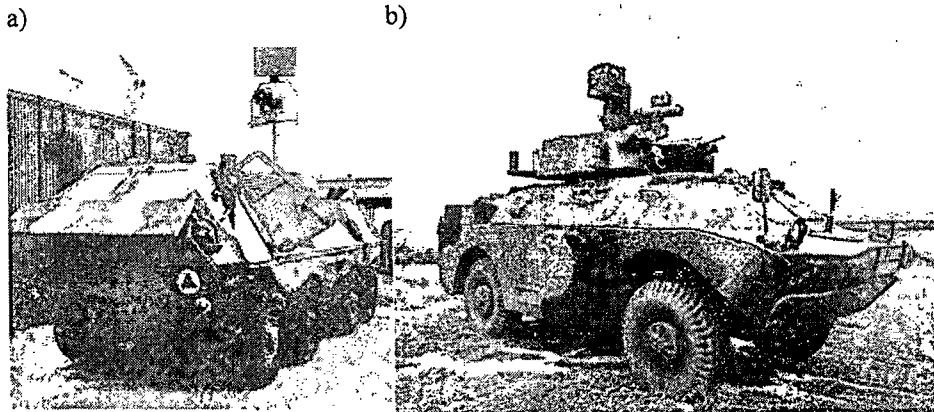
W referacie przedstawiono ogólną charakterystykę układu sterowania bezzałogowym pojazdem lądowym w zależności od przewidywanych zadań, przy uwzględnieniu napędu i wymaganej struktury systemu sterowania. Przybliżono aktualny rozwój systemów wizyjnych stosowanych w bezzałogowych pojazdach lądowych. Zaprezentowano system wizyjny proponowany do zdalnie sterowanego wielozadaniowego pojazdu kołowego.

CONCEPTION OF ENVIRONMENT RECOGNITION SYSTEM BY REMOTE CONTROLLED MULTITASKS WHEELED VEHICLE

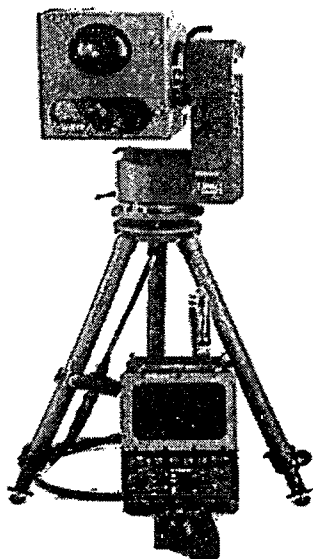
In this paper is presented the general characteristic of multitasks wheeled vehicle's control systems independents on predicted tasks, taking into consideration power system and required the control system structure. The current development of vision systems for unmanned ground vehicles is defined. There is presented the proposal of vision system for remote controlled multitasks wheeled vehicle..

1. WPROWADZENIE

Zdalnie sterowane pojazdy transportowo - rozpoznawcze nie są obecnie powszechnie stosowane w siłach zbrojnych. Realizowane są jednak programy badawcze oraz wykonywane prototypy takich pojazdów. W znacznie większym zakresie wykorzystywane są zdalnie sterowane mobilne pojazdy, wyposażone w manipulatory, do unieszkodliwiania i przenoszenia ładunków i materiałów niebezpiecznych bądź pracy w warunkach niedostępnych albo niebezpiecznych dla ludzi warunkach otoczenia. W Wojsku Polskim istnieją jedynie dwa załogowe pojazdy rozpoznawcze wyposażone w systemy wizyjne, które powstały w wyniku przystosowania istniejących konstrukcji. Pierwszym z nich jest prototyp dowódczego pojazdu rozpoznawczego WR-02 Ryś, który powstał na bazie transportera opancerzonego SKOT (rys. 1a). Bardzo istotnym elementem wyposażenia jest głowica optoelektroniczna i radar, które są montowane na wysuwanym maszcie. Drugim pojazdem rozpoznawczym dla Polskiego Wojska jest prototyp pojazdu rozpoznawczego BRDM-2, znanego pod kryptonimem Żbik-A (rys. 1b). Jego wyposażenie optoelektroniczne stanowi dziennie-nocna głowica obserwacyjna BAA niemieckiej firmy STN ATLAS Elektronik (rys. 2).



Rys. 1. Pojazdy rozpoznawcze: a) WR-02 Rys'; b) Żbik-A



Głowica jest zdalnie sterowana i umożliwia precyzyjną lokalizację celów przy pomocy laserowego pomiaru odległości. Głowica umieszczona jest na ruchomym, składanym maszcie. Głowicę można zdemontować i ustawić na trójnogu - w odległości 40m od pojazdu. Sterowanie odbywa się z wnętrza pojazdu lub przenośnego układu sterowania. Niektóre państwa tak jak Niemcy czy Holandia dysponują pojazdami nowo opracowanymi (np. FENNEK), inne natomiast przystosowują istniejące już konstrukcje (np. słowacki ALIGATOR czy duński i szwajcarski EAGLE II). Pojazdy te na swoim wyposażeniu mają taką samą głowicę co polski BRDM-2 Żbik-A.

Rys. 2. Widok głowicy STN ATLAS Elektronik wraz z monitorem i układem sterowania jej orientacją

2. STRUKTURA SYSTEMU STEROWANIA ZDALNIE STEROWANEGO KOŁOWEGO POJAZDU WIELOZADANIOWEGO

Przeznaczenie i zadania realizowane przez pojazdy rozpoznawcze implikują następujące wymagania i ograniczenia, odnoszące się do struktury systemu i przepływu informacji oraz sygnałów sterujących:

- wyeliminowanie bezpośrednich bodźcowych sprzężeń zwrotnych pomiędzy operatorem a pojazdem wymusza rozbudowę układów generujących i przesyłających informacje dla operatora oraz wspomaganie procesu generowania sygnałów sterujących torem energetycznym pojazdu;
- opracowanie procedur awaryjnego działania układu sterującego w przypadku występowania zakłóceń w torze transmisyjnym i zapewnienie w tej sytuacji autonomii działania pojazdu;
- generowanie sygnałów bodźcowych dla operatora, których natura i przekazywany zakres informacji są zbliżone do odczuwanych w kabinie pojazdu;
- konieczna jest rozbudowa bloku pomiarowo-diagnostycznego, który działając autonomicznie przekazywać będzie sygnały kontrolne do stanowiska operatora;



Rys. 3. Struktura systemu Operator – Pojazd wielozadaniowy - Środowisko przy zdalnym sterowaniu: ZT- zadania technologiczne; \bar{u} -sygnały sterujące generowane przez operatora; \bar{w} -informacje dla operatora; \bar{u}^* , \bar{w}^* -odpowiednio wysyłane sygnały sterujące i odbierane sygnały informacyjne; \bar{u}_{WE} -sygnały sterujące pokładowym układem sterowania pojazdu; \bar{w}_{WY} -wyjściowe sygnały informacyjne; E-energia zewnętrzna; PR- procesy robocze; R- reakcje ośrodka; W, D- wydajność i jakość działania Pojazdu rozpoznawczego; UTS- urządzenia techniczne toru sterowania; UOR- urządzenia obserwacyjno-rozpoznawcze

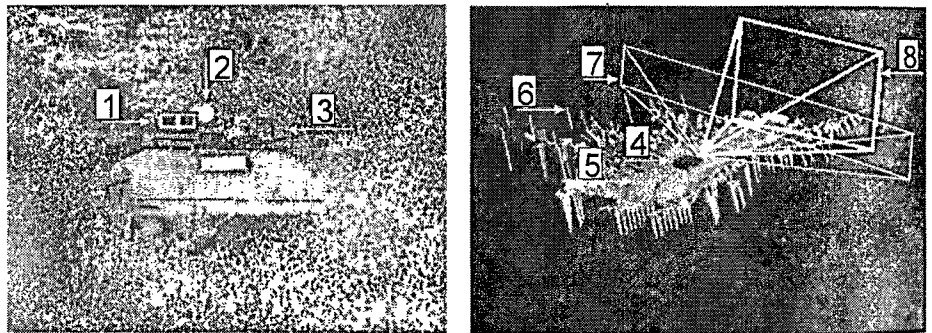
Powyższe wymagania i ograniczenia są podstawą opracowania schematu funkcjonalnego systemu zdalnego sterowania pojazdem rozpoznawczym (rys.3). W układzie przedstawionym na schemacie uwidocznione są te problemy, które wynikają ze zdalnego sterowania. Oddalenie operatora powoduje konieczność rozbudowy kanałów przepływu informacji o otoczeniu pojazdu.

3. KONCEPCJA SYSTEMU ROZPOZNANIA OTOCZENIA DLA KOŁOWEGO POJAZDU WIELOZADANIOWEGO

W proponowanych rozwiązaniach układów do określania położenia przemieszczającego się autonomicznych pojazdów rozpoznawczych oraz wyznaczania przeszkód terenowych stosuje się układy najbardziej optymalne do widzenia maszynowego. Składają się one najczęściej z laserowego systemu skanowania terenu (LADAR),

zestawu kolorowych kamer telewizyjnych oraz zestawu kamer strukturalnych FLIR. Zastosowanie takiego zestawu umożliwi tworzenie modelu przestrzennego terenu po którym przemieszcza się pojazd oraz określanie położenia przeszkód terenowych (rys. 4). Powiązanie utworzonego modelu przestrzennego obszaru dookoła pojazdu wraz z mapą cyfrową terenu pozwala na samodzielne poruszanie się autonomicznego pojazdu po zaplanowanej drodze przejazdu.

Ponieważ proponowany przez autorów pojazd rozpoznawczy jest sterowany zdalnie, dlatego jego urządzenia rozpoznania otoczenia powinny przekazywać informację najbardziej optymalną dla operatora. Człowiek najwięcej informacji o otoczeniu otrzymuje za pomocą wzroku, dlatego należy wyposażyć pojazd rozpoznawczy w system wizyjny. Standardowe systemy wizyjne postrzegają rzeczywistość dwuwymiarowo (gdyż nie mają możliwości pomiaru odległości do obiektów oraz ich rozmiarów). Dlatego obecnie głównym problemem badawczym w systemach wizyjnych jest trójwymiarowe postrzeganie obrazów, w szczególności zaś głębi. Dane o położeniu przestrzennym obiektów, które nie są zawarte w pojedynczym obrazie, są zawarte np. w obrazach stereoskopowych.

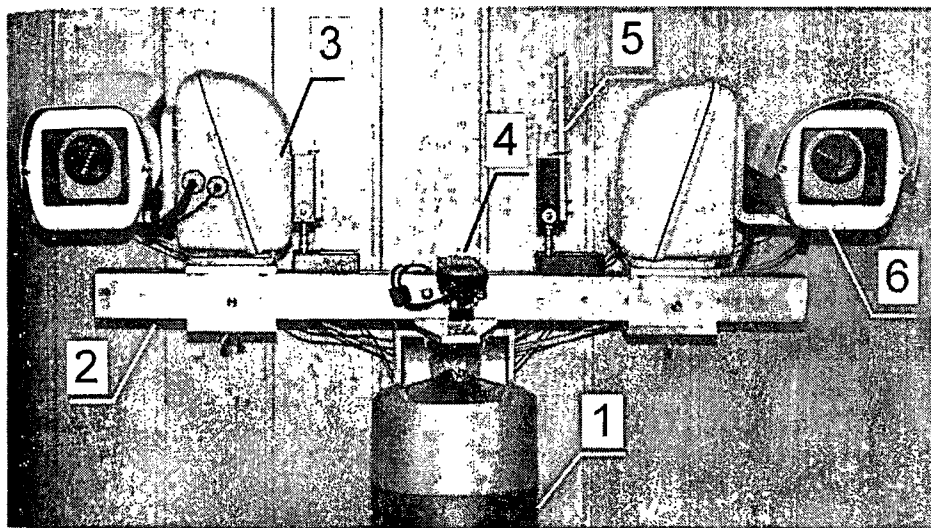


Rys. 4. Bezzałogowy pojazd rozpoznawczy i model przestrzenny terenu: 1 – stereowizyjny zestaw kamer kolorowych; 2 – LADAR; 3 – stereowizyjny układ kamer FLIR; 4 – pojazd; 5 – droga przejazdu; 6 – teren nie rozpoznany; 7 – zakres obserwacji kamer; 8 – zakres obserwacji systemu laserowego

Dlatego istotnym problemem jest opracowanie najkorzystniejszej konfiguracji systemu wizyjnego, ze względu na szybkość przetwarzania otrzymanych sygnałów i wymaganą jakość informacji. Rozpatrywane jest stosowanie różnych rozwiązań systemu stereowizyjnego. Najpowszechniej stosowanym rozwiązaniem jest standardowy układ boczno-kamerowy. Składa się on z dwóch równolegle ustawionych kamer i dwóch systemów przetwarzania obrazów. Przykładem układu jednokamerowego jest układ osiowo – ruchowy, w którym obrazy z dwóch kolejnych położenia kamery rozpatrywane są jako obrazy stereowizyjne. Kolejnym rozwiązaniem jest układ katadioptryczny, w którym obserwowane są jedną kamerą dwa obrazy powstałe w dwóch różnych zwierciadłach.

Pomimo niewątpliwych zalet układów jednokamerowych takich jak: identyczne parametry systemu, łatwiejsza kalibracja, szersze pole widzenia, uproszczenie toru akwizycji danych, uproszczenie układu mechanicznego oraz mniejszy koszt, to układ osiowo – ruchowy może być stosowany tylko przy ruchu postępowym systemu

wizyjnego, natomiast układ katadioptryczny wymaga stosowania specjalnego zestawu zwierciadeł oraz modyfikacji sposobu przetwarzania obrazu wizyjnego. Dlatego do pierwszego etapu badań przyjęto standardowy układ stereowizyjny. W Instytucie Budowy Maszyn – WAT zbudowano system wizyjny składający się z dwóch podstawowych bloków: stanowiska operatora i zestawu obserwacyjnego (rys. 5).



Rys. 5. Badawczy zestaw obserwacyjny (opis w tekście)

Zestaw obserwacyjny (rys. 5) składa się z głowicy sterującej (1) na której zainstalowana jest belka nośna (2). Zmiana kąta obrotu belki realizowana jest przez głowicę sterującą. Zamontowany na belce w osi obrotu głowicy układ GPS odczytuje azymut oraz określa: położenie zestawu we współrzędnych geograficznych, wysokość nad poziomem morza oraz pochylenie terenu. Dane z GPS mogą być nanoszone na mapę cyfrową co pozwoli na wykreślenie np. drogi przejazdu pojazdu (z zamontowanym systemem wizyjnym). Zestaw obserwacyjny służy do obserwacji terenu lub wybranych obiektów za pomocą kamer CCD (6), których orientację ustawiają głowice kamer (5). Konstrukcja zestawu umożliwia obserwację wybranych obiektów jednocześnie za pomocą obu kamer (realizacja procesu stereowidzenia) lub obserwację obiektów położonych w różnych kierunkach..

W chwili obecnej sterowanie kamerami odbywa się z pomocą klawiatury komputera i pulpitu operatora prezentowanego na ekranie monitora.

Zaprezentowany układ wizyjny może być wykorzystywany zarówno do lokalizowania obserwowanego obiektu i obserwacji jego otoczenia oraz wykrywania przeszkód terenowych jak i do obserwacji i wizualizacji położenia osprzętów roboczych maszyn inżynierskich. Może być montowany zarówno na pojeździe, maszynie inżynierskiej jak też samodzielnie ustawiany w terenie.

4. LEWIATAN 5 SG JAKO POJAZD DO ZABUDOWY SYSTEMU ROZPOZNANIA OTOCZENIA I UKŁADU ZDALNEGO STEROWANIA

Opisany układ wizyjny może być montowany na różnego rodzaju pojazdach oraz maszynach inżynieryjnych. Pojazd taki powinien charakteryzować się dużymi możliwościami pokonywania trudnego terenu. Wskazano jest, aby z marszu mógł pokonywać przeszkody wodne, błotniste oraz bagienne. Konstrukcja i napęd pojazdu powinny umożliwiać docelowe wyposażenie go w specjalistyczny osprzęt roboczy, umożliwiającą zdalną realizację prac inżynieryjno-technicznych, rozpoznawczych oraz bojowych. Realizacja tak wielu funkcji roboczych poprzez zdalne lub autonomiczne układy sterowania, możliwa jest tylko w przypadku takiego zaprojektowania układów napędowych i wykonawczych pojazdu, które w stosunkowo prosty sposób pozwolą na przetwarzanie i realizację sygnałów sterujących wysyłanych przez operatora.

Analiza możliwości trakcyjnych oraz układów napędowych znanych pojazdów wojskowych wskazuje na duże w tym zakresie możliwości hydrostatycznych układów napędowych. Dynamiczny w ostatnich latach rozwój elementów hydrauliki, znacznie podniósł sprawność, niezawodność oraz możliwość realizacji szerokiej gamy systemów sterujących układami wykonawczymi.

Hydrostatyczny układ napędowy pozwala na:

- łatwość realizacji zdalnych sygnałów generowanych przez operatora w pokładowych układach sterujących i wykonawczych;
- łatwość przenoszenia napędu oraz realizację funkcji niezależnego podziału mocy na poszczególne koła oraz śruby lub pędniki;
- uzyskanie płynnej lub automatycznej skokowej zmiany przełożeń układu jazdy;
- uzyskanie niezależnego źródła zasilania dla zewnętrznych urządzeń wykonawczych oraz robotów przemysłowych zabudowanych na pojeździe;
- łatwość sterowania systemami wspomaganiami układów hamulcowych oraz układu kierowniczego;
- ciągły monitoring poprawności funkcjonowania wszystkich układów sterujących i wykonawczych;
- szybką diagnostykę oraz lokalizację awarii monitorowanych układów.

Opisane powyżej własności, zarówno w odniesieniu do możliwości trakcyjnych, jak i napędu hydrostatycznego posiada lekki wielozadaniowy transporter - Lewiatan 5 SG, wyprodukowany przez firmę Hydromega Sp. z o.o. z Gdyni. Napęd hydrostatyczny prototypu pojazdu został tak zaprojektowany, aby możliwe było łatwe wbudowanie kontrolno - sterowniczego panelu urządzeń pokładowych. Cały układ hydrostatyczny Lewiatana sterowany jest sygnałami elektrycznymi podawanymi na serwozawory, rozdzielacze proporcjonalne lub konwencjonalne. Elektryczny panel sterujący pojazdu posiada wyprowadzenia elektryczne na dodatkową listwę zaciskową, do której możliwe jest podłączenie panelu z łączami transmisyjnymi U_{WE} i W_{WY} (rys. 3).

Aktualnie trwają prace koncepcyjne i projektowe nad budową układu sterowania autonomicznego pojazdu. Zdolność transportera do poruszania się w najtrudniejszym terenie znacznie ułatwia proces sterowania układem jazdy, układem kierowniczym oraz pływaniami lub brodzeniem przy wykorzystaniu śrub napędowych.

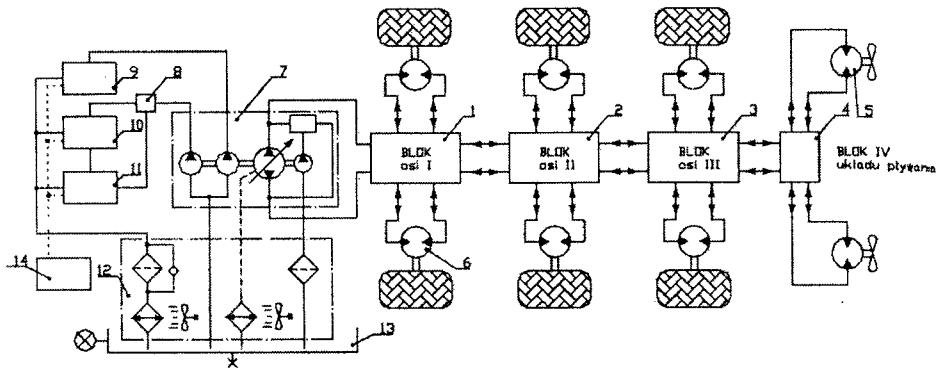
Lewiatan posiada następujące układy hydrostatyczne sterowane alternatywnie przez operatora (kierowcę) lub operatora sterującego nim zdalnie :

- napęd hydrostatyczny układu jazdy z automatyczną cztero stopniową skrzynią biegów, z trzema biegami dla jazdy do przodu oraz jednym biegiem wstecznym;
- rodzaj wyboru trybu jazdy tzn.: jazda szosowa oraz jazda terenowa z blokadą hydraulicznego układu różnicowego, pozwalającego na niezależny napęd każdego z 6-u kół pojazdu. Szerokie niskociśnieniowe opony pojazdu pozwalają na uzyskanie niskich nacisków na podłoże ok. 20 kPa, dzięki czemu pojazd może poruszać się po grząskim i bagnistym terenie;
- układ kierowniczy ze wspomaganie hydraulicznym, w przypadku sterowania zdalnego w kolumnie kierowniczej wbudowano silnik hydrauliczny sterowany proporcjonalnie elektrohydraulicznym rozdzielaczem trzypołożeniowym, pozwala to na uzyskanie funkcji zdalnego lub autonomicznego sterowania układem kierowniczym, niezależnym od operatora (kierowcy);
- układ hamulcowy wspomagany hydraulicznie z trzema niezależnymi układami sterującymi;
- napęd hydrostatyczny dwóch śrub lub pędników wykorzystywanych podczas pływania. Śruby wykorzystywane są do sterowania pojazdem w wodzie, przy czym w skrajnym przypadku dla odwrotnego (przeciwbieżnego) napędu śrub uzyskuje się zwrot w miejscu. Funkcja ta jest szczególnie przydatna podczas omijania przeszkód wodnych;
- układ hydrostatyczny zasilający urządzenia pomocnicze takie jak: roboty przemysłowe, dźwigi, młoty wyburzeniowe, pługi, piły, systemy rozkładania konstrukcji masztów radarowych, wyrzutni raketowych oraz systemów zdalnego naprowadzania (celowania) pocisków konwencjonalnych i moździerz;
- systemy monitoringu ciśnieniowego oraz termicznego;
- układ chłodzenia oraz filtracji boczniowej oleju.

Schemat blokowy napędu hydrostatycznego Lewiatana przystosowanego do zdalnego sterowania pokazano na rys. 6.

Pojazd wielozadaniowy z napędem hydrostatycznym Lewiatan 5 SG ma tę przewagę nad opisanymi na wstępie pojazdami typu SKOT czy BRPM-2, że wyeliminowano w nim wszystkie przekładnie mechaniczne oraz systemy mechanicznego przeniesienia napędu z ręcznym sterowaniem lub wyborem trybu pracy. Pozwoliło to na zautomatyzowanie procesu sterowania i napędu pojazdu, co dla np.: klasycznych mechanicznych skrzyń biegów byłoby niemożliwe.

Po próbach prototypu pojazdu Lewiatan 5 SG, podjęte zostały prace projektowe i przystosowawcze do uzyskania efektu końcowego, jakim będzie w pierwszej kolejności zdalne sterowanie pojazdem, a następnie opracowanie autonomicznego systemu sterowania współpracującego z systemami wizualizacji otoczenia pojazdu. Na rys. 7 przedstawiono transporter wielozadaniowy Lewiatan 5 SG, podczas prób w terenie z operatorem (kierowcą).



Rys. 6. Schemat blokowy napędu hydrostatycznego pojazdu Lewiatan 5 SG, przystosowano do zdalnego sterowania: 1÷3, 6 - układ jazdy, 4, 5 - napęd śrub lub pędników, 7 - zestaw pomp układu hydrostatycznego napędzanych silnikiem spalinowym, 8 - blok zaworowy synchronizacji pracy układów pomocniczych, 9 - sterowanie układem kierowniczym z systemem wspomagania, 10 - układy hamulcowe, 11 - układ sterujący oraz zasilający urządzeń pomocniczych, 12 - układ filtrujący chłodzący, 13 - zbiornik oleju z osprzętem, 14 - dodatkowe zasilanie urządzeń zewnętrznych, nabudowanych na pojeździe.



Rys. 7. Pojazd Lewiatan podczas prób w terenie

5. WNIOSKI

Specyficzne warunki pracy autonomicznego pojazdu rozpoznawczego uniemożliwiają pełne powielenie istniejących rozwiązań z robotów mobilnych. Przedstawione rozwiązania wskazują, że konieczne jest indywidualne podejście do problemu

kształtowania struktury systemu sterowania tymi pojazdami w zależności od przewidzianych zadań technologicznych. Wskazano na główny problem, który warunkuje realizację proponowanego układu sterowania tj. opracowanie systemu wizualizacji otoczenia pojazdu, który umożliwi sterowanie ich pracą w czasie rzeczywistym przez przeciętnie wykształconego operatora.

Podstawowym zadaniem układu wizyjnego jest generowanie informacji o położeniu obiektów, w przypadku zdalnego sterowania ich przemieszczaniem – w nierozpoznanym lub słabo rozpoznanym środowisku. Przedstawiony w referacie, układ wizyjny może być wykorzystywany do lokalizowania obserwowanego obiektu i obserwacji jego otoczenia oraz wykrywania przeszkód terenowych. Może być montowany zarówno na pojeździe, jak też samodzielnie ustawiany w terenie.

Zaproponowany, wielozadaniowy pojazd z napędem hydrostatycznym Lewiatan 5 SG do zabudowy systemu zdalnego sterowania i urządzeń rozpoznania otoczenia, zapewni projektowanemu pojazdowi rozpoznawczemu osiągnięcie bardzo dobrych parametrów trakcyjnych, dużej zwrotności oraz łatwości sterowania.

Opracowywany pojazd może być wykorzystywany do obserwacji pola walki, ruchów wojsk, prowadzenia na szeroką skalę rozpoznania chemicznego lub inżynierskiego.

Ponadto może służyć do przewozu materiałów niebezpiecznych, amunicji lub uzbrojenia oraz prowadzenia rozminowania i prac ratunkowych.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bartnicki A., Konopka S., Kuczmarski F., Typiak A.: *Remote control of working machines with vision system*. 18th ISARC International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Kraków 2001.
- [2] Racz J.: *Sztuczna inteligencja robotów mobilnych*. Biuletyn PIAP n.5-6 1996.
- [3] Roberts J.M.; Winstanley G.J.; Corke P.I.: *Issues in obstacle detection for autonomous mining and construction vehicles*. 16th IAARC (IFAC) IEEE International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Madrid 1999.
- [4] Hong T., Rasmussen CH., Chang T., Shneier M.: *Road Detection and Tracking for Autonomous Mobile Robots*. 16th Annual International Symposium on Aerospace/Defence Sensing, Simulation and Controls. Orlando, FL, 2002.
- [5] Pomierski W, Siejda Z, Zienowicz Z.: *Napęd lekkiego wielozadaniowego transportera, nośnika uzbrojenia - Lewiatan 5 SG*. Materiały konferencyjne; Napędy i Sterowanie 2002, Seminarium MTG - Gdańsk 2002.
- [6] Materiały konferencyjne. 8-18 International Symposiums' on Automation and Robotics in Construction. 1991 – 2002.
- [7] Rasmussen CH.: *Combining Laser Range, Color, and Texture Cues for Autonomous Road Following*, IEEE International Conference on Robotics & Automation. Washington, DC, 2002.