

Krzysztof Ogonowski¹⁾, Mirosław Adamski¹⁾

KONCEPCJA STEROWANIA BOMBĄ KIEROWANĄ TYPU JSOW ZA POMOCĄ BAL

A CONCEPT FOR USING UAV TO CONTROL JSOW BOMBS

STRESZCZENIE W artykule rozważana jest możliwość wykorzystania bezzałogowego aparatu latającego z samonaprowadzaną półaktywnie bombą typu JSOW do atakowania celów nieruchomych ukrytych i silnie bronionych przez artylerię przeciwlotniczą. Koncepcja polega na doprowadzeniu BAL lotem programowym w rejon rozlokowania celu o znanych współrzędnych geograficznych, oświetleniu go promieniem lasera i zaatakowaniu bombą JSOW.

Słowa kluczowe:

bezzałogowy aparat latający (BAL), bomba JSOW.

ABSTRACT This paper discusses the possibilities of employing an unmanned aerial vehicle (UAV) with half-active launch and leave JSOW bomb to attack non-moving targets concealed and strongly defended by anti-aircraft artillery. The concept is based on delivering a UAV by programmed flight to the area of the target location whose geographical coordinates are known, illuminating it with a laser ray and engaging it with a JSOW bomb.

Keywords:

unmanned aerial vehicle (UAV), JSOW bomb.

DOI: 10.5604/0860889X.1114757

¹⁾ Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Wydział Lotnictwa, 08-521 Dęblin, ul. Dywizjonu 303/35, e-mail: tetrazen@wp.pl; ogonk@o2.pl

WSTĘP

Broń JSOW miała być tania i lekka, a jej minimalny zasięg działania przy zrzućcie z niskiego pułapu miał wynosić około dziewięciu kilometrów. Zaimplementowana została także możliwość namierzenia celu już po zrzuceniu, dzięki czemu samolot-nosiciel nie narażałby się na ujawnienie podczas ataku. Wśród opcji była możliwość cichego startu, co oznaczało, że system napędowy broni, jeśli taki zostanie kiedykolwiek dołączony, zostanie uruchomiony z opóźnieniem. Przeznaczeniem nowej broni miało być niszczenie różnych celów, dlatego konieczne stało się wyposażenie bomby w odpowiednie głowice bojowe — od kasetowych do zwalczania celów na dużych obszarach po kumulacyjne do niszczenia pojedynczych umocnionych obiektów.

Bomby szybujące AGM-154 JSOW to ostateczne rozwiązanie problemu zrzucania amunicji kasetowej w warunkach zmasowanej, niemożliwej do przebicia obrony przeciwlotniczej. JSOW to rezultat połączonych wysiłków Air Force Navy i Marines. Początki idei sięgają wspólnego projektu Navy i Marines pod nazwą *Advanced Interdiction Weapons System (AIWS)*, wymagającego w pełni zintegrowanego radioliniowego systemu sterowania, podobnego do użytego w GBU-15. Texas Instruments wygrało przetarg na realizację kontraktu AIWS w 1991 roku, a w 1992 program został zunifikowany z firmowanym przez Air Force programem kierowanej amunicji kasetowej. Tak

INTRODUCTION

JSOW ordnance was expected to be cheap and lightweight, and its minimum range, when launched at a low altitude, was expected to be about nine kilometers. In order for an aircraft not to be exposed to danger, an option of detecting a target after the launch was also implemented. Of the options considered was the capability of silent start, which meant that the propulsion system, if ever developed, would have delayed ignition. The designation of the new ordnance was to destroy a variety of targets. Therefore it became necessary to equip the bomb with appropriate warheads — from case warheads for fighting targets over large areas to shaped-charge ones for destroying single targets.

Glide bombs AGM-154 JSOW are a complete solution to the problem of dropping cluster ordnance when faced with massed, impossible to penetrate anti-aircraft defenses. JSOW is a result of joint efforts by the Air Force, the Navy, and the Marine Corps. The origin of the idea dates back to a joint project by the Navy and the Marine Corps codenamed *Advanced Interdiction Weapons System (AIWS)*, requiring a fully integrated-line control system, similar to that used in GBU-15. In 1991 Texas Instruments won a bid for an AIWS contract, and in 1992 the program was joint with the Air Force program of guided cluster ordnance. In this way the idea of JSOW was born. The airframe was designed as a carrier

narodziła się idea JSOW. Konstrukcję zaprojektowano jako nośnik dla subamunicji, zdolny do przenoszenia szerokiej gamy ładunków. Wykorzystano również globalny system określania położenia (*Global Positioning System* — GPS) NAVSTAR, który stanowi podstawowy osprzęt kierowania wszystkich wariantów AGM-154. Po raz pierwszy w historii system nawigacji satelitarnej steruje bombą przez cały jej lot, od momentu zrzucenia do uderzenia w cel.

AGM-154 (rys. 1.) składa się z sekcji przedniej, zawierającej oparty na GPS system naprowadzania i sterowania, komory przenoszenia ładunku, zwieńczonej składanymi skrzydłami planarnymi, zapewniającymi siłę nośną podczas lotu, oraz tylnej sekcji usterzenia. JSOW mierzy około czterech metrów, nie ma właściwości *stealth*, ale z pewnością odznacza się konstrukcją słabo wykrywalną przez radar.

of sub-ammunition capable of carrying a wide range of payloads. To control all variants of AGM-154 NAVSTAR the GPS (*Global Positioning System*) was also used as the main system. It is the first time in history that a satellite navigational system has controlled a bomb throughout its whole flight, from the launch moment to the moment it hits the target.

AGM-154 (fig. 1) is composed of a frontal section, containing a GPS-based guidance system, payload chamber with variable-swing planar wings, providing forward thrust during the flight, and the rear guidance section. JSOW is about four meters long and does not have stealth feature but, for sure, its airframe is hard to detect by a radar.



Rys. 1. Bomba szybująca typu JSOW (AGM-154)

Fig. 1. Glide bomb JSOW (AGM-154)

Źródło / Source: K. Ogonowski, Z. Koruba, I. Smykła, *Koncepcja wykorzystania JSOW na BAL, II Międzynarodowa Konferencja „Naukowe aspekty BAL” Kielce — Cedzyna 2006 [Concept of use of JSOW on UAV — available in the Polish].*

JSOW została zaprojektowana w ten sposób, by szybować bez napędu na odległość do 130 km przed wyrzuceniem ładunku subamunicji na cel. Szacuje się, że dokładność korygowania lotu opartego na GPS zamyka się w dziesięciu metrach liczonych w trzech wymiarach, co zupełnie wystarcza do skutecznego zrzucenia uzbrojenia kasetowego. Wykorzystywane w amunicji precyzyjnej nowej generacji systemy kierowania oparte na GPS to właściwie systemy mieszane, w których odbiornik GPS przekazuje aktualne dane o położeniu bomby do załączonego niewielkiego bezwładnościowego systemu sterowania kierującego lotem. Dzięki temu bomba może dalej zmierzać w kierunku celu, nawet jeśli system GPS zawiedzie bądź jego praca zostanie zakłócona.

WARIANTY LATAJĄCEJ BOMBY TYPU JSOW

JSOW (*Joint Stand Off Weapon*) to system inteligentnego uzbrojenia o zdolności odpalania ze znacznej odległości. Pierwotnie system nosił nazwę AIWS (*Advanced Interdiction Weapon System*). Jego maksymalny zasięg wynosi 22–130 km (325 km z napędem). JSOW jest bronią wykorzystującą GPS i nawigację inercyjną. W końcowej fazie lotu może wykorzystać do naprowadzenia na cel zobrazowanie termiczne oraz dwustronne łącze danych.

AGM-154 ma zalety pocisku rakietowego i bomby. Skrzydlata AGM-154 przeznaczona jest do niszczenia stanowisk obrony przeciwlotniczej i dowodzenia. Jest sterowana przez sieć

JSOW was designed in such a way that it can glide without propulsion up to 130 km before launching its sub-ammunition payload towards the target. It is estimated that the flight correction accuracy based on GPS is within ten meters calculated in three dimensions, which is enough with respect to the effective launch of case ordnance. Guidance systems based on GPS used in precision-guided ammunition of new generation, in which a GPS receiver transmits current data relating to the position of a bomb to an attached small inertial flight control system, are in fact mixed systems. Owing to this the bomb can continue its flight towards the target even if GPS fails or its work is disturbed.

VARIANTS OF THE JSOW FLYING BOMB

JSOW (*Joint Stand off Weapon*) is a system of intelligent ordnance capable of being launched from a substantial distance. Originally the system bore the name AIWS (*Advanced Interdiction Weapon System*). Its maximum range is 22–130 km (325 km with propulsion). JSOW is a weapon that makes use of GPS and inertial navigation. In the final stage of flight it can employ a thermal display and a two-sided data link to guide it to its target.

AGM-154 has advantages of a missile and a bomb. Winged AGM-154 is designed to destroy anti-aircraft and command posts. It is guided by an on-board network or it illuminates the target with laser and an operator

pokładową lub sama oświetla laserem cel, a operator przekazuje komendy korygujące, jeśli zejdzie z kursu. AGM-154 może być też naprowadzana laserem przez samolot dokonujący bombardowania lub przez maszynę jego skrzydłowego.

Rodzina AGM-154 JSOW (*Joint Stand off Weapon*) to broń „inteligentna”, umożliwiająca niszczenie celu spoza zasięgu środków rażenia pola przeciwnika, niezależnie od pory doby i warunków atmosferycznych. AGM-154A zawiera amunicję złożonego działania BLU-97, pozwalającą na atakowanie zgrupowań piechoty i artylerii, pojazdów opancerzonych i nieopancerzonych oraz celów naziemnych, zwłaszcza składów amunicji i paliw. Broń ta została z powodzeniem użyta podczas działań przeciwko Irakowi oraz w operacji w Kosowie. AGM-154B zawiera bomby ppanc. BLU-108 Sensor Fused Weapon. Obydwa typy uzbrojenia są produkowane na potrzeby USAF i US Navy i mogą być przenoszone przez samoloty F/A-18, F-16, F-15, B-1, B-2 i B-52. Wersja AGM-154C jest wyposażona w głowicę penetracyjną BROACH. Jej głównym zastosowaniem ma być zwalczanie celów podczas misji obezwładniania OPL przeciwnika.

Dzięki zastosowaniu rozwiązania bomby szybującej można ją zrzucić na niskim pułapie z 22 km, a na dużym pułapie ze 130 km od celu. Może być zastosowana przeciwko szerokiemu spektrum celów naziemnych i nawodnych, spoza zasięgu obrony przeciwlotniczej. W końcowej fazie lotu można

transfers correction commands if it deviates from course. AGM-154 can also be laser-guided by an aircraft carrying out the bombing mission or by an aircraft flying next to it.

The family of AGM-154 JSOW (*Joint Stand off Weapon*) is ‘smart’ weapons capable of destroying targets from beyond the range of enemy’s combat means, independent of the time of day or night and weather conditions. AGM-154A contains BLU-97 combined effects bomb sub-ammunitions which can be employed to engage groupings of infantry, artillery, armored and unarmored vehicles, as well as land targets, especially ammunition and fuel depots. This weapon was successfully employed during operations against Iraq and in Kosovo. The warhead for AGM-154B is the BLU-108 (anti-armor) Sensor Fused Weapon. These two types of ordnance are produced for USAF and US Navy and can be carried by F/A-18, F-16, F-15, B-1, B-2 and B-52 aircraft. Variant AGM-154C carries the penetration BROACH warhead. Its main designation is to fight targets during an operation to neutralize the enemy’s air defense capabilities.








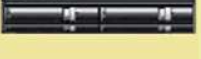
















Owing to its glide capability the glide bomb can be launched at a low altitude from a distance of 22 km and from 130 km at a high altitude. It can be employed against a wide spectrum of land and sea-surface targets from behind the range of anti-aircraft defense. In the final stage of flight thermal display and two-sided data link can be used. JSOW is only four meters long

wykorzystać do naprowadzenia na cel zobrazenie termiczne oraz dwustronne łącze danych. JSOW ma tylko cztery metry długości oraz w zależności od głowicy bojowej masę od 475 do 680 kilogramów. Dużą uniwersalność osiągnięto dzięki budowie modułowej. Możliwe jest zastosowanie wielu głowic bojowych. AGM-154 jest dostarczana w trzech (właściwie sześciu) identycznie zewnętrznych wariantach, różnią się jedynie ładunkiem (rys. 2., tab. 1.):

1. AGM-154A (standardowa JSOW). Jako głowicę zastosowano 145 bomb małego wagomiaru BLU-97/B. Każda z nich może niszczyć różne cele. Zawierają głowicę kumulacyjną przeciwko celom opancerzonym osłoniętą odłamkową osłoną do niszczenia celów lekkich i pierścieni cyrkonowy o działaniu zapalającym (rys. 3.).
2. AGM-154A-1 (standardowa JSOW). Tutaj jako głowicę zastosowano bombę BLU-111/B (wersja Mk82 o wadze 227 kg z dodanym programowalnym zapalnikiem FMU-152) na cel punktowy (rys. 4.).
3. AGM-154B (przeciwpancerna JSOW). Ładunkiem jest sześć bomb BLU-108/B wyposażonych w system autonomicznego naprowadzania. Każda z nich odpala cztery pociski SKEET wykorzystujące sensor termiczny do naprowadzenia na cel. Każdy zawiera głowicę kumulacyjną (rys. 5.).
4. AGM-154C (wersja użytkowa). Jest wariantem naprowadzającym na cel za pomocą głowicy na podczerwień oraz wyposażonym w efektywną głowicę bojową BROACH przeznaczoną do niszczenia celów punktowych dobrze chronionych, np. bunkrów (rys. 6.).

and weighs, from 475 to 680 km depending on its warhead. The high universality was achieved thanks to modular design. It is possible to use several warheads. AGM-154 is delivered in three (in fact six) externally identical variants, varying in payload only (fig. 2, tab. 1):

1. AGM-154A (baseline JSOW). The warhead of the AGM-154A consists of 145 small weight and size BLU-97/B sub-ammunitions. Each of them can destroy different targets. They include shaped charge, scored steel casing and zirconium ring for anti-armor, fragmentation and incendiary capability (fig. 3) Each of them can be effective against different targets.
2. AGM-154A-1 (baseline JSOW). Here BLU-111/B bomb is used as a warhead (Mk82 variant weighing 227 kg, with a programmable fuse FMU-152) effective against point targets (fig. 4).
3. AGM-154B (anti-armor JSOW). The warhead for the AGM-154B carries six BLU-108/B sub-ammunitions equipped with an autonomous guidance system. Each sub-ammunition releases four SKEET projectiles that use thermal sensors for guidance to targets. Each of them contains a shaped charge (fig. 5).
4. AGM-154C (unitary variant). The AGM-154C uses an Imaging Infra-red terminal seeker. The AGM-154C carries the highly effective BROACH warhead which is designed to destroy point, hardened target, e.g. bunkers (fig. 6).

| WARIANT | MODUL KIEROWANIA | PRZEDZIAŁ ŁADUNKOWY | MODUL STEROWANIA |
|----------------------|---|---|--|
| AGM-154A (BLU-97) |  KOMPUTER STERUJĄCY |  SUBAMUNICJA BLU-97 |  SYSTEM KONTROLI LOTU |
| AGM-154A-1 (BLU-111) |  KOMPUTER STERUJĄCY |  POCISK BLU-111 |  SYSTEM KONTROLI LOTU |
| AGM-154B |  KOMPUTER STERUJĄCY |  SUBAMUNICJA BLU-108 |  SYSTEM KONTROLI LOTU |
| AGM-154C |  KOMPUTER STERUJĄCY CZYJNIK IIR |  GŁOWICA PENETRUJĄCA BROACH |  SYSTEM KONTROLI LOTU |
| VARIANT | GUIDANCE | PAYLOAD | AFT |
| AGM-154A (BLU-97) |  GUIDANCE COMPUTER |  BLU-97 SUBMUNITIONS |  FLIGHT CONTROL SYSTEM |
| AGM-154A-1 (BLU-111) |  GUIDANCE COMPUTER |  BLU-111 BLAST/FRAG |  FLIGHT CONTROL SYSTEM |
| AGM-154B |  GUIDANCE COMPUTER |  BLU-108 SUBMUNITIONS |  FLIGHT CONTROL SYSTEM |
| AGM-154C |  GUIDANCE COMPUTER IIR SEEKER |  BROACH BLAST/FRAG/ PENETRATING |  FLIGHT CONTROL SYSTEM |

Rys. 2. Warianty pocisku AGM-154 JSOW

Fig. 2. Variants of AGM-154 JSOW bomb

Źródło / Source: K. Ogonowski, Z. Koruba, I. Smykla, op. cit.

Tabela 1. Specyfikacja bomb typu JSOW

Table 1. Specification of JSOW bombs

| Model (typ) Model (type) | AGM-154A | AGM-154A-1 | AGM-154B | AGM-154C | AGM-154D | AGM-154E |
|-------------------------------------|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Długość całkowita Overall length | 4,26 m | | | | | |
| Szerokość kadłuba Airframe width | 33,8 cm | | | | | |
| Rozpiętość skrzydeł Wing span | 2,69 m | | | | | |
| Masa startowa Start weight | 475-680 kg | | | | | |
| Głowica bojowa Warhead | 145 x BLU-97/B | 1 x BLU-111/B | 6 x BLU-108/B | 1 x BROACH | 145 x BLU-97/B | 1 x BROACH |
| Naprowadzanie Guidance | GPS/INS | | | GPS/INS IIR | GPS/INS | GPS/INS IIR |
| Napęd Propulsion | brak none | | | | Williams J400-WR-104 | |
| Zasięg Range | z niskiego pułapu / from low altitude 22 km z wysokiego pułapu / from high altitude 130 km | | | | 325 km | |

Różnice w pozostałych wersjach broni polegają na dodaniu silników rakietowych i turboodrzutowych w celu zwiększenia zasięgu oraz ewentualnym powiększeniu komory uzbrojenia. Pociski te mają oznaczenia AGM-154D (wersja A z silnikiem) i AGM-154E (wersja C z silnikiem). Jako napęd zastosowany jest silnik Williams J400-WR-104 Turbojet o ciągu około 109 kG.

Prace projektowe nad bombami szybującymi typu JSOW rozpoczęto w 1992 roku. W grudniu 1995 roku zakończono fazę projektową i przetestowano w bazie NWTS (Naval Weapons Test Squadron) China Lake. Na jedenaście odpaleń dziesięć uzyskało stuprocentową skuteczność.

Differences relating to the other variants include the addition of rocket and turbojet engines in order to extend the range or eventual enlargement of the warhead chamber. They have designations as follows: A GM-154D (variant A with an engine) and AGM-154E (variant C with an engine). Williams J400-WR-104 Turbojet is used for propulsion with thrust of about 109 kG.

The design work for JSOW glide bombs started in 1992. In December 1995 the design stage was completed and tests were carried out in NWTS (Naval Weapons Test Squadron) China Lake. There was 100 % effectiveness for eleven launches. Variant C is currently

Wersja C jest obecnie w produkcji i została przyjęta do użycia operacyjnego w lutym 2005 roku w US Navy i US Marine Corps. Została także wybrana jako broń *standoff* dla polskich F-16.

in production and it was accepted for operational use by the US Navy and US Marine Corps in February 2005. It has also been selected for Polish F-16s as the *standoff* weapon.



Rys. 3. Bomba AGM-154A podczas rozrzutu ładunków oraz bomba małego wagomiaru BLU-97/B złożona i z rozłożonym spadochronem hamującym

Fig. 3. AGM-154A Bomb releasing cluster and BLU-97/B small weight and size bomb with packed, and with deployed drogue chute

Źródło / Source: K. Ogonowski, Z. Koruba, I. Smykla, *op. cit.*



Rys. 4. Bomba AGM-154A-1 z zastosowaną głowicą bojową BLU-111

Fig. 4. AGM-154A-1 bomb with BLU-111 warhead

Źródło / Source: K. Ogonowski, Z. Koruba, I. Smykla, *op. cit.*



Rys. 5. Bomba AGM 154B z subamunicją BLU-108/B oraz subamunicja w wersji rozłożonej i podcisk SKEET

Fig. 5. AGM 154B bomb with BLU-108/B and sub-amunition in unpacked variant and SKEET bomblet

Źródło / Source: K. Ogonowski, Z. Koruba, I. Smykla, *op. cit.*



Rys. 6. Przekrój AGM-154C z głowicą bojową BROACH

Fig. 6. AGM-154C cross-section with BROACH warhead

Źródło / Source: K. Ogonowski, Z. Koruba, I. Smykla, *op. cit.*

JSOW została po raz pierwszy zastosowana w październiku 2001 roku podczas ataku odwetowego USA i Wielkiej Brytanii na Afganistan. Do tej pory użyto w walce ponad 400 AGM-154A.

JSOW was first used in October 2001 during the retaliation attack by the USA and GB in Afghanistan. Up to now over 400 AGM-154As have been used in combat.

Zaproponowano także podjęcie produkcji „niebojowych” wersji JSOW, mających na celu zapewnienie wsparcia

A proposal was also made to produce a ‘non-combat’ variant of JSOWs to be used for logistical support for forward

logistycznego dla wysuniętych oddziałów, takich jak grupy bojowe do zadań specjalnych. Można się zastanowić, ile posiłków gotowych do spożycia (*Meals Ready-to-Eat* — MRE) mogłoby się zmieścić w długiej na 5,7 stopy (1,7 m) komorze AGM-154. Być może idea ta potwierdza ostatecznie twierdzenie, że „każda bomba jest bombą polityczną”.

W 2006 roku ruszyła produkcja wariantu AGM-154, Block II, który miał być zdecydowanie tańszy od dotychczas produkowanych. Raytheon i US Navy rozpoczęły także opracowywanie wariantu Block III, który będzie mógł zwalczać cele ruchome, zarówno lądowe, jak i nawodne. Pierwsze AGM-154 Block III miały opuścić linie produkcyjne w 2009 roku.

KONCEPCJA WYKORZYSTANIA BOMBY TYPU JSOW

Można się spodziewać, że wkrótce będziemy posiadaczami bomb kierowanych typu JSOW [1]. Należy zatem rozważyć możliwość zastosowania ich do niszczenia celów naziemnych przez samoloty i bezzałogowe aparaty latające (BAL).

Przedstawione w artykule warianty JSOW pokazują uniwersalność tej bomby kierowanej, która może naprowadzać się na cel oświetlony promieniem laserowym nadawanym z odrębnego urządzenia, np. samolotu, śmigłowca czy BAL [1, 3], może mieć własny system wizualizacji celu i sama naprowadzać się na wykryty cel oraz korzystać z systemu satelitarnego naprowadzania GPS.

deployed units such as special operations forces. One can wonder how many MREs (*Meal Ready-to-Eat*) could be packed into the AGM-154 chamber having 5.7 feet (1.7 m) in length. Perhaps this idea proves the saying that ‘each bomb is a political bomb’.

In 2006 production of AGM-154, Block II commenced. It was expected to be cheaper than those previously produced. Raytheon and the US Navy also commenced development of a Block III variant which would be capable of engaging moving targets both on land and sea surface. First AGM-154 Block IIIs were expected to leave assembly lines in 2009.

CONCEPT FOR USE OF JSOW BOMB

It can be expected that we will soon own JSOW bombs [1]. Therefore it is necessary to consider the possibilities of using them to destroy land targets with aircraft and UAVs.

The variants of JSOW presented in this paper point to the universality of this guided bomb, which can be guided to a target illuminated by a laser ray sent from a separate source, e.g. a fixed-wing aircraft a helicopter or a UAV [1, 3] or which can have its own target display system and guide itself to the target detected, and can use GPS.

Following the experience relating to JSOW system it would be necessary to consider the possibilities of developing a national system of smart precision bombs based on the unguided

Wzorując się na doświadczeniach z systemem JSOW, należałoby rozważyć możliwość stworzenia rodzimego systemu inteligentnych bomb precyzyjnego rażenia na bazie istniejących w wojsku polskim niekierowanych bomb klasycznych.

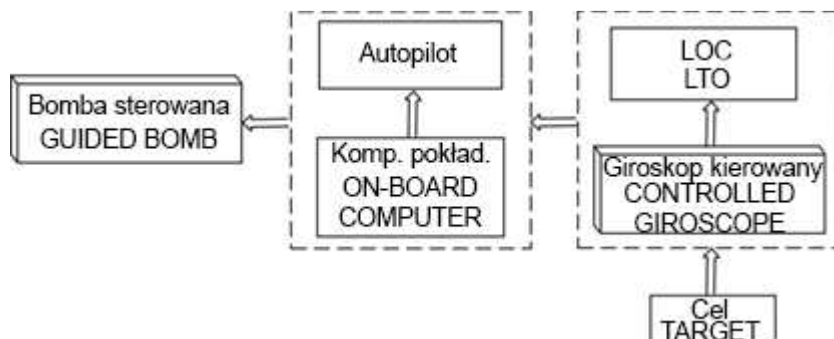
Opracowując własny prosty system naprowadzania bomby kierowanej, trzeba zwrócić szczególną uwagę na jego niezależność od GPS — po ostatniej wojnie w Iraku okazało się bowiem, jak bardzo zawodny może on być w pewnych sytuacjach. Takim wspomagającym rozwiązaniem może być układ giroskopowy pośrednio sterujący położeniem bomby w przestrzeni. Należy tu rozpatrzeć dwa warianty pracy takiego układu. W pierwszym wariantcie możemy rozważać układ w pełni autonomiczny, który ma atakować nieruchomy cel naziemny o znanych współrzędnych geograficznych. Tuż przed zrzućeniem bomby z nosiciela oś giroskopu sterowanego zostaje wymierzona i od tej chwili stanowi linię obserwacji celu (LOC), która dla pilota automatycznego jest odniesieniem do wypracowywania sygnałów sterujących. W drugim wariantcie zakładamy, że cel jest w sposób ciągły obserwowany i z pokładu nosiciela przesyłane są do bomby sygnały sterujące, które zmieniając położenie giroskopów, odpowiednio wpływają na zmianę trajektorii lotu bomby. Innym rozwiązaniem może być półautomatyczne kierowanie bombą na podstawie opracowanego algorytmu. Wspomniany sposób wymaga stałego pasywnego namierzania bomby przez inny obiekt latający i podawania sygnałów sterujących.

conventional bombs owned by the Polish armed forces.

When developing a national simple guidance system for a guided bomb it is necessary to pay special attention to its independence of GPS. In the last war in Iraq it turned out that it could be very unreliable in some situations. A gyroscope-based system indirectly controlling the position of a bomb in space could be such a solution. It is necessary to consider two performance variants of such a system. In the first variant we can consider a fully autonomous system, which is designed to attack a non-moving land target of known geographical coordinates. Just before releasing a bomb from the carrier the controlled gyroscope axis is measured and from that moment it is a target observation line, which for the automatic pilot is the point of reference to work out control signals. In the second variant, we assume that the target is being observed continuously and guidance commands are sent to the bomb from the carrier. They change gyroscope settings appropriately and effect changes in the bomb flight trajectory. A semi-automatic bomb control based on a developed algorithm can be another solution. This method requires constant passive tracking of a bomb by another flying object and transmitting guidance signals.

A general diagram of a gyroscope-based bomb control homing in on a land target is presented in figure 7.

Ogólny schemat giroskopowego sterowania bombą samoczynnie zmierzającą do celu naziemnego został przedstawiony na rysunku 7.

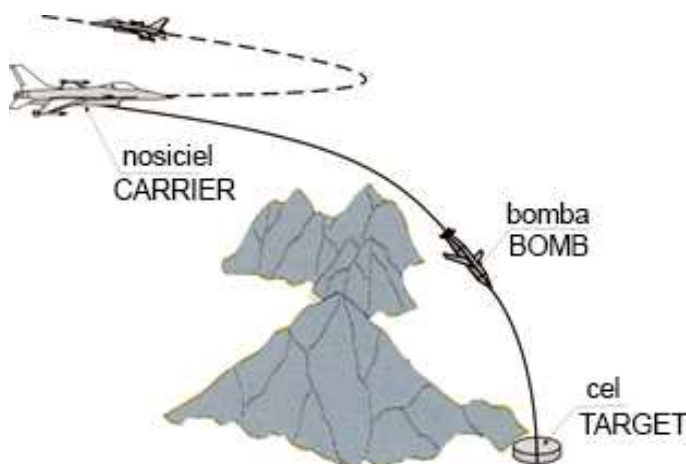


Rys. 7. Uproszczony schemat samonaprowadzania bomby na cel naziemny (LOC — linia obserwacji celu)

Fig. 7. A simplified diagram of homing in on a land target (LTO — line of target observation)

Uskrzydłona bomba kierowana o zwiększonym zasięgu może być zrzucona przez samolot bojowy, który ma możliwość natychmiastowego oddalenia się ze strefy zagrożenia (rys. 8.).

A winged guided bomb of enhanced range can be launched by a combat aircraft which is capable of immediately leaving the dangerous area (fig. 8).

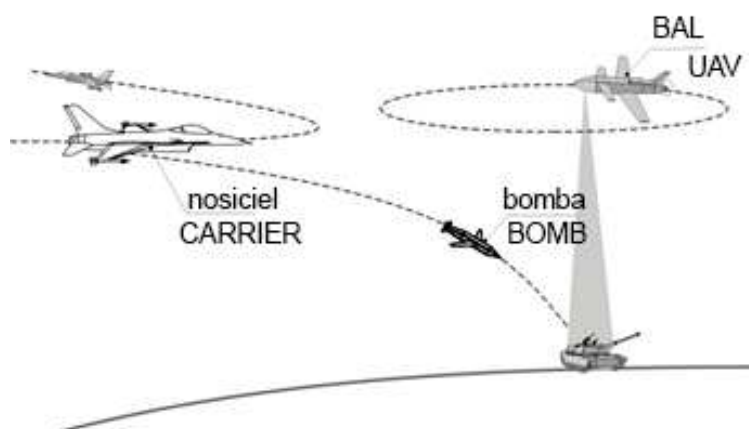


Rys. 8. Zrzucenie bomby z pokładu samolotu na ukryty nieruchomy cel naziemny

Fig. 8. Launching a bomb from an aircraft towards a concealed non-moving land target

W przypadkach, gdy konieczne jest oświetlenie celu z innego samolotu lub śmigłowca, obiekt oświetlający musi przebywać przez określony czas w pobliżu obiektu oświetlanego, a więc w obszarze działania obrony przeciwlotniczej przeciwnika. Dzięki zastosowaniu bezzałogowego obiektu latającego o niewielkich gabarytach załoga samolotu nie jest narażona na ryzyko. Krążący nad celem BAL przejmuje zadanie oświetlenia celu do momentu osiągnięcia go i zniszczenia przez bombę. Sytuację taką przedstawia rysunek 9.

In cases when it is necessary to illuminate a target from another plane or a helicopter, the illuminating object must, time for some, be present in the vicinity of the illuminated object, i.e. in the area of enemy's anti-aircraft defense. Owing to the use of a UAV of small dimensions a plane crew is not exposed to danger. A UAV circling over the target takes over the task to illuminate the target until the moment it is reached and destroyed by a bomb. Figure 9 presents such a situation.

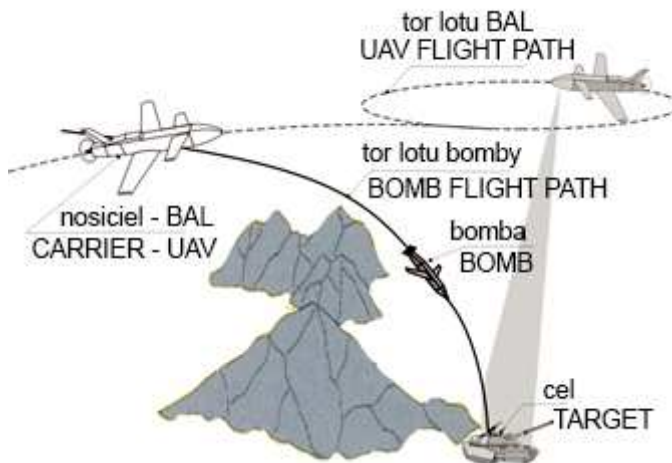


Rys. 9. Zrzucenie bomby z samolotu nosiciela i oświetlenie ruchomego celu naziemnego przez BAL

Fig. 9. Launching a bomb from a carrier plane and illuminating a moving target by a UAV

W przypadku zastosowania bojowego BAL [3, 5] zdolnego do przenoszenia bomb istnieje możliwość samodzielnego dokonania bombardowania z jednoczesnym oświetleniem celu. Przedstawiono to na rysunku 10.

In case of combat employment of a UAV [3, 5] capable of carrying bombs there is a possibility to carry out an independent bombing mission with simultaneous target illumination. This is presented in figure 10.



Rys. 10. Zrzucenie bomby i oświetlenie ruchomego celu naziemnego przez BAL

Fig. 10. Launching a bomb and illuminating a moving target by a UAV

Aby wyznaczyć współrzędne położenia bomby w układzie $O_o x_o y_o z_o$ (rys. 11.), w którym określony jest programowy tor lotu, należy od położenia celu w tym układzie odjąć położenie celu wyznaczone przez aparaturę bomby względem niej samej. Ostatecznie otrzymujemy:

$$\begin{aligned} x_b &= x_c - \xi_c \cos \gamma_c \cos \chi_c \\ y_b &= x_c - \xi_c \sin \gamma_c \cos \chi_c \\ z_b &= x_c + \xi_c \sin \chi_c \end{aligned} \quad (1)$$

Za uchyb sterowania przyjmujemy różnicę wysokości: na jakiej aktualnie znajduje się bomba i na jakiej znajdowałaby się, gdyby realizowała założony tor lotu:

$$\varepsilon_y = y(x_b) - y_b. \quad (2)$$

Na podstawie uchybu (2) regulator PD wyznacza pożądany sygnał sterujący (siły sterujące):

In order to fix coordinates for the bomb position in the system $O_o x_o y_o z_o$ (fig. 11.), in which the flight path is preset, it is necessary to deduct the bomb position fixed by the bomb system in relation to the bomb itself from the target position. Consequently we receive:

The difference in altitude at which the bomb is at the moment and at which it would have been if it had flown along the preset flight path is assumed as the guidance error:

Based on the error (2) a PD controller works out the desired guidance signal (guidance forces):

$$Q_y = k_1 \varepsilon_y + k_2 \frac{d\varepsilon_y}{dx} \quad (3)$$

Uchyb w płaszczyźnie poziomej, powstały na skutek zakłóceń, wynosi:

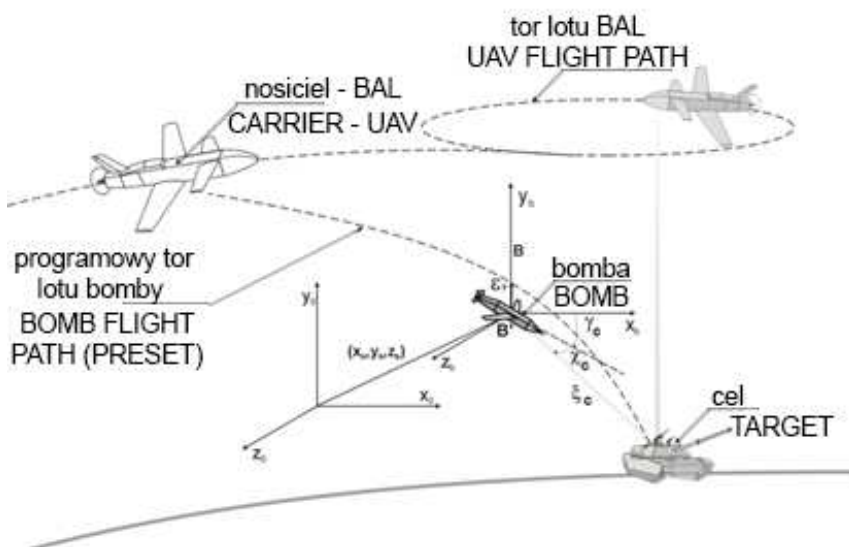
The guidance error in the horizontal plane, caused by disturbances, is:

$$\varepsilon_z = -z_b \quad (4)$$

i może być korygowany przez regulator typu P:

and can be corrected by a P controller:

$$Q_z = c \varepsilon_z \quad (5)$$



Rys. 11. Zrzucenie bomby i oświetlenie celu przez BAL
Fig. 11. Launching a bomb and illuminating a target by a UAV

Artykuł stanowi wstępne rozważania na temat możliwości zastosowania naprowadzania bomby kierowanej typu JSOW. Założono w nich, że:

This paper includes introductory considerations relating to possible uses of a JSOW bomb. It is assumed that:

- nosiciel porusza się ze stałą prędkością po linii poziomej;
- bomba jest wyrzucana w kierunku poziomym z prędkością początkową

- a carrier is moving at a constant speed along a horizontal line;
- a bomb is launched in the horizontal direction at the initial speed equal

równą prędkości nosiciela i porusza się po torze leżącym w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez wyjściowy tor lotu nosiciela;

- aerodynamiczna konstrukcja bomby jest typu JSOW;
- współczynniki aerodynamiczne są stałe i obrane arbitralnie dla bomby „hipotetycznej”;
- uchybem sterowania jest różnica wysokości lotu bomby między jej torem programowym a torem realizowanym;
- sterowanie lotem bomby następuje natychmiast po jej wyrzuceniu.

WNIOSKI

Przedstawiona koncepcja sterowania bombą kierowaną typu JSOW z wykorzystaniem bezzałogowego aparatu latającego pozwala na wykrycie i zidentyfikowanie celu naziemnego oraz jego bezpośrednio zaatakowanie. Ingerencja operatora w kierowanie BAL może być ograniczona jedynie do przypadków całkowitego zejścia aparatu z zadanego toru lub utracenia celu z pola widzenia obiektywu układu śledzącego (porywy wiatru, wybuchy pocisków itp.). Należy zatem wprowadzić możliwość automatycznego przesyłania do punktu kierowania informacji o takich zdarzeniach i ewentualnego przejęcia kontroli nad lotem „bezzałogowca” przez operatora. W badaniach teoretyczno-obliczeniowych i symulacyjno-eksperymentalnych należałoby:

- określić optymalny program lotu BAL;
- opracować taki algorytm skanowania powierzchni Ziemi, który zapewniłby najszybsze wykrycie celu;

to that of the carrier and is moving along the path in the vertical plane that goes through the initial flight path of the carrier;

- aerodynamic bomb design is that of JSOW type;
- aerodynamic coefficients are constant and selected arbitrarily for a ‘hypothetical bomb’;
- a guidance error is the difference in bomb flight altitude between its preset path and the real path;
- control of a bomb starts immediately after it has been launched.

CONCLUSIONS

The concept of JSOW bomb control using a UAV allows detection and identification of a land target and direct attack against it. Interference by an operator in a UAV control can be limited only to the cases of the total detractation of the vehicle from the preset path or disappearance of the target from the field of observation in the tracking system (wind gusts, shell explosions, etc.). Therefore it is necessary to introduce a possibility of automatic data transfer concerned with such occurrences and eventual taking over control of a UAV’s flight by an operator. In theoretical-calculation and simulation-experimental investigations it would be necessary to:

- determine an optimum flight program for a UAV;
- develop a logarithm of earth surface scanning which would ensure the fastest target detection;
- develop a program for minimum change of a UAV from the preset flight to the target tracking flight;

- opracować program minimalnego przejścia BAL od lotu programowego do lotu śledzącego cel;
- dokonać analizy różnych metod naprowadzania bomby kierowanej zrzucanej z bezzałogowego obiektu latającego.
- conduct an analysis of different methods used to guide a guided bomb launched from a UAV.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Abraszek P., *Zasobnik szybujący*, 'Nowa Technika Wojskowa', 2006, No 3, pp. 36–40 [AGM-154 JSOW-glide bomb — available in the Polish].
- [2] Głowacki B., Sobczak G., *Super Falkony*, 'Polska Zbrojna', 2002, No 43, pp. 15–17. [Super Falcons – available in the Polish].
- [3] Koruba Z., *Dynamika i sterowanie gيروسkopem na pokładzie obiektu latającego*, V Szkoła „Metody aktywne redukcji drgań i hałasu”, Krynica, 21–24.05.2001, pp. 127–136 [Dynamics and gyroscope control aboard an aerial vehicle — available in the Polish].
- [4] Koruba Z., *Model of final navigation segment for combat unmanned aerial vehicle*, 'Journal of Technical Physics', 2003, Vol. 44, No 1, pp. 242–251.
- [5] Koruba Z., *A mathematical model of the dynamics and control of a gyroscopic platform mounted on board of an aerial vehicle*, 'Journal of Technical Physics', 2005, Vol. 46, No 1, pp. 124–128.
- [6] Majssner M., *W przededniu rewolucji*, 'Teleinfo', 1999, No 26, pp. 23–28 [The Day before resolution — available in the Polish].
- [7] Ogonowski K., Koruba Z., Smykla I., *Koncepcja wykorzystania JSOW na BAL*, II Międzynarodowa Konferencja „Naukowe aspekty BAL”, Kielce — Cedzyna 2006 [Concept for use of JSOW on UAV — available in the Polish].