

Środki hipersoniczne jako współczesne zagrożenie bezpieczeństwa narodowego. Analiza stanu badań

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących współczesnych środków hipersonicznych (także broni hipersonicznej) w kontekście zagrożeń bezpieczeństwa narodowego. Omówiono stan badań nad tego rodzaju środkami, ich rozwój i możliwości, a także wskazano zagrożenia, jakie mogą powodować. Analizy dokonano na podstawie podziału na państwa, w jakich są one rozwijane. Odnosi się ona do pięciu krajów: USA, Francji, Federacji Rosyjskiej, Indii i Chińskiej Republiki Ludowej. Na uwagę zasługuje fakt, iż środki te są w różnej fazie rozwojowej, począwszy od wstępnych koncepcji rozwojowych do obiektów, które pozytywnie przeszły testy balistyczne, osiągając prędkość hipersoniczną oraz wysokohipersoniczną. Z uwagi na przenoszenie głowic bojowych, w tym termojądrowych i jądrowych, oraz osiąganie dużych prędkości wydają się być dużym zagrożeniem bezpieczeństwa narodowego.

SŁOWA KLUCZOWE

broń, środki hipersoniczne, technika wojskowa, bezpieczeństwo narodowe, zagrożenia bezpieczeństwa

W literaturze przedmiotu pojęcie „środki hipersoniczne” (broń hipersoniczna) jest odnoszone do obiektów zdolnych do poruszania się z prędkością $Ma = 5$ do 10^1 , zwaną prędkością hipersoniczną. Osiągnięcie dużych prędkości zapewnia tym obiektom odpowiedni zespół napędowy, zazwyczaj tzw. silnik strumieniowy (ramjet), będący rodzajem odrzutowego silnika przelotowego. Jego charakterystyczną cechą jest prosta, niezawierająca ruchomych części konstrukcja. Dzięki temu może on pracować w wąskim zakresie ciągu, a więc utrzy-

ppłk dr inż.
**RADOSŁAW
BIELAWSKI**

*Autor jest zastępcą
dyrektora Instytutu*

Podstaw

Bezpieczeństwa

Wydziału

Bezpieczeństwa

Narodowego ASzWoj.

Absolwent Wojskowej

Akademii Technicznej

(2004), Akademii

Obrony Narodowej

(2004) oraz Politechniki

Warszawskiej (2016).

Redaktor naczelny

czasopisma naukowego

„Security and Defence

Quarterly”.

1 Prędkość Macha (Ma) – stosunek prędkości poruszającego się obiektu do prędkości rozchodzenia się dźwięku w tym samym otoczeniu. Jest to wartość bezwymiarowa (bezmianowa).

mywać stosunkowo stałą i dużą prędkość obiektu². W przelotowych silnikach strumieniowych ciąg uzyskuje się w wyniku przyspieszenia masy gazów przepływających przez kanał silnika. Utleniacz niezbędny do prawidłowego procesu spalania w tego typu rozwiązaniach jest pobierany z atmosfery³. Do środków hipersonicznych zalicza się pociski hipersoniczne. Broń ta, podobnie jak inne obiekty latające, może osiągać prędkości hipersoniczne. Takiego rodzaju środki pozwalają na zniszczenie dowolnego celu na Ziemi w czasie maksymalnie godziny⁴ bez dania stronie przeciwnej możliwości zareagowania. Zmierzając do celu, mogą one wykonywać manewry, by uniknąć przechwycenia przez systemy obrony, w tym systemy antyrakietowe przeciwnika.

W artykule przedstawiono współczesne środki hipersoniczne, także broń hipersoniczną, w kontekście zagrożeń bezpieczeństwa narodowego. Omówiono stan badań nad tego rodzaju środkami, ich rozwój i możliwości, a także wskazano zagrożenia, jakie mogą stworzyć.

Amerykańskie środki hipersoniczne

W Stanach Zjednoczonych są prowadzone prace nad wieloma różnymi środkami hipersonicznymi – rozpoznawczymi i śledzenia, do zastosowań bojowych, do użycia jako broń konwencjonalna czy do przeprowadzania testów technologii kosmicznych.

Lockheed Martin SR-72 jest strategicznym bezałogowym statkiem powietrznym⁵ przeznaczonym do rozpoznania i śledzenia⁶, zdolnym do wykonywania misji uderzeniowych. Jego zespół napędowy, zbudowany w technologii TBCC (turbine-based combined cycle), składa się z dwóch podzespołów – silnika odrzutowego oraz silnika strumieniowego typu scramjet⁷. Dualna budowa zespołu napędowego wynika z potrzeby zainicjowania pracy wysokoobrotowego silnika strumieniowego. Do prawidłowego działania wykorzystuje on kompresję powietrza, do której dochodzi na skutek ruchu postępowego napędzanego środka. Gdy do sprężonego powietrza zostanie wtrysnięte paliwo, następuje zapłon mieszanki powietrzno-paliwowej. Zwiększa się ciśnienie spalin skierowanych przez dyszę wylotową, w wyniku czego powstaje ciąg. Ze względu na specyfikę oraz dużą sprawność silnika strumieniowego zastosowano także silnik odrzutowy. Ma on rozpędzić środek do prędkości, w zakresie której ciąg powstaje za sprawą napędu strumieniowego i z zachowaniem przez to jak największej sprawności. Zespół napędowy wyposażono także w tłumik oraz izolator fali ude-

2 R. Bielawski, *Wybrane zagadnienia z budowy statków powietrznych. Definicje, pojęcia i klasyfikacje*, Warszawa 2015.

3 D.R. Greatrix, *Air-Breathing Rocket Engines*, w: *Powered Flight: The Engineering of Aerospace Propulsion*, London 2012.

4 B. Grenda, R. Bielawski, *Rozwój lotniczych środków rażenia*, Warszawa 2017, s. 54.

5 Bezałogowy statek powietrzny / bezałogowy aparat latający (Unmanned/Unpiloted Aerial Vehicle – UAV) – konstrukcja latająca, która wykonuje lot bez pilota na pokładzie, nie ma możliwości zabierania pasażerów oraz pozwala na wielokrotne użycie. R. Bielawski, W. Rządkowski, R. Perz, *Unmanned Aerial Vehicles in the protection of the elements of a country's critical infrastructure – selected directions*, „Security and Defence Quarterly” 2018 t. 22 No. 5.

6 W nomenklaturze NATO wykonywanie misji typu ISR (Intelligence – wywiad, Surveillance – śledzenie, Reconnaissance – rozpoznanie).

7 Skrótowiec od angielskiej nazwy supersonic combustion ramjet – rodzaj przelotowego silnika strumieniowego wyposażonego w naddźwiękową komorę spalania. Dzięki takiej konstrukcji silnik może napędzać obiekty powietrzne i kosmiczne do prędkości hipersonicznych.

rzeniowej w celu ustabilizowania przepływu do laminarnego oraz zapobieżenia zwiększeniu temperatury mieszanki paliwowo-powietrznej.

Dzięki konstrukcji dualnej SR-72 ma osiągać prędkość przekraczającą $Ma = 6$ oraz pułap 24 tys. km. Producent zapewnia, że środek ten będzie gotowy do operacyjnego użycia w 2025 roku. Koszt produkcji oszacowano na miliard dolarów amerykańskich.

Boeing X-51 Waverider jest to bezzałogowy, autonomiczny⁸ obiekt powietrzny przeznaczony do zastosowań bojowych. Zasadniczą jednostką napędową tego środka, opracowaną przez firmę Pratt & Whitney i budowaną w tzw. technologii hipersonicznej HyTECH (Hypersonic Technology), stanowi silnik strumieniowy SJY61. Zdaniem producenta, będzie on miał naddźwiękową komorę spalania, w której jako środek miotający zostanie wykorzystane lotnicze paliwo wodorowe JP-7. Przed wtryskiem do komory spalania ma ono cyrkulować wokół zespołu napędowego, by przejąć jego ciepło. Takie rozwiązanie konstrukcyjne pozwoli na zwiększenie sprawności tej jednostki napędowej. Napędem początkowym X-51 jest odłączany silnik startowy, który ma osiągać prędkość niezbędną do prawidłowego działania napędu zasadniczego typu scramjet.

Do budowy środka hipersonicznego X-51 wykorzystano typowe lotnicze metale konstrukcyjne, takie jak: stopy aluminium, stal, tytan oraz tzw. superstopy – niklu i chromu. Użyto także współczesnych kompozytów⁹ z włóknami węglowymi, między innymi do wzmocnienia krawędzi natarcia stateczników, brzechw i klap. W celu zapewnienia termoizolacji zastosowano system ochrony termicznej (thermal protection system)¹⁰ składający się z płytek wykonanych z włókien szkła kwarcowego. Ponieważ 94% ich objętości stanowi powietrze, materiał charakteryzuje się niską przewodnością cieplną, niskim współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, wysokim współczynnikiem emisyjności i małą gęstością. Jego atutem jest także duża odporność na tzw. szoki termiczne, związane z szybkozmiennymi dużymi amplitudami temperatur, co ma znaczenie ze względu na środowisko poruszania się obiektów kosmicznych.

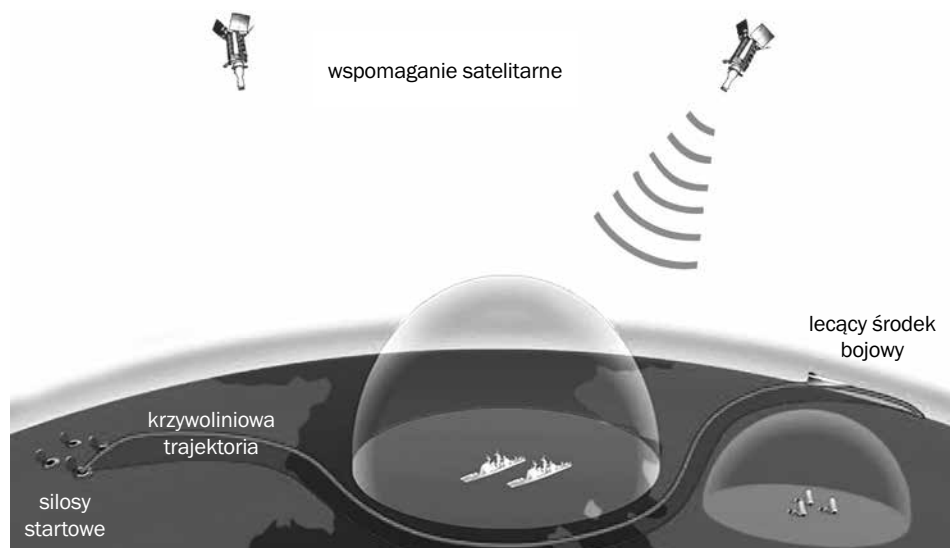
Advanced Hypersonic Weapon (AHW) to część programu natychmiastowego globalnego uderzenia (Prompt Global Strike – PGS)¹¹. Założono w nim rażenie dowolnego obiektu na kuli ziemskiej w czasie nie dłuższym niż godzina i uniemożliwienie stronie atakowanej skutecznej obrony. Elementami składowymi systemu mają być: pociski raketowe typu ICBM wyrzeliwane z powierzchni ziemi lub z okrętów podwodnych; bojowe środki hipersoniczne odpalane z nosicieli (statków powietrznych) lub z okrętów podwodnych (np. Boeing X-51

8 Autonomiczny w rozumieniu wykonywania lotu za pomocą systemów kierowania bez ingerencji człowieka.

9 Kompozyt – materiał konstrukcyjny złożony z komponentów (składników). Jako jego podstawowe składniki przyjmuje się osnowę i wzmocnienie. Osnowa jest ciągłym składnikiem struktury kompozytu, w którym rozmieszcza się elementy wzmocnienia. Jest to jednolity materiał wypełniający przestrzeń między elementami wzmocniającymi, jednocześnie stanowiący ich spoinę. Jej dodatkową rolą jest ochrona materiału wzmocniającego przed czynnikami zewnętrznymi, przenoszenie na niego naprężeń zewnętrznych i nadawanie pożądanego kształtu wytworzonej części. Drugim z podstawowych składników kompozytu jest wzmocnienie, czyli element nośny odpowiadający za ukształtowanie pozostałych materiałów. A. Boczkowska, G. Krześciński, *Kompozyty i techniki ich wytwarzania*, Warszawa 2016.

10 X-51A Waverider, United States Air Force [online], 2.03.2011, <https://www.af.mil/About-Us/FactSheets/Display/Article/104467/x-51a-waverider/>.

11 *Advanced Hypersonic Weapon (AHW)*, GlobalSecurity.org [online], 23.12.2018, <https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/ahw.htm> [dostęp: 3.08.2019].



Rys. 1. Trajektoria pocisku hipersonicznego HTV-2 Falcon i jej charakterystyczne fazy

Opracowanie własne autora

Waverider czy AHW) oraz broń kinetyczna¹² stosowana z platform umieszczonych na orbitach okołozemskich.

Środek AHW ma być bronią konwencjonalną przeznaczoną do rażenia celów o dużym znaczeniu strategicznym. Stanowi bezpłat¹³ w kształcie stożka, na którego końcach znajdują się stabilizatory o niewielkiej powierzchni. Wykonany jest ze stopów: aluminium, tytanu, stali, tantalu, wolframu, włókien węglowych, ditlenku krzemu oraz w niewielkim stopniu chromu i niklu. Do zasilania pocisku wykorzystano trzy ogniwa litowo-jonowe oraz pięć hybrydowych baterii niklowo-magnezowych. Oczekuje się, że będzie on osiągał zasięg 6 tys. km w ciągu 35 min. Zespół napędowy ma się składać z trzech kolejno odrzucanych podczas lotu silników oraz elektronicznego systemu kontroli zespołu napędowego¹⁴.

Hypersonic Technology Vehicle 2 Falcon (HTV-2 Falcon) jest bezzałogowym statkiem powietrznym o przeznaczeniu bojowym, osiągającym prędkość do $Ma = 20$. Opracowała go i rozwija amerykańska Agencja Zaawansowanych Obronnych Projektów Badawczych (DARPA).

Trajektoria HTV-2 Falcon obejmuje kilka następujących po sobie faz (rys. 1).

W pierwszej fazie lotu zasadniczy środek jest wynoszony w przestrzeń kosmiczną przez raketę i osiąga apogeum. W drugiej fazie trajektorii zasadnicza jego część oddziela się od

12 Broń kinetyczna – środek walki wykorzystujący do rażenia dużą ilość energii kinetycznej w stosunkowo krótkiej jednostce czasu.

13 Bezpłat – obiekt powietrzny lub kosmiczny nieposiadający powierzchni nośnych i niewytwarzający siły nośnej. Do ruchu postępowego wykorzystuje stałe lub odrzucane podczas lotu zespoły napędowe.

14 *Advanced Hypersonic Weapon (AHW)*, Army Technology [online], 23.12.2018, <https://www.army-technology.com/projects/advanced-hypersonic-weapon-ahw>[dostęp: 3.08.2019]; D. Wymer, *Advanced Hypersonic Weapon Flight Test Overview to the Space & Missile Defense Conference* [dostęp: 3.08.2019].

nosiciela i powraca do przestrzeni powietrznej. Dalsza część lotu, wspomaganego przez globalny system nawigacji satelitarnej (GPS)¹⁵, jest lotem ślizgowym¹⁶. W ostatniej fazie przyszłościowy środek bojowy może razić cel powierzchniowy.

HTV-3X stanowi część programu „Blackswift”, realizowanego przez agencję DARPA, bazującego na doświadczeniach z prac nad HTV-2. W programie założono, że zostanie zbudowany bezałogowy środek hipersoniczny rozmiarami geometrycznymi zbliżony do samolotu bojowego, zdolny do startu i wielokrotnego lądowania na lotniskach, osiągający prędkość $Ma = 6$.

Prędkość hipersoniczną zapewni odrzutowo-strumieniowy zespół napędowy typu TBCC¹⁷. Do operacji lądowania obiektu oraz jego startu ma być użyty silnik odrzutowy, który będzie pracował do osiągnięcia przez obiekt prędkości $Ma = 4$. Gdy osiągnie on większą prędkość, mechanicznie zostanie zamknięty kanał przepływu napędu odrzutowego i zainicjowana praca napędu strumieniowego¹⁸. Po zmniejszeniu prędkości poniżej $Ma = 4$ otwór wlotowy otworzy się i zacznie pracować napęd odrzutowy, aż do wylądowania obiektu na lotnisku.

Celem budowy środka hipersonicznego HTV-3X jest także wykonanie testów oraz uzyskanie wyników eksperymentalnych niezbędnych do budowy przyszłościowych obiektów hipersonicznych: aerodynamiki kształtu obiektów hipersonicznych, lekkich i trwałych materiałów konstrukcyjnych odpornych na wysokie temperatury, technologii aktywnego chłodzenia zespołu napędowego oraz autonomicznego systemu kontroli lotu¹⁹.

Obecnie najszybszym środkiem hipersonicznym jest **Boeing X-37B**, zwany także orbitalnym obiektem/pojazdem badawczym (Orbital Test Vehicle – OTV). Ten bezałogowy wahadłowiec służy do przeprowadzania testów technologii kosmicznych.

W przestrzeń kosmiczną wynosi X-37B dwustopniowa rakieta nośna. Pierwszy stopień nosiciela – Atlas V – ma wysokość 58,3 m i jest napędzany jednym silnikiem raketowym z dwiema dyszami wylotowymi. Drugi stopień, tzw. Centaur, o wysokości 12,68 m zawiera zasadniczy obiekt, czyli X-37B, oraz bezpośrednio związany z nim zespół napędowy RL-10A-4-2. W zespolonym zespole napędowym znajduje się kriogeniczny materiał napędowy²⁰ – mieszanka ciekłego wodoru z ciekłym tlenem. Na czas wynoszenia w przestrzeń kosmiczną zasadniczy ładunek i zespół napędowy chroni balistyczny czepiec²¹, który odłącza się i uwalnia

15 Global Positioning System – Navigation Signal Timing And Ranging – GPS–NAVSTAR.

16 P. Erbland, *Falcon HTV-2 (Archived)*, DARPA [online], <https://www.darpa.mil/program/falcon-htv-2> [dostęp: 8.03.2019].

17 J. Walker, *Falcon Technology Demonstration Program HTV-3X Blackswift Test Bed*, 2008, s. 1.

18 D.R. Greatrix, *Air-Breathing Rocket Engines...*, op.cit., s. 1068.

19 J. Walker, *Falcon Technology Demonstration Program HTV-3X Blackswift Test Bed...*, op.cit., s. 2–3.

20 Kriogeniczny materiał napędowy – skondensowane, schłodzone do stanu ciekłego gazy będące produktami spalania, niezbędne do wytworzenia ciągu przez raketowy zespół napędowy. Dzięki kondensacji oraz małej masie cząsteczkowej skondensowanych gazów uzyskuje się duży stosunek energii spalania do masy paliwa. Zazwyczaj w tego typu rozwiązaniach jako paliwo stosuje się ciekły wodór (LH_2) o temperaturze wrzenia wynoszącej $-253^\circ C$. Utleniaczem najczęściej jest ciekły tlen (LO_2), którego temperatura wrzenia wynosi $-161^\circ C$.

21 Czepiec balistyczny – ostrołukowa lub stożkowa przednia część pocisku, obiektu powietrznego lub kosmicznego mająca na celu zmniejszenie oporu powietrza, gdy poruszający się obiekt nie ma dogodnych warunków aerodynamicznych. Zazwyczaj jest wykonany z cienkościennego materiału o bardzo dobrych właściwościach wytrzymałości termicznej i mechanicznej. Gdy obiekt kosmiczny zostanie wyniesiony w przestrzeń kosmiczną, ulega defragmentacji w celu uwolnienia wynoszonego obiektu.

wahadłowiec w przestrzeni kosmicznej po osiągnięciu przez rakietę nośną apogeum. Obydwa stopnie rakiety nośnej są połączone łącznikiem międzystopniowym.

Zasadniczy środek – X-37B – jest zbudowany z kadłuba o spłaszczonej części spodniej oraz powierzchni nośnych w postaci skrzydeł w układzie dolnopłata. Taka budowa pozwala na osiągnięcie optymalnej powierzchni nośnej obiektu. Na końcach skrzydeł znajdują się wychylne powierzchnie sterowe, służące do nadawania kierunku ruchu. W części tylnej kadłuba obiekt ma dwa stateczniki pionowe ustawione pod kątem około 45° do powierzchni płatów nośnych.

Ochronę termiczną X-37B zapewniają prostopadłościowe płytki wykonane z ultraczystych amorficznych włókien krzemionkowych (tzw. Q-fibers), wypełnione wewnątrz powietrzem (94% objętości). Są one skuteczne do temperatury 1357°C²². Umieszcza się je na powierzchniach obciążonych termicznie – na spodniej części skrzydeł i kadłuba, statecznikach pionowych, krawędziach natarcia skrzydeł i stateczników pionowych, części dziobowej kadłuba oraz w pobliżu głównego zespołu napędowego.

W przedniej i tylnej części kadłuba znajdują się silniki manewrujące systemu sterowania reakcyjnego RCS (Reaction Control System). Służą do sterowania położeniem obiektu kosmicznego w sytuacji, gdy na powierzchni sterowe nie działają siły aerodynamiczne. Zasilane są energią słoneczną oraz paliwem ksenonowym. W przedniej, dziobowej części X-37B umieszczono awionikę²³ oraz systemy monitorowania środowiska zewnętrznego. Zbierają one dane o otoczeniu wahadłowca. Awionika obejmuje także autonomiczny system kierowania obiektem, który zarządza pracą urządzeń hydraulicznych i elektromagnetycznych osadzonych na powierzchni statku kosmicznego.

Pozycjonowanie obiektu oraz pomoc nawigacyjną podczas operacji lądowania zapewnia globalny różnicowy system nawigacji satelitarnej – dGPS (Differential Global Positioning System)²⁴. Zastosowano go ze względu na konieczność zwiększenia dokładności pomiarów i wskazania dokładnej pozycji obiektu za pomocą techniki różnicowej. Polega ona na wykorzystaniu poprawek transmitowanych przez stację referencyjną, której pozycja jest dokładnie określona i znana. Stacja referencyjna systemów różnicowych składa się z: odbiornika GPS, układu przetwarzania danych, czyli wyznaczania poprawek i tworzenia informacji nawigacyjnej, oraz z nadajnika poprawek²⁵.

W centropłacie znajduje się otwierany przedział ładunkowy o objętości około 2,5 m³. Umieszczane są w nim ładunki (np. wymienne części satelitów) przenoszone w przestrzeń kosmiczną oraz wyposażenie służące do przeprowadzania badań naukowych. Zakłada się, że będzie można w nim przenosić także uzbrojenie przewidziane do ulokowania w przestrzeni powietrznej.

22 S.M. Lee, *Handbook of Composite Reinforcements*, Hoboken 1992, s. 114.

23 Awionika – wyposażenie pokładowe statków powietrznych i kosmicznych stanowiące zespół systemów i przyrządów elektronicznych (*Ilustrowany leksykon lotniczy. Osprzęt i radioelektronika* 1990, s. 26) służących do sterowania, nawigacji oraz zobrazowania informacji.

24 A.C. Grantz, *X-37B Orbital Test Vehicle and Derivatives*, AIAA SPACE 2011 Conference & Exposition 27 – 29 September 2011, Long Beach, California 2011, s. 4, [online], wersja HTML pliku, <https://pdfs.semanticscholar.org/b3f5/f5df7f1e8df80876cd8ff6c0fac1c04059ce.pdf/>.

25 J. Narkiewicz, *Globalny system pozycyjny GPS. Budowa, działanie, zastosowanie*, Warszawa 2003.

Przestrzeń ładunkowa X-37B oddziela zbiornik z naftą lotniczą JP-8 (oznaczenie NATO: F-34), znajdujący się w przedniej części środka hipersonicznego, od zbiornika z utleniaczem (nadtlenkiem wodoru), usytuowanego w tylnej części kadłuba.

W przedziale ładunkowym umieszczono także ogniwa fotowoltaiczne, rozkładane poza wahadłowcem, służące do generowania energii pochodzącej z promieni słonecznych. Energią tą w dużym stopniu są zasilane silniki manewrujące. Główny zespół napędowy wahadłowca, oznaczony AR2-3, znajduje się w jego tylnej części i jest wyposażony w jedną, umieszczoną nieosiowo, dyszę wylotową. Nad głównym zespołem napędowym przewidziano hamulec aerodynamiczny do ograniczania prędkości, szczególnie podczas lądowania wahadłowca.

Francuska broń hipersoniczna

Francja rozwija tylko jeden środek hipersoniczny – bojowy pocisk raketowy średniego zasięgu **ASN4G** klasy powietrze–ziemia (p–z). Jego poprzednikiem był lotniczy pocisk raketowy ASMP, opracowany na początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Stanowił on element odstraszania atomowego (force de frappe), ponieważ można było wyposażać go w głowicę nuklearną. Francuzi potrzebowali precyzyjnego bojowego środka lotniczego, skuteczniejszego niż klasyczne bomby lotnicze. Ich mała efektywność wynikała z niemożności zabudowania urządzeń naprowadzających oraz łatwości zestrzelenia nosiciela.

Pocisk współczesnej wersji – ASMP – A (Air-Sol Moyenne-Portée – Amélioré) jest napędzany silnikiem typu ramjet, umożliwiającym osiągnięcie prędkości $Ma = 3$ i zasięgu do 600 km od miejsca odpalenia. Został on wyposażony w głowicę termojądrową TN-81 o ekwiwalencie trotylowym ładunku jądrowego²⁶ wynoszącym maksymalnie 300 kt. Może go przetranszować, między innymi, samolot bojowy Dassault Rafale.

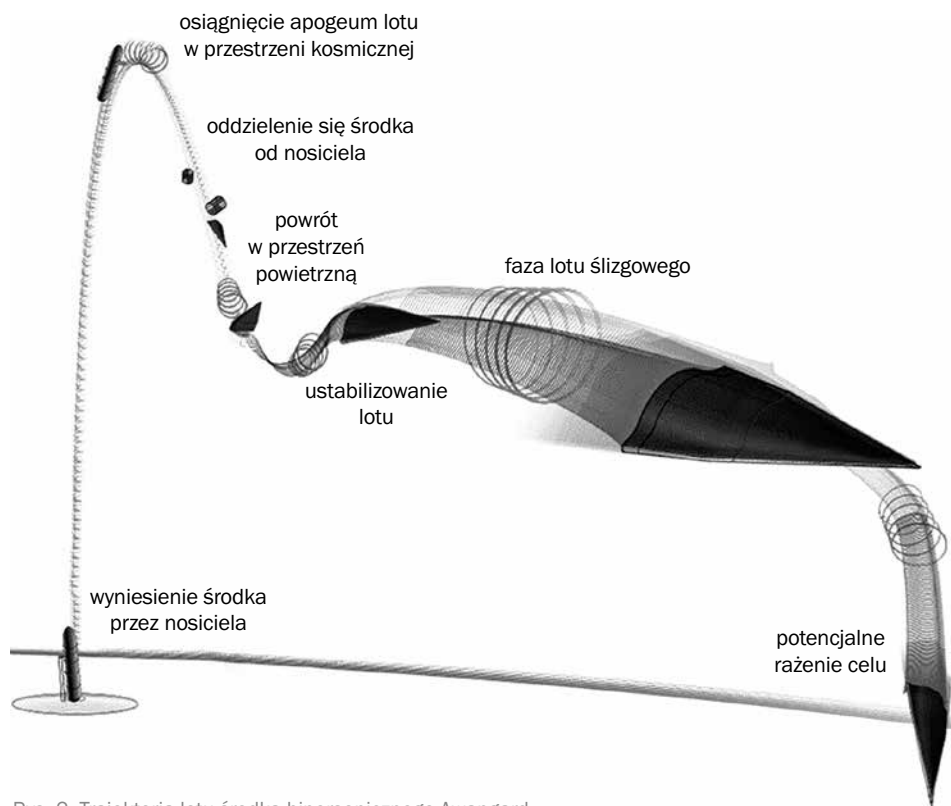
Następca ASN4G ma być zdolny do osiągnięcia prędkości hipersonicznych $Ma = 7$ do 8 oraz charakteryzować się mniejszą wykrywalnością. Jego gotowość operacyjną producent przewiduje na 2035 rok²⁷.

Środki hipersoniczne Federacji Rosyjskiej

Rosjanie opracowują broń o nazwie **Awangard**, zwaną również Yu-71, Yu-74, opartą na koncepcji MIRV jako zasadniczego elementu programu o kryptonimie 4202. Środek może przenosić głowicę konwencjonalną oraz nuklearną o równoważniku trotylowym ładunku jądrowego 2 Mt. Może być użyty do przełamania obrony raketowej przeciwnika oraz rażenia ważnych celów strategicznych. Wyróżnia go zdolność do wykonywania lotu ślizgowego, co przekłada się na możliwość odbywania lotów suborbitalnych oraz zwiększenie jego zasięgu. Zapewniają ją zespół napędowy typu scramjet oraz powierzchnie nośne. Dzięki wspomaga-

26 Ekwiwalent/równoważnik trotylowy ładunku jądrowego – podstawowy parametr broni jądrowej; oznacza masę trójnitoluenu (trotylu), przy którego wybuchu wydzieli się taka sama ilość energii jak przy wybuchu danego ładunku. S. Torecki, *1000 słów o broni i balistyce*, Warszawa 1982, s. 75, 142. Wyrażany jest w kilotonach (kt) oraz ich kolejnych wielokrotnościach – megatonach (Mt), gigatonach (Gt) i teratonach (Tt).

27 L. Lagneau, *L'ASN4G sera le futur missile des forces aériennes stratégiques*, Zone Militaire [online], 21.11.2014, <http://www.opex360.com/2014/11/21/lasn4g-sera-le-futur-missile-des-forces-aeriennes-strategiques/>.



Rys. 2. Trajektoria lotu środka hipersonicznego Awangard

Opracowanie własne autora

niu trajektorii lotu przez systemy satelitarne Awangard może omijać wrogie systemy antybalistyczne – wykonywać lot poza ich zasięgami oddziaływania (rys. 2).

Jako nosicieli zasadniczego środka przewidziano rakiety nośne typu ICBM, takie jak: UR-100UTTKh, R-36M2 oraz ciężki międzykontynentalny środek balistyczny RS-28 Sarmat.

System Awangard został przetestowany 26 grudnia 2018 roku. Rakieta nośna wystrzelona z bazy rosyjskich sił powietrznych Dombarovsky miała razić cel na poligonie Kura na Kamczatce. Osiągnęła prędkość wysokohipersoniczną wynoszącą około $Ma = 27$. Zdaniem rosyjskiego prezydenta Władimira Putina, pozytywny wynik testu potwierdza dużą zdolność do użycia tej nowej broni strategicznej. Ma być ona rozmieszczona w południowo-zachodniej części Federacji Rosyjskiej. Wejdzie do wyposażenia rosyjskich sił zbrojnych jeszcze w tym roku²⁸ jako jeden z sześciu elementów nowego syste-

28 M. Klimentyev, *Putin says Russia ready to deploy new hypersonic nuclear missile*, Reuters [online], 26.12.2018, <https://www.reuters.com/article/us-russia-putin-nuclear/putin-says-russia-is-ready-to-deploy-new-hypersonic-nuclear-missile-idUSKCN10P0NZ> [dostęp: 8.03.2019].

mu broni strategicznej, obejmującego²⁹: środki bojowe wyposażone w głowice jądrowe; międzykontynentalny pocisk balistyczny SS-28 Sarmat; międzykontynentalny bezzałogowy autonomiczny atomowy okręt podwodny Kanyon/Status-6; hipersoniczny lotniczy pocisk raketowy 3M22 Zircon klasy powietrze–głębina wodna (p–gw), służący do rażenia celów powierzchniowych oraz okrętów podwodnych będących w zanurzeniu; wysokoenergetyczną broń laserową [high energy laser (HEL) weapons] do rażenia bezzałogowych systemów powietrznych (także w formacji roju), statków powietrznych na dużym pułapie, elementów systemów satelitarnych oraz do walki radioelektronicznej, a także system Awangard.

AS-X-19 Koala (inna nazwa: P-750 Meteorit) jest to lotniczy strategiczny pocisk raketowy klasy powietrze–ziemia, kierowany środkiem manewrującego typu ALCM (Air Launched Cruise Missile)³⁰. Może przenieść dwie głowice atomowe wyposażone w niezależne urządzenia naprowadzające, i naprowadzić je na cel w odległości do 5000 km od nosiciela. Głowice zapewniają rażenie celów oddalonych maksymalnie 100 km od siebie. AS-X-19 został wyposażony w silnik turbodrzutowy RD-0242 na paliwo ciekłe z dopalaniem (KR-93 na paliwo stałe), który w ciągu około 32 s może rozpędzić pocisk do prędkości $Ma = 5$.

Do kierowania pociskiem służy bezwładnościowy system nawigacji – INS. Koryguje on lot w środkowej części trajektorii na podstawie danych o celu aktualizowanych za pomocą łącza transmisji danych. W komputerze pokładowym pocisku są zapisane mapy otoczenia strefy atakowanego celu. Ochronę AS-X-19 zapewniają system przeciwwzakłóceńowy (anti-jamming protector) oraz warstwa częściowo pochłaniająca fale wysyłane przez stacje radiolokacyjne³¹.

Nosicielami tego środka hipersonicznego mogą być ponaddźwiękowy strategiczny samolot bombowy Tu-160M oraz strategiczny samolot bombowy dalekiego zasięgu Tu-95.

3M22 Zircon to lotniczy pocisk raketowy klasy powietrze–głębina wodna przeznaczony do rażenia okrętów podwodnych w zanurzeniu. Rozwija go rosyjskie przedsiębiorstwo NPO Maszynostrojenie w ramach programu eksperymentalnego hipersonicznego środka latającego – HELA (Hypersonic Experimental Flying Vehicle).

Zespół napędowy obejmuje dwa stopnie: pierwszy – silnik zasilany stałym materiałem pędnym rozpędzający środek do prędkości naddźwiękowej, drugi – typu scramjet (objęty ochroną patentową – patent nr RU 2579409) zasilany stałym materiałem pędnym. Taki układ pozwala na osiągnięcie optymalnej prędkości hipersonicznej wynoszącej około $Ma = 6$. Szacuje się, że zasięg pocisku będzie wynosił około 1000 km, a pułap do 30 km. 3M22 Zircon ma się poruszać po trajektorii zbliżonej do toru balistycznego. Ochronę stanowi zjonizowana materia w postaci gazu – plazma (plazma *stealth*) emitowana z przedniej części pocisku.

29 J. Trevithick, *Here's The Six Super Weapons Putin Unveiled During Fiery Address*, The Drive [online] 11.03.2018, <http://www.thedrive.com/the-war-zone/18906/heres-the-six-super-weapons-putin-unveiled-during-fiery-address> [dostęp: 8.03.2019].

30 F. von Hippel, R.Z. Sagdeev, *Reversing the Arms Race: How to Achieve and Verify Deep Reductions in the Nuclear Arsenal*, Montreux 1990, s. 183.

31 C. Lardier, S. Barensky, *The Proton Launcher: History and Developments*, John Wiley & Sons 2018, s. 25.

Absorbuje ona promieniowanie elektromagnetyczne wysyłane przez stacje radiolokacyjne, tym samym znacząco zmniejsza możliwość wykrycia pocisku³².

Podczas testów – w kwietniu 2017 roku i 10 grudnia 2018 roku – środek osiągnął prędkość około $Ma = 8$. Podczas drugiego testu z powodzeniem rażą z prędkością hipersoniczną nominowany wcześniej cel morski³³. Pocisk ma unieszkodliwiać głównie okręty podwodne w zanurzeniu oraz cele powierzchniowe³⁴.

Jako nosiciele 3M22 Zircon wskazywane są rosyjskie samoloty – ponaddźwiękowy strategiczny samolot bombowy Tu-160M2 Blackjack oraz strategiczny samolot bombowy piątej generacji PAK-DA³⁵.

Indyjskie środki hipersoniczne

Indyjska Organizacja Badań i Rozwoju Obronnego (Defence Research and Development Organisation – DRDO) oraz rosyjskie przedsiębiorstwo sektora kosmicznego NPO Maszynostroje rozwijają na zasadzie *joint venture* pocisk hipersoniczny **BrahMos-II**³⁶. Jego nazwę utworzono od pierwszych sylab nazw rzek – Brahmaputry i Moskwy.

BrahMos-II stanowi rozwinięcie pocisku BrahMos wersji A – manewrującego środka bojowego klasy powietrze–woda (p–w) przeznaczonego do rażenia obiektów nawodnych³⁷, w tym lotniskowców³⁸. Zasadniczy zespół napędowy pocisku tej wersji – napęd strumieniowy typu ramjet – jest napędzany paliwem ciekłym. Dzięki takiej konstrukcji BrahMos zyskał status najszybszego lotniczego pocisku manewrującego na świecie³⁹, zdolnego do osiągnięcia prędkości około $Ma = 2,8$ do 3.

Profil lotu BrahMos jest programowany jeszcze przed jego użyciem i wprowadzany do komputera pokładowego. Zakłada dwie trajektorie – lot na dużej i małej wysokości. Dla pierwszego profilu pułap wynosi 15 km, przy czym pocisk zmniejsza wysokość do 10–15 m w odległości około 40 km przed celem. Taka trajektoria pozwala na zwiększenie zasięgu nawet do 290 km i sprzyja zmniejszeniu wykrywalności. Drugi profil oznacza lot na małej, kilkunastometrowej wysokości z mniejszą prędkością i zasięgiem wynoszącym maksymalnie 120 km.

32 N. Kumar, S.R. Vadera, *Stealth Materials and Technology for Airborne Systems*, w: N.E. Prasad, R.J.H. Wanhill (red.), *Aerospace Materials and Material Technologies : Volume 1: Aerospace Materials*, Singapore 2017, s. 532.

33 A. Macias, *Russia again successfully tests ship-based hypersonic missile – which will likely be ready for combat by 2022*, CNBC [online], 20.12.2018, <https://www.cnbc.com/2018/12/20/russia-tests-hypersonic-missile-that-could-be-ready-for-war-by-2022.html> [dostęp: 8.03.2019].

34 J. Trevithick, *Here's The Six Super Weapons Putin Unveiled During Fiery Address...*, op.cit.

35 G.B. Johansson, *Vladimir Putin: A Geostrategic Russian Icon: A Eurasian Continent: A Russian Superpower: A Charismatic World Leader*, Lulu 2017, s. 65–66.

36 Stosunek udziałów Indii i Rosji w *joint venture* wynosi odpowiednio 50,5/49,5.

37 Środki do zwalczania obiektów nawodnych (także podwodnych) nazywa się pociskami przeciwookrętowymi. B. Grenda, R. Bielawski, *Rozwój lotniczych środków rażenia...*, op.cit., s. 73.

38 Lotniskowiec – okręt przeznaczony do prowadzenia operacji bojowych z użyciem bazujących na jego pokładzie statków powietrznych, głównie samolotów bojowych.

39 M.J. Dougherty, *Nowoczesne uzbrojenie lotnicze. Podwieszenia–tatyka–technika*, Brema 2010, s. 201.

Autonomiczny system kierowania pocisku w pierwszej fazie wykorzystuje system INS, później tryb pasywno-aktywny, naprowadzając się na źródło promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez okręt. W razie niewykrycia takich fal głowica przechodzi do aktywnego trybu radarowego. Po namierzeniu celu jest aktywowany tryb pasywny, a tuż przed namierzonym obiektem ponownie włącza się system aktywny, który potwierdza jego parametry. Trajektoria lotu w płaszczyźnie poziomej zmienia się – zatacza krzywoliniowe tory typu S (S-manoeuvre). W ten sposób są minimalizowane zakłócenia skierowane w stronę pocisku. BrahMos może być aktywowany z platformy powietrznej, a także wyrzeliwany przez środki naziemne, nawodne i podwodne.

Następca tego środka – hipersoniczny pocisk lotniczy BrahMos-II – został oparty na koncepcji dużej efektywności ekonomicznej (cost-effectiveness), czyli osiągnięcia pożądanego efektu przy wykorzystaniu jak najmniejszej ilości posiadanych zasobów. Dlatego w odniesieniu do nowo budowanego środka przyjęto następujące założenia⁴⁰: użycie nowych technologii; zastosowanie koncepcji badań i rozwoju (B+R) – R&D (Research and Development); szczegółowe rozdzielenie warunków: prędkości, niezawodności, zdolności i operacyjności; łatwość obsługi i uwzględnienie czasu przestoju (nieprzydatności do pracy); ograniczenie niezamierzonych strat i zniszczeń (collateral damage⁴¹) oraz zjawiska zwiększenia zagrożenia (strachu) poza dopuszczalny próg; uniwersalność środka pod względem użycia go z różnych platform (nosicieli); wydłużenie czasu trwałości środka; zdolność do użycia w walce sieciocentrycznej⁴² oraz do nominowania więcej niż jednego celu z użyciem w opcji salwy.

W koncepcji budowy pocisku BrahMos-II przyjęto, że zostanie on wyposażony w napęd strumieniowy typu scramjet, pozwalający na osiągnięcie prędkości około $Ma = 7$ oraz zasięgu nie mniejszego niż 300 km⁴³. Ostateczny produkt już w niedalekiej przyszłości ma stanowić uzbrojenie między innymi samolotów bojowych Su-30MKI, a także samolotów bombowych Tu-95MS oraz Tu-160⁴⁴. Jedną z koncepcji rozwojowych zakłada budowę środka BrahMos-II jako bojowego bezzałogowego statku powietrznego (Unmanned Combat Aerial Vehicle –UCAV), zdolnego do wykonania lotu hipersonicznego, zrzucenia właściwego ładunku bojowego oraz powrotu do miejsca startu.

Propozycją rozwoju broni hipersonicznej jest również **Shaurya** – taktyczny środek hipersoniczny opracowywany przez Organizację Badań i Rozwoju Obronnego na potrzeby sił zbrojnych Indii. Składa się on z dwóch stopni nośnych i jest zdolny do wykonania lotu manewrowego w celu uniknięcia systemów obrony przeciw środkom napadu powietrznego.

40 M. Chansoria, *India's Integrated Guided Missile Development Programme: The BrahMos Way*, 2008, s. 202.

41 *Collateral damage* – określa przypadkowe ofiary i zniszczenia w obszarach cywilnych spowodowane działaniami militarnymi. AAP-6. *Słownik terminów i definicji NATO zawierający wojskowe terminy i ich definicje w NATO*, 2014, s. 93.

42 Walka sieciocentryczna (Network-Centric Warfare – NCW) – koncepcja prowadzenia operacji zakładająca przewagę informacyjną. Siłę bojową zwiększa się dzięki połączeniu w sieć informacyjną sensorów, decydentów i systemów walki w celu osiągnięcia wspólnej świadomości, zwiększenia szybkości dowodzenia, a także tempa operacji, skuteczności uzbrojenia, odporności na uderzenia przeciwnika oraz stopnia synchronizacji działań. B. Grenda, *Śieciocentryczne zarządzanie Siłami Powietrznymi*, „Journal of KONBiN” 2011 t. 3 nr 19, s. 301.

43 A. Lele, *Disruptive Technologies for the Militaries and Security*, Singapore 2018, s. 64.

44 J.S. Bajwa, *Indian Defence Review*, Lancer Publishers LLC 2017.

Shaurya ma sześć napędów zasilanych stałym materiałem pędym, zapewniających czas lotu w przedziale 500–700 s oraz osiągnięcie prędkości do $Ma = 7,5$.

System kierowania i naprowadzania tego środka hipersonicznego na cel został opracowany przez Indyjski Regionalny System Nawigacji Satelitarnej (IRNSS). Do budowy wykorzystano nowe technologie, między innymi przyspieszeniometer i żyroskop laserowy typu RLG (Ring Laser Gyroscope). Żyroskop wykrywa ruch obrotowy ciał i mierzy ich prędkość kątową, zatem znacząco zwiększa czułość i dokładność kierowania środkiem. System naprowadzania pocisku na cel jest aktywowany około 20–30 m przed obszarem rażenia celu. Wykorzystanie nowych technologii w systemie kierowania i naprowadzania pozwala na uzyskanie parametru CEP⁴⁵ wynoszącego 40 m⁴⁶.

W celu maskowania przed elementami rozpoznania radiolokacyjnego i satelitarnego pocisk Shaurya jest przechowywany i transportowany w specjalnej kompozytowej obudowie z charakterystycznym kamuflażem. W dennej części obudowy znajduje się gazogenerator – pierwszy z sześciu napędów pocisku. W ciągu 1,3–1,5 s wytwarza on wysokie ciśnienie, wskutek czego pocisk odłącza się od obudowy. Do transportu oraz wyniesienia pocisku raketowego jest wykorzystywany mobilny pojazd typu TEL (Transporter-Erector-Launcher). Do wnoszenia pocisku służą także podziemne silosy.

Broń hipersoniczna Chińskiej Republiki Ludowej

Prace nad środkami hipersonicznymi prowadzi także Chiny. We wczesnym stadium rozwojowym znajduje się **DF-ZF (Wu-14)** – hipersoniczny obiekt szybujący (Hypersonic Glide Vehicle – HGV), osiągający prędkość do $Ma = 10$ ⁴⁷. Może on być nosicielem broni jądrowej oraz konwencjonalnej. Jest zdolny do wykonywania precyzyjnych uderzeń jako przeciwokrętowy pocisk balistyczny (Anti-Ship Ballistic Missile – ASBM) przeznaczony do rażenia bojowych (uderzeniowych) grup lotniskowców (Carrier Strike Group – CSG). Środek może manewrować, przy czym tor jego lotu zawiera się w przestrzeni zarówno kosmicznej, jak i powietrznej, co pozwala na zwiększenie zasięgu. Wykonywanie lotów na granicy tych przestrzeni sprzyja zmniejszeniu wykrywalności DF-ZF, zwłaszcza przez obiekty przeznaczone

45 CEP (Circular Error Probably / Circular Error Probability) – w nomenklaturze balistycznej nazywany często zastępczym promieniem błędu lub promieniem błędu pięćdziesięcioprocentowego. W praktyce zwykle używa się angielskiego akronimu. CEP jest definiowany jako promień okręgu (wyrażony w metrach), w którym z prawdopodobieństwem $p=0,5$ uzyskane wyniki znajdują się wewnątrz tego okręgu. CEP stosuje się do dwuwymiarowego układu współrzędnych. Niekiedy po skrócie CEP spotyka się dwucyfrowy zapis wskazujący, dla jakiego prawdopodobieństwa jest liczony promień okręgu (błędu). Przykładowo CEP95 oznacza promień okręgu, wewnątrz którego z prawdopodobieństwem $p = 0,95$ znajdują się wyniki pomiarów. Jeśli nie ma cyfr lub jest zapis CEP50, dotyczy to prawdopodobieństwa $p = 0,5$. C. Widlak, *Porównanie wartości CEP (Circular Error Probably) obliczonych według różnych zależności podawanych w literaturze*, „Problemy Techniki Uzbrojenia” 2007 t. 36 nr 103, s. 137. Parametr ten jest obliczany analitycznie na podstawie wcześniejszych testów balistycznych.

46 S. Iqbal, *Pakistan's War Machine: An Encyclopedia of its Weapons, Strategy and Military Security*: Create Space Independent Publishing Platform 2018, s. 217; S. Joshi, *Indian Power Projection: Ambition, Arms and Influence*, Taylor & Francis 2017, s. 71.

47 A. Lele, *Disruptive Technologies for the Militaries and Security...*, op.cit., s. 63.

czony do zwalczania pocisków balistycznych EKV (Exoatmospheric Kill Vehicle), zdolnych do kinetycznego niszczenia środków latających w środkowej i końcowej fazie ich lotu.

Hipersoniczny obiekt szybujący DF-ZF ma być wynoszony przez pocisk balistyczny średniego zasięgu Dong-Feng 21 (DF-21) lub międzykontynentalny pocisk balistyczny Dong-Feng 31 (DF-31). Użycie tego pierwszego pozwoli na osiągnięcie zasięgu uwolnionego środka w granicach 2–3 tys. km⁴⁸, natomiast wykorzystanie drugiego zapewni zasięg 8–12 tys. km.

Zakończenie

Prace nad środkami hipersonicznymi, w tym hipersonicznymi środkami bojowymi, są prowadzone w pięciu państwach: USA, Francji, Federacji Rosyjskiej, Indiach i Chinach. Amerykanie rozwijają takie konstrukcje, jak: bezzałogowy statek powietrzny Lockheed Martin SR-72, Boeing X-51 Waverider, Advanced Hypersonic Weapon (AHW), Hypersonic Technology Vehicle 2, HTV-3X oraz Boeing X-37B. Francuzi pracują nad lotniczym środkiem napadu powietrznego ASN4G, a Rosjanie nad trzema obiektami hipersonicznymi – systemem Awangard, pociskiem klasy powietrze–ziemia AS-19 Koala oraz pociskiem raketowym klasy powietrze–głębina wodna 3M22 Zircon. Hindusi rozwijają dwa środki hipersoniczne – BrahMos-II oraz Shaurya. Chińczycy pracują nad hipersonicznym obiektem szybującym DF-ZF.

W środkach hipersonicznych są stosowane najnowocześniejsze technologie, między innymi strumieniowe zespoły napędowe, które umożliwiają osiąganie nie tylko prędkości hipersonicznej, lecz także dużego zasięgu, często wynoszącego kilka tysięcy kilometrów. Wykorzystuje się również systemy ochrony termicznej typowe dla technologii kosmicznych, zbudowane z kosztownych metali konstrukcyjnych i ich stopów, o niskiej przewodności cieplnej oraz odporne na szoki termiczne, charakterystyczne dla szybkozmiennego termicznie środowiska powietrzno-kosmicznego. Systemy kierowania i naprowadzania są wyposażane w systemy nawigacji satelitarnej, takie jak globalny różnicowy system nawigacji satelitarnej, systemy inercyjne, a także w systemy lokalne, jak Indyjski Regionalny System Nawigacji Satelitarnej. Środki hipersoniczne o zastosowaniu bojowym mają w wyposażeniu konwencjonalne, termojądrowe oraz jądrowe głowice o wysokim ekwiwalencie trotylowym ładunku jądrowego. Nie mniej znaczące są systemy ochrony środków, takie jak pokrycia farbami absorpcyjnymi oraz aktywne systemy emisji plazmy czy systemy przeciwwzakłóceńowe.

Większość współczesnych środków hipersonicznych znajduje się we wczesnym stadium rozwoju, ale z zaawansowanymi koncepcjami ich budowy oraz przeznaczenia. Na podstawie pozytywnie przeprowadzonych testów balistycznych można sądzić, że część ich będzie zagrażała bezpieczeństwu państw, przeciwko którym może być użyta. W USA środki broni hipersonicznej mają stanowić element programu natychmiastowego globalnego uderzenia, zakładającego rażenie dowolnego celu na kuli ziemskiej w czasie nie dłuższym niż godzina.

Pod względem rozwoju oraz badań balistycznych najbardziej zaawansowane prace nad bronią hipersoniczną prowadzi Federacja Rosyjska. Jej system Awangard pozwala na osią-

48 A. Biswas, *China's WU-14 Nuclear Device: Impact on Deterrence Equation*, „IndraStra Global” 2015 nr 6, s. 3–5.

gnięcie prędkości przewyższającej prędkość wysokohipersoniczną. Środki te stanowią zasadnicze elementy nowo budowanego rosyjskiego systemu broni strategicznej. Są to okręty podwodne w zanurzeniu, lotniskowce oraz cele powierzchniowe o znaczeniu strategicznym.

Podsumowując, środki hipersoniczne, zwłaszcza o przeznaczeniu bojowym, nadal będą dynamicznie rozwijane i mogą stanowić duże zagrożenie bezpieczeństwa narodowego państw ze względu na możliwość rażenia celów o znaczeniu strategicznym. ■

Bibliografia

- AAP-6 (2014). *Słownik terminów i definicji NATO zawierający wojskowe terminy i ich definicje w NATO*, 2014.
- Advanced Hypersonic Weapon (AHW), Army Technology [online], 23.12.2018, <https://www.army-technology.com/projects/advanced-hypersonic-weapon-ahw/>.
- Advanced Hypersonic Weapon (AHW), GlobalSecurity.org [online], 23.12.2018, <https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/ahw.htm/>.
- Bajwa J.S., *Indian Defence Review*, Lancer Publishers LLC 2017.
- Bielawski R., *Wybrane zagadnienia z budowy statków powietrznych. Definicje, pojęcia i klasyfikacje*, Warszawa 2015.
- Bielawski R., Rządkowski W., Perz R., *Unmanned Aerial Vehicles in the protection of the elements of a country's critical infrastructure – selected directions*, „Security and Defence Quarterly” 2018 No. 22 (5).
- Biswas A., *China's WU-14 Nuclear Device: Impact on Deterrence Equation*. „IndraStra Global” 2015 nr 6.
- Boczkowska A., Krzesiński G., *Kompozyty i techniki ich wytwarzania*, Warszawa 2016.
- Chansoria M., *India's Integrated Guided Missile Development Programme: The BrahMos Way*, 2008.
- Dougherty M.J., *Nowoczesne uzbrojenie lotnicze. Podwieszenia – taktyka – technika*, Bremen 2010.
- Erbland P., *Falcon HTV-2 (Archived)*, DARPA [online], <https://www.darpa.mil/program/falcon-htv-2/>.
- Grant A.C., *X-37B Orbital Test Vehicle and Derivatives*, AIAA SPACE 2011 Conference & Exposition 27–29 September 2011, Long Beach, California 2011, s. 4 [online], wersja HTML pliku, <https://pdfs.semanticscholar.org/b3f5/f5df-7f1e8df80876cd8ff6c0fac1c04059ce.pdf/>.
- Greatrix D.R., *Air-Breathing Rocket Engines*, w: *Powered Flight: The Engineering of Aerospace Propulsion*, London 2012.
- Grenda B., *Siociocentryczne zarządzanie Siłami Powietrznymi*, „Journal of KONBiN” 2011 t. 3 nr 19.
- Grenda B., Bielawski R., *Rozwój lotniczych środków rażenia*, Warszawa 2017.
- Hippel F. von, Sagdeev R.Z., *Reversing the Arms Race: How to Achieve and Verify Deep Reductions in the Nuclear Arsenals*, Montreux 1990.
- Ilustrowany leksykon lotniczy. Osprzęt i radioelektronika*, Warszawa 1990.
- Iqbal S., *Pakistan's War Machine: An Encyclopedia of its Weapons, Strategy and Military Security*: Create Space Independent Publishing Platform 2018.
- Johansson G.B., *Vladimir Putin: A Geostategic Russian Icon: A Eurasian Continent: A Russian Superpower: A Charismatic World Leader*, Lulu.com 2017.
- Joshi S., *Indian Power Projection: Ambition, Arms and Influence*, Taylor & Francis 2017.
- Klimentyev M., *Putin says Russia ready to deploy new hypersonic nuclear missile*, Reuters [online], 26.12.2018, <https://www.reuters.com/article/us-russia-putin-nuclear/putin-says-russia-is-ready-to-deploy-new-hypersonic-nuclear-missile-idUSKCN10PONZ/>.

Środki hipersoniczne...

Kumar N., Vadera S.R., *Stealth Materials and Technology for Airborne Systems*, w: N. E. Prasad, R. J. H. Wanhill (red.), *Aerospace Materials and Material Technologies : Volume 1: Aerospace Materials*, Singapore 2017.

L. Lagneau, *L'ASN4G sera le futur missile des forces aériennes stratégiques*, Zone Militaire [online], 21.11.2014, <http://www.opex360.com/2014/11/21/lasn4g-sera-le-futur-missile-des-forces-aeriennes-strategiques/>.

Lardier C., Barenky S., *The Proton Launcher: History and Developments*, John Wiley & Sons 2018.

Lee S.M., *Handbook of Composite Reinforcements*, Hoboken 1992.

Lele A., *Disruptive Technologies for the Militaries and Security*, Singapore 2018.

Macias A., *Russia again successfully tests ship-based hypersonic missile – which will likely be ready for combat by 2022*, CNBC [online], 20.12.2018, <https://www.cnbc.com/2018/12/20/russia-tests-hypersonic-missile-that-could-be-ready-for-war-by-2022.html/>.

Narkiewicz J., *Globalny system pozycyjny GPS. Budowa, działanie, zastosowanie*, Warszawa 2003.

Torecki S., *1000 słów o broni i balistyce*, Warszawa 1982.

Trevithick J., *Here's The Six Super Weapons Putin Unveiled During Fiery Address*, The Drive [online], 11.03.2018, <http://www.thedrive.com/the-war-zone/18906/heres-the-six-super-weapons-putin-unveiled-during-fiery-address> [dostęp: 8.03.2019].

Walker J., *Falcon Technology Demonstration Program HTV-3X Blackswift Test Bed*, 2008 .

Widlak C., *Porównanie wartości CEP (Circular Error Probably) obliczonych według różnych zależności podawanych w literaturze*, „Problemy Techniki Uzbrojenia” 2007 t. 36 nr 103.

Wymer D., *Advanced Hypersonic Weapon Flight Test Overview to the Space & Missile Defense Conference*, SlidePlayer [online], <https://slideplayer.com/slide/1724238/>.

X-51A *Waverider*, United States Air Force [online], 2.03.2011, <https://www.af.mil/About-Us/FactSheets/Display/Article/104467/x-51a-waverider/>.