

STUDIUM IMPLEMENTACJI SYSTEMÓW ZDALNEGO STEROWANIA W BEZZAŁOGOWYCH PLATFORMACH LĄDOWYCH

CONCEPT OF IMPLEMENTATION OF REMOTE CONTROL SYSTEMS INTO UNMANNED ARMoured GROUND TRACKED VEHICLES

Adam Bartnicki, Marian Łopatka, Tomasz Muszyński, Józef Wrona
- Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

W artykule przedstawiono jedną z pierwszych koncepcji zastąpienia czynnika ludzkiego przez zdalnie sterowane pojazdy bezzałogowe w strefach niebezpiecznych, opracowaną i zaimplementowaną w Wojskowej Akademii Technicznej. Koncepcja ta polegała na przystosowaniu klasycznie sterowanego czołgu T-72 do zdalnego sterowania w zadaniach trałowania pól minowych i pokonywania przeszkód wodnych po dnie.

Słowa kluczowe: system zdalnego sterowania, pojazdy bezzałogowe

The first idea to replace the human factor in the danger zone with unmanned robotized vehicles that was defined and implemented at Military University of Technology has been presented in this article. The concept of implementation of components of the remote control system to transform the main battle tank T-72 into Unmanned Ground Vehicle to perform mine clearance tasks and cross-bedding the river has been described. Some results of research of the system have been presented.

Key words: remote control system, unmanned vehicles

Wprowadzenie

Specyfika zadań realizowanych na współczesnym polu walki, jak i działania służb ratowniczych w warunkach pokoju, niosą ze sobą zagrożenie zdrowia i życia żołnierza lub ratownika. Poprawę skuteczności działań w strefach zagrożenia można osiągnąć poprzez wprowadzenie zdalnie sterowanych platform mobilnych, wyposażonych w odpowiedni sprzęt, sterowanych w układzie teleoperatora. W ten sposób operator zostanie odsunięty od strefy bezpośredniego zagrożenia życia i zdrowia, a możliwości robocze robota pozwolą na jego długotrwałą eksploatację w warunkach ekstremalnych [6,7,8].

Poszukując możliwości wprowadzenia na wyposażenie sił zbrojnych pojazdów zdalnie sterowanych rozpatrywano dwa kierunki: implementację systemów zdalnego sterowania w pojazdach sterowanych klasycznie oraz konstruowanie i budowę typowych zdalnie sterowanych platform lądowych w funkcji teleoperatora. Niemniej jednak, w niektórych zadaniach realizowanych w czasie działań bojowych (np. pokonywanie przeszkód wodnych po dnie) pozostaje jedynie możliwość doraźnego przystosowania pojazdów do procesu zdalnego sterowania. Dlatego też bardzo ważnym zagadnieniem jest podatność układów napędowych tych pojazdów do zdalnego sterowania. W Katedrze Budowy Maszyn podjęto próbę zaimplementowania systemu zdalnego sterowania w sterowanych klasycznie pojazdach wojskowych zbudowanych na bazie czołgu T-72, a uzyskane wyniki pozwoliły sformułować wnioski dotyczące szerokiej problematyki wprowadzania zdalnie sterowanych bezzałogowych platform lądowych na wyposażenie sił zbrojnych.

Założenia - podstawy opracowania koncepcji sterowania w układzie teleoperatora

Punktem wyjścia do opracowania koncepcji sterowania w układzie teleoperatora było założenie wykorzystania jako bazy typowej mobilnej maszyny roboczej. Możliwość realizacji tego zadania była następstwem analizy układu „Operator - Maszyna - Otoczenie” i dała podstawę do określenia zależności stanowiących o możliwości sterowania przy wykorzystaniu teleoperacji (rys.1).

Zagadnienie to jest szczególnie istotne, bowiem zakładany cel sterowania jest zależny nie tylko od obserwacji zachowania samej maszyny, ale przede wszystkim od informacji o „zachowaniu się” ostatniego członu - otoczenia (tj. środowiska i ośrodka działania maszyny).

Uświadczenie tej specyfiki pracy maszyn mobilnych pozwala na właściwe projektowanie układu sterowania, szczególnie w przypadku stosowania teleoperacji [1,2].

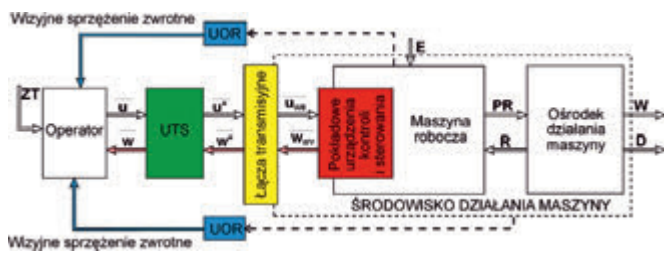
Następnym ważnym zagadnieniem, wynikającym z trójczłonowego układu było uwzględnienie niezbędnych informacji potrzebnych operatorowi do efektywnego sterowania maszyną inżynierską.

Przedstawiony na rysunku 1 trójczłonowy układ ilustrujący pracę maszyny roboczej pozwala na:

- wydzielenie niezbędnych czynników i informacji stanowiących podstawę budowy automatyki autonomicznej,
- wydzielenie informacji stanowiących podstawę identyfikacji otoczenia,
- podział informacji, koniecznych do sterowania pracą

maszyny, uzyskanych z czujników umieszczonych na maszynie i na wydzielonym stanowisku operatora,

- uwzględnienie wpływu zakłóceń na poszczególne człony i ustalenie ich wpływu na końcowy efekt pracy maszyny.



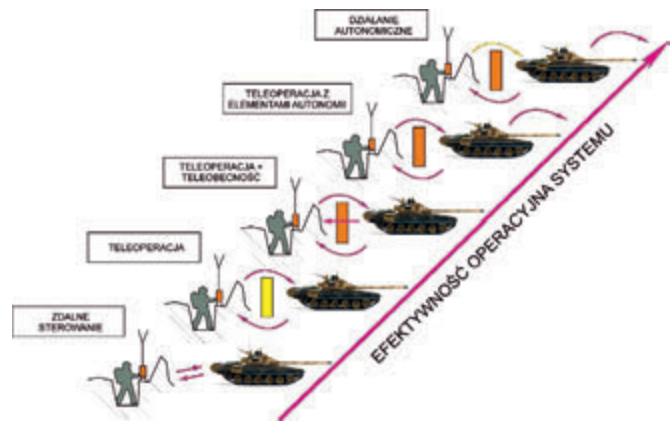
Rys.1. System Operator-Maszyna Robocza - Otoczenie z uwzględnieniem teleoperacji: ZT-zadania technologiczne; $\bar{u}$ sygnały sterujące generowane przez operatora; $\bar{w}$ informacje dla operatora; $\bar{u}^*$, $\bar{w}^*$ - odpowiednio wysyłane sygnały sterujące i odbierane sygnały informacyjne; $\bar{u}_{we}$ - sygnały sterujące pokładowym układem sterowania maszyny; $\bar{w}_{wy}$ - wyjściowe sygnały informacyjne; PR-procesy robocze; R-reakcje ośrodka; W,D-wydajność i jakość działania maszyny

Do rozwiązania ogólnej struktury układu sterowania maszyną inżynierską przy wykorzystaniu teleoperacji, przyjęto następujące założenia wstępne:

- maszyna wyposażona jest w podstawowe układy automatycznego sterowania z mikroprocesorowymi członami pomiarowo-decyzyjnymi,
- istnieje możliwość połączenia układu zdalnego sterowania z istniejącym układem sterowania maszyny,
- wyposażenie maszyny w drogie i wysoko wyspecjalizowane elementy automatyki i czujniki rozpoznające otoczenie jest ograniczone do niezbędnego minimum; spowodowane jest to narażeniem maszyny na częste awaryjne uszkodzenia,
- zapewnienie dobrej widoczności pola pracy spełnione jest wprowadzeniem niezbędnego wyposażenia specjalistycznego i umieszczeniem jego na wydzielonym stanowisku operatora,
- wydzielone (ruchome) stanowisko operatora, oddalone na bezpieczną odległość, wyposażone jest, oprócz łącza radiowo-telewizyjnego, w wysoko wyspecjalizowane układy wizualizacji „sceny”.
- przewiduje się w szczególnych przypadkach stosowanie niezależnych pojazdów rozpoznania terenu.

Proponowane założenia dotyczące sterowania dają możliwość elastycznego dostosowania do zaistniałych, nieprzewidywalnych sytuacji, przy zachowaniu niezbędnych uwarunkowań ekonomicznych. Oczywiście złożoność struktury systemu zdalnego sterowania jest uzależniona od stopnia złożoności zadań realizowanych przez zrobotyzowane platformy (rys. 2).

Na rysunku 3 przedstawiono kolejne etapy kształtowania układów sterowania wojskowych maszyn inżynierskich i pojazdów torujących. Na rysunku 3a przedstawiono klasyczny system układ sterowania-maszyna-środowisko, w którym operator bezpośrednio realizuje funkcje sterowania, przy istotnym udziale bodźcowych sprzężeń zwrotnych. System ten wymaga od operatora odpowiedniego doświadczenia i reagowania na odbierane ze środowiska bodźce. Na rysunku 3b przedstawiono system sterowania wspomagający pracę operatora, a na rysunku 3c przedstawiono schemat systemu układ sterowania-maszyna-środowisko z blokami automatycznego sterowania. Ten ostatni



Rys.2. Poziomy zrobotyzowania platform mobilnych w aspekcie stopnia złożoności realizowanych zadań (opracowanie własne)

umożliwia zdalne sterowanie maszyną inżynierską lub pojazdem torującym bez bodźcowego sprzężenia zwrotnego.

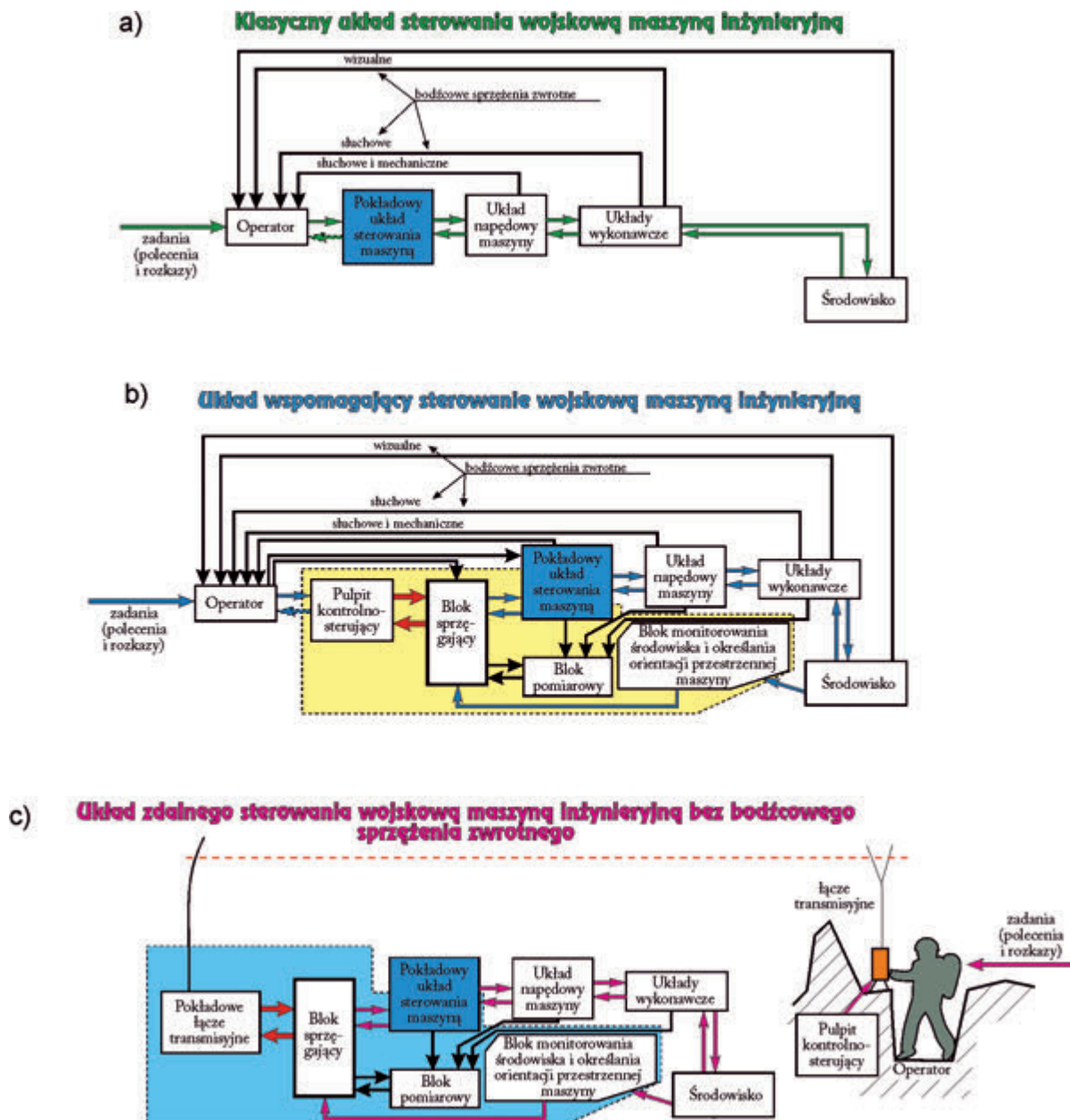
Zastosowanie sterowania według wariantów przedstawionych na rysunku 3b,c musi być poprzedzone rozbudową struktury ich układów sterowania, poprzez:

- zastąpienie sterowania mechanicznego elektrycznymi, elektrohydraulicznymi i elektromechanicznymi układami wykonawczymi,
- zastosowanie komputerowego wspomaganie operatora w procesie sterowania,
- zastosowanie układów do ciągłego diagnozowania stanu technicznego oraz reagowania na przekroczenie dopuszczalnych wartości parametrów roboczych,
- kontrolę pracy osprzętów roboczych maszyn w zakresie pomiarów położenia, stateczności, poślizgu, itp.,
- wyposażenie maszyn w układy monitorowania środowiska i określania orientacji przestrzennej.

Struktura systemu sterowania maszynami w układzie teleoperatora

Cechy charakteryzujące sterowanie maszyną w funkcji teleoperatora implikują następujące wymagania i ograniczenia, odnoszące się do struktury układu i przepływu informacji oraz sygnałów sterujących:

- a) wyeliminowanie bezpośrednich bodźcowych sprzężeń zwrotnych pomiędzy operatorem a maszyną wymusza rozbudowę układów generujących i przesyłających informacje dla operatora oraz wspomaganie procesu generowania sygnałów sterujących torem energetycznym maszyny,
- b) opracowanie procedur awaryjnego działania układu sterującego w przypadku występowania zakłóceń w torze transmisyjnym i zapewnienie w tej sytuacji autonomii działania maszyny,
- c) generowanie sygnałów bodźcowych dla operatora, których natura i przekazywany zakres informacji są zbliżone do odczuwanych w kabinie maszyny,
- d) wprowadzenie teleoperacji do typowych maszyn inżynierskich wymaga rozbudowy bloku pomiarowo-diagnostycznego, który działając autonomicznie, przekazywać będzie zakodowany sygnał do stanowiska operatora,
- e) spełnienie punktu „d” wymaga budowy modeli symulacyjnych maszyny, lub jej poszczególnych układów,



Rys.3. Systemy układ sterowania-maszyna-środowisko: a) schemat klasycznego systemu układ sterowania-maszyna-środowisko, w którym operator osobiście realizuje funkcje sterowania, b) schemat systemu układ sterowania-maszyna-środowisko wspomagającego pracę operatora, c) schemat systemu układ sterowania-maszyna-środowisko z możliwością zdalnego sterowania



Rys. 4. Schemat funkcjonalny sterowania maszynami inżynierskimi w układzie teleoperatora

w celu wypracowania koniecznych sygnałów, których nie można wyznaczyć w obiekcie rzeczywistym, w formie i treści odpowiedniej do przesłania operatorowi,

- f) struktura proponowanego układu umożliwia wymianę maszyny bazowej na dowolną, spełniającą wymagania

wynikające z aktualnych potrzeb, bez konieczności wymiany pozostałych elementów układu.

Powyższe wymagania i ograniczenia były podstawą opracowania schematu funkcjonalnego sterowania maszyną inżynierską w układzie teleoperatora (rys. 4).

W odróżnieniu od układu sterowania w typowej maszynie roboczej, w układzie przedstawionym na schemacie uwidocznione są te problemy, które wynikają ze zdalnego sterowania. Oddalenie operatora od maszyny powoduje konieczność rozbudowy kanałów przepływu informacji o przebiegu procesu roboczego, a przede wszystkim dodania kanałów przekazu obrazu otoczenia - pola pracy maszyny. Na schemacie uwidoczniono dwa niezależne kanały, z których operator otrzymuje obraz pracy maszyny:

- z kamery lub kamer zainstalowanych na maszynie, które przekazują obraz przed przemieszczającą się maszyną lub pozwalają na obserwację pracy osprzętu roboczego,
- zewnętrznego systemu wizyjnego (umieszczonego np. na wydzielonym stanowisku sterowania) wraz z

metodami i algorytmami rozpoznania obrazu środowiska, pomiaru odległości od określonych charakterystycznych elementów otoczenia, pozwalających na sterowanie maszyną oraz jej osprzętem.

Ze schematu wynika konieczność rozbudowy automatyki wewnętrznej maszyny o dwa podstawowe moduły. Jeden odpowiada za odbieranie, przetwarzanie rozkazów operatora i przesyłanie ich do pokładowego układu sterowania oraz generowanie informacji dla operatora, drugi natomiast, na podstawie informacji z czujników, zapewnia sterowanie maszyny, w przypadku utraty łączności z operatorem.

Założono, że wymienione charakterystyczne cechy schematu powinny umożliwić sterowanie maszyną inżynierską w czasie rzeczywistym i precyzyjne sterowanie ruchami manipulacyjnymi. Przykładowe warianty sterowania maszynami inżynierskimi według przyjętej koncepcji przedstawiono na rysunku 5.

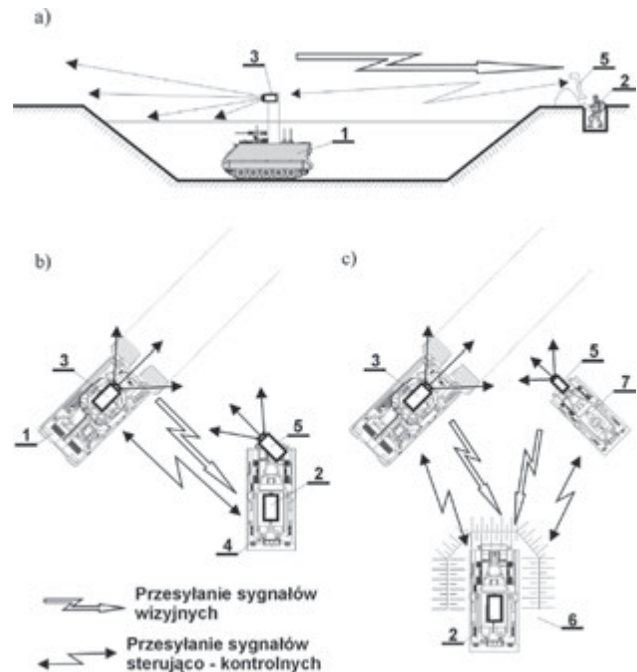
W celu zweryfikowania poprawności przedstawionych założeń zaprojektowano układ sterowania pojazdami wojskowymi budowanymi na bazie układu napędowego czołgu T-72 dla potrzeb realizacji dwóch zadań: trałowania pól minowych (zestaw torujący na czołgu T-72 - rys. 6) i pokonywania przeszkód wodnych po dnie (wóz zabezpieczenia technicznego WZT-3 - rys. 5a).

Ogólny schemat układu zdalnego sterowania pojazdami wojskowymi zbudowanymi na bazie układu napędowego czołgu T-72

Opracowując koncepcję układu zdalnego sterowania pojazdami zbudowanymi na bazie układu napędowego czołgu T-72 przyjęto, że układ będzie składał się z bloku sterującego wraz z łączem transmisyjnym oraz wykonawczego. Układ ten miał za zadanie przejąć funkcję operatora-kierowcy w zakresie bezzałogowego przeprawienia maszyny po dnie przeszkody wodnej lub trałowania pola minowego, przy jednoczesnej kontroli parametrów granicznych układu napędowego w celu zapewnienia jego ochrony i w ograniczonym zakresie dozoru diagnostycznego. Na rysunku 7 przedstawiono rozmieszczenie w pojeździe elementów zestawu zdalnego sterowania wozem zabezpieczenia technicznego WZT-3 przy pokonywaniu przeszkody wodnej po dnie.

Niezbędnymi wskaźnikami i urządzeniami sterowania jakimi mechanik - kierowca miał posługiwać się w czasie jazdy maszyny po dnie przeszkody wodnej sterując nią z zewnątrz były:

- przyciski „START” i „STOP” umożliwiające włączenie i wyłączenie silnika,
- włącznik pompy wodnej wirowej wypompowującej wodę z przedziału silnikowego,
- przyciski zmiany prędkości obrotowej silnika,
- dźwignie PMS, realizujące zmianę kierunku jazdy,
- przycisk automatycznego otwarcia pokryw żaluzji wlotowych i wylotowych,
- wskazania ciśnienia oleju w skrzyni przekładniowej,
- wskazania ciśnienia oleju w układzie smarowania silnika,
- wskazania temperatury płynu chłodzącego,
- wskazania temperatury oleju w silniku,
- obrotomierz,
- przycisk sygnału dźwiękowego.



Rys.5. Warianty zdalnego sterowania maszyną w układzie teleoperatora: a) ze stałego stanowiska sterująco - obserwacyjnego (przy przeprawie pojazdów po dnie przeszkody wodnej); b) z ruchomego stanowiska sterująco - obserwacyjnego (przy wykonywaniu przejeżdż w wąskim polu minowym); c) z wykorzystaniem samobieżnego pojazdu obserwacyjnego (wykonywanie przejeżdż w szerokim polu minowym: 1 - pojazd sterowany; 2 - Operator i pokładowe elementy obserwacji otoczenia, 3 - ruchome stanowiska obserwacyjno - sterujące, 4 - środki obserwacji zewnętrznego otoczenia pojazdu sterowanego, 6 - stanowisko sterowania, 7 - bezzałogowy pojazd obserwacyjny

Struktura bloku sterującego i łącza transmisyjnego

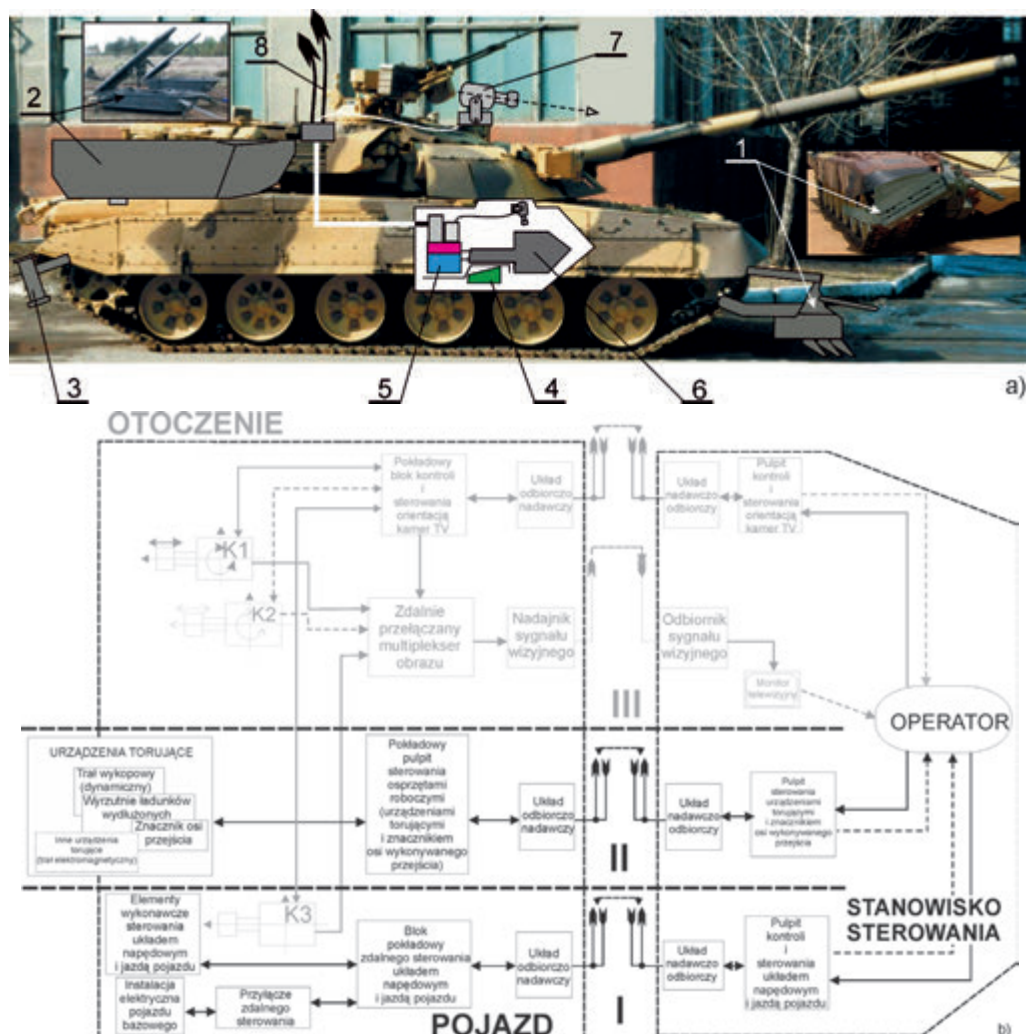
Doświadczalny układ do zdalnego sterowania (rys. 7) przy pokonywaniu przeszkody wodnej po dnie składał się z następujących elementów [1]:

- pulpitu zdalnego sterowania (PZS) z układem nadawczo - odbiorczym (UN/O)
- pokładowego układu odbiorczo-nadawczego (PUO/N),
- pokładowego układu elektronicznego (PUE),
- układu elektropneumatycznego (UEP),
- bloku wykonawczego.

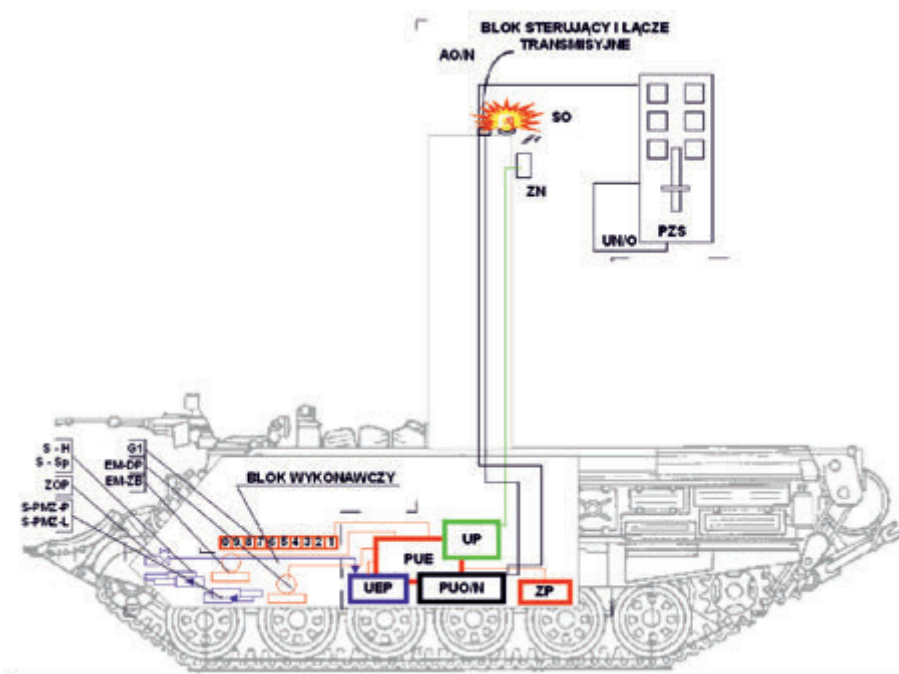
Pulpit zdalnego sterowania, umieszczony w zamkniętej obudowie, umożliwia realizację wszystkich czynności sterujących przewidzianych dla potrzeb zdalnego sterowania WZT-3 przy pokonywaniu przeszkody wodnej po dnie. Na pulpicie umieszczono:

- stacyjkę,
- przycisk rozruchu silnika,
- przyciski włączania hamulca i sprzęgła,
- sterowniki włączania planetarnych mechanizmów skrzętu,
- dźwignie zmiany biegów i dawkowania paliwa,
- przyciski sygnału dźwiękowego i awaryjnego unieruchomienia silnika,
- niezbędne wskaźniki sygnalizacyjno - ostrzegawcze.

Pulpit zdalnego sterowania zaprojektowano z uwzględnieniem sposobu rozmieszczenia i funkcjonowania elementów sterujących układu napędowego czołgu T-72, tak aby operator bez trudu mógł zdalnie sterować pojazdem. Konstrukcja pulpitu umożliwia przenoszenie go na taśmie nośnej lub ustawianie na podłożu.



Rys. 6. Zdalnie sterowany czołg T-72 z wyposażeniem torującym: a) ogólne rozmieszczenie elementów, b) struktura systemu zdalnego sterowania: 1 – trał wykopowy, 2 – ładunek wydłużony, 3 – znacznik osi przejścia, 4 – zespół mocowania pokładowej części systemu zdalnego sterowania, 5 – moduły elektroniczne i elektryczne, 6 – elementy wykonawcze, 7 – kamera obserwacyjna, 8 – zespół anten nadawczo - odbiorczych



Rys.7. Rozmieszczenie w pojeździe elementów zestawu zdalnego sterowania wozem zabezpieczenia technicznego WZT-3 przy pokonywaniu przeszkody wodnej po dnie: ZOP - zawór odbioru powietrza, S-PMZ-P - siłownik prawego PMS, S-PMZ-L - siłownik lewego PMS, S-H - siłownik pedału hamulca, S-Sp - siłownik pedału sprzęgła, EM-ZB - elektromechanizm zmiany biegów, EM-DP - elektromechanizm dawkowania paliwa, G1 - gniazdo pokładowe, AO/N - antena odbiorczo-nadawcza, PZS - pulpit zdalnego sterowania, ZP - zasilacz pokładowy, UP - układ przełączający kamery, PUE - pokładowy układ elektroniczny, UEP - układ elektropneumatyczny, PUO/N - pokładowy układ odbiorczo-nadawczy, SSO - świetlny sygnał ostrzegawczy, DSO - dźwiękowy sygnał ostrzegawczy

Sygnały sterujące z pulpitu zdalnego sterowania poprzez układ nadawczo-odbiorczy przesyłane były do pokładowego układu odbiorczo-nadawczego, gdzie były dekodowane i przesyłane do układu elektronicznego, którego głównym elementem był sterownik. Tu sygnały te były przetwarzane na odpowiednie sygnały prądowe i napięciowe, i poprzez układ elektropneumatyczny kierowane do układu wykonawczego maszyny. Zastosowanie sterownika pozwalało na automatyczną realizację niektórych, zaprogramowanych wcześniej funkcji sterujących. Spełniał on również zadania automatycznej ochrony i diagnostyki.

Ponadto zastosowano dodatkowy pulpit do przewodowego sterowania układem elektropneumatycznym i elektromechanizmami zmiany biegów i dawki paliwa dla potrzeb prowadzenia badań oraz sterowania pojazdem przy awarii łącza transmisyjnego.

Struktura bloku wykonawczego

Blok wykonawczy układu zdalnego sterowania WZT-3 (rys.8) składa się z następujących mechanizmów sterujących [2]:

- dźwigniami skrzętu,
- pedałami hamulca i sprzęgła,
- pedałem zmiany prędkości obrotowej silnika,
- dźwignią zmiany biegów

oraz mechanizmów sterujących nimi. Blok wykonawczy jest ostatnim ogniwem układu zdalnego sterowania WZT-3 odpowiedzialnym za wykonanie poleceń operatora sterującego maszyną spoza jej pokładu.

W bloku wykonawczym pneumatycznie steruje się hamulcem, sprzęgłem i dźwigniami mechanizmów skrzętu, a elektrycznie dźwigniami zmiany biegów i prędkości obrotowej silnika. Sprężone powietrze pobierane jest przez zawór redukcyjny z instalacji pneumatycznej wozu WZT-3. W celu umożliwienia połączenia tegoż układu z pneumatycznymi mechanizmami układu wykonawczego, przy zaworze odbioru powietrza zainstalowano dodatkowy zawór.

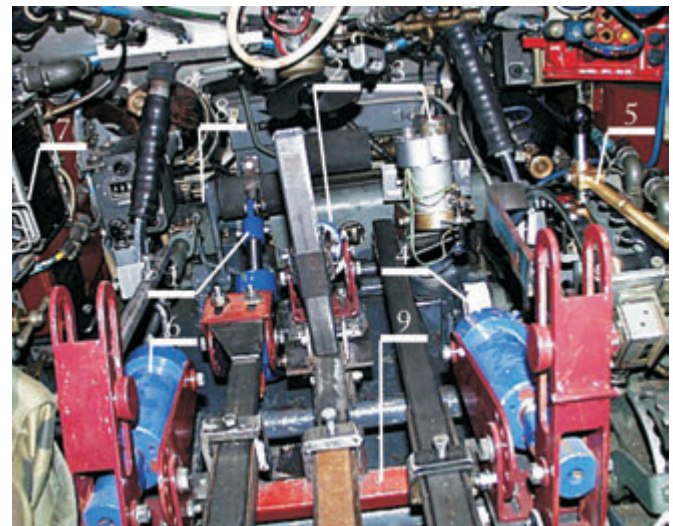
Za wyborem napędu pneumatycznego przemawiał fakt istnienia możliwości podłączenia się do pokładowego ukła-

du pneumatycznego pojazdu WZT-3, możliwość szybkiego montażu i demontażu poprzez zastosowanie szybkołączących oraz stosunkowo małe gabaryty siłowników pneumatycznych przy wystarczająco dużych siłach wytwarzanych na tłoczysku. Do sterowania pedałami hamulca i sprzęgła oraz dźwigniami planetarnych mechanizmów skrzętu użyto siłowników pneumatycznych PT-90, stosowanych w trałach wykopowych TW 92. Siłowniki sterowania dźwigniami planetarnych mechanizmów skrzętu zapewniają ich przemieszczenie z położenia neutralnego w przednie skrajne położenie, natomiast siłowniki sterujące pedałami sprzęgła i hamulca zapewniają pełne wysprężenie układu napędowego i zahamowanie pojazdu. Dźwignia zmiany biegów oraz pedał sterowania prędkością obrotową silnika napędzane są elektrycznie, zmodernizowanymi elektromechanizmami UT-6D. Powodem takiego wyboru był fakt stosunkowo prostego uzyskania efektu „wybierania” poszczególnych biegów. Układ elektrycznego sterowania zmianą biegów i prędkością obrotową silnika posiada elementy odwzorowujące położenie tych dźwigni, dzięki czemu przekazywane sygnały do sterownika pozwalają na automatyczne wykonanie niektórych czynności lub zablokowanie ich wykonania, w przypadku błędnych komend wydanych przez operatora.

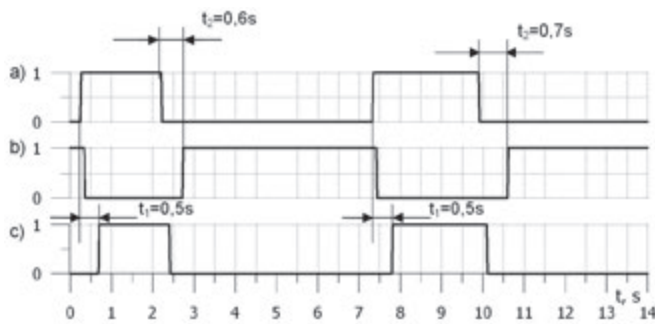
W celu usprawnienia montażu elektropneumatycznego układu wykonawczego, do podłogi kabiny operatora przyspawano odpowiednie elementy montażowe, które nie wpływają ujemnie na użytkowanie pojazdu w przypadku zdemontowania układu zdalnego sterowania. Rozmieszczając elementy elektropneumatycznego układu wykonawczego wykorzystano dostępne przestrzenie i elementy w kabinie operatora. Pozostałe elementy układu umieszczone są poza przedziałem mechanika - kierowcy. Pojazd może być użytkowany po częściowym demontażu układu zdalnego sterowania i rozłączeniu elementów wykonawczych.

Wyniki badań funkcjonalnych układu wykonawczego systemu zdalnego sterowania

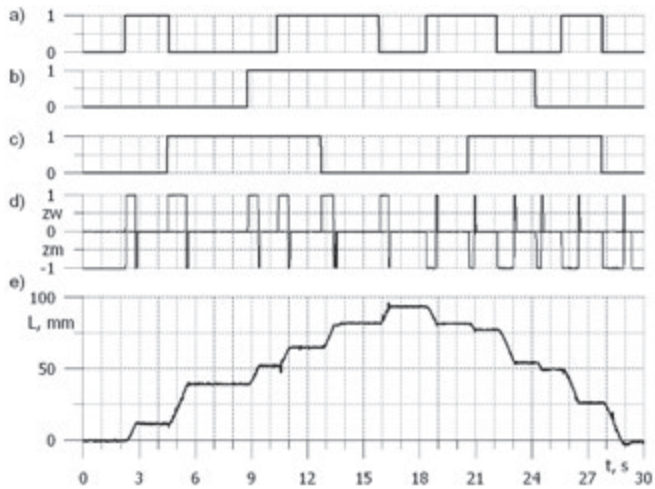
Poprawność przyjętych założeń i rozwiązań konstrukcyjnych elementów systemu zdalnego sterowania w funkcji



Rys.8. Widok kabiny czołgu T-72: a) z zaznaczonymi punktami mocowania elementów bloku wykonawczego układu zdalnego sterowania, b) z zamontowanymi mechanizmami bloku wykonawczego układu zdalnego sterowania: 1 - siłownik sterowania położeniem pedału sprzęgła; 2 - siłownik sterowania położeniem pedału hamulca; 3 - zmodernizowany elektromechanizm UT-6D napędzający mechanizm sterowania położeniem dźwigni zmiany prędkości obrotowej silnika; 4, 6 - mechanizmy sterowania dźwigniami skrzętu; 5 - zmodernizowany elektromechanizm UT-6D napędzający mechanizm sterowania dźwignią zmiany biegów; 7 - tablica przyrządów kontrolno-pomiarowych; 8 - zawór pneumatyczny; 9 - specjalna rama wsuwana w miejsce siedziska mechanika-kierowcy



Rys.9. Przykładowe wyniki badań czasu przesterowania dźwigni skreću:
a) przebieg sygnału sterującego, b) dźwignia skreću w położeniu „0”,
c) dźwignia skreću w położeniu „1”

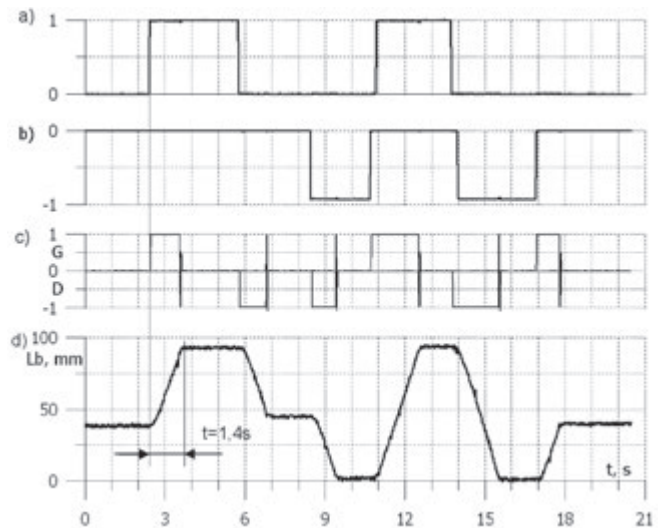


Rys.10. Wyniki badań sterowania położeniem pedału dawkowania paliwa:
a) stan bitu „0”, b) stan bitu „1”, c) stan bitu „2”, d) przebieg
sygnału sterującego silnikiem elektromechanizmu UT-6D,
e) położenie dźwigni dawkowania paliwa L

teleoperatora zweryfikowano na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych. Badając funkcjonalność układu rejestrowano przebiegi odpowiedzi elementów wykonawczych na zadane sygnały sterujące. Na rysunku 9 przedstawiono przykładowe wyniki badań czasu przesterowania dźwigni skreću.

Rysunek 10 przedstawia wyniki badań sterowania położeniem pedału dawkowania paliwa. Sygnał sterujący z pulpitu zdalnego sterowania miał postać 3-bitowego kodu Gray’a. W ten sposób realizowanych było osiem różnych położów dźwigni dawkowania. Na rysunku 10 a,b,c przedstawiono stany na poszczególnych bitach, natomiast na rysunku 10 d - przebieg sygnału sterującego przy zwiększaniu (górna część wykresu - zw) i zmniejszaniu (dolna część wykresu - zm) dawki paliwa. W celu skrócenia czasu przesterowania dźwigni dawkowania paliwa w kolejne położenie, zastosowano krótkotrwałą inwersję sygnału sterującego, powodującą jej szybsze zatrzymanie.

Na rysunku 11 przedstawiono przykładowe wyniki badań przesterowania dźwigni zmiany biegów dla biegu pierwszego, wstecznego oraz położenia neutralnego. Na rysunku 11 c przedstawiono przebieg sygnału sterującego przy zmianie biegu na wyższy (górna część wykresu - G) i przy zmianie biegu na niższy (dolna część wykresu - D). Podobnie jak w przypadku sterowania dźwignią dawkowania paliwa, w celu skrócenia czasu przesterowania dźwigni zmiany biegów w kolejne położenie, zastosowano krótkotrwałą inwersję sygnału sterującego. Na rysunku 11 d przedstawiono drogę dźwigni zmiany biegów (Lb) w funkcji czasu.



Rys.11. Przykładowe wyniki badań sterowania dźwignią zmiany biegów:
a) położenie dźwigni zmiany biegów na pulpicie sterującym dla
biegu pierwszego, b) położenie dźwigni zmiany biegów na pulpicie
sterującym dla biegu wstecznego, c) przebieg sygnału sterującego,
d) położenie dźwigni zmiany biegów

Podsumowanie

Przedstawiona w artykule koncepcja struktury systemu zdalnego sterowania pojazdami zbudowanymi na podwoziu czołgu T-72, potwierdziła możliwość implementacji układów zdalnego sterowania w maszynach i pojazdach wojskowych sterowanych klasycznie (manualnie), a uzyskane wyniki badań potwierdziły poprawną funkcjonalność opracowanego układu. Czasy przesterowania poszczególnych elementów sterujących układem napędowym pojazdu w trybie zdalnym były zbliżone do czasów osiąganych przez operatora. Przeprowadzone próby na obiekcie rzeczywistym udowodniły jego przydatność do zdalnego sterowania pojazdami budowanymi na bazie układu napędowego czołgu T-72.

Podstawową barierą we wprowadzaniu tego typu układów, bez ingerencji w istniejącą strukturę systemu sterowania, jest czas adaptacji pojazdu dla potrzeb zdalnego sterowania i ograniczona możliwość stosowania (platformy budowane w oparciu o podobne układy napędowe). Dlatego też pojazdy przewidywane do prac w warunkach bezpośredniego zagrożenia życia i zdrowia operatora powinny być wyposażane w układy napędowe podatne na zdalne sterowanie, co w przyszłości pozwoli na stosunkowo łatwą implementację układów zdalnego sterowania na tych pojazdach. Oczywiście problematyka ta nie dotyczy zdalnie sterowanych robotów, które z założenia budowane są w wersji sterowanej bezzałogowo, przez co ich cena znacznie przewyższa cenę pojazdu przystosowanego do zdalnego sterowania na czas realizacji zadań w obszarach zagrożenia.

Osobnym, istotnym zagadnieniem w procesie zdalnego sterowania w funkcji teleoperatora jest problem wysokiej mobilności bezzałogowej platformy lądowej i zobrazowania jej otoczenia [3,4,5].

Literatura

- [1] Bartnicki A., Kuczmarski F.: *Kształtowanie systemów sterowania maszyn inżynierskich z uwzględnieniem możliwości wystąpienia zdarzeń destrukcyjnych*; Biuletyn WAT Rok XLIX, Nr 7, 2000
- [2] Bartnicki A., Kuczmarski F., Typiak A., Wojnowski A., Wrona J.: *System zdalnego sterowania układem napędowym i jazdą czołgu torującego – struktura i wybrane wyniki badań stanowiskowych*; XII Konferencja Naukowa „Napęd, sterowanie, automatyzacja maszyn roboczych i pojazdów”. Rynia/k. Warszawy 2000
- [3] Bartnicki A., Łopatka M.J., Typiak A.: *Problemy teleoperacji w sterowaniu bezzałogowymi platformami lądowymi*; „Technologie podwójnego zastosowania”; Rozdział 5.1 monografii pod redakcją naukową Andrzeja Najgebauera; WAT Warszawa 2012
- [4] Bartnicki A., Łopatka M.J., Muszyński T., Sprawka P.: *Bezzałogowe platformy lądowe w zadaniach ochrony konwojów I utrzymania dróg przemarszu*; „Technologie podwójnego zastosowania”; Rozdział 5.1 monografii pod redakcją naukową Andrzeja Najgebauera; WAT Warszawa 2012
- [5] Bartnicki A., Dąbrowska A., Rubiec A.: *Mobility problems of remote-controlled ground vehicles*; Polish Journal of Environmental Studies, vol. 20, No. 5A 2011
- [6] van den Heuvel Johan C.: *Unmanned ground Vehicles: Autonomous or Teleoperated*. Military Robotics. Cafe Royal, London 2008
- [7] Lundber Carl: *Swedish Armed Forces Umanned Ground Vehicle (UGV) Projects*. Military Robotics. Cafe Royal, London 2008
- [8] Schnaider F.: *International Robotics Competition from a Military View*. Military Robotics. Le Meridien Piccadily, London 2009

Z cyklu: Sentymentalne wędrówki po meandrach polskiej myśli techniki górniczej



Reprint Renata S-K

Kopalnia Turow - Koparka łańcuchowa Ds 1120 z szynową odstawą urobku w odkrywcę Turów 1