

УДК 629.052

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2026.2\(50\).75-86](https://doi.org/1034169/2414-0651.2026.2(50).75-86)

А. С. ДОВГОПОЛИЙ, доктор технічних наук
професор
<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>

О. О. БІЛОБОРОДОВ, доктор технічних наук
старший дослідник
<https://orcid.org/0000-0003-3166-2659>

С. М. ПЕТРУК, кандидат технічних наук
старший дослідник
<https://orcid.org/0000-0002-9644-1550>

С. Б. ПАНТЕЛЕЄВ
<https://orcid.org/0009-0004-2895-388X>
(Центральный научно-исследовательский институт
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ У ВІЙСЬКОВІЙ СФЕРІ

Авторами пропонується цикл статей, присвячених аналізу супутникових навігаційних систем та перспективам їх використання в системі озброєння Збройних Сил України. У першій з них проведено аналіз застосування технологій супутникової навігації у військовій сфері. Друга стаття буде присвячена аналізу основних супутникових приймачів і антен та виробленню рекомендацій щодо застосування їх у вітчизняних супутникових навігаційних системах. У третій статті буде проведено аналіз структури похибок супутникових навігаційних систем та дослідження основних факторів, які визначають точність параметрів цих систем та умов втрати навігаційного рішення приймачами.

У цій статті проведено аналіз тенденцій розвитку навігаційних приймачів: від перших GPS до багатосистемних структур. Показано, що досягнення навігаційної переваги стає критичним чинником військового успіху.

Проведено огляд світових глобальних систем супутникової навігації, проаналізовані їх переваги та недоліки. Визначено основні вимоги до супутникових навігаційних систем військового призначення. Проведено аналіз методів боротьби з втручанням у роботу супутникової навігації, зокрема з використанням технологій *anti-jamming* та *anti-spoofing*. Зроблено висновок про критичну важливість для України створити власну систему навігаційної стійкості на базі принципів GNSS+INS+AI (системи супутникової навігації + інерціальні системи + штучний інтелект), розвивати антени з просторовим захистом та інтегруватися у мережеві стандарти НАТО.

Ключові слова: супутникові навігаційні системи, глобальні супутникові системи, GPS, ГЛОНАСС, Galileo, забезпечення військ навігаційною інформацією, за-

вадостійкість супутникових навігаційних систем (*anti-jam/anti-interference*), стійкість до підміни (*anti-spoofing*).

ВСТУП

Супутникові навігаційні системи (СНС, англ. GNSS – Global Navigation Satellite System) стали одним із найважливіших елементів сучасних військових технологій. У XXI столітті роль GNSS перевершує класичні методи позиціонування за масштабом покриття, швидкістю роботи та рівнем автоматизації: вони забезпечують наведення високоточної зброї, синхронізацію систем зв'язку, управління військами, логістичні операції, а також координацію дій на суші, морі та у повітрі.

Військові дії останніх років, включаючи бойові дії в Україні та операції США у Венесуелі та Ірані, довели, що навігаційна перевага стає критичним чинником у досягненні успіху. Доступ до точного, захищеного та стійкого GNSS-сигналу забезпечує перевагу у часі реагування, точності ударів і координації бойових дій.

Сьогодні у світі функціонують чотири повноцінні глобальні супутникові навігаційні системи: GPS (США), Galileo (ЄС), BeiDou (КНР) та ГЛОНАСС (рф). Також існують регіональні системи QZSS (Японія) та NavIC/IRNSS (Індія). Усі вони виконують як цивільні, так і військові функції, однак відрізняються рівнем технологічного розвитку, точністю, криптографічним захистом і методами протидії завадам [1–9].

Для України питання ефективного використання GNSS має стратегічне значення. З огляду на триваючу війну та активне використання противником засобів радіоелектронної боротьби, надійність і стійкість навігаційних систем стають запорукою боєздатності військових підрозділів, артилерійських розрахунків, БпЛА і систем управління озброєнням.

Мета роботи: проведення аналізу застосування сучасних GNSS та їх характеристик у військовій сфері, оцінка методів захисту сигналів GNSS від зовнішніх джерел та напрямків розвитку технологій супутникової навігації для застосування у Збройних Силах України.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розвиток навігаційних приймачів: від перших GPS до багатосистемних комплексів

Перші військові GPS-приймачі з'явилися в 1980-х роках – на той час громіздкі, з обмеженими каналами та одночастотні. Прикладом є американський AN/PSN-11 PLGR (Precision Lightweight GPS Receiver), прийнятий на озброєння у 1990 році. PLGR був 5-канальним одночастотним (L1) приймачем з можливістю доступу до прецизійного P(Y)-коду та мав вагу близько 1,25 кг з батареями [7, 8]. Цей прилад забезпечував точність в межах 10–20 м і використовувався у війні в Перській затоці 1991 року, надавши військам базову навігацію в пустелі. Його замінив AN/PSN-13 DAGR (Defense Advanced GPS Receiver) у 2004 році – двочастотний (L1/L2) 12-канальний приймач із шифрованим доступом (SAASM) та графічним дисплеєм [8]. DAGR був суттєво легшим (~0,43 кг) і швидшим, а головне – більш стійким до завад: забезпечував ~41 дБ захисту від радіоелектронного подавлення (відношення потужності завади до

потужності корисного сигналу на вході, англ. J/S) при відстеженні сигналів проти ~ 24 дБ у PLGR. Це означає збереження роботи навіть за наявності потужних перешкод. DAGR став масово використовуватися США та її союзниками (понад 125 тисяч одиниць на кінець 2006 року) [8, 9].

Згодом, із розгортанням нових GNSS, виникла потреба у приймачах, що підтримують не лише GPS. Український виробник «Оризон-Навігація» з 1990-х років розробляв двосистемні GPS/ГЛОНАСС-приймачі для авіації, флоту, бронетехніки тощо [10]. Наприклад, портативний приймач СН-3003М цієї компанії має 24 канали для GPS/ГЛОНАСС L1, із заявленою точністю ~ 10 м (СКВ) і важить $\sim 0,8$ кг [11], зокрема, повідомлялося про оснащення модернізованих РСЗВ «Верба» українським навігаційним комплексом від «Оризон-Навігації», що працює з GPS, ГЛОНАСС для точного прив'язування координат [11].

У рф власні ГЛОНАСС-приймачі масово стали впроваджуватися у 2000-х роках, коли угруповання ГЛОНАСС відновило працездатність після деградації у період 1996 – 2001 роки. Для підвищення точності позиювання багато російських систем використовують GNSS-приймачі, що одночасно обробляють сигнали систем GPS і ГЛОНАСС.

Огляд глобальних систем супутникової навігації

Загальна характеристика

Супутникові системи навігації забезпечують безперервне визначення координат, швидкості й часу для користувачів на поверхні Землі, у повітрі чи на морі. Кожна з систем має власну орбітальну групу супутників, контрольні центри та формати навігаційних сигналів.

Основні системи GNSS перелічені в роботах [1–11] та наведені нижче.

GPS (Global Positioning System, США) – працює з 1995 року, налічує 31 активний супутник. Система має сигнал відкритого доступу L1 C/A та військовий M-code із криптографічним захистом і підвищеною стійкістю до завад.

Galileo (Європейський Союз) – розроблена ESA (Європейське космічне агентство) і EUSPA (Агентство Європейського Союзу з питань космічної програми). Забезпечує глобальне покриття та має зашифрований канал PRS (Public Regulated Service), який призначений для військових і урядових структур ЄС.

BeiDou (КНР) – третє покоління системи, повністю глобальне з 2020 року. Підтримує відкриті сигнали B1I, B1C і B2a, комерційні високоточні сервіси (B2b) та сигнали обмеженого доступу (B3), а також сервіс коротких повідомлень (RDSS), що дозволяє передавати текстову інформацію та координати через супутникову інфраструктуру, що важливо для бойових умов.

ГЛОНАСС (російська федерація) забезпечує глобальне покриття. Точність визначення координат у відкритому сервісі зазвичай становить кілька метрів і є порівнянною з іншими GNSS. У межах модернізації системи (супутники серії GLONASS-K/K2) впроваджуються нові сигнали та покращені характеристики стабільності, однак їхній вплив залежить від ступеня розгортання орбітального угруповання.

QZSS (Японія) — регіональна система, що доповнює GPS у Азійсько-тихоокеанському регіоні, має режим військової синхронізації «Military-SOS».

IRNSS/NavIC (Індія) — регіональна система для Індії та сусідніх країн, використовує зашифрований військовий канал IRNSS-S.

Військові сигнали GNSS відрізняються від сигналів відкритого доступу застосуванням криптографічного захисту, механізмів автентифікації та перевірки цілісності навігаційних повідомлень, а також підвищеною завадостійкістю, що забезпечує їхню працездатність в умовах активних радіоперешкод і навмисних впливів, зокрема спуфінгу. Сигнал M-code системи GPS є окремим військовим сигналом, що передається на частотах L1 та L2 із використанням широкосмугових спектральних методів, забезпечуючи підвищену точність позиювання та завадостійкість. Сигнал PRS системи Galileo має подібні функціональні характеристики, однак реалізований із застосуванням європейських криптографічних механізмів. У системі BeiDou використовуються власні методи автентифікації та псевдовипадкові кодові послідовності для забезпечення захисту та цілісності сигналів. Точність позиювання GNSS для користувачів відкритого сервісу зазвичай становить 1–5 метрів. Для військових систем (систем обмеженого доступу), завдяки застосуванню криптографічного захисту, автентифікації сигналів і багаточастотним каналам, досягається точність до 0,3–0,5 метра. При інтеграції GNSS з інерціальними системами (INS) у короткочасному інтервалі можливо досягти точності близько 0,1 м [1–11].

Системи нового покоління, зокрема GPS III та Galileo PRS характеризуються високими показниками надійності та завадостійкості. Система BeiDou демонструє підвищену ефективність у складних умовах прийому, зокрема в міській забудові та гірській місцевості, а ГЛОНАСС має обмеження, пов'язані із стабільністю характеристик [1, 3, 4].

GNSS забезпечують функціонування широкого спектра військових застосувань, охоплюють практично всі рівні – від стратегічного командування до тактичної навігації.

Застосування GNSS у військовій сфері тісно пов'язане із концепцією мережецентричної війни, де позиювання, навігація та час забезпечують координацію, синхронізацію та ефективність бойових дій [1].

Основні вимоги до супутникових навігаційних систем військового призначення

GNSS у військовому застосуванні мають забезпечувати війська навігаційною інформацією (координати, швидкість, курс та єдиний час) для безпечного переміщення та ефективного застосування ОБТ, у т. ч. в умовах протидії противника [12]. На практиці це означає, що вимоги до військових навігаційних рішень жорсткіші за цивільні через загрози РЕБ, кібервпливу та потребу безперервної роботи [13].

Основні вимоги до GNSS військового призначення забезпечуються шляхом комплексного поєднання технічних і організаційних заходів. Ключовим є застосування захищених сигналів і контролю доступу, а також використання anti-jamming та anti-spoofing методів для

протидії радіоелектронному подавленню та хибному навігаційному рішенню. Використання багаточастотних та багатосистемних приймачів GNSS забезпечує підвищення доступності і безперервності навігаційного рішення у складних умовах прийому сигналів. Обов'язковим є резервування навігації за рахунок інерціальних систем, одометрії та режимів утримання часу при втраті супутникового сигналу. Додатково вимоги підтримуються стандартизацією, підготовкою персоналу та регулярними випробуваннями в умовах, наближених до бойових.

Ключові вимоги (показники якості позиціонування, навігації та часу (PNT)):

- точність – відповідність визначених координат/швидкості/часу реальним значенням у заданій системі координат; для різних задач (артилерія, БпЛА, логістика, синхронізація мереж) потрібні різні рівні точності [13];
- цілісність – здатність своєчасно виявляти втрату достовірності навігаційних даних (внаслідок помилок, збоїв або навмисних впливів) та забезпечувати інформування про це користувача або суміжних систем [12, 13];
- безперервність і доступність – робота в різних режимах (норма, під атакою (завадою), під час відновлення) з мінімальними перервами; визначаються допустимі «вікна» втрати сигналу/часу [13];
- покриття – це здатність навігаційної системи забезпечувати виконання навігаційних задач у заданих географічних районах і для різних профілів руху (земля, повітря, море), включно зі складним рельєфом та міською забудовою [13].

Вимоги стійкості до РЕБ і підміни сигналів NAVWAR (Navigation Warfare, навігаційна війна):

- завадостійкість (anti-jam, anti-interference) – працездатність при активних, пасивних завадах (пригнічення сигналу), зокрема через технічні засоби подавлення та алгоритми виявлення аномалій [14];
- стійкість до підміни (anti-spoofing) – здатність виявляти та відхиляти «фальшиві» навігаційні сигнали/дані; важливі механізми перевірки достовірності та узгодженості рішень [13, 14];
- багатоканальність і перехресна перевірка – використання кількох діапазонів частот, систем, а також перевірки узгодженості PNT-даних, щоб швидше виявляти їх відхилення або підміну [13].

Кібер- та інформаційна безпека навігаційних даних:

- автентичність і керування доступом – підтвердження «хто/що» є джерелом PNT-даних та хто має правом користуватися (на рівні обладнання, програмного забезпечення, мережних компонентів) [13];
- захист даних у системі (у т. ч. журналів/міток часу) – недопущення підробки, зміни або заперечення даних; за потреби – шифрування та контроль їх цілісності [13];
- безпечна експлуатація – підготовка персоналу до виявлення та реагування на «скомпрометовані» навігаційні дані та інциденти [13].

Вимоги живучості та резервування:

- робота при втраті GNSS сигналів на приймачі (GNSS-denied) – наявність «шарів» резервуван-

ня: інерціальні системи (INS), одометрія, курсові датчики, локальні маяки, опорні джерела часу, режим утримання для часу [12, 13];

- висока швидкість відновлення – визначені процедури і параметри відновлення точності/цілісності після впливу перешкод або збоїв [13].

Сумісність, стандартизація та експлуатаційні вимоги:

- сумісність у міжвидових та коаліційних діях з військовими підрозділами країн-партнерів – підтримка стандартизованих систем координат і форматів даних, узгоджені процеси доведення навігаційної інформації, можливість інтеграції з автоматизованими системами управління [12];
- надійність і ремонтпридатність СНС – прогнозована відмова, ресурс, зручність техобслуговування, діагностика [12];
- врахування обмежень носія складової СНС (боєприпаси, БпЛА, бронетехніка, переносні комплекти) – маса, габарити, енергоспоживання [12].

Методи anti-jamming у GNSS військового (спеціального) призначення

Jamming (подавлення) – це навмисне створення радіоелектронних перешкод з метою пригнічення або повного зриву прийому супутникових навігаційних сигналів приймачем GNSS. Такі перешкоди зазвичай мають більшу потужність, ніж корисний сигнал GNSS, що призводить до втрати кореляції та навігаційного рішення. Jamming є типовим засобом радіоелектронної боротьби проти навігаційних систем і систем управління.

До основних методів anti-jamming у GNSS військового призначення відноситься просторова селекція сигналів шляхом використання антенних решіток, частотно-часові методи обробки інформації в приймачах, використання багаточастотних приймачів або декількох різних систем супутників.

Антенні методи (просторова селекція)

Використання антенних решіток з цифровим формуванням діаграми спрямованості (CRPA). Антенна решітка оцінює напрямок надходження радіоелектронних перешкод та створює «провали» діаграми спрямованості у напрямку джерела, забезпечуючи їх пригнічення, одночасно зберігаючи прийом корисних сигналів супутників. Це один із найефективніших підходів протидії потужним джерелам радіоелектронних перешкод, особливо тим, які мають виражений напрям приходу сигналу [16].

Частотно-часові методи на рівні приймача (приймання сигналу та цифрова обробка)

Вирізання, пригнічення вузькосмугових радіоелектронних перешкод та адаптивні смугово-загороджувальні фільтри: якщо перешкода займає вузьку смугу частот, приймач може автоматично «вирізати» її в цій частотній області (або застосувати адаптивний режекторний фільтр, який відстежує частоту перешкоди) і тим самим зберегти працездатність корелятора GNSS. Такі методи найкраще працюють проти вузькосмугових радіоелектронних перешкод; їх ефективність знижується проти широкосмугових перешкод [15, 17].

Архітектурні методи підвищення стійкості (багаточастотність та контроль)

Багаточастотність та багатосистемний прийом, а також керування режимами: використання кількох частот і (за можливості) кількох GNSS зменшує ризик повної втрати навігаційного рішення, оскільки радіоелектронна перешкода, як правило, має неоднорідний спектральний характер. Додатково застосовують моніторинг радіоелектронної обстановки і перемикання режимів роботи приймача при погіршенні умов. Це зазвичай поєднують із виявленням фактів радіоелектронних перешкод (індикатори присутності перешкод, аномалії в кореляції, AGC тощо) та політиками деградації сервісу (наприклад, пріоритет часу або грубої навігації) [15].

Методи anti-spoofing у GNSS

Spoofing – це навмисна підміна навігаційних сигналів та даних так, щоб приймач «повірів» у хибні координати або час. Тому anti-spoofing зазвичай будують як поєднання криптографічної автентифікації та виявлення аномалій, невідповідностей у вимірах і поведінці сигналу [13, 17].

Автентифікація навігаційних даних (cryptographic authentication)

Найнадійніший принцип – перевіряти «походження» навігаційного повідомлення (чи справді дані надійшли від супутникової системи і не були змінені). Приклад – Galileo OSNMA (Open Service Navigation Message Authentication): супутники передають додаткові автентифікаційні дані, а приймач перевіряє криптографічні ознаки справжності навігаційного повідомлення [18]. Це суттєво ускладнює підміну саме навігаційних даних (ефемериди, час, повідомлення).

Перевірки узгодженості та цілісності приймання навігаційних сигналів

Поширений клас методів anti-spoofing – автономні перевірки достовірності. Приймач порівнює, чи узгоджуються псевдовідстані, доплерівські зсуви між собою та з моделлю руху, а також контролює різкі «стрибки» координат, швидкості, часу. У профілях керування ризиками PNT це розглядають як практики виявлення маніпуляцій PNT-даними та реагування на підозрілі відхилення [13]. Якщо спуфер змушує рішення стрибати, внутрішні тести узгодженості можуть зафіксувати аномалію та перевести систему в безпечний режим.

Просторові методи (антенна решітка, напрямок приходу сигналу)

За умови наявності у приймача двох або більше антен, можна оцінювати напрямок надходження сигналів. Для сигналів реальних супутників характерна різноманітність напрямків надходження, зумовлена їхнім

просторовим розташуванням, а для локального джерела підмінених сигналів часто виникає аномальна просторова структура (сигнали приходять з одного напрямку та мають узгоджені фазові співвідношення). Експериментальні роботи показують, що мультиантенні підходи можуть забезпечувати виявлення підміни сигналів силами самого приймача (receiver-autonomous spoofing detection) [19].

Крім того, методи формування провалів діаграми спрямованості багатоеlementної антени зазвичай базуються на режекції найбільш потужних сигналів (у якості яких виступають перешкоди), що забезпечує й пригнічення дезінформаційної навігаційної перешкоди, яка має високий рівень потужності порівняно із справжніми навігаційними сигналами.

Порівняння GNSS цивільного та військового призначення

GNSS сервіси з відкритим доступом (цивільного призначення, наприклад, GPS SPS) надаються широкому колу користувачів, визначаються відкритими характеристиками сигналу та заявленими показниками точності і доступності [20].

Сервіси обмеженого доступу – військового призначення, або урядово-обмежені сервіси (наприклад, GPS PPS або Galileo PRS) призначені для авторизованих користувачів і мають підвищені вимоги до безперервності функціонування, керуваності доступу та стійкості до навмисних впливів (завади, підміна). Це забезпечується застосуванням криптографічного захисту, механізмів автентифікації та спеціалізованих режимів роботи приймачів [21].

Ключова відмінність полягає в моделі доступу та рівні захисту: сигнали та повідомлення цивільного застосування зазвичай відкриті (простіше сумісність і масове застосування), але вразливіші до РЕБ та підміни навігаційних даних; військового застосування (обмежені) – використовують механізми контролю доступу та проєктуються для роботи в умовах протидії, включно зі сценаріями «GNSS-denied» [22].

Також відрізняються пріоритети експлуатації: для цивільного сегмента критичні стандартизованість і передбачувана якість сервісу для широкого ринку, тоді як для військового – живучість, інформаційна безпека та відповідність тактичним вимогам (ризик підміни та подавлення розглядаються як базові загрози) [23].

Відповідно до публікацій [20–24] складена порівняльна таблиця можливостей GNSS військового і цивільного застосування (табл. 1).

Т а б л и ц я 1

Система	Військовий канал	Точність, м (військова/ цивільна)	Стійкість до завад	Рік модернізації
GPS (США)	M-code (шифрований)	0,3 / 1,5	висока	2024
Galileo (ЄС)	PRS (шифрований)	0,5 / 1,0	висока	2024
BeiDOU (КНР)	B2b (шифрований)	0,5 / 1,0	середня-висока	2023
ГЛОНАСС	CDMA військовий	1,0 / 3,5	середня	2024
IRNSS/ Navic (Індія)	IRNSS-S	10 / 20	середня	2023
QZSS (Японія)	Military-SOS	1 / 1,2	висока (регіональний сигнал)	2025

З табл. 1 слідує, що:

- всі згадані типи СНС мають захищений військовий канал передачі сигналу від супутників до приймачів споживача;
- похибка визначення координат кращих систем GPS, Galileo та BeiDOU досягає 0,5 м для військового та 1,5 м для цивільного застосування;
- найбільш високу захищеність від завад мають системи GPS, Galileo та QZSS.

Адаптація GNSS до різних платформ

При інтеграції GNSS у військові системи виникають наступні ключові проблеми [25–36]:

- антена має приймати сигнал від якомога більшої кількості супутників та не мати фізичних перепон у оточуючому середовищі;
- необхідно враховувати фізичні навантаження і вібрації від об'єкта, на якому встановлюється антена;
- необхідно враховувати проблему електромагнітної сумісності з РЛС, радіостанціями, РЕБ, іншими бортовими джерелами радіоелектронних перешкод, які можуть забивати слабкі сигнали GNSS та визначати шляхи боротьби з ними;
- забезпечувати спільну роботу з іншими навігаційними системами (INS, баровисотомір, одометри, радары, лідари, візуальна навігація).

Різні носії висувають специфічні вимоги до GNSS-обладнання. Далі узагальнено матеріали робіт [25–36] щодо специфіки застосування GNSS на різних платформах.

БПЛА. Малогабаритні дрони потребують легких та доступних приймачів. Часто використовуються комерційні модулі (напр. U-Blox) з підтримкою GPS, проте військові БПЛА обладнуються більш захищеними системами. Для ударних БПЛА критичною є стійкість до РЕБ. На російських «Орлан-10» певний час встановлювали прості GPS/ГЛОНАСС-модулі типу U-Blox M8 і вони були уразливими до радіоелектронних перешкод [35]. Натомість в БПЛА, які використовують українські Сили оборони та військові підрозділи країн-партнерів, впроваджують заходи проти подавлення – від переходу на інерціальну навігацію при втраті сигналу до встановлення малогабаритних заводо захищених антен. Як приклад, згадана вище GAJT-310 може встановлюватися на тактичні БПЛА, забезпечуючи прийом сигналів навіть при наявності перешкод [36]. Іранські БПЛА Shahed-136 (рос. «Герань-2»), що масово застосовуються рф, спершу були вразливими до подавлення GPS, однак новіші модифікації отримали покращений приймач «Nasir» та антену з 4-ма елементами [36]. Також застосовувались варіанти Shahed з 8-елементною круговою антенною решіткою китайського походження, що свідчить про впровадження інших типів CRPA на цих БПЛА.

Крилаті ракети, керовані бомби і снаряди. Ці платформи рухаються на високих швидкостях і часто на далекі відстані, тому інтегрують INS разом із GNSS. Антени зазвичай пласкі та встановлені на верхній частині корпусу носія. Наприклад, американські авіаційні бомби JDAM мають невелику антену в хвостовому блоці. У сучасній війні рф–Україна з'ясувалося, що боєприпаси для M142 HIMARS та M982 Excalibur з на-

вігацією на базі GPS можуть втрачати точність під дією російських засобів РЕБ. Відомо, що точність 155-мм снарядів Excalibur впала з ~70 % до лише 6 % влучань після кількох тижнів пристосування РЕБ противника [37, 40]. У відповідь США терміново модифікували JDAM із наведенням GPS для України, додавши до них режим самонаведення на джерело випромінювання перешкод [38, 41]. Спеціальний сенсор вловлює сигнал ворожого засобу РЕБ і скеровує бомбу в цю точку, перетворюючи РЕБ на мішень. Таким чином, отримують можливість ураження засобів РЕБ з пасивним наведенням.

Військові літаки. Авіація НАТО з початку 2000-х років має доступ до точної навігації – як через GPS, так і наземні системи типу eLORAN. Антени на літаках можуть бути як всеспрямованими (декілька по фюзеляжу для кругового огляду), так і спрямованими (наприклад, встановлюватись у носі – для прийому диференційних сигналів від супутників зв'язку). Сучасні винищувачі обладнуються захищеними багаточастотними приймачами. Так, F-35 має вбудований модуль GNSS з М-кодом. Антенні системи літака можуть включати кілька елементів для реалізації антенного рознесення і боротьби з перешкодами (як правило, інтегровані у верхню поверхню планера) [38].

Кораблі і морські платформи. На флоті GNSS використовується не лише для навігації, а й для синхронізації часу радіоелектронної апаратури. Корабель може нести одразу декілька GNSS-приймачів різного призначення. Відкриті палуби дозволяють встановлювати громіздкі антени – в тому числі адаптивні. Зазначена вище система GAJT-710MS якраз позиціонується для флоту – вона вміщує 7-елементну антену і блок радіоелектронного подавлення в одному куполі, стійкому до морських умов [44, 45]. Вона забезпечує безперервну навігацію корабля навіть поблизу зон активних радіоелектронних перешкод, забезпечуючи захищений прийом супутникових сигналів. Окрім GNSS, військові кораблі мають інерціальні системи високої точності та астрономічні навігаційні системи як резервні.

Наземна техніка. Танки, БМП, автомобілі оснащуються GNSS для навігації та бойового управління (зокрема, в системах типу «digital battlefield»). Через відносну близькість до лінії фронту, ці приймачі часто зазнають впливу РЕБ. Типовий захід – встановлення на бронетехніку антен із заводо захищеними модулями. Нерідко застосовуються приймачі у комплекті з антиспуфінговими антенами, наприклад, в російських військах помічено переносні навігаційні прилади «Оріон» від КБ «Навіс» – ручні ГЛОНАСС/GPS навігатори, які, за заявами, є «секретними» і стійкішими до РЕБ. Один із таких приладів був захоплений СБУ в 2022 році у російському десантному підрозділі під Миколаєвом [44]. Він містив критичні дані маршрутів, що свідчить про використання таких пристроїв для координації наступу. Сили оборони України наразі отримують численні засоби навігації виробництва країн-партнерів – від звичайних комерційних GPS-приймачів для авто до високоточних диференційних приймачів для артилерійських систем. Зокрема, високоточні системи типу HIMARS використовують GPS військового призначення з шифруванням, але як

показав досвід, вони потребують додаткового захисту від подавлення на рівні антени або тактичних прийомів (зміна траєкторії, швидке відпрацювання залпу до того, як ворог застосує радіоелектронне подавлення).

Бойова ефективність та досвід

Реальні бойові дії останніх десятиліть підтвердили критичність стійкості GNSS-обладнання. У війні на сході України та під час широкомасштабного вторгнення 2022–2026 рр. російські сили активно застосовують РЕБ для подавлення GPS-приймачів на БпЛА і високоточних снарядах [37]. Як згадувалося, це призвело до випадків зниження точності західних озброєнь. У відповідь ЗСУ вдосконалюють тактику застосування озброєнь – удари по РЕБ, зміна маршрутів БпЛА і модернізують обладнання. Зокрема, американські JDAM-ER, надані Україні, отримали апаратні доопрацювання – систему самонаведення на джерело перешкод, що вже показала успіхи у випробуваннях [41, 42].

З іншого боку, російська військова техніка також страждає від залежності від GNSS. Відомо про випадки, коли БпЛА «Орлан-10» некоректно поверталися і були втрачені через подавлення навігації. РФ намагається компенсувати це, впроваджуючи комплексну навігацію (ГЛОНАСС + інерціальна система), використовуючи наземні РСДН (системи типу «Чайка») як резерв, а також нові алгоритми типу поєднання сигналів кількох систем (GLONASS, GPS, Galileo). Проте західні спостерігачі відзначають, що загалом GNSS-війна в Україні стала першим масштабним зіткненням засобів РЕБ і навігаційних систем. Кожна сторона швидко адаптується. З'явилися імпровізовані екрани і фільтри для антен, використання БпЛА на наднизьких висотах, рознесення частот тощо [35, 36].

Отже, ефективність СНС-обладнання на полі бою визначається тим, наскільки добре воно захищене від типових загроз РЕБ. Сучасні професійні приймачі з завадостійкими антенами значно підвищують шанси зберегти навігацію: наприклад, американські системи з M-code у поєднанні з CRPA-антенами можуть працювати під впливом комплексів РЕБ «Житель» і «Поле-21», тоді як GPS приймачі цивільного використання повністю «сліпнуть» у тій зоні [37]. Важливо також мати резерв – інерціальні системи, оптичні датчики (у деяких БпЛА останніх модифікацій присутні відеосистеми для навігації за місцевістю).

В подальшому зупинимось на аналізі ефективності використання GNSS у бойових діях на сході України.

GNSS стали критично важливим елементом російсько-української війни. Точність визначення координат, синхронізація часу та навігаційні функції прямо впливають на ефективність БпЛА, артилерії, ракетних систем, морських платформ та кораблів, а також наземної техніки з НПК включно.

Зокрема, слід зазначити, що GNSS забезпечує зменшення витрат боєприпасів за рахунок підвищення точності ураження, прискорення циклу «розвідка-удар» та можливості точного ураження цілей у глибині оборони противника. Завдяки GNSS ЗСУ здійснювали точні удари по складах боєприпасів, командним пунктам та логістичним вузлам противника. Масоване застосування БпЛА

в поєднанні з GNSS дозволили Силам оборони Україні створити ефективну розвідку в режимі реального часу.

У той же час, як згадувалося вище, противник активно застосовує комплекси РЕБ з системами GPS-спуфінгу. В зоні бойового зіткнення РЕБ противника є особливо насиченим і це суттєво впливає на бойові можливості підрозділів ЗСУ, залежних від GNSS.

Підрозділи РЕБ та РЕП ЗСУ активно виявляють станції РЕБ противника, які протидіють GNSS та які знищуються Силами оборони України за допомогою артилерії та БпЛА. Україна масово створює власні системи РЕБ, зокрема портативні, які подавляють канали управління та навігації БпЛА, створюючи свої «зони без GNSS» для ворожої техніки.

Останні два роки розвивається тенденція до рішень, менш залежних від GNSS.

Українські компанії розробляють автономні системи візуальної навігації, які дозволяють БпЛА орієнтуватись у польоті за рельєфом місцевості, без GNSS і зберігати точність навіть при дії потужного РЕБ [48].

Для ракет розробляються гібридні системи на основі INS з оптичною або радарною корекцією у купі з захищеною СНС.

В умовах впливу радіоелектронного подавлення FPV-дрони можуть переходити на використання INS, доповненої управлінням по візуальному каналу з використанням оптоволоконного зв'язку та оптико-кореляційних систем. GNSS показала високу бойову ефективність лише до моменту насичення противником сучасною РЕБ. GNSS є важливою технологією, але не самодостатньою. GNSS має бути інтегрованою з INS, оптичною, радіолокаційною та іншою навігацією. Ключем до збереження переваги над противником є подальший розвиток автономної навігації [48].

Україна, як держава, що веде сучасну війну, потребує власної системи забезпечення навігаційної стійкості. У нормативно-правових актах органів державної влади України [44–47] визначено актуальні проблеми в цій сфері та окреслено основні напрями її розвитку. Однак, незважаючи на схвалення розпорядженням Кабінету Міністрів України від 03.01.2013 № 1-р Концепції проекту Закону України «Про державне регулювання у сфері супутникової навігації» [45], сам Закон досі не прийнятий.

Виклики

Основні проблеми – активні дії РЕБ противника, обмежені ресурси на дослідження та ДКР, залежність антенних компонентів від імпорту.

За результатами проведеного у статті аналізу GNSS можна виокремити такі ключові аспекти їх розвитку:

1. Точність і чутливість. Сучасні GNSS-приймачі досягли високої точності (метрової і кращої) завдяки багаточастотності та обробці диференційних поправок. Ранні покоління приймачів характеризувались точністю на рівні десятків метрів і нижчою чутливістю до сигналів. В умовах бойових перешкод точність визначається спроможністю приймачів отримати достовірну інформацію хоча б з однієї СНС – тут мають перевагу приймачі, що можуть використати кілька діапазонів і систем. Досвід показав, що односистемні рішення (тільки GPS) вразливіші.

2. Стійкість до РЕБ. Це головний виклик сьогодення. Найбільшу стійкість мають приймачі військового призначення із захищеними сигналами (напр. GPS P(Y), M-code, Galileo PRS) у поєднанні з адаптивними антенами. Вони здатні витримувати десятки децибел завадового сигналу. Без таких заходів точна зброя втрачає ефективність (як було з Excalibur до модернізації). Таким чином, у конкурентній боротьбі «перешкода та приймач» нині перемагають ті системи, які закладають у конструкцію протидію спуфінгу та перешкодам і навіть контрзаходи (наведення на джерело перешкоди).

3. Габарити, вага, енергоспоживання. Ранні версії GPS приймачів вагою 1–2 кг замінено на модулі по 0,4–0,5 кг або й десятки грам. Це дозволило масово оснастити солдатів і БпЛА навігацією. Антени із адаптивним фільтром від завад поки що додають вагу (кількасот грамів для малого БпЛА, до кількох кг для техніки), але можливі і адаптивні антени (наприклад, 3-х або 4-х елементні рішення для БпЛА). Енергоспоживання теж оптимізовано: сучасні приймачі споживають 0,5–1 Вт, електроніка із забезпеченням фільтрації завад – кілька ват, що прийнятно для більшості платформ.

4. Адаптованість до платформ. Кожен тип носія отримав спеціалізоване рішення: для піхоти – легкі портативні GPS приймачі із швидким стартом і зручним інтерфейсом (DAGR, NavGuide); для бронетехніки – приймачі з інтерфейсами до бортової інформаційно-управляючої системи (БІУС) і можливістю під'єднання до зовнішніх антен; для БпЛА – модулі, що легко інтегруються в автопілот; для ракет – високодинамічні приймачі, що витримують перевантаження та малогабаритні антени, вмонтовані в корпус. Відповідно, існує взаємозамінність: наприклад, NavGuide може ставитися і на машину, і використовуватися піхотинцем. Гнучкість систем – одна з вимог сучасності. Українська практика – встановлення західних модулів на радянську техніку (для підвищення точності артилерії тощо) – демонструє, що компактні GNSS-рішення універсальні та легко адаптуються.

5. Бойове застосування. Реальні війни підтвердили ефективність тих систем, що мають багаторівневий захист і резерви. GNSS-приймачі, доповнені INS та адаптивними антенами, суттєво зберігають точність ударів навіть під тиском РЕБ. Натомість техніка, розрахована тільки на GPS цивільного застосування, зазнає значних втрат боєздатності в зоні конфлікту з потужним РЕБ. Український театр воєнних дій став полігоном для випробувань новітніх засобів: від російських засобів РЕБ до західних засобів гарантованого забезпечення позиціонування, навігації та синхронізації часу. Інвестиції в заводо захищені GNSS-антени і приймачі є критично необхідними для сучасної армії. Це підвищує стійкість управління військами, зменшує ризики втрати керування БпЛА та ракетами, збільшує точність вогневого ураження.

ВИСНОВКИ

GNSS стає не просто допоміжною технологією, а ключовим елементом управління сучасними бойовими системами. Військове майбутнє — це інтегровані системи позиціонування, навігації й часу, які залишаються стійкими навіть у середовищі із високим рівнем завад.

Для України критично важливо створити власну систему навігаційної стійкості на базі принципів інтеграції GNSS з інерціальними та оптичними системами під керуванням штучного інтелекту, розвивати антени з просторовим захистом та інтегруватись у мережеві стандарти НАТО.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Global Positioning System (GPS): Fact Sheet – 2024. URL: <https://www.spaceforce.mil/about-us/fact-sheets/article/2197765/global-positioning-system/> (дата звернення: 10.03.2026).
2. European GNSS (GALILEO) open service issue 2.0, January 2021 navigation solutions powered by Europe signal-in-space interface control document. URL: https://galileognss.eu/wp-content/uploads/2021/01/Galileo_OS_SIS_ICD_v2.0.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
3. Глобальна навігаційна супутникова система (ГЛОНАСС): URL: https://gpsmobile.com.ua/ua/page/glonass.html?srsId=AfmBOop1inIkzLFAJts5E4Cxxxm__EPqmgmgJZHGTiFSGI5WvYFdjS (дата звернення: 10.03.2026).
4. Lu, J. (2020). Global Capabilities of the BeiDou Navigation Satellite System (BDS). *Advances in Space Research*. Vol. 65. No. 1. Pp. 345—356. URL: <https://d-nb.info/1219381500/34> (дата звернення: 10.03.2026).
5. Sharma, S. & Singh, R. (2021). An Overview on the Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS/NavIC). *Intern. J. of Research Publication and Reviews*. Vol. 2. No. 10. Pp. 112—118. URL: <https://ijrpr.com/uploads/V2ISSUE10/IJRPR1542.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
6. Inaba, N., Matsumoto, A., Hase, H., Kogure, S., Sawabe, M. & Terada K. (2009). Design Concept of Quasi-Zenith Satellite System. *Acta Astronautica*. Vol. 65. No. 7—8. Pp. 1068—1075.
7. Radionerds. A step-by-step introduction to the AN/PSN-11 PLGR / RN-training manual. URL: https://radionerds.com/images/7/76/The_PLGR_Primer.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
8. AN/ASN-163 and AN/PSN-11 GPS Receivers Rockwell Collins GPS Test Report. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA416592.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
9. Short manual GPS receiver Dagr URL: <https://steamcommunity.com/sharedfiles/filedetails/?l=russian&id=3140921708> (дата звернення: 10.03.2026).
10. Водяних А.А., Тимчук В.Ю. Технічна характеристика навігаційної апаратури СН-3003М «Базальт». Військово-технічний збірник. 2011. № 4. URL: <https://vtz.asv.gov.ua/article/view/174988> (дата звернення: 17.11.2025).
11. Каталог продукції ГП «Укроборонпром». Приймач СН-3003М. URL: <https://orizon-navigation.ua/ru/product/aparatura-nazemnogo-priznachennya/sn-3003m-2/> (дата звернення: 17.11.2025).
12. Настанова «Використання навігаційних засобів в Збройних Силах України» : URL: https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2024/07/2_%D0%92%D0%9A%D0%94%D0%9F-10-15403.01-%D0%9D%D0%90%D0%A1-%D0%92%D0%98%D0%9A-%D0%A1%D0%A3%D0%9F-%D0%97%D0%90%D0%A1-

- % D 0 % 9 D % D 0 % 9 0 % D 0 % 9 2 - % D 0 % 9 2 - % D 0 % 9 7 % D 0 % A 1 % D 0 % A 3 .pdf (дата звернення: 10.03.2026).
13. Bartock, M., et al. NIST IR 8323r1: Foundational PNT Profile: Applying the Cybersecurity Framework for the Responsible Use of Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Services. January, 2023. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2023/NIST.IR.8323r1.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
 14. NovAtel. How to evaluate anti-jamming and anti-spoofing technology: URL: <https://novatel.com/tech-talk/an-introduction-to-gnss/resources/how-to-evaluate-anti-jamming-and-anti-spoofing-technology> (дата звернення: 10.03.2026).
 15. Best Practices for Resilient PNT Supporting Critical Infrastructure: URL: https://www.dhs.gov/sites/default/files/2025-02/25_0220_st_pnt_best_practices_ci.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
 16. Safran Navigation & Timing. An Engineer's Guide to CRPA Testing : URL: <https://safran-navigation-timing.com/an-engineers-guide-to-crpa-testing/> (дата звернення: 10.03.2026).
 17. Borio, D. Tracking and Mitigating a Jamming Signal with an Adaptive Notch Filter: URL: <https://www.insidegnss.com/auto/marapr14-WP.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
 18. European Union (GSC/Europe). Galileo OSNMA Service Definition Document (SDD). 2025: URL: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-OSNMA-SDD_v1.0.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
 19. Montgomery, P.Y., Humphreys, T.E. & Ledvina, B.M. (2011). Receiver-Autonomous Spoofing Detection: Experimental Results of a Multi-Antenna Receiver Defense Against a Portable Civil GPS Spoofer. URL: <https://repositories.lib.utexas.edu/bitstreams/0eb5f718-e142-4ff9-b233-b117547757fe/download> (дата звернення: 10.03.2026).
 20. Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard. April, 2020: URL: <https://www.gps.gov/sites/default/files/2025-07/2020-SPS-performance-standard.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
 21. The Galileo PRS: URL: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/GSA_PRS_150209.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
 22. U.S. Department of Defense. Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces (IS-GPS-200L). August, 2020: URL: https://navcen.uscg.gov/sites/default/files/pdf/gps/IS_GPS_200L.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
 23. Bartock, M. et al. NIST IR 8323r1: Foundational PNT Profile: Applying the Cybersecurity Framework for the Responsible Use of Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Services. January, 2023. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2023/NIST.IR.8323r1.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
 24. U.S. Department of Defense. Global Positioning System Precise Positioning Service Performance Standard. September, 2007. URL: <https://www.gps.gov/sites/default/files/2025-07/2007-PPS-performance-standard.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
 25. China Satellite Navigation Office. BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard. Beijing. 2023. 82 p. <http://m.beidou.gov.cn/xt/gfxz/202105/P020210526216231136238.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
 26. NaviC signal in space icd for standard positioning service in L1 frequency. 2022. URL: https://www.isro.gov.in/media_isro/pdf/SatelliteNavigation/Draft_NavIC_SPS_ICD_L1_Oct_2022.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
 27. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). QZSS Performance Standard. Tokyo. 2021. 110 p.
 28. Глобальна навігаційна супутникова система (ГЛОНАСС). URL: <https://gpsmobile.com.ua/ua/page/glonass.html?srsltid=AfmBOoq2Kg2tI2wd5GLgyp3nIKO5Y9oOCbz2v3OrsJqUlcROWwoC1HEB> (дата звернення: 10.03.2026).
 29. Joint Direct Attack Munition (JDAM). URL: <https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2166820/joint-direct-attack-munition-jdam/> (дата звернення: 10.03.2026).
 30. Joint Air-to-Surface Standoff Missile (JASSM) FY 2024 President's Budget. URL: https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/FOID/Reading%20Room/Selected_Acquisition_Reports/FY_2022_SARS/JASSM-ER_SAR_DEC_2022.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
 31. US Navy. Tomahawk Weapons System Overview. Washington, D.C.: US Navy. 2021. URL: <https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2169229/tomahawk-cruise-missile/> (дата звернення: 10.03.2026).
 32. Galileo open service definition document (OS SDD). Iss. 1.3. November, 2023. URL: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-OS-SDD_v1.3.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
 33. Development of BeiDou Navigation Satellite System. URL: https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2024/Technical_Presentations/25/4_item_9_Development_of_BeiDou_Navigation_Satellite_System_LU_Jun_20240617CUPUOS-67.pdf (дата звернення: 10.03.2026).
 34. Керована авіаційна бомба КАБ-500. URL: <https://engage.org.ua/shho-take-kab-kerovana-aviacziyna-bomba-u-vsiih-detalyah/> (дата звернення: 24.04.2026).
 35. Russian Orlan-10 drone jammed by Ukrainian electronic warfare ... /7/. URL: <https://informnapalm.org/en/russian-orlan-10-drone-jammed-by-ukrainian-electronic-warfare-assets/> (дата звернення: 10.03.2026).
 36. З камерою і штучним інтелектом: розвідка оприлюднила дані про новий іранський Shahed-136. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/4008847-z-kamerou-i-stucnim-intelektom-rozvidka-opriludnila-dani-pro-novij-iranskij-shahed136.html> (дата звернення: 10.03.2026).
 37. Blunting Excalibur's edge. URL: <https://euro-sd.com/2024/07/articles/39533/blunting-excaliburs-edge/> (дата звернення: 10.03.2026).
 38. Will Be Equipped With Home-On GPS Jam Seekers – The Aviationist. URL: <https://theaviationist.com/2024/05/06/ukrainian-jdam-er-with-home-on-gps-jam-seekers/> (дата звернення: 10.03.2026).
 39. Ефективність снарядів Excalibur впала з 55 % до 6 %, а вартість успішного ним ураження для ЗСУ зросла в шість разів – WP та NYT. Forbes.ua. URL: [https://forbes.ua/news/efektivnist-snyaradiv-excalibur-vpala-z-55-do-](https://forbes.ua/news/efektivnist-snyaradiv-excalibur-vpala-z-55-do-6-ua/news/efektivnist-snyaradiv-excalibur-vpala-z-55-do-)

- 6-vartist-uspishnogo-nim-urazhennya-dlya-zsu-zroslav-shist-raziv-washington-post-ta-the-new-york-times-28052024-21428 (дата звернення: 10.03.2026).
40. Defense Express (травень 2024). США готують Україні JDAM-ER із ГСН, які зможуть бити по рашистським РЕБ. URL: https://defence-ua.com/news/ssha_gotujut_ukrajini_jdam_er_iz_gsn_jaki_zmozhut_biti_po_rashistskim_reb-15233.html (дата звернення: 10.03.2026).
41. GAJT-310 Anti-Jam Antenna. Anti-jam antenna with integrated or flexible form factor options. URL: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/company/novatel/gajt-310-anti-jam-antenna> (дата звернення: 10.03.2026).
42. GAJT-710MS anti-jam antenna. NovAtel URL: <https://novatel.com/products/anti-jam-antenna-systems-gajt/gajt-710ms-anti-jam-antenna> (дата звернення: 10.03.2026).
43. SBU received a secret russian GPS-navigator: with offensive plans – LB.ua news portal. URL: https://en.lb.ua/news/2022/03/09/10521_sbu_received_secret_russian.html (дата звернення: 10.03.2026).
44. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 грудня 2022 року «Про заходи з розвитку та використання вітчизняних систем супутникової навігації в інтересах безпеки і оборони держави»: Указ Президента України від 23.12.2022 № 884/2022. Урядовий кур'єр. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/884/2022> (дата звернення: 10.03.2026).
45. Про схвалення Концепції проекту Закону України «Про державне регулювання у сфері супутникової навігації»: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 03.01.2013 № 1-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1-2013-%D1%80#Text> (дата звернення: 10.03.2026).
46. Деякі питання державного регулювання у сфері супутникової навігації: Постанова Кабінету Міністрів України від 09.09.2009 № 959. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/959-2009-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.03.2026).
47. Про затвердження Положення про державну мережу моніторингу глобальних навігаційних супутникових систем і Програми забезпечення функціонування і розвитку державної мережі моніторингу глобальних навігаційних супутникових систем на період до 2010 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 14.04.2004 № 470. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/470-2004-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.03.2026).
48. Liga.net. Українські дрони зможуть працювати без GPS – виробник. URL: <https://news.liga.net/ua/all/news/ukrainski-drony-zmozhut-pratsiuvaty-bez-gps-vyrobnik> (дата звернення: 10.03.2026).
3. “Globalna navigatsiina suputnykova systema (GLONASS)” [Global Navigation Satellite System (GLONASS)] URL: https://gpsmobile.com.ua/ua/page/glonass.html?srsltid=AfmBOoplInIkzLFAJts5E4Cxxm__EPqmggJZHgtiFSGlf5WnvYFdjS (accessed: 10.03.2026).
4. Lu, J. (2020). Global Capabilities of the BeiDou Navigation Satellite System (BDS). *Advances in Space Research*. Vol. 65. No. 1. Pp. 345—356. URL: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.03.034> (accessed: 10.03.2026).
5. Sharma, S. & Singh, R. (2021). An Overview on the Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS/NavIC). *Intern. J. of Research Publication and Reviews*. Vol. 2. No. 10. Pp. 112—118. URL: <https://ijrpr.com/uploads/V2ISSUE10/IJRPR1542.pdf> (accessed: 10.03.2026).
6. Inaba, N., Matsumoto, A., Hase, H., Kogure, S., Sawabe, M. & Terada K. (2009). Design Concept of Quasi-Zenith Satellite System. *Acta Astronautica*. Vol. 65. No. 7—8. Pp. 1068—1075.
7. Radionerds. A step-by-step introduction to the AN/PSN-11 PLGR / RN-training manual. URL: https://radionerds.com/images/7/76/The_PLGR_Primer.pdf (accessed: 10.03.2026).
8. AN/ASN-163 and AN/PSN-11 GPS Receivers Rockwell Collins GPS Test Report. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA416592.pdf> (accessed: 10.03.2026).
9. Short manual GPS receiver Dagr URL: <https://steamcommunity.com/sharedfiles/filedetails/?l=russian&id=3140921708> (accessed: 10.03.2026).
49. Vodianykh, A.A. & Tymchuk, V.Yu. (2011). “Tekhnichna kharakterystyka navigatsiinoi aparatury CH-3003M «Bazalt»” [Technical characteristics of the navigation equipment SN-3003M «Basalt»]. *Military Technical Coll.* No. 4 URL: <https://vtz.asv.gov.ua/article/view/174988> (accessed: 17.11.2025).
10. “Katalog produkty DP «Ukroboronprom». Pryimach SN-3003M” [Product catalog of the State Enterprise «Ukroboronprom». Receiver SN-3003M]. URL: <https://orizon-navigation.ua/ru/product/aparatura-nazemnogo-priznachennya/sn-3003m-2/> (accessed: 17.11.2025).
11. “Nastanova «Vykorystannia navigatsiinykh zasobiv v Zbroinykh Sylakh Ukrainy»” [Guidelines for the Use of Navigation Equipment in the Armed Forces of Ukraine]: URL: https://sprotyv7.com.ua/wp-content/uploads/2024/07/2_%D0%92%D0%9A%D0%94%D0%9F-10-15403.01-%D0%9D%D0%90%D0%A1-%D0%92%D0%98%D0%9A-%D0%A1-%D0%A3%D0%9F-%D0%97%D0%90%D0%A1-%D0%9D%D0%90%D0%92-%D0%92-%D0%97%D0%A1%D0%A3.pdf (accessed: 06.03.2026).
12. Bartock, M., et al. NIST IR 8323r1: Foundational PNT Profile: Applying the Cybersecurity Framework for the Responsible Use of Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Services. January, 2023. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2023/NIST.IR.8323r1.pdf> (accessed: 10.03.2026).
13. NovAtel. How to evaluate anti-jamming and anti-spoofing technology: URL: <https://novatel.com/tech-talk/an-introduction-to-gnss/resources/how-to-evaluate-anti-jamming-and-anti-spoofing-technology> (accessed: 10.03.2026).

REFERENCES

1. Global Positioning System (GPS): Fact Sheet – 2024. URL: <https://www.spaceforce.mil/about-us/fact-sheets/article/2197765/global-positioning-system/> (accessed: 10.03.2026).
2. European GNSS (GALILEO) open service issue 2.0, January 2021 navigation solutions powered by Europe signal-in-space interface control document. URL: https://galileognss.eu/wp-content/uploads/2021/01/Galileo_OS_SIS_ICD_v2.0.pdf (accessed: 10.03.2026).

14. Best Practices for Resilient PNT Supporting Critical Infrastructure: URL: https://www.dhs.gov/sites/default/files/2025-02/25_0220_st_pnt_best_practices_ci.pdf (accessed: 10.03.2026).
15. Safran Navigation & Timing. An Engineer's Guide to CRPA Testing : URL: <https://safran-navigation-timing.com/an-engineers-guide-to-crpa-testing/> (accessed: 10.03.2026).
16. Borio, D. Tracking and Mitigating a Jamming Signal with an Adaptive Notch Filter: URL: <https://www.insidegnss.com/auto/marapr14-WP.pdf> (accessed: 10.03.2026).
17. European Union (GSC/Europe). Galileo OSNMA Service Definition Document (SDD). 2025: URL: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-OSNMA-SDD_v1.0.pdf (accessed: 10.03.2026).
18. Montgomery, P.Y., Humphreys, T.E. & Ledvina, B.M. (2011). Receiver-Autonomous Spoofing Detection: Experimental Results of a Multi-Antenna Receiver Defense Against a Portable Civil GPS Spoofer. URL: <https://repositories.lib.utexas.edu/bitstreams/0eb5f718-e142-4ff9-b233-b117547757fe/download> (accessed: 10.03.2026).
19. Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard. April, 2020: URL: <https://www.gps.gov/sites/default/files/2025-07/2020-SPS-performance-standard.pdf> (accessed: 10.03.2026).
20. The Galileo PRS: URL: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/GSA_PRS_150209.pdf (accessed: 10.03.2026).
21. U.S. Department of Defense. Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces (IS-GPS-200L). August, 2020: URL: https://navcen.uscg.gov/sites/default/files/pdf/gps/IS_GPS_200L.pdf (accessed: 10.03.2026).
22. Bartock, M. et al. NIST IR 8323r1: Foundational PNT Profile: Applying the Cybersecurity Framework for the Responsible Use of Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Services. January, 2023. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2023/NIST.IR.8323r1.pdf> (accessed: 10.03.2026).
23. U.S. Department of Defense. Global Positioning System Precise Positioning Service Performance Standard. September, 2007. URL: <https://www.gps.gov/sites/default/files/2025-07/2007-PPS-performance-standard.pdf> (accessed: 10.03.2026).
24. China Satellite Navigation Office. BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard. Beijing, 2023. 82 p. <http://m.beidou.gov.cn/xt/gfzx/202105/P020210526216231136238.pdf> (accessed: 10.03.2026).
25. NaviC signal in space icd for standard positioning servic in L1 frequency. 2022. URL: https://www.isro.gov.in/media_isro/pdf/SateliteNavigation/Draft_NavIC_SPS_ICD_L1_Oct_2022.pdf (accessed: 10.03.2026).
26. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). QZSS Performance Standard. Tokyo. 2021. 110 p.
27. Globalna navigatsiina sputnykova systema (GLONASS)” [Global Navigation Satellite System (GLONASS)] URL: https://gpsmobile.com.ua/ua/page/lonass.html?srsId=AfmBOoplInIkzLFAJts5E4Cxxm__EPqgmggJZHGTiFSGlf5WnvYFdjS (accessed: 10.03.2026).
28. Joint Direct Attack Munition (JDAM). URL: <https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2166820/joint-direct-attack-munition-jdam/> (accessed: 10.03.2026).
29. Joint Air-to-Surface Standoff Missile (JASSM) FY 2024 President's Budget. URL: https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/FOID/Reading%20Room/Selected_Acquisition_Reports/FY_2022_SARS/JASSM-ER_SAR_DEC_2022.pdf (accessed: 10.03.2026).
30. US Navy. Tomahawk Weapons System Overview. Washington, D.C.: US Navy. 2021. URL: <https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2169229/tomahawk-cruise-missile/> (accessed: 10.03.2026).
31. Galileo open service definition document (OS SDD). Iss. 1.3. November, 2023. URL: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-OS-SDD_v1.3.pdf (accessed: 10.03.2026).
32. Development of BeiDou Navigation Satellite System. URL: https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2024/Technical_Presentations/25/4_item_9_Development_of_BeiDou_Navigation_Satellite_System_LU_Jun_20240617CUPUOS-67.pdf (accessed: 10.03.2026).
33. “Kerovana aviatsiina bomba KAB-500” [KAB-500 guided aviation bomb]. URL: <https://engage.org.ua/shho-take-kab-kerovana-aviaczijna-bomba-u-vsih-detalyah/> (accessed: 24.04.2026).
34. Russian Orlan-10 drone jammed by Ukrainian electronic warfare ... /7/. URL: <https://informnapalm.org/en/russian-orlan-10-drone-jammed-by-ukrainian-electronic-warfare-assets/> (accessed: 10.03.2026).
35. “Z kamerou i shtuchnym intelektom: rozvidka opry-ljudnyla dani pro novyi iranskyi Shahed-136” [War & Sanctions Reveals Components of Upgraded Iranian Shahed-136 Drone with Camera and AI]. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/4008847-z-kamerou-i-stuchnim-intelektom-rozvidka-opriludnyla-dani-pro-novij-iranskij-shahed136.html> (accessed: 10.03.2026).
36. Blunting Excalibur's edge. URL: <https://euro-sd.com/2024/07/articles/39533/blunting-excaliburs-edge/> (accessed: 10.03.2026).
37. Will Be Equipped With Home-On GPS Jam Seekers – The Aviationist. URL: <https://theaviationist.com/2024/05/06/ukrainian-jdam-er-with-home-on-gps-jam-seekers/> (accessed: 10.03.2026).
38. “Efektyvnist snariativ Excalibur vpala z 55 % do 6 %, a vartist uspishnogo nym urazhennia dlia ZSU zrosla v shist raziv – WP ta NYT” [The effectiveness of Excalibur shells fell from 55% to 6%, and the cost of a successful strike for the Armed Forces of Ukraine increased sixfold – WP, NYT]. Forbes.ua. URL: <https://forbes.ua/news/efektyvnist-snaryativ-excalibur-vpala-z-55-do-6-vartist-uspishnogonim-urazhennya-dlya-zsu-zrosla-v-shist-raziv-washington-post-ta-the-new-york-times-28052024-21428> (accessed: 10.03.2026).
39. Defense Express (May, 2024). “SSHA gotuiut Ukraini JDAM-ER iz GSN, yaki zmozhut byty po rashystskim REB” [The US is preparing JDAM-ER with homing missiles for Ukraine, which will be able to hit rashist EWS]. URL: https://defence-ua.com/news/ssha_gotujut_ukrajini_

- jdama_er_iz_gsn_jaki_zmozhut_bitu_po_rashistskim_reb-15233.html (accessed: 10.03.2026).
40. [GAJT-310 Anti-Jam Antenna. Anti-jam antenna with integrated or flexible form factor options]. URL: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/company/novatel/gajt-310-anti-jam-antenna> (accessed: 10.03.2026).
 41. GAJT-710MS anti-jam antenna. NovAtel URL: <https://novatel.com/products/anti-jam-antenna-systems-gajt/gajt-710ms-anti-jam-antenna> (accessed:10.03.2026).
 42. SBU received a secret russian GPS-navigator: with offensive plans – LB.ua news portal. URL: https://en.lb.ua/news/2022/03/09/10521_sbu_received_secret_russian.html (accessed: 10.03.2026).
 43. “Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 23 grudnia 2022 roku «Pro zakhody z rozvytku ta vykorystannia vitchyznianskykh system suputnykovoï navigatsii v [On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated December 23, 2022 «On measures for the development and use of domestic satellite navigation systems in the interests of state security and defense»: Decree of the President of Ukraine dated December 23, 2022, No. 884/2022]. Government Courier. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/884/2022> (accessed: 10.03.2026).
 44. “Pro skhvalennia Kontseptsii proektu Zakonu Ukrainy «Pro derzhavne reguliuvannia u sferi suputnykovoï navigatsii»: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainu vid 03.01.2013 № 1-p»” [On approval of the Concept of the Draft Law of Ukraine «On State Regulation in the Field of Satellite Navigation»: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 3, 2013, No. 1]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1-2013-%D1%80#Text> (accessed: 10.03.2026).
 45. “Deiaki pytannia derzhavnogo reguliuvannia u sferi suputnykovoï navigatsii. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainu vid 09.09.2009 № 959” [Certain issues of state regulation in the field of satellite navigation: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 959 dated September 9, 2009]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/959-2009-%D0%BF#Text> (accessed: 10.03.2026).
 46. “Pro zatverdzhennia Polozhennia pro gerzhavnu merezhu minitoryngu globalnykh navigatsiinykh suputnykovykh system i Programy zabezpechennia funktsionuvannia i rozvytku derzhavnoi merezhi monitoryngu globalnykh navigatsiinykh suputnykovykh system na period do 2010 roku: postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14.04.2004 № 470” [On approval of the Regulations on the state network for monitoring global navigation satellite systems and the Program for ensuring the functioning and development of the state network for monitoring global navigation satellite systems for the period up to 2010: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 470 dated April 14, 2004]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/470-2004-%D0%BF#Text> (accessed: 10.03.2026).
 47. “Liga.net. Ukrainski drony zmozhut pratsiuvaty bez GPS – vyrobnyk” [Liga.net. Ukrainian drones will be able to operate without GPS – manufacturer]. URL: <https://news.liga.net/ua/all/news/ukrainski-drony-zmozhut-pratsiuvaty-bez-gps-vyrobnyk> (accessed: 10.03.2026).

Dovhopoly A.S., Biloborodov O.O., Petruk S.M., Panteleiev S.B.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF SATELLITE NAVIGATION TECHNOLOGIES IN THE MILITARY SPHERE

The authors propose a series of articles devoted to the analysis of satellite navigation systems and the prospects for their use in the armament system of the Armed Forces of Ukraine. The first of them analyzes the application of satellite navigation technologies in the military sphere. The second article will be devoted to the analysis of the main satellite receivers and antennas and the development of recommendations for their use in domestic satellite navigation systems. The third article will analyze the structure of errors of satellite navigation systems and study the main factors that determine the accuracy of the parameters of these systems and the conditions for the occurrence of their blackouts.

The article analyzes trends in the development of navigation receivers: from the first GPS to multi-system structures.

It shows that satellite navigation systems have become one of the most important elements of modern military technology, and achieving navigational superiority is becoming a critical factor in military success, providing an advantage in response time, strike accuracy, and combat coordination.

An overview of global satellite navigation systems is provided, and their advantages and disadvantages are analyzed.

The basic requirements for military satellite navigation systems are identified. Methods of combating interference with satellite navigation are analyzed, in particular using anti-jamming and anti-spoofing technologies.

A comparative analysis of the capabilities of military and civilian satellite navigation systems was conducted. The importance of taking into account the specifics of the use of satellite navigation systems on different combat platforms was noted.

Based on the results of the analysis of satellite navigation systems conducted in the article, key aspects of their development are highlighted.

It is concluded that it is critically important for Ukraine to create its own navigation stability system based on the principles of GNSS+INS+AI (satellite navigation systems + inertial systems + artificial intelligence), develop antennas with spatial protection, and integrate into NATO network standards.

Keywords: *satellite navigation systems, global satellite systems, GPS, GLONASS, Galileo, providing troops with navigation information, anti-jam/anti-interference of satellite navigation systems, anti-spoofing.*

Відомості про авторів:

Довгополий Анатолій Степанович

доктор технічних наук, професор
головний науковий співробітник

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України

м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>

Білобородов Олег Олександрович

доктор технічних наук, старший дослідник
начальник науково-дослідного відділу
Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3166-2659>

Петрук Сергій Миколайович

кандидат технічних наук, старший дослідник
Начальник науково-дослідного відділу – заступник
начальника науково-дослідного управління
Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9644-1550>
E-mail: petruksn@ukr.net

Пантелєєв Сергій Борисович

науковий співробітник
Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0004-2895-388X>

Information about the authors:

Anatoly Dovhopoly

Doctor of Technical Sciences, Professor
Principal Researcher

Central Scientific Research Institute of Armament
and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>

Oleh Biloborodov

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
Head of Scientific Research Department
Central Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3166-2659>

Serhii Petruk

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Head of Scientific Research Department - Deputy Head of
Scientific Research Directorate
Central Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9644-1550>
E-mail: petruksn@ukr.net

Serhii Panteleiev

Researcher
Central Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0004-2895-388X>

Стаття надійшла до редколегії 25.03.2026

Стаття прийнята до друку після рецензування 21.05.2026.

Стаття опублікована 30.06.2026.