

Розвиток, бойове застосування та озброєння зенітних ракетних військ

УДК 623.4.011

DOI: 10.30748/nitps.2018.33.06

А.Б. Скорик, О.Д. Флоров, Є.В. Моргун, Д.В. Молчанов, О.В. Гречка, С.М. Шепелевич
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ І ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВИСОКОТОЧНОЮ ЗБРОЄЮ. СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

У статті розглядаються питання використання у перспективних системах високоточної зброї (ВТЗ) безплатформених інерціальних навігаційних систем, побудованих на основі застосування МЕМС-датчиків, кільцевих лазерних і волоконно-оптичних гіроскопів. Наводяться приклади використання нових датчиків у зразках ВТЗ, аналізуються їх технічні характеристики. Відзначаються складність топографічного забезпечення стрільб перспективної ВТЗ, особливості використання систем супутникової навігації та оптико-електронних систем в бойових умовах.

Ключові слова: МЕМС-датчики, лазерні гіроскопи, волоконно-оптичні гіроскопи, GPS, ГЛОНАСС, оптико-електронні системи, безплатформенні інерціальні навігаційні системи.

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. У роботі продовжується розгляд питань побудови та бойового застосування перспективних систем управління ВТЗ, піднятих в статті [1]. Слід зазначити, що в даний час існує проблема вибору найбільш перспективних технічних рішень при створенні систем ВТЗ і особливо застосування нових систем у взаємодії з існуючим озброєнням. При закупівлі частини устаткування і технологій на зовнішньому ринку виникає також проблема визначення можливості використання технологій подвійного призначення. Вимагають розгляду також питання висвітлення нових технологій розвитку засобів ВТЗ серед військових фахівців та представників промисловості.

Мета статті – провести аналіз особливостей побудови і застосування безплатформених інерціальних (БІНС) і оптико-електронних систем позиціонування, інтегрованих з системою супутникової навігації.

При написанні статті використовувалися дані розробників систем позиціонування [3–4], матеріали про використання відповідних технологій в зразках ВТЗ та оцінки експертів щодо ефективності застосування нових систем ВТЗ в сучасних умовах [5–10]. У статті також використані результати наукових досліджень, що проводяться на факультеті зенітних ракетних військ ХНУПС ім. І. Кожедуба в останні роки.

Основний матеріал

Академік Федосов Е.А. дав наступну характеристику ВТЗ: «Високоточна зброя – це, перш за все,

висока точність визначення координат ракети і координат цілі». Істотне місце в сучасних і перспективних системах управління високоточної зброї займає апаратура інерціальної навігації.

В якості автономних інерціальних систем до теперішнього часу використовують прецизійні платформи, кутове положення яких стабілізується в просторі з точністю до часток кутової хвилини. На платформі встановлюють прецизійні акселерометри, які визначають прискорення відразу в інерціальній системі координат. Головні переваги таких систем – висока точність, автономність і, як наслідок, скритність і перешкодозахищеність. Головні недоліки – це технологічні труднощі виготовлення і висока вартість. Прикладом побудування таких систем може служити інерціальна система управління 9Б627, використовувана в зенітній керованій ракеті (ЗКР) 9М83 зенітного ракетного комплексу (ЗРК) С-300В (рис. 1). Інерціальний базис формується в системі управління ракети на основі вимірів 3-х вільних гіроскопів, встановлених на рухомій основі. Інформація про нормальні прискорення і кутові швидкості отримується від 3-х акселерометрів і 4-х датчиків кутових швидкостей (ДКС). Датчики встановлені на блоці інерціальної системи управління (ІСУ), що має жорсткий зв'язок з корпусом ракети (саме тому інерціальна система названа безплатформенною). До старту ракети здійснюється розворот гіроплатформи в задану площину стрільби [3].

Одним з перших зразків ВТЗ п'ятого покоління може вважатися ЗКР «Ерінт», яка використовується в ЗРК «Patriot PAC3». В ракеті використовувався

розроблений фірмою «Сперрі» (в 1986 році «Сперрі» припинила своє існування під такою назвою, в результаті злиття з корпорацією «Барроуз» був утворений консорціум «Юнісіс») БІНС з триступневим лазерним гіроскопом. Маса БІНС становить 2,7 кг.

Цікавою є оцінка характеристик БІНС зразків ВТЗ 5-го покоління. У табл. 1 наведені характеристики датчиків систем позиціонування наступних зразків ВТЗ США:

- GMLRS (guided multiple launch rocket system) – керований снаряд для РСЗВ MLRS;
- Army TACMS (army tactical missile system) – керована ракета для РСЗВ MLRSA1 з дальністю стрільби до 300 км;

- PAC-3 – ЗКР використовується, в ЗКР «Patriot PAC3»;
- THAAD – ЗКР використовується в ЗКР THAAD;
- IPDS (improved position determining system) – поліпшена навігаційна система РСЗВ MLRS M270A1.

Більш повна інформація по акселерометрам QA1500, QA2000, RBA-500, виготовленим за МЕМС-технологіями, доступна на сайті компанії Honeywell [5].

Роботи зі створення БІНС для ВТЗ широко проводяться в Росії.

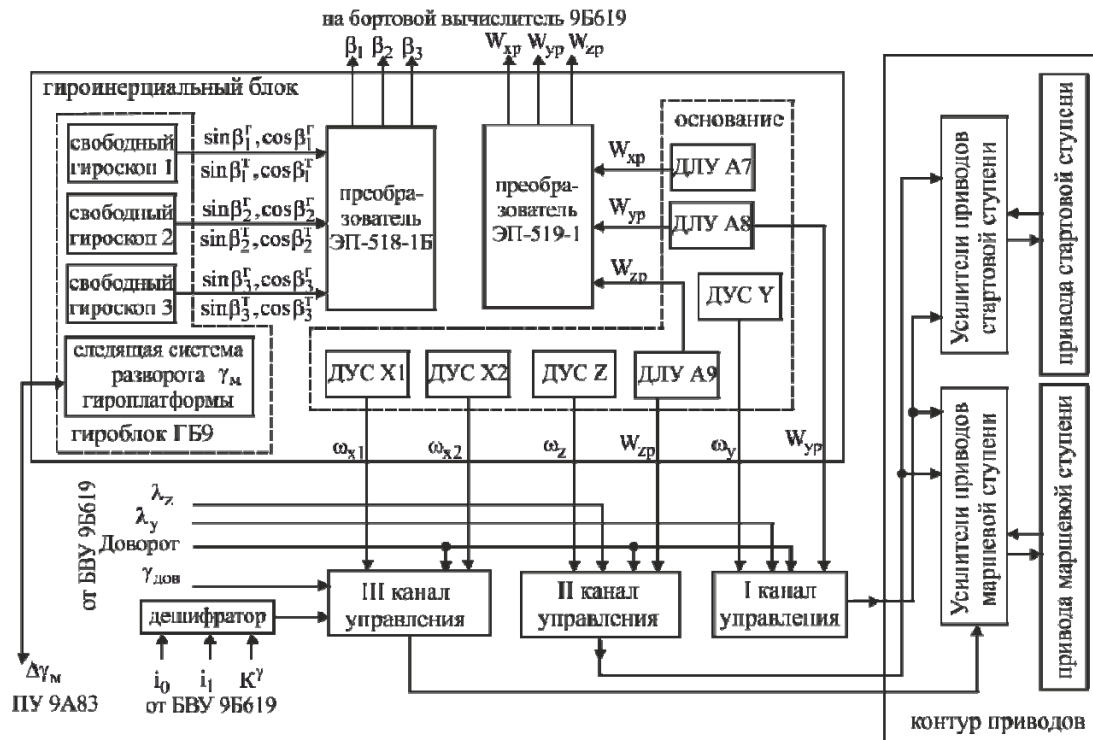


Рис. 1. Структурна схема інерціальної системи управління 9Б627

Таблиця 1

Технічні характеристики датчиків систем позиціонування ВТЗ США

System Name	Javelin	GMLRS	PAC-3	THAAD	Army TACMS	IPDS
гіроскоп	Multisensor	RLG/FOG	RLG	RLG	RLG	RLG
Зміщення нуля, °/час 1σ	80	1.0	2.0	1.0	0.02	0.004
Випадкове відхилення по кутах, °/√час 1σ	0.4	0.100	0.130	0.150	0.005	0.002
Нестабільність масштабного коефіцієнта (ppm, 1σ)	7100	100	300	120	10	5.0
акселерометр	N/A	μmachined	QA1500	RBA-500	QA2000	QA2000
Зміщення нуля, (mg, 1σ)	–	0.3	0.9	1.0	0.1	0.1
Нестабільність масштабного коефіцієнта (ppm, 1σ)	–	500	900	600	170	250
Вага (lbs)	?	2.5	6.2	1.2	43	44
Вартість (\$ - визначає порядок вартості)	\$\$	\$	\$\$\$\$\$\$\$\$	\$\$\$\$\$\$\$\$	\$\$\$	\$\$\$\$\$\$

RLG (ring laser gyro) – кільцевий лазерний гіроскоп; FOG (Fiber Optic Gyro) – волоконно-оптичний гіроскоп

У ФГУП "НПЦ АП" розроблено кілька модифікацій безплатформених інерціальних блоків (БІБ) для системи управління РСЗВ «ТОРНАДО-С» на динамічно налаштовуваних гіроскопах (ВАТ «ПНППК») і волоконно-оптичних гіроскопах (ТОВ «НПК Оптолінк»). Для систем управління ракет «Іскандер-М» розроблено БІНС на кільцевих лазерних гіроскопах (ТОВ «Електрооптика»). Льотні випробування РСЗВ "ТОРНАДО-С" показали високу точність роботи системи управління, що використовує БІНС інтегровану з системою супутникової навігації [9].

Аналогічні роботи проводяться і в Україні. В рамках проведення робіт по створенню демонстратора системи управління ОТРК «Грім-2» НПЦ «Хартрон-Аркос ЛТД» розроблений БІНС (рис. 2) [2] на основі волоконно-оптичних гіроскопів виробництва



Рис. 2. БІНС на ВОГ НПЦ «Хартрон-Аркос ЛТД»

Fiber Optical Solution Sia. На рис. 3 показаний блок чутливих елементів IFOS-500, реалізований на трьохосному ВОГ TFOS-500 і трьох маятникових акселерометрах.

В НПЦ «Хартрон-Аркос ЛТД» проводяться також роботи зі створення БІНС на лазерних гіроскопах і маятникових акселерометрах.

Принциповим моментом впровадження систем управління високоточною зброєю являються їх вартість і габаритно-вагові характеристики. Причому найчастіше характеристики точності приладів безпосередньо залежать від їх розмірів. Для прикладу, казенне (державне) підприємство СПС «Арсенал» виробляє лазерні гіроскопи на кільцевому лазері (які використовуються в складі БІНС), точність яких безпосередньо залежить від їх розмірів (рис. 4).

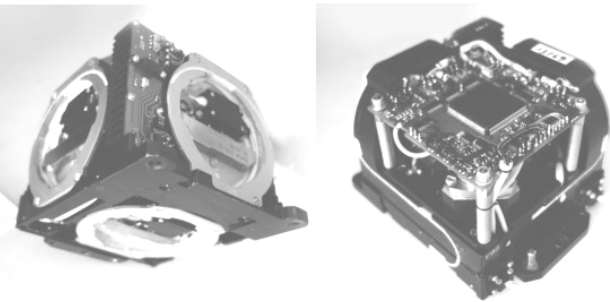


Рис. 3. Блок чутливих елементів IFOS-500



Рис. 4. Лазерний гіроскоп КП СПС «Арсенал» та його технічні характеристики

Модель (длина периметра, см):	RL-28 (периметр - 28 см)	RL-16 (периметр - 16 см)	RL-08 (периметр - 8 см)
Смещение нуля, град./час	0.005...0.01	0.02...0.05	0.3...0.7
Случайный уход в угле, град./√ час	0.001...0.003	0.006...0.02	0.03...0.08
Нестабильность масшт. коэффициента	10 ppm	20 ppm	100 ppm
Диапазон угловых скоростей, град./сек.	± 400	± 600	± 1000
Температурный диапазон, °С	-40 ... +65	-40 ... +65	-40 ... +65

Використовуваний в системі управління ракети «ТОРНАДО-С» БІНС важить 3,7 кг і має габарити: діаметр 200 мм; висота 140 мм.

При використуванні елементної бази західного виробництва БІНС з ідентичними характеристиками буде важити близько 1,5 кг при габаритах 110×110×90 мм при вартості в межах 1,2 млн. грн.

За характеристиками точності гіроскопи умовно поділяють на три основні групи:

- inertial grade (кращі лазерні кільцеві і волоконні гіроскопи, швидкість дрейфу нуля менш 0,01°/год.);

- tactical grade (лазерні волоконні гіроскопи нижнього рівня і високоякісні МЕМС-модулі (дрейф нульового рівня не більше 10°/год.). МЕМС-модулі випускаються у власних корпусах які, як правило, мають малогабаритний з'єднувач для підключення сигнального кабелю. Наприклад, модулі

SENSOR: STIM202, STIM210 – трьохосні гіроскопи (рис. 5), STIM300 – 9-осні гіроскопи, акселерометри та інклінометри (рис. 6);

- rate grade – це, в основному, недорогі ДКС для масового застосування. Їхні області застосування: стабілізація зображення в фотоапаратурі, автомобільна техніка, робототехніка, пристрої GPS, маніпулятори в ігрових пристроях та ін. Випускаються такі ДКС в малогабаритних корпусах мікросхем для пайки на друковану плату. Мікросхеми ДКС випускаються з одно, двох три-координатними перетворювачами, з аналоговим і цифровим виходом (інтерфейси I²C, SPI), можуть містити вбудовані датчики температури, акселерометри і магнітні компаси.

У зв'язку з мікромініатюризацією систем позиціонування особлива увага останнім часом приділяється розробці і виробництву датчиків на основі технології МЕМС.

До теперішнього часу в країнах НАТО досягнуті значні успіхи в розробці інерційних систем на базі мікромеханічних акселерометрів і гіроскопів (технології MEMS). США, Великобританія, Франція і Німеччина мають інтегровані системи, що представляють собою БІНС, реалізований на трьох ортогональних акселерометрах і гіроскопах з використанням системи АЦП, мікроконтролера, інтерфейсів зовнішнього обміну даними і приймача супутникової навігації GPS. Досягнуті цими приладами характеристики точності в сукупності з малим об'ємом і вагою, працездатністю при перевантаженнях до 20 000 g дозволяють широко використовувати ці прилади в інтегрованих з супутниковою навігацією системах управління боеприпасами, тактичних ракетних комплексів.

Найбільш розвинуті фірми: Honeywell, BAE Systems, Northrop Grumman, Sagem, Kearfott Corp мають БІНС з габаритами: діаметр 50–70 мм, висота 30–40 мм і вагою до 200 грамів. Один з найбільш точних сучасних БІНС фірми Honeywell – HG1900, має розміри: діаметр – 50мм, висоту 32 мм, вага 130 г і вартість близько 10000 доларів.

Найбільш розвинуті фірми: Honeywell, BAE Systems, Northrop Grumman, Sagem, Kearfott Corp мають БІНС з габаритами: діаметр 50–70 мм, висота 30–40 мм і вагою до 200 грамів. Один з найбільш точних сучасних БІНС фірми Honeywell – HG1900, має розміри: діаметр – 50мм, висоту 32 мм, вага 130 г і вартість близько 10000 доларів.

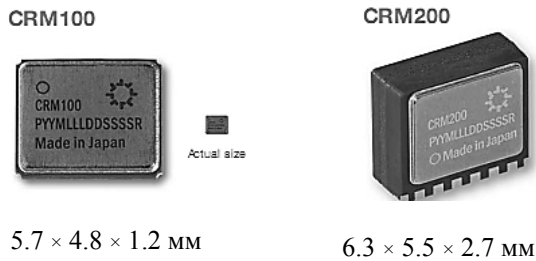


Рис. 5. Загальний вид мікросхем та плата з датчиками PinPoint

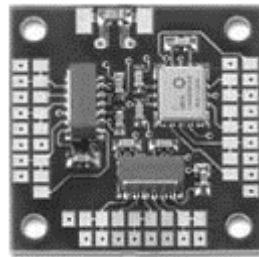


Рис. 6. Датчик STIM300

Характеристики точності інерціальних систем на базі MEMS-датчиків наведені на рис. 7.

Порівнюючи різні датчики, можна відмітити, що кільцеві лазерні гіроскопи отримали значне поширення у зв'язку з їх високими характеристиками точності. Факторами, що обмежують їх використання, є значні розміри і вага. Волоконно-оптичні гіроскопи, володіючи порівняними з лазерними гіроскопами характеристиками точності, мають менші розміри і вагу, але їх застосування обмежується сильним впливом вібрацій на їх роботу. Основні проблеми впровадження MEMS-датчиків пов'язані з їх температурною нестабільністю. Разом з тим, використання температурних датчиків у складі MEMS-приладів і застосування спеціальних алгоритмів корекції дозволяє істотно знизити вплив температурної нестабільності.

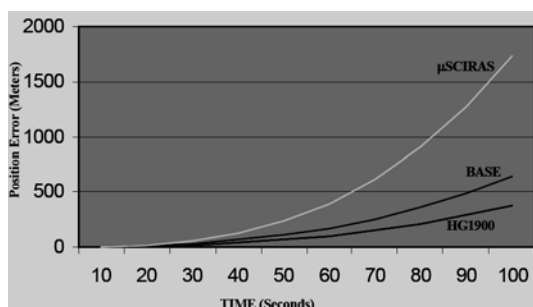


Рис. 7. Характеристики точності MEMS-датчиків

Найавні в даний час для використання MEMS-датчики групи tactical grade, наприклад, типу STIM300, відносяться до групи точності BASE. Слід зазначити, що інерціальні системи, побудовані з використанням MEMS-технологій, мають значні переваги перед прецизійними інерціальними систе-

мами, що застосовуються в сучасних ракетах по вагогабаритних характеристиках, однак по точності такої переваги немає. Як правило, такі інерціальні системи забезпечують необхідну точність визначення положення ракети у просторі на дальності, яка визначається за формулою

$$r_{ic} = 1,5 \dots 2 r_{ГСН}$$

де r_{ic} – дальність польоту ракети на інерціальній ділянці траєкторії; $r_{ГСН}$ – дальність захвату цілі ГСН ракети.

Інерціальні системи управління, залишаючись в порівнянні з будь-якими іншими найбільш надійними, автономними і перешкодозахищеними, в той же час принципово не в змозі забезпечити точність стрільби, необхідну для ураження однією – двома ракетами малорозмірних і точкових цілей.

Одним з найважливіших напрямків розвитку систем позиціонування розглядається комплексування БІНС з системами супутникової навігації. До очевидних переваг використання інтегрованої з системою супутникової навігації системи управління відноситься можливість зниження вимог до характеристик точності інерціальних приладів, які входять до складу БІНС.

Супутникові навігаційні системи GPS і ГЛОНАСС забезпечують різну точність абсолютних режимів роботи супутникового приймача (коли приймач автономно визначає місце розташування). Середньоквадратичні похибки одиничних абсолютних визначень складають [12]:

– по сузір'ях супутників ГЛОНАСС 8–10 м за широтою та довготою, 12–15 м по висоті, 0,1–0,2 м/с за складовими вектора швидкості;

– по сузір'ях супутників GPS (з урахуванням селективного доступу, S/A код) 40–50 м за широтою та довготою, 60–70 м по висоті, 0,5–1 м/с по складовим вектора швидкості.

Середньоквадратичні похибки диференціальних визначень навігаційних параметрів по сузір'ях ГЛОНАСС і GPS (S/A код) складають 2 м за широтою та довготою, 3 м по висоті і 0,02 м/с за складовими вектора швидкості.

Разом з тим сучасні засоби РЕБ мають можливості боротьби з ГЛОНАСС і GPS. За свідченням фахівців [12], ідея подавлення полягає в тому, що при наявності в просторі двох близьких по частоті несучих виникають биття.

Якщо одна з несучих була б фазоманіпульованою, суть справи від цього не змінюється. У приймачі GPS стоїть корелятор, який згортає фазоманіпульований навігаційний сигнал з наявною в приймачі його копією. Коли відгук корелятора досягає максимуму, то це і вважається часом приходу сигналу. Якщо в межах смуги корелятора буде ще одна несуча, то це еквівалентно фазоманіпульованій перешкоді, в результаті чого прийому сигналу просто не буде.

Для того, щоб заглушити за допомогою биття сигнали супутникової GPS, досить випромінювати з Землі немодульовані частоти 1577 МГц (цивільний канал) і 1230 МГц (військовий канал).

Всі 24 супутники GPS працюють на одній частоті (режим кодового розподілу каналів CDMA). Можливо також для подавлення використовувати шумоподібний сигнал.

В системі ГЛОНАСС кожний супутник працює на своїй частоті (частотне розділення сигналів – FDMA) і тому передавачів для подавлення потрібно декілька. Приймачі апаратури споживача ГЛОНАСС уразливі при постановці перешкод потужністю 1 Вт і частотній модуляції на несучій частоті 1,6 МГц в радіусі 22 км, а при збільшенні потужності на 6 дБ радіус подвоюється [12, С. 693]. За цієї причини більшість засобів ВТЗ необхідно обладнати складними антенами, здатними автоматично змінювати діаграму спрямованості при появі сигналів перешкоди, що однак не виключає дії перешкоди по боковій пелюстці ДС антени.

В Росії подібні системи постановки перешкод виробляються ООО «Авіаконверсія». Зі слів керівника компанії О. Антонова перешкоди, що випромінюються передавачем перешкод, призводять до зриву процесу вимірювання координат. В результаті приймачі GPS і ГЛОНАСС припиняють визначати поточне місцезнаходження об'єктів, на яких вони встановлені, і видають останні його координати перед початком дії перешкод.

У квітні 2018 р. при ударах КР по об'єктах в Сирії спостерігалася масштабна постановка перешкод системам GPS навігації (рис. 8) [13].



Рис. 8. Епюри стеження-накопичення сигналу від супутникового угруповання

Суцільні смуги на рис. 8 – це стійке стеження-накопичення сигналу від супутникового угруповання. Розриви в смугах – повна втрата зв'язку. Видно ділянки з одночасною втратою зв'язку з усіма супутниками, видимими в півсфері. Період витка – приблизно

півтори години. Наведені дані дозволяють судити про наявність істотних перешкод системі GPS як для цивільного, так і для військового каналів.

Слід зазначити також той факт, що інерціальні системи навігації та супутникові навігаційні системи

в рамках існуючої системи розвідки і цілевказання не здатні забезпечити необхідну точність засобів ВТЗ (КВО до 10 м). Перш за все, це пов'язано з тим, що такі системи здійснюють наведення за геодезичними координатами цілей, які самі по собі не визначаються точно існуючими засобами розвідки. При найбільш розповсюджених масштабах карт 1: 100 000, 1:50 000 це відповідає помилкам на місцевості в десятки метрів. Головною причиною цих помилок є неможливість точно впізнати на карті ті орієнтири, відносно яких робляться на знімку засічки положення цілі.

На топокартах зображуються впізнані на місцевості об'єкти і рельєф з деталізацією, яка визначається масштабом карти. Місцеві предмети і контурні точки наносяться на карти з помилками, які залежать від масштабу карти. Мінімальна помилка, з якою нанесені точки місцевості на карту (гранична точність масштабу), дорівнює 0.1 мм. З такою точністю на карту наносяться тільки геодезичні пункти. Що ж стосується помилок в положенні місцевих предметів і контурних точок, то вони не перевершують 0,4–0,5 мм в масштабі карти. Для карти масштабу 1:50 000 це означає, що при ототожненні на ТВ зображення контурної точки, наявної на топокарті, помилка у вказівці її місцезнаходження становитиме 20–25 м.

Очевидно, що використання топокарт з таким масштабом не забезпечить високоточного визначення місцезнаходження об'єкту. Виходом тут може бути використання не топографічних карт, а заздалегідь підготовлених ортофотопланів з необхідними масштабами (не менше 1:10 000), які можна отримати на основі вимірального фотодокументу (ВФД). В цьому випадку прив'язка ТВ зображень істотно полегшується. Перевагою ВФД в порівнянні з топокартою, навіть найбільш великомасштабною, являється істотно більша кількість загальних контурних точок ВФД і ТВ зображень (на 1–2 порядки), що істотно підвищує точність визначення координат цілей [4].

Для систем наведення по оптичним зображенням місцевості (космічним або аерофотознімках) практично знімається складність і трудомісткість проблеми побудови еталонної карти, а помилки карт безпосередньо на точність не впливають. Впізнаючи ціль, оператор вказує її практично без помилок відносно елементів навколишнього ландшафту і може з мінімальними помилками перенести її на інший знімок, так як на іншому знімку (на відміну від карти) легко упізнаються ті ж самі орієнтири. В силу цього система наведення, що орієнтується з використанням знімку навколишнього ландшафту навкруги цілі, здійснює наведення саме в зазначену на знімку точку, незалежно від того, з якою точністю відомі її геодезичні координати [5].

В даний час тільки в США і в РФ практично відпрацьований єдиний метод, який дозволяє автономно реалізувати точність наведення, яка характеризується КВО 6 м. Він полягає в побудові системи, яка

автоматично порівнює на борту ракети зображення місцевості, що формується бортовим відеодатчиком, зі знімками району цілі (її траси підходів до неї).

Знімки (як правило, космічні) закладаються перед польотом в бортову пам'ять ракети. Для цього вони перетворюються в цифрову форму і в ортогональну проекцію (ортофотоплан) та висвічуються спочатку на екрані наземного комп'ютера, де оператор відмічає ціль електронним маркером, а потім записуються на носій для передачі на борт.

Порівняння зі знімком дозволяє системі, орієнтуючись відносно цілі по навколишніх елементах ландшафту, вивести на неї ракету, не потребуючи (на відміну від систем супутникової навігації) точних знань абсолютних координат цілі (широти та довготи).

У США випробування КР типу «Томагавк» в високоточному обладнанні з оптико-електронною системою DSMAC завершені в 1988 р. В подальшому здійснюється вдосконалення технології.

В даний час найбільш досконалою КР п'ятого покоління вважається JASSM-ER (AGM-158B), в якій на початковій і середній ділянках польоту (поза дією засобів РЕБ противника) використовуються навігаційна система GPS і кореляційна система позиціонування по контуру рельєфу місцевості McDonnell Douglas AN/DPW-23 TERCOM (Terrain Contour Matching). Система TERCOM має бортовий комп'ютер і радіовисотомір. У комп'ютер закладено набір еталонних карт районів за маршрутом польоту ракети. Ширина променя радіовисотоміра – 13–15 градусів (діапазон частот 4–8 ГГц). Принцип роботи системи TERCOM заснований на зіставленні рельєфу місцевості конкретного району знаходження ракети з еталонними картами рельєфу місцевості за маршрутом її польоту. При підході до об'єкту удару починає працювати електронно-оптична кореляційна система AN/DXQ-1 DSMAC (Digital Scene Matching Area Correlation), яка дозволяє істотно підвищити точність стрільби. У ній використовуються цифрові зображення в оптичному і інфрачервоному діапазонах попередньо відзнятих районів місцевості за маршрутом польоту ракети. Система AN/DXQ-1 DSMAC починає працювати на кінцевій ділянці траєкторії польоту ракети (рис. 9).

В Росії дослідно-конструкторські роботи по створенню та вдосконаленню КР з високоточними оптико-електронними системами наведення велися ЦНПАГ з 1996 р. З 2001 року оптико-електронні системи наведення виробляються в Росії серійно. Результатом цієї роботи стало створення бортової апаратури наведення 1, 2 і 3 покоління, порівнянної за характеристиками (габарити, точність та ін.) з відповідною апаратурою для американської ракети "Томагавк". Однак в частині інформаційного забезпечення пусків і досвіду застосування даного виду зброї (хоча б на випробуваннях) роботи РФ серйозно поступають роботам в США.

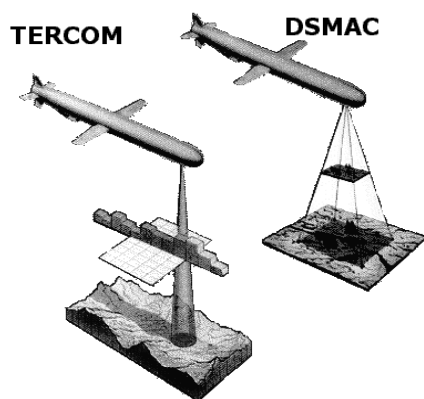


Рис. 9. Системи позиціонування TERCOM та DSMAC

Сполучені Штати мають досвід бойового застосування декількох тисяч ракет і при підготовці пусків без обмеження можуть використовувати розвідувальні космічні знімки з давністю зйомки не більше кількох діб, тому що на орбіті є відповідні космічні розвідувальні апарати.

Найбільш серйозним недоліком оптико-електронних кореляційних систем наведення ВТЗ вважають необхідність у спеціальному інформаційному забезпеченні у вигляді знімків (ортофотопланів) місцевості, які відповідають за кліматичним сезоном моменту застосування ракети.

Висновок

Основною проблемою розвитку високоточної зброї 5-го покоління є можливість її ефективного бойового застосування тільки у взаємодії з сучасними системами розвідки, зв'язку та навігації. Застосування ВТЗ поза таких систем призводить до зменшення її ефективності до систем 4-го покоління. Дана умова в подальшому призведе до того, що системи ВТЗ зможуть розробляти і ефективно використовувати переважно розвинені в науковому, військовому та економічному плані країни.

Використання МЕМС-датчиків призвело до істотної мініатюризації бортового обладнання засобів ураження, що обумовлює значний вплив на подальший розвиток високоточної зброї.

Використання в якості засобів позиціонування систем супутникової навігації дозволяє отримати досить дешеві зразки високоточної зброї, що значно підвищує ризик використання такої зброї терористичними формуваннями. Однак досвід бойових дій в Сирії показав, що використання таких систем можливе переважно в локальних конфліктах в протиборстві з арміями, не оснащеними сучасними системами РЕБ. У зв'язку з цим при створенні перспективних зразків ВТЗ упор робиться на комплексуванні засобів позиціонування різної фізичної природи.

Список літератури

1. Аналіз особливостей побудови і застосування перспективних систем управління високоточною зброєю. Активні головки самонаведення / А.Б. Скорик, М.І. Камчатний, Є.В. Моргун, І.В. Помогаєв, Р.В. Іщенко, М.І. Щоголев // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 3(55). – С. 36-43. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.55.05>.
2. Математическое моделирование бортового вычислителя ЗУР. Анализ задачи моделирования управления ЗУР с вертикальным стартом на этапе склонения / А.Б. Скорик, О.В. Гаврентюк, А.А. Скорик, П.А. Дранник // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1(25). – С. 54-57.
3. Micro-electromechanical system (MEMS) component research and development for Army missile applications [Electronic resource] / Tracy D. Hudson, Deanna K. McMillen, Paul R. Ashley, Paul B. Ruffi, Janet Baede // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1999. – Available at: <https://www.researchgate.net/publication/252230865> (дата звернення 6.05.2014). <https://doi.org/10.1117/12.352853>.
4. High-g tactical navigation sensor Q-Flex QA-1500 [Electronic resource]. – Available at: <http://asc-sensors.de/datenblatt/honeywell/beschleunigungssensor/q-flex/qa-1500.pdf> (accessed August 2005).
5. Precision Accelerometers for Aerospace, Marine and Industrial [Electronic resource]. – Available at: https://aerospace.honeywell.com/en/~media/aerospace/files/brochures/accelerometers/inertialnavigationssensors_bro.pdf. (accessed October 2015).
6. Матвеев А. НПП ХАРТРОН-АРКОС – 25 лет / А. Матвеев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://timeua.info/post/kharkov/npp-hartron-arkos---25-let-09845.html>.
7. Межирицкий Е.Л. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы для систем управления ВТО / Е.Л. Межирицкий, Е.А. Немкевич, Е.С. Смирнов // Сборник докладов «Комплексное решение проблемы создания систем ВТО». – Волгоград: ФГУП «ЦКБ «Титан», 2010. – С. 47-51.
8. Зимин А.В. Принципы построения современных оптических систем высокоточного наведения / А.В. Зимин // Сборник докладов «Комплексное решение проблемы создания систем ВТО». – Волгоград: ФГУП «ЦКБ «Титан», 2010.
9. Гаврилин Б.Н. Вопросы разработки бортовых систем управления ракет / Б.Н. Гаврилин // Сборник докладов «Комплексное решение проблемы создания систем ВТО». – Волгоград: ФГУП «ЦКБ «Титан», 2010.
10. Шерemet И.Б. Направления повышения возможностей средств наблюдения по обеспечению высокоточного определения местоположения объектов / И.Б. Шерemet // Сборник докладов «Комплексное решение проблемы создания систем ВТО». – Волгоград: ФГУП «ЦКБ «Титан», 2010.
11. Федосов Е.А. Авиация ВВС России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / Е.А. Федосов. – М.: Дрофа, 2005. – 734 с.

12. Кашинов В. Теория и практика падающих томагавков [Электронный ресурс] / В. Кашинов // Компьютерра, сентябрь 2000. – Режим доступа: <http://www.x-libri.ru/elib/kashn001/00000001.htm> (дата обращения 19.04.2018).

13. Михайлова Д. Приемники GPS в Сирии в ночь 13–14 апреля глушились [Электронный ресурс] / Д. Михайлова. – Режим доступа: <https://diana-mihailova.livejournal.com/1904259.html>.

References

1. Skoryk, A., Kamchatnyi, M., Morhun, Ye., Pomohaiev, I., Ischenko, R. and Shchoholiev, M. (2018), “Analiz osoblyvosti pobudovy i zastosuvannya perspektivnykh system upravlinnia vysokotochnoiu zbroieiu. Aktyvni holovky samonavedennia” [Analysis of the features of construction and using of perspective control systems of the high-precision weapons. active seeker], *Systems of arms and military equipment*, No. 3(55), pp. 36-43. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.55.05>.

2. Skoryk, A., Havrentiuk, O., Skoryk, A., Drannyk, P. (2011), “Matematycheskoe modelyrovanye bortovoho vuchyslyteliya ZUR. Analiz zadachy modelyrovanyia upravleniia ZUR s vertikalnum startom na etape skloneniia” [Mathematical modelling of airborne computer SAM. The analysis of the problem of modelling of control SAM with vertical launch at the declination stage], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(25), pp. 54-57.

3. Hudson, Tracy D., McMillen, Deanna K., Ashley, Paul R., Ruffi, Paul B. and Baede, Janet, (1999), Micro-electromechanical system (MEMS) component research and development for Army missile applications, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, available at: <https://www.researchgate.net/publication/252230865> (accessed 06 May 2014). <https://doi.org/10.1117/12.352853>.

4. High-g tactical navigation sensor Q-Flex QA-1500, available at: www.asc-sensors.de/datenblatt/honeywell/beschleunigungssensor/q-flex/qa-1500.pdf (accessed August 2005).

5. Honeywell, (2015), *Precision Accelerometers for Aerospace, Marine and Industrial*, available at: https://aerospace.honeywell.com/en/~media/aerospace/files/brochures/accelerometers/inertialnavigationssensors_bro.pdf (accessed October 2015).

6. Matveev, A. “NPP KHARTRON-ARKOS – 25 let” [HARTRON-ARCOS – 25 years], available at: www.timeua.info/post/kharkov/npp-hartron-arkos---25-let-09845.html (accessed 29.11.2017).

7. Mezhyritsky, E., Nemkevich, E. and Smirnov, E. (2010), “Besplatformennyye inertial'nyye navigatsionnyye sistemy dlya sistem upravleniia VTO” [Free inertial navigation systems for WCO management systems], *Digest of reports “Comprehensive solution of the problem of creating HPW systems”*, Volgograd, pp. 47-51.

8. Zimin, A. (2010), “Printsipy postroyeniia sovremennykh opticheskikh sistem vysokotochnogo navedeniia” [Principles of modern optical systems construction of high-precision guidance], *Digest of reports “Comprehensive solution of the problem of creating HPW systems”*, Volgograd.

9. Gavrulin, B. (2010), “Voprosy razrabotki bortovykh sistem upravleniia raket” [The development of onboard missile control systems], *Digest of reports “Comprehensive solution of the problem of creating HPW systems”*, Volgograd.

10. Sheremet, I. (2010), “Napravleniia povysheniia vozmozhnostey sredstv nablyudeniia po obespecheniyu vysokotochnogo opredeleniia mestopolozheniia ob'ektov” [Ways of increasing the capacity of surveillance to ensure high-precision positioning of objects], *Digest of reports “Comprehensive solution of the problem of creating HPW systems”*, Volgograd.

11. Fedosov, E. (2005), “Aviatsiya VVS Rossii i nauchno-tekhnicheskii progress. Boyevyye komplekсы i sistemy vchera, segodnya, zavtra” [Aviation of the Russian Air Force and scientific and technical progress. Combat systems and systems yesterday, today, tomorrow], Drofa, Moscow, 734 p.

12. Kashinov, V. (2000), “Teoriya i praktika padayushchikh tomagavkov” [Theory and practice falling Tomahawks], *Computerra*, available at: www.x-libri.ru/elib/kashn001/00000001.htm (accessed 19.04.2018).

13. Mikhailova, D. (2018), “Priyemniki GPS v Sirii v noch' 13-14 aprelya glushilis” [Receivers GPS in Syria on the night of April 13-14, were drowned], available at: <https://diana-mihailova.livejournal.com/1904259.html>.

Надійшла до редколегії 20.09.2018

Схвалена до друку 22.10.2018

Відомості про авторів:

Скорик Анатолій Борисович

кандидат технічних наук доцент
доцент кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-4327-8796>

Флоров Олександр Дмитрович

кандидат технічних наук доцент
професор кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-9491-1061>

Information about the authors:

Anatolii Skoryk

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4327-8796>

Oleksandr Florov

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Professor of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9491-1061>

Моргун Євгеній Валерійович

старший викладач кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-0591-5608>

Yevhenii Morhun

Senior Instructor of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0003-0591-5608>

Молчанов Дмитро Вікторович

начальник навчального курсу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0001-9144-0076>

Dmytro Molchanov

Head of the Training Course of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0001-9144-0076>

Гречка Олександр Володимирович

викладач кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-4705-317X>

Oleksandr Hrechka

Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0003-4705-317X>

Шепелевич Сергій Миколайович

бакалавр курсант Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-2554-6187>

Serhii Shepelevych

Bachelor Cadet of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0002-2554-6187>

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫМ ОРУЖИЕМ. СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

А.Б. Скорик, А.Д. Флоров, Е.В. Моргун, Д.В. Молчанов, А.В. Гречка, С.М. Шепелевич

В статье рассматриваются вопросы использования в перспективных системах высокоточного оружия бесплатформенных инерциальных навигационных систем, построенных на основе применения МЭМС-датчиков, кольцевых лазерных и волоконно-оптических гироскопов. Приводятся примеры использования новых датчиков в образцах ВТО, анализируются их технические характеристики. Отмечаются сложность топографического обеспечения стрельб перспективного ВТО, особенности использования систем спутниковой навигации и оптико-электронных систем в боевых условиях.

Ключевые слова: МЭМС-датчики, лазерные гироскопы, волоконно-оптические гироскопы, GPS, ГЛОНАСС, оптико-электронные системы, бесплатформенные инерциальные навигационные системы.

ANALYSIS OF THE FEATURES OF CONSTRUCTION AND USING OF PERSPECTIVE CONTROL SYSTEMS OF THE HIGH-PRECISION WEAPONS. POSITIONING SYSTEMS

A. Skoryk, O. Florov, Y. Morhun, D. Molchanov, O. Hrechka, S. Shepelevych

The article deals with the issues of using free-of-charge platforms of inertial navigation systems based on the use of MEMS-sensors, ring-shaped laser and fiber-optic gyroscopes for perspective systems high-precision weapons. Examples of the use of new sensors in US HPW samples are given: GMLRS (guided multiple launch rocket system), Army TACMS (army tactical missile system), SAM PAC-3, SAM THAAD, improved position determining system for MLRS M270A1. Analyzes the technical characteristics of the sensors and their cost. Examples of the use of new sensors integrated with the satellite navigation system in the ISKANDER-M and TORNADO-S missile control systems developed in Russia are given. Consideration is being given to the development of the Ukrainian companies «Khartron-Arkos LTD» and «Arsenal» of a free-form inertial navigation system for the advanced missile system «Grom-2». As one of the most important directions in the development of positioning systems, the integration of free-form inertial navigation systems with GPS and GLONASS satellite navigation systems is considered. The article concludes that using satellite navigation systems as a means of positioning makes it possible to obtain fairly cheap high-precision weapons, which greatly increases the risk of such weapons being used by terrorist groups. However, the experience of combat operations in Syria has shown that the use of such systems is possible mainly in local conflicts in opposition to armies not equipped with modern EW systems. In this connection, when creating promising samples of the HPW, the emphasis is on the integration of positioning tools of various physical nature. The main problem of the development of high-precision weapons of the 5th generation is the possibility of their effective combat use only in conjunction with modern reconnaissance, communication and navigation systems. The use of the HPW outside such systems leads to a decrease in its effectiveness to the systems of the 4th generation.

Keywords: MEMS-sensors, laser gyroscopes, fiber optic gyroscopes, GPS, GLONASS, optoelectronic systems, free-of-charge inertial navigation systems.