

## АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ БОЕПРИПАСОВ

В.В. Ларионов, К.Н. Хомяк, Р.В. Казмирчук, О.С. Ивахив, Н.О. Платонов, Е.Н. Стадничук

*В статье рассмотрено историю развития и опыта применения зажигательного оружия, а именно термобарических боеприпасов. Раскрыты первоначальные идеи их применения, механизм и специфику действия, факторы, которые непосредственно влияют на эффективность их применения, а также преимущества и недостатки. Приведен перечень боеприпасов объемно-детонирующего действия, которые на сегодняшний день есть в арсенале российской армии.*

**Ключевые слова:** термобарический боеприпас, огнемёт, зажигательное оружие, объемный взрыв.

## ANALYSIS OF DEVELOPMENT AND MAIN TRENDS OF THE THERMOBARIC AMMUNITION

V. Larionov, K. Khomyak, R. Kazmirchuk, O. Ivakhiv, M. Platonov, O. Stadnichuk.

*The article discusses the history of development and the experience of the use of incendiary weapons, namely the thermobaric ammunition. Reveals the initial ideas of their application, and the specificity of their mechanism of action, the factors that directly affect the effectiveness of their application, as well as the advantages and disadvantages of the use. The list of volume-detonating action, which today is in the arsenal of the Russian army.*

*It is noted that the leading military experts attach great importance to the continuous development and improvement of this type of munitions because of their effectiveness. Research military institutions today are constantly doing research on improving data and testing means of armed struggle. According to the armed forces face urgent issues of comprehensive protection from all types of weapons, including such powerful as lit-on weapons.*

**Key words:** thermobaric ammunition, flamer, incendiary weapons, volumetric explosion.

УДК 629.072

В.А. Ляшенко<sup>1</sup>, В.М. Зозуля<sup>2</sup>, В.І. Кривцун<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Державний науково - випробувальний центр Збройних Сил України, Чернігів

<sup>2</sup> Державний науково - випробувальний центр Збройних Сил України, Чернігів

<sup>3</sup> Національна академія сухопутних військ Збройних Сил України, Львів

## АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*Приведений аналіз характеристик сигналів супутникових навігаційних систем, які функціонують, одночасно, а саме: американської GPS, російської ГЛОНАСС, європейської «Галілео» і китайської Компас. Загальна кількість супутників складає більше ста одиниць, кожна система застосовує щонайменше 3 частоти, з'являються далекомірні сигнали нового типу з більш складнішою структурою і більш високими характеристиками. У статті також представлений огляд перспективних сигналів по всіх чотирьох системах.*

**Ключові слова:** системи супутникової навігації, супутник, далекомірні сигнали, багатопроменевість, похибка, точність, американська GPS, російська ГЛОНАСС, європейська «Галілео», китайська «Компас».

### Вступ

XXI сторіччя характеризується бурхливим розвитком супутникової навігації, зростанням числа приймачів і послуг, що надаються. Замість першої американської системи NAVSTAR-GPS з одним цивільним сигналом в найближчі роки з'явилися нові чотири системи, а саме: модернізована GPS – США, російська ГЛОНАСС, а також дві системи, що знаходяться в процесі розробки: європейська система «Галілео» і китайська «Компас» (Бейдоу-2). Використання глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) військовими споживачами з урахуванням можливостей функціональних доповнень показані (рис. 1).

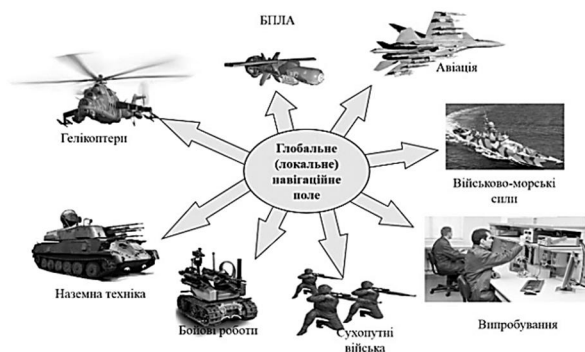


Рис. 1. Використання ГНСС військовими споживачами з урахуванням можливостей функціональних доповнень сучасних ГНСС

Кожна з цих систем є національною і глобальною, одночасно включає як закриті сигнали, призначені для військових користувачів, так і відкриті, доступні будь-якому користувачеві.

Співпраця країн-виробників систем супутникової навігації є прикладом обмеженого поєднання національних і загальнолюдських інтересів. Цивільні користувачі будуть мати можливість використовувати усі чотири системи, які включають в цілому більше ніж ста супутників. Це дозволить надійно визначати позицію і точний час практично в будь-якій точці світу, включаючи центральні райони міст і інші місця, де сигнали супутників можуть бути заблоковані висотою будівель або рельєфом місцевості [2].

### Постановка завдання

У приймачах систем супутникової навігації визначення позиції відбувається в два етапи. Перший – вимірювання псевдодальностей, які визначаються шляхом виділення сигналу від кожного супутника з шумового фону і його синхронізації таким же сигналом, що виробляється в приймачі. Сигнал від кожного супутника модулюється унікальною кодовою послідовністю (у системі ГЛОНАСС використовується частотне розділення супутників). Псевдодальності включають відстань від супутника до антени користувача, а також ряд систематичних помилок, які моделюються на другому етапі, на якому відбувається обчислення позиції. Розрахунок позиції засновано на простих геометричних розрахунках і використовує інформацію, що була отримана з борту супутників, про їх координати у поєднанні із промірними псевдодальностями. Похибки розрахованої позиції є сумою випадкових чинників і залишкової систематики.

Основним джерелом випадкових помилок є так звана помилка багатоприменності, що виникає внаслідок прийому основного сигналу по прямій лінії від супутників і поєднується з прийомом «паразитних» сигналів, які відбиті від місцевих предметів і досягають по величині декількох метрів. Багатоприменність – є основним джерелом помилок при використанні диференційних поправок, які майже повністю компенсують систематичні похибки.

В авіаційній навігації вимоги до точності позиції зростають у міру наближення літака до землі і

можуть досягати величин порядку 0,1 м для автоматизованих систем посадки. Реалізація подібних систем в даний час може здійснюватися тільки при використанні набагато складніших алгоритмів розрахунку позицій, заснованих на стеженні за фазою сигналу і дозволу неоднозначностей фази за допомогою псевдодальностей. Для цих методів шум багатоприменності також є істотним чинником, який обмежує їх надійність, стримуючи застосування. Придушення помилки багатоприменності є одним з найважливіших завдань сучасної супутникової навігації, вирішення якого відбувається по трьох основних напрямках: 1) створення антен, які послабляють відбиті сигнали; 2) розробка складних алгоритмів стеження, що зменшують помилку вимірювання псевдодальностей в приймачі; 3) оптимізація характеристик сигналів. Саме третій напрямок і є предметом даної статті.

**Мета статті:** проведення аналізу характеристик сигналів систем супутникової навігації, які функціонують одночасно, а саме: американської GPS, російської ГЛОНАСС, європейської «Галілео» і китайської «Компас».

### Викладення основного матеріалу

В авіаційному співтоваристві йде дискусія про можливість використання супутникової навігації як основного навігаційного засобу, що припускає високі вимоги до надійності систем і відповідну сертифікацію як самих систем, так і приймачів. При цьому на перший план виходить необхідність гарантованої передачі інформації про цілісність системи і попередження про неприпустимі помилки даних або вихід з ладу супутників за гарантовано короткий час (приблизно до 6 сек). Зараз тільки система «Галілео» передбачає службу підвищеної надійності, що задовольняє цим вимогам за допомогою сигналів L1 і E5b. Після розгортання «Галілео» цей сигнал розглядатиметься компетентними міжнародними організаціями, і може йти мова про його сертифікацію. Інші системи використовують сигнали цілісності, що надходять з додаткових систем, які базуються на геостационарних супутниках, таких як WAAS, EGNOS, MSAS [2].

Нові системи супутникової навігації використовують до 4 частотних діапазонів і відповідне число нових сигналів (табл.1).

Таблиця 1

Сигнали супутникової навігації, розташовані в порядку збільшення точності псевдодальності

Модуляція	GPS	ГЛОНАСС	«ГАЛІЛЕО»	«КОМПАС»	Довжина чипа, (м)	Шум, (м)
BPSK (0,5)	-	L1 – CA L2 – CA	-	-	600	1
BPSK (1)	L1 – CA L2	-	-	-	300	1
BOC (1,1)	-	-	L1BC	-	(>150)	0,9
BPSK (2)	-	-	-	E2, E5B	150	0,9
MBOC	-	-	L1-MBOC	(B1-BOC)	(<150)	0,7
BPSK (5)	-	P1,P2	E6BC	-	60	0,6
BPSK (10)	P1,P2,L5	-	E5a,E5b	-	30	0,6
BOC (10.5,1)	(M-код)	-	E6A	(B2-BOC)	(20-30)	0,5
BOC (15.5,1)	(M-код)	-	L1A	(B3-BOC)	(20-30)	0,4
Alt-BOC	-	-	E5 Alt-OK	??	(10)	0,25

Сигнали в дужках ще не передаються або недостатні, зважаючи на відсутність відкритої інформації про коди. В ній зібрані всі сигнали, які доступні для прийому в даний час. Під час розробки нових сигналів мінімізація помилок багатопроменевості є одним з важливих чинників, що дає можливість визначити вибір типу кодової послідовності для модуляції сигналу. Сучасні елементи супутникових навігаційних систем показані (рис. 2).

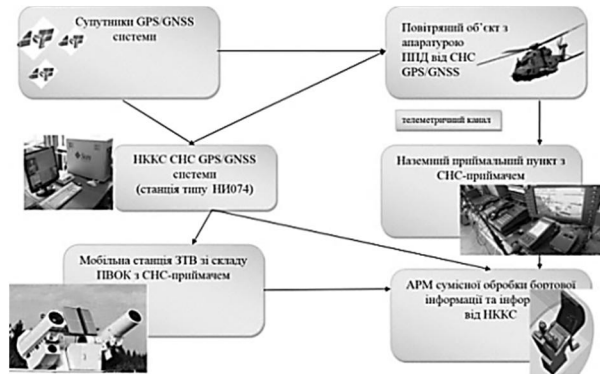


Рис. 2. Елементи сучасних супутникових навігаційних систем

Під час розробки сигналів «Галілео» були вперше реалізовані ряд новаторських ідей, що дозволили запропонувати набір сигналів з підвищеною стійкістю до багатопроменевості. Зокрема, вперше здійснена передача і прийом сигналів з модуляцією типу ВОС, що приводить до розщеплювання спектра сигналів, сигналів МВОС з складною комбінованою модуляцією, а також унікального широкосмугового сигналу E5altboc. Передача сигналів «Галілео» здійснюється експериментальними супутниками GIOVE-A і GIOVE-B. Для прийому цих сигналів Європейським Космічним Агентством була організована мережа наземних станцій стеження, обладнаних приймачами GETR. На рис. 3 представлені приймачі GPS-«Галілео»: науковий приймач GETR (праворуч) і два комерційні приймачі.

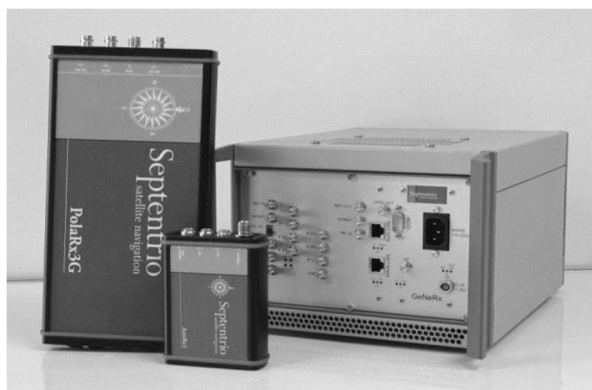


Рис. 3. Приймачі GPS-«Галілео»: науковий приймач GETR (праворуч) і два комерційні приймачі

Порядок розташування сигналів в (табл. 1) визначається частотою модуляції: чим вище частота, тим нижче рівень шуму багатопроменевості. Частоту

модуляції можна також виразити через зворотню величину – тривалість бита (чіпа), яка для зручності виражається в одиницях довжини. Ця величина приведена в передостанній колонці (табл. 1).

Прості псевдовипадкові кодові послідовності типу BPSK(N), де N – частота модуляції в МГц, однозначно характеризуються довжиною чіпа, яку можна також назвати «довжиною обрізання», тобто затримок відбитих сигналів. Відбиті сигнали, для яких величина затримки стосовно основного сигналу більше довжини обрізання, не робить впливу на зміяну величину псевдодальності. Сигнали ВОС(M,n) є послідовністю BPSK(N), додатково модульовані простим меандром вищою частотою. Для цих сигналів залежність помилки псевдодальності, що викликана багатопроменевістю від затримки відбитого сигналу, має складніший характер, і про довжину обрізання можна говорити з більшою умовністю.

При цьому помилка псевдодальності буде відсутня для сигналів BPSK(5) і BPSK(10), для яких довжина обрізання складає 60 і 30 м відповідно. Для сигналів BPSK(1) і ВОС(1,1) з більшою довжиною обрізання помилка псевдодальності складе близько 4 і 3 м відповідно. У (табл.1) сигнали з довжиною обрізання, більшою 100 м, складають групу «грубших» сигналів. Сюди, зокрема, відносяться відкриті сигнали GPS і ГЛОНАСС. До групи більш точних сигналів належать сигнали Р-кода GPS і ГЛОНАСС і більшість сигналів «Галілео». Внизу таблиці знаходиться унікальний сигнал E5altboc, що має рекордно низький шум багатопроменевості.

Реальна багатопроменевість вкрай мінлива і залежить як від зовнішніх стосовно приймача чинників (розташування і властивості відбивачів), так і параметрів, пов'язаних з процесами прийому і обробки сигналів (характеристики антени, радіочастотна частина приймача і контури стеження). Оцінка середнього шуму багатопроменевості, що приведена в останній колонці (табл. 1), призначена для порівняння сигналів [2].

Для дослідження і порівняння сигналів «Галілео» за замовленням Європейського Космічного Агентства був розроблений приймач GETR, в якому прийом і обробка різних сигналів здійснюється по мірі можливості в однакових умовах. По мірі переходу від грубих до точних сигналів змінюється не тільки величина шуму, але і характер його залежності від кута місця: криві стають плоскішими. Це пов'язано з тим, що при низькому положенні супутника над горизонтом зростає кількість віддзеркалень від місцевих предметів, які ефективніше пригнічуються при використанні більш точних сигналів. Відмінність між грубими і точними сигналами виявляється саме для далеких відбивачів, тоді як багатопроменевість від ближнього оточення антени впливає на всі сигнали приблизно однаково. Всі сигнали якого, окрім E5altboc, мають приблизно однакову величину помилки при величині затримки

відбитого сигналу менше 20 м. Зі всіх наявних сигналів тільки E5altboc ефективно знижує багатопроменевість всіх видів.

Багатопроменевість дальньої області дає квазі-періодичну компоненту шуму, яка зростає для малих величин кута місця (на цьому графіку ліва сторона відповідає появі супутника над горизонтом). Точні сигнали успішно пригнічують цей тип багатопроменевості, проте містять повільнішу компоненту, яка пов'язана з віддзеркаленнями в ближній до антени області. Тільки сигнал E5altboc зменшує вплив багатопроменевості до величини помилок 0,1- 0,2 м.

При впливі багатопроменевості на практиці слід враховувати значні відмінності між дією багатопроменевості на нерухомі і рухомі антени. Переважна більшість наявних досліджень багатопроменевості відносяться тільки до статичного випадку. Під час руху антени помилка багатопроменевості усереднюється в приймачі на рівні контурів стеження і має характер білого шуму, причому відмінності між сигналами зменшуються і стають майже неістотними. Результати автомобільного експерименту показали, що шум багатопроменевості грубого сигналу GPS L1-са зменшується в порівнянні із статичним випадком приблизно в 5-6 разів, тоді як для найбільш точного сигналу E5altboc він залишається майже тим же по величині (хоча і міняється його спектр – він стає більш високочастотним).

У результаті відмінність між величинами помилок багатопроменевості для сигналів з характеристиками, що сильно розрізняються, різко зменшується.

Однією з цілей запуску другого експериментального супутника «Галілео» GIOVE-B було тестування нового сигналу MBOC, який є суперпозицією модуляцій BOC(1,1) і BOC(6,1). Цей сигнал буде використаний для відкритої служби «Галілео» на частоті L1 замість первопочаткового наміченого сигналу BOC(1,1). Новий сигнал дає вигоду в шумі багатопроменевості приблизно на 20%. При використанні цього сигналу всі сигнали «Галілео» потрапляють в групу більш точних сигналів наведеної таблиці. Сигнал MBOC є першим в історії супутникової навігації сигналом складної структури: він є суперпозицією модуляцій BOC(6,1) і BOC(1,1), причому переважаюча частина потужності передається в модуляції BOC(1,1). Існує дві версії сигналу: TMBOC, в якій обидві модуляції поєднуються шляхом чергування в часі (time multiplexing), і SBOC, в якій моделюючий чіп утворюється шляхом складання алгебри чіпів BOC(6,1) і BOC(1,1). Обидві версії володіють приблизно однаковими характеристиками. Сигнал SBOC використовується для відкритої служби «Галілео» в смузі, L1 тоді як сигнал TMBOC буде використаний в майбутньому як новий сигнал GPS L1с. Цей складний сигнал був розроблений з розрахунку на використання саме в смузі L1, яку використовують приймачі всіх класів. Дійсно,

приймачі геодезичного класу використовуватимуть весь його спектр, щоб отримати вигоду в точності, тоді як мініатюрні приймачі масового попиту використовуватимуть вузьку смугу в рамках одного з двох спектральних піків сигналу BOC(1,1), що зробить прийом сигналу схожим на звичайний BPSK(1). Існує також можливість стежити за цим сигналом як за BOC(1,1) ігноруючи більш високочастотну модуляцію.

Майбутня китайська система супутникової навігації «Компас» (Бейдоу) є, в принципі, аналогом GPS і «Галілео». Згідно з наявною інформацією в цій системі передбачено 10 сигналів, з яких 5 є відкритими. Перший супутник нової системи «Компас-M1» передає частину цих сигналів, деякі з них були розшифровані. На основі цих повідомлень був створений перший приймач «Компас», який приймає два сигнали: E5b і E2. Обидва сигнали потрапляють в категорію грубих сигналів (табл. 1), що було підтверджено прямими спостереженнями [2-3].

Згадаємо і про майбутні сигнали системи ГЛОНАСС, які в даний час знаходяться у стадії розробки. Річ у тому, що система ГЛОНАСС, на відміну від решти трьох систем, використовує не кодове, а частотне розділення сигналів супутників. Це істотно знижує конкурентоспроможність системи ГЛОНАСС на ринку приймачів масового споживання.

Дійсно, приймачі GPS мають можливість обмежитися прийомом в смузі близько 1 Мгц, тоді як приймачі ГЛОНАСС повинні приймати і обробляти сигнали в смузі близько 20 Мгц. Це призводить до збільшення енергопотребі приблизно пропорційно ширині смуги, що перешкоджає використанню ГЛОНАСС в комерційних приймачах індивідуального використання, особливо вбудованих в мобільні телефони. В даний час для системи ГЛОНАСС розробляються нові сигнали з кодовим розділенням.

## Висновки

Таким чином, обмеження смуги обробки сигналів, збільшення споживання енергії обмежує застосування ГЛОНАСС в комерційних приймачах індивідуального використання (вбудованих в мобільні телефони). Тобто досвід, накопичений при розробці і тестуванні сигналів «Галілео», може виявитися вельми корисним в подальших дослідженнях супутникових навігаційних систем сучасності.

## Література

1. Козелков С.В., Козелкова К.С., Неділько С.М. та ін.; за ред. С.М. Неділько. *Навігаційне забезпечення Збройних Сил України з використанням космічних систем: Монографія / С.В. Козелков, К.С. Козелкова, С.М. Неділько. – Кіровоград: Вид-во КЛА НАУ, 2013 р. – 628 с.*

2. Охоцимский А.Д., *Sepentrio, Бельгія // Будущее спутниковой навигации: системы, сигналы и их точность // Аэрокосмические технологии и спутниковая навигация. – № 3(47), май-июнь.*

3. Звіт по НДР «Дослідження шляхів впровадження сучасних технологій координатно-часового та навігаційного забезпечення з використанням апаратури споживачів супутникових навігаційних систем для забезпечення випробувань зразків ОВТ», через ДОВТ МОУ, «СУПУТНИК», Чернігів, ДНВЦ (керівник – В.М. Зозуля) – 2015.

4. Государственный стандарт РФ. Навигационные спутниковые системы. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС (ГЛОНАСС-М). Параметры радионавигационного поля. Технические требования и методы испытаний. – М.: Госстандарт России, 2002.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Б.І. Сокіл, Національна академія сухопутних військ, Львів.

### Анализ характеристик сигналов спутниковых навигационных систем

В.А.Ляшенко, В.Н.Зозуля, В.И.Кривцун

Приведен анализ характеристик спутниковых навигационных систем, которые функционируют одновременно: американской GPS, российской ГЛОНАСС, европейской «Галилео» и китайской «Компас». Общее количество спутников составляет больше ста единиц, каждая система применяет всего 3 частоты, появляются дальномерные сигналы нового типа с более сложной структурой и высшими характеристиками. В статье также представлен обзор перспективных сигналов по всем четырем системам.

**Ключевые слова:** системы спутниковой навигации, спутник, дальномерные сигналы, многолучевость, погрешность, точность, американская GPS, российская ГЛОНАСС, европейская «Галилео», китайская «Компас».

### Analysis of signal characteristics of satellite navigationals

V. Lyashenko, V. Zozulya, V. Krivcun

Description of satellite navigationals which function simultaneously is resulted, namely: American GPS, Russian GLONASS, European Galileo and Chinese Compass. The general amount of suputnikiv makes more than one hundred units, every system applies that least 3 frequencies, the range-finder signals of new type appear with more more difficult structure and higher descriptions. In the article the review perspective signals is presented for all four system.

**Key words:** systems of satellite navigation, sputnik, range-finder signals, multipath, error, exactness, American GPS, Russian GLONASS, European «Galileo», Chinese «Compass».

УДК.623.454.25

А.Б. Сапрыкин

Государственный научно-исследовательский институт химических продуктов, Шостка

## ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВЗРЫВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ОСНОВАННЫЕ НА ДЕТОНАЦИОННОЙ ЛОГИКЕ

В процессе работы был проведен анализ принципов конструкций малогабаритных взрывных логических устройств, проведены расчеты подбора взрывчатого материала, опираясь на расчетные данные и массогабаритные характеристики, была проработана конструкция малогабаритного предохранительно-исполнительного механизма, выбран материал и форма детонационного логического элемента, а также возможный вариант его стыковки с электронной частью взрывателя.

**Ключевые слова:** предохранительно-исполнительный механизм, взрыватель.

### Введение

Совершенствование боеприпасов направлено, в первую очередь, на повышение их эффективности. Эффективность действия боеприпаса определяется множеством факторов. Для боеприпасов малого

калибра либо суббоеприпасов (кассетных элементов) небольшого калибра основным фактором является их поражающий эффект, т.е. максимальное осколочное действие. Добиться этого можно с помощью изменения массы заряда взрывчатого вещества (ВВ) и формы оболочки (корпуса снаряда или боевого элемента (БЭ)).