

CELOWNIK ELEKTRONICZNY DO GRANATNIKA RPG-7 I JEGO ODMIAN

W artykule przedstawiono model koncepcyjny celownika elektronicznego przeznaczonego do granatnika RPG-7. Dotychczasowe rozwiązanie w postaci celownika optyczno-mechanicznego ma pewne mankamenty, które mogą zostać ograniczone lub usunięte przez celownik nowej konstrukcji. W pracy omówiono wymagania techniczne, budowę, funkcjonalność oraz czynniki wpływające na dokładność pomiaru kąta przez celownik.

1. Wstęp

W obecnej chwili Wojsko Polskie posiada granatniki RPG-7 wyposażone w celownik optyczny PGO-7 (oraz PGO-7W) produkcji rosyjskiej. Ze względu na wymagania współczesnego pola walki powstała potrzeba opracowania nowego typu pocisków dla tego granatnika. Każda taka innowacja wymaga opracowania nowych tabel strzelniczych zgodnych z balistyką nowego pocisku oraz przygotowania nowej skali wymiennej przeznaczonej do celownika optyczno-mechanicznego. Obecnie granatnik RPG-7 może strzelać kilkoma rodzajami pocisków. Oznacza to, że operator granatnika musi mieć przygotowany zestaw wymiennych skal. Przy każdej zmianie pocisku skala musi być zdemonstrowana a na to miejsce zamontowana kolejna odpowiednia. Taka sytuacja wydłuża czas osiągnięcia gotowości do oddania strzału. Kolejnym problemem jest nieliniowy charakter skali wybitej na części mechanicznej celownika. Nieliniowość skali jest powodem trudności w jednoznacznym ustawieniu odległości strzału przez operatora granatnika.



Rys. 1 Granatnik RPG-7 produkcji rosyjskiej z celownikiem optyczno-mechanicznym PGO-7 produkcji rosyjskiej. [zdjęcie WITU]

Podstawowe założenia taktyczno-techniczne stawiane nowemu celownikowi można sformułować następująco:

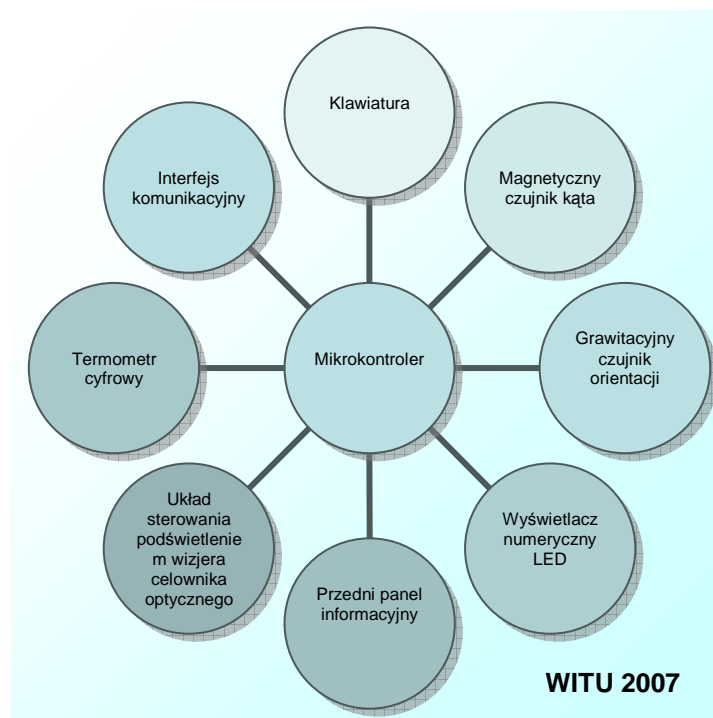
- dostosowanie celownika do obsługi tabel strzelniczych pocisków przeznaczonych dla RPG-7
- łatwa zmiana tabel strzelniczych przez operatora granatnika
- zakres temperatur pracy $-30^{\circ}\div +50^{\circ}\text{C}$
- zasilanie dowolnymi dwoma ogniwami o wymiarach standardu AA (dopuszczalne sumaryczne napięcie od 2 do 8V)

- praca ciągła przez min. 12 godz.
- wymiana baterii zasilających w warunkach polowych przez użytkownika
- możliwość dalszego użytkowania celownika optyczno-mechanicznego przy niesprawnym celowniku elektronicznym
- ograniczona ingerencja w istniejący celownik opto-mechaniczny

2. Schemat blokowy celownika

Na celownik elektroniczny składa się kilka bloków funkcjonalnych. Każdy z nich odpowiada za jedną lub kilka funkcji celownika. Podstawowym elementem całego urządzenia jest mikrokontroler, którego zadaniem jest zarządzanie i sterowanie elementami reprezentowanymi przez pozostałe bloki funkcjonalne. Podstawową funkcją celownika jest pomiar kąta między celownikiem a osią wyrzutni RPG-7. Kąt ten jest mierzony przez dwuosiowy czujnik magnetyczny Hall'a. Czujnik określa kąt na podstawie pomiaru kierunku wektora pola magnetycznego, którego źródłem jest silny magnes neodymowy. Biegunowość magnesu jest celowo dobrana w taki sposób, aby obrót cylindrycznego magnesu wokół jego osi powodował obrót wektora pola magnetycznego rejestrowanego przez czujnik. Zmierzony wektor wyprowadzany jest przez czujnik we formie dwóch sygnałów analogowych próbkowanych przez przetwornik analogowo-cyfrowy wbudowany w mikrokontroler. Przeliczenie wektora pola magnetycznego na kąt położenia celownika odbywa się w mikrokontrolerze.

Jedną z funkcji celownika elektronicznego jest również pomiar kąta pochylenia bocznego celownika, wykonywany przez elektroniczny grawitacyjny czujnik orientacji. Sygnał z tego czujnika trafia do mikrokontrolera gdzie jest przetwarzany na kąt przechylenia. Na tej podstawie, mikrokontroler ocenia, czy użytkownik utrzymuje granatnik w prawidłowej pozycji do oddania strzału i, jeśli tak, sygnalizuje to zapalając diodę LED na panelu informacyjnym.



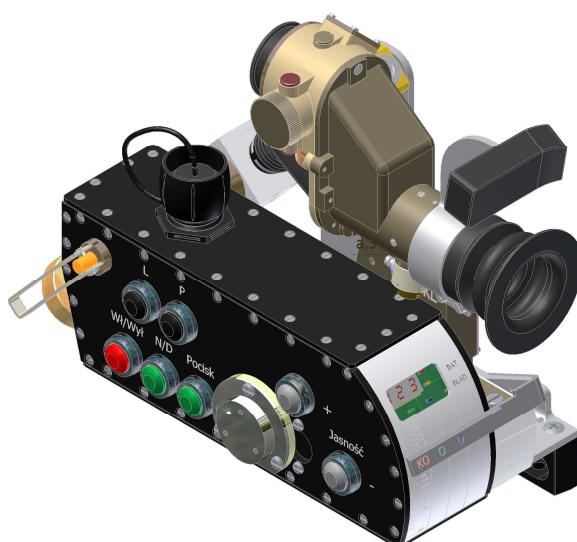
Rys. 2 Schemat blokowy celownika elektronicznego

Wszelkie informacje przedstawiane są na przednim panelu informacyjnym celownika. Podświetlenie skali w wizjerze optycznym realizowane jest przez diodę świecącą. Sterowanie jasnością świecenia odbywa się za pośrednictwem potencjometru cyfrowego.

Założony szeroki zakres dopuszczalnych temperatur pracy celownika powoduje, że niezbędne może się okazać wprowadzenie korekty do wyników pracy niektórych elementów. Przykładowo, można w ten sposób skompensować błędy temperaturowe czujnika kąta i czujnika przechylenia. W skrajnych temperaturach pracy zmienia się również wydajność świecenia elementów LED. Uwzględnienie temperatury daje możliwość automatycznej regulacji jasności w zależności od warunków termicznych otoczenia.

3. Ergonomia i funkcjonalność

Celownik elektroniczny został wykonany we formie zbliżonej do prostopadłościanu. Konstrukcja zapewnia montaż celownika elektronicznego wraz z celownikiem mechanicznym bez potrzeby przerabiania konstrukcji tego ostatniego.



Rys. 3 Widok ogólny celownika elektronicznego w zestawie z celownikiem optycznym

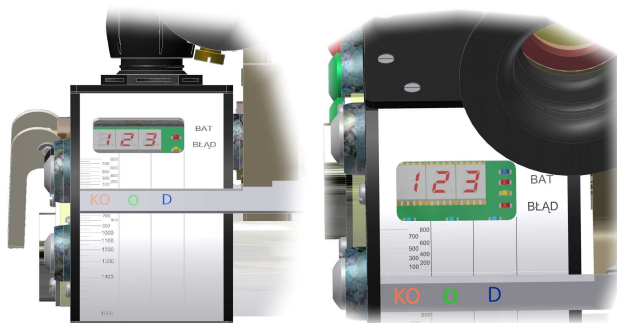
Wszystkie elementy o charakterze informacyjnym zgrupowane zostały na panelu przednim po to aby umożliwić jednoczesną obserwację wskazań celownika oraz celu. Panel celownika elektronicznego został wkomponowany w mechaniczną tabelę strzelniczą celownika optyczno-mechanicznego. Takie rozwiązanie pozwala korzystać z celownika optycznego także w przypadku awarii celownika elektronicznego. Na panelu elektronicznym pokazywane są informacje o bieżącym stanie celownika. Najwięcej miejsca zajmuje trzypozycyjny wyświetlacz numeryczny LED, przedstawiający bieżącą nastawę odległości strzału podaną w metrach. Wartość odległości obliczana jest na podstawie aktualnego kąta między celownikiem a granatnikiem oraz typu wybranego pocisku. Typ wybranego pocisku wskazywany jest przez zapalenie diody nad skalą mechaniczną. W opracowanym modelu do wyboru są cztery pociski. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie aby celownik elektroniczny obsługiwał większą liczbę typów pocisków.

Na panelu przednim znajduje się również dioda wskazująca błędną nastawę odległości (czerwona dioda BŁĄD) jeśli wybrano odległość strzału niedopuszczalną dla danego pocisku lub gdy tabela nie obejmuje możliwości strzelania na daną odległość przy zadanej sile wiatru bocznego.

Obok znajduje się również dioda sygnalizująca stan bliski rozładowaniu baterii celownika. Zapalenie się tej diody oznacza konieczność wymiany baterii w najbliższym czasie.

Dioda POZIOM sygnalizuje czy operator granatnika utrzymuje go w płaszczyźnie pionowej. Pozwala to w prosty i szybki sposób upewnić się, że strzał będzie oddany bez dodatkowego błędu. Zgaszona dioda oznacza, że odchyłka od pionu przekracza 3° i oddany strzał będzie obciążony dodatkowym błędem lub będzie całkowicie nieskuteczny.

Ogólnie należy zauważyć, że zastosowanie wyświetlacza LED zapewnia czytelne prezentowanie wyników pracy celownika w każdych warunkach temperaturowych i pogodowych. Cyfry są bardzo kontrastowe i jasne, to samo dotyczy diod sygnalizacyjnych.



Rys. 4 Panel przedni celownika elektronicznego

Ścianka panelu bocznego celownika skupia przyciski sterujące pracą celownika. W projekcie użyto monostabilne przyciski o klasie wodo- i pyłoszczelności na poziomie IP67. Opis klawiszy wykonano przez wytłoczenie napisów na ściance bocznej, a dla podniesienia czytelności wytłoczenia zostały pokryte białą farbą. Funkcje przypisane przyciskom zostały opisane w poniższej tabeli.

Tabela 1 Funkcje przycisków umieszczonych na panelu bocznym

Nazwa przycisku	Opis	Uwagi
Wł / Wył	Włączanie i wyłączanie zasilania celownika	Włączenie celownika następuje po naciśnięciu i przytrzymaniu klawisza przez ok. 1.5s.
N/D	Wybór trybu pracy celownika: dzień/noc	Praca w trybie dziennym oznacza, że wyświetlacz celownika pracuje z nominalną jasnością. Praca w trybie nocnym ogranicza jasność.
+/-	Regulacja jasności podświetlenia skali w wizjerze celownika optycznego.	Kolejne przyciśnięcia klawiszy +/- zwiększają/zmniejszają jasność skali widocznej w okularze.
Pocisk	Wybór typu pocisku	Kolejne przyciśnięcia zmieniają tabele strzelnicze
L/P	Wiatr boczny	Kolejne przyciśnięcia zmieniają prędkość wiatru bocznego w krokach co 5m/s.
Zero	Zerowanie celownika	Przycisk znajduje się na ścianie celownika od strony wyrzutni. Zerowanie pozwala na ustalenie kąta zerowego celownika.

Wielkość przycisków i ich rozmieszczenie pozwala na sterowanie pracą celownika także w rękawicach zimowych. Wszystkie funkcje są dostępne przy użyciu jednej ręki a przy tym nie wymagają bezpośredniego patrzenia na panel boczny.



Rys. 5 Panel boczny celownika z przyciskami sterującymi pracą celownika

4. Pomiar kąta przez celownik

Zasada pomiaru kąta celownika względem osi wyrzutni opiera się na pomiarze wektora pola magnetycznego magnesu obracającego się nad czujnikiem. Magnes taki powinien się charakteryzować dużą wartością wytwarzanego pola magnetycznego. Preferowane są tutaj magnesy na bazie neodymu (NdFeB) oraz samaru i kobaltu (SmCo). Aby zapewnić obrót pola magnetycznego nad czujnikiem magnes musi być namagnesowany diametrycznie (tj. wzdłuż średnicy magnesu). Czujnik pola magnetycznego jest strukturą półprzewodnikową zawierającą dwuosiowy czujnik Hall'a. Wartość pola magnetycznego wzdłuż każdej z osi jest wyprowadzana z układu scalonego w formie napięcia proporcjonalnego do natężenia pola magnetycznego. Po zmierzeniu napięcia na czujniku w prosty sposób można obliczyć jaki jest kąt wektora pola magnetycznego. Zgodnie z powyższym:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{V_y}{V_x}\right) \text{ dla } V_x > 0, V_y > 0$$

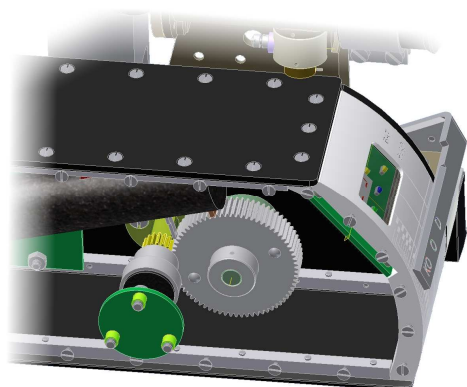
$$\alpha = 90^\circ \text{ dla } V_x = 0, V_y > 0$$

$$\alpha = 180^\circ + \arctg\left(\frac{V_y}{V_x}\right) \text{ dla } V_x < 0$$

$$\alpha = 270^\circ \text{ dla } V_x = 0, V_y < 0$$

$$\alpha = 360^\circ + \arctg\left(\frac{V_y}{V_x}\right) \text{ dla } V_x > 0, V_y < 0$$

gdzie α - kąt między osią biegunów magnesu a czujnikiem Hall'a,
 V_y – napięcie składowej y, V_x – napięcie składowej x

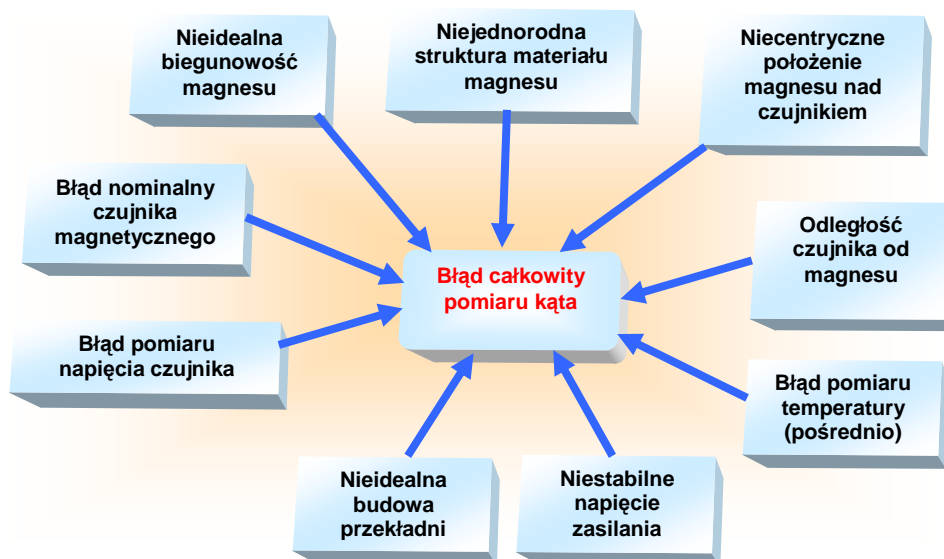


Rys. 6 Widok wewnętrzny celownika. Widoczne są: płytkę czujnika magnetycznego, magnes i przekładnia

Płytkę z czujnikiem magnetycznym przymocowana jest do ścianki bocznej celownika i umieszczona kilka milimetrów nad magnesem. Aby podnieść dokładność określania kąta, magnes osadzony jest na osi małego koła zębatego będącego częścią przekładni. Duże koło zębate osadzone jest na osi, która obraca się wraz z obrotem wyrzutni. Aby ograniczyć wpływ luzów mogących pojawić się na styku kół przekładni, duże koło zębate zostało wyposażone w kasownik luzów. Stosunek przekładni wynosi 1:4. Rozwiązanie takie jest dopuszczalne ponieważ zakres dopuszczalnych kątów wyrzutni nie przekracza 60° . Oznacza to, że zakres kąta obrotu

magnesu nie przekroczy $4 \cdot 60^\circ = 240^\circ$, a więc jest wciąż mniejszy od kąta pełnego. Pozwala to na jednoznaczne określenie tego kąta.

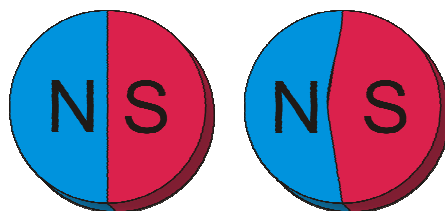
Pomiar kąta obarczony jest kilkoma rodzajami błędów, które ograniczają całkowitą dokładność celownika. Najistotniejsze źródła tych błędów przedstawiono na poniższym diagramie. Ważniejsze błędy zostaną omówione poniżej.



Rys. 7 Źródła błędów pomiaru kąta przez celownik

Istotnym czynnikiem wpływającym na błędy pomiaru kąta jest centryczność położenia magnesu nad środkiem czujnika magnetycznego. Badania [1] pokazały, że dla magnesu o średnicy 6mm niedokładność centrowania magnesu względem czujnika na poziomie 1mm wprowadza błąd pomiaru kąta wielkości 2° , a więc błąd znacznie większy od nominalnego. Innym słowy, błąd montażu o takiej wielkości uniemożliwiłby prawidłową pracę celownika. Rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie magnesów o większej średnicy. Doświadczenia pokazały, że optymalnym rozwiązaniem jest w tym przypadku magnes o średnicy większej niż 10mm. Stosowanie magnesów o średnicy większej od 20mm mija się jednak z celem, ponieważ magnesy o duże powierzchni są bardziej narażone na powstawanie niejednorodności materiału, które negatywnie wpływają na jednorodność pola magnetycznego.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na błędy jest odległość magnesu od czujnika magnetycznego oraz skojarzone z nim natężenie pola magnetycznego magnesu. Przy zbyt małej odległości pole magnetyczne magnesu doprowadza do nasycenia czujnika i w konsekwencji do niemożności wykonania prawidłowego pomiaru. Przy zbyt dużej odległości sygnał z czujnika jest za mały i pogarsza dokładność pomiaru wykonywanego przez przetwornik analogowo-cyfrowy. Dobór optymalnej odległości powinien być przeprowadzany doświadczalnie dla każdej partii magnesów przeznaczonych do montażu w celowniku



Rys. 8 Przykład idealnej i nieidealnej biegunowości magnesu cylindrycznego (namagnesowanie diametryczne)

Czynnikiem niezależnym od użytkownika/projektanta jest nieidealny podział biegunów na powierzchni magnesu. Na rysunku (Rys. 8) pokazano przejaskrawiony przykład omawianego problemu. Przyczyny takiego stanu zawsze tkwią po stronie producenta magnesów i w skrajnym przypadku mogą uniemożliwić prawidłową pracę celownika.

Dokładność pomiaru temperatury jest czynnikiem pośrednim wpływającym na błąd pomiaru kąta. Wynika to z tego, iż temperatura wpływa na pracę zarówno układów elektronicznych oraz na właściwości magnesu. Kompensacja wymaga stałego monitorowania temperatury wewnątrz celownika. Jeśli pomiar temperatury obciążony będzie zbyt dużym błędem to zastosowana poprawka będzie nieskuteczna.

Błąd nominalny (bez kompensacji błędów) zastosowanego w celowniku czujnika magnetycznego wynosi ok. 0.4° w zakresie kąta pełnego.

Badania przeprowadzone na wykonanym modelu celownika pokazały, że zastosowanie wzorcowania celownika skutecznie kompensuje znaczną część błędów i możliwe jest uzyskanie dokładności na poziomie ok. 0.1° . Wartość ta jest wystarczająca do uzyskania dokładności nastawy odległości strzału wynoszącej ok. 10m.

5. Zasilanie celownika

Koncepcja przewidywała, że celownik elektroniczny może być zasilany z dwóch baterii \ akumulatorów o standardowej wielkości „AA” (tzw. „paluszki”). Stosowane mogą być ogniwa o napięciach zasilania od 1.0 do 4.5V każde. Takie założenia umożliwiają wybór spośród szerokiego spektrum baterii dostępnych na rynku. Ze względu na dużą wydajność prądową, odporność na niskie temperatury oraz niski poziom samorozładowania preferowane są baterie litowo-sodowe. Gwarantują one poprawną pracę w każdych warunkach także po wieloletnim okresie składowania w magazynie.



Rys. 9 Widok tylnej ścianki celownika. Widoczne zamknięcie komory na baterie.

Baterie wkładane są do pojemnika na baterie szeregowo. Wyjście pojemnika znajduje się na tylnej ściance celownika elektronicznego. Dostęp do niego jest prosty i umożliwia wymianę baterii przez żołnierza również w warunkach polowych. Zamknięcie pojemnika baterii jest hermetyczne i zapewnia szczelność oraz prawidłowe warunki eksploatacji baterii przez cały okres użytkowania celownika.

Ilość energii pobieranej przez celownik zmienia się w czasie i jest zależna od kilku czynników. Przykładowo: użytkownik ma możliwość regulacji jasności świecenia wyświetlacza oraz diod LED na panelu przednim, zmiany takie istotnie wpływają na pobór prądu. Ponadto celownik

dynamicznie włącza czujniki po to aby pracowały tylko wtedy gdy jest to potrzebne do pomiarów

Badania przeprowadzone pod kątem zużycia energii elektrycznej przez pracujący celownik wykazały, że urządzenie pobiera maksymalnie ok. 80mA przy zasilaniu z dwóch ogniw litowych o napięciu 3.6V każde. Oznacza to, że przy maksymalnym obciążeniu i najbardziej niekorzystnych warunkach termicznych, celownik może pracować w trybie pracy ciągłej przez ponad 15h, co spełnia założenia wstępne celownika. Zwiększony pobór mocy wystąpi tylko w przypadku korzystania z interfejsu komunikacyjnego w celach testowych i diagnostycznych ponieważ wtedy celownik zasila również układ interfejsu komunikacyjnego. Znaczące ograniczenie poboru mocy jest możliwe w przypadku zastąpienia wyświetlacza typu LED na wyświetlacz LCD. Mankamentem tego drugiego jest mniejsza czytelność i, co ważniejsze, brak możliwości pracy w temperaturach poniżej -10°C.

6. Podsumowanie

Przedstawiony w pracy celownik jest wynikiem próby zmodernizowania etatowego celownika do RPG-7. Z przeprowadzonych badań wynika, że przyjęta koncepcja celownika elektronicznego była słuszną i może stanowić bazę do opracowania nowej elektro-optyczno-mechanicznej konstrukcji zdolnej do wprowadzenia na standardowe wyposażenie wojska.

[1] – www.melexis.com