

УДК 528.2:629.78

С.В. Нестеренко
Д.А. Єрмоленко
О.В. Шефер
А.В. Клепко

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава

Українська навігаційна супутникова система: стан і перспективи

Анотація. Проаналізовані основні діючі і перспективні навігаційні супутникові системи світу, у тому числі й регіональні, за точністю позиціонування, зоною покриття, кількістю виведених на орбіту космічних апаратів, активністю оновлення системи тощо. Відмічено, що, залежно від програмування, усі вищезазначені навігаційні системи є взаємосумісними і можуть функціонально доповнювати одне одного. Додатково підвищити точність позиціонування можливо з використанням глобальних систем диференційних поправок SBAS (Space Based Augmentation System) у Північній і Південній Америці, в Європі і Японії, а для корекції GPS-даних на території України використовуються методи коригування DGPS і RTK з наземних базових станцій.

Досліджено можливості української космічної галузі. Проаналізована затверджена Концепція Державної космічної програми, яка передбачає запуск супутника «Січ-2-30» з терміном експлуатації 5 років, і подальше щорічне його доповнення кількома супутниками упродовж п'яти років. Попри позитивні зрушення в українській космічній галузі виявлені недоліки і проблеми її повноцінного розвитку: недостатнє фінансове забезпечення, нестійке правове державне регулювання, необхідність довготривалих наукових досліджень для оцінки рівня якості позиціонування. Супутник «Січ-2-30» не зможе забезпечити Україні повну інформаційну незалежність, а, отже, і фінансову незалежність від інших постачальників картографічних знімків, так як отримувані знімки будуть мати відносно невисоку роздільну здатність.

Відмічено, що незважаючи на проблемні питання, є гостра необхідність розвитку власної української навігаційної системи для отримання цифрових зображень поверхні Землі. У держави з'явиться можливість проведення постійного безперервного моніторингу різних явищ, галузей, секторів, таких як землевпорядних, аграрних, екологічних, архітектурно-будівельних, економічного прогнозування, кліматичних, правоохоронних, військових тощо. Завдяки ефективній роботі української навігаційної супутникової системи з'явиться можливість брати участь у різних міжнародних програмах, зокрема з освоєння Місяця, повноцінно інтегруватися у Європейську космічну систему, що передбачає Угода про асоціацію України з ЄС.

Ключові слова: навігаційні супутникові системи, точність позиціонування, зона покриття, моніторинг.

UDC 528.2: 629.78

S.V. Nesterenko
D.A. Yermolenko
A.V. Kliepko

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava

Ukrainian satellite navigation system: status and perspective

Abstract. The main operating and perspective navigation satellite systems of the world are analyzed, including several regional regions, by positioning accuracy, coverage area, number of spacecrafts launched into orbit, activating system updates. It is shown that, depending on programming, all above-mentioned navigation systems are compatible

and can functionally complement each other. Further improvement of positioning quality is possible with the help of the global system of differential correction SBAS (Space Based Augmentation System) in North and South America, Europe and Japan. Methods of DGPS and RTK from ground base states are used for correction of GPS-data in Ukraine.

The possibilities of the Ukrainian space industry are studied. The Concept of the state space program is analyzed. It provides launching the satellite "Sich-2-30" with a service life of 5 years, as well as its subsequent annual addition by several satellites during the next 5 years. Previously positive changes in the Ukrainian space industry revealed the shortcomings and problems of its full development: lack of financing, instability of legal state regulation, the need for long-term research to assess the level of positioning quality. The Sich-2-30 satellite will not be able to provide Ukraine with full information independence, and, consequently, financial independence from other suppliers of cartographic images, as the obtained images will have a relatively low-level optical power.

It is noted there is the need to develop its own Ukrainian navigation system to obtain digital images on the Earth's surface. The state would get the possibility of continuous monitoring of various phenomena, industries, sectors, such as land management, agricultural, environmental, architectural and construction, economic forecasts, climate, law enforcement, military and others. Due to the effective operation of the Ukrainian navigation satellite system, it is possible to participate in various international programs, including the Moon exploration. It's also provided fully integration into the European space system, required by the Association Agreement between Ukraine and the EU.

Key words: navigation satellite systems, positioning accuracy, coverage area, monitoring.

Постановка проблеми

В травні 2020 року було оприлюднено проект постанови Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до Порядку побудови Державної геодезичної мережі», згідно якого «складовими Державної геодезичної мережі, крім геодезичної (планової) і нівелірної (висотної) мереж, є українська постійнодіюча (перманентна) мережа спостережень глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС)» [1]. Відомо, що на сьогодні Українська мережа перманентних ГНСС-станцій налічує трохи більше сотні станцій, з яких менше десяти входять до Європейської перманентної мережі GPS-станцій EPN та Міжнародної мережі IGS [2]. Україна має можливість отримувати дані з 21-го супутника інших країн, зокрема ЄС. На жаль, послуги платні. Наразі постало проблемне питання щодо відновлення робіт по запуску українського супутника дистанційного зондування Землі «Січ-2-1» («Січ-2-30»).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженнями розвитку глобальних навігаційних супутникових систем, технологій супутникової навігації займалися багато вітчизняних та зарубіжних науковців, таких як: Грей Джим, Дж. Розенау, В. В. Дик, Н. Хомські, Г. Р. Громов, Ю. А. Соловьев, А. И. Гусев, В. Гондюл, І. Забара та інші. Їхні праці посідають важливе місце у сучасній теорії й практиці, дозволяють усвідомити надзвичайну актуальність, необхідність проведення наступних теоретичних і практичних досліджень, зокрема для розвитку космічної галузі в Україні.

Формулювання мети статті

Мета статті – дослідити можливості української космічної галузі, проаналізувати необхідність створення власної навігаційної системи для отримання цифрових зображень поверхні Землі, а також для моніторингу явищ на території України.

Виклад основного матеріалу

ГНСС представляє собою систему супутникової навігації, створену з метою позиціонування об'єктів, визначення швидкості й напрямку їх руху. На даний час близько 200 організацій, які займаються збором ГНСС-даних з базових станцій по всьому світу, об'єднані в IGS (International GNSS Service), яка, в свою чергу, входить до Міжнародної асоціації геодезії.

Основні діючі і перспективні навігаційні супутникові системи, в тому числі й регіональні: GPS (США), ГЛОНАСС (Росія), GALILEO (Євросоюз), BeiDou (Китай), QZSS (Японія), NavIC (Індія).

GPS (Global Positioning System) – американська глобальна навігаційна супутникова система, основне призначення якої на сьогодні – забезпечення навігаційною інформацією військових і цивільних споживачів. Дозволяє в режимі реального часу в будь-якому місці Землі, в різних погодних умовах визначати місцерозташування і швидкість об'єктів. За областю застосування GPS-приймачі поділяють на побутові (навігаційні), автономна точність позиціонування яких не перевищує 3-5 м, і професійні. Професійні GPS-приймачі, в свою чергу, можна розділити на приймачі для картографії і ГІС,

геодезичні системи і спеціальні (GPS–модулі, з яких створюються вбудовані системи навігації для транспортних засобів або системи синхронізації для підприємств енергетики, мобільного зв'язку, радіо і телебачення) [3].

Американська супутникова система створила кілька поколінь супутників. Розрахунковий термін служби перших навігаційних апаратів становив 5-12 років. Термін роботи супутників третього покоління GPS III, який функціонує з 2018 року, збільшений до 15 років. За допомогою GPS III можна визначити місцезнаходження з точністю до 1-3 м для цивільних користувачів (можливості супутників другого покоління – від 3 м до 10 м). Крім того, апарат останнього покоління має підвищену завадостійкість.

Для повноцінної роботи навігаційної системи необхідно мати як мінімум 24 діючих супутника. Всього на навколосеземну орбіту успішно виведені 74 супутника. В даний час (з урахуванням запуску 6 листопада 2020 року) на орбіті Землі знаходяться 33 супутника, з них 31 апарат передає навігаційні сигнали.

Принцип роботи російської навігаційної супутникової система ГЛОНАСС подібний до системи навігації NAVSTAR GPS: пропонує навігаційні сигнали стандартної і високої точності для забезпечення позиціонування і отримання сигналів часу, які були б доступними для усіх цивільних споживачів ГЛОНАСС по всьому світу на постійній основі. На сьогодні система налічує 28 супутників, з них 23 – працюють за призначенням. У жовтні 2020 року відбувся запуск космічного апарату нового покоління «Глонасс-К». На сьогодні основу орбітального групування системи становлять космічні апарати «Глонасс-М». Заміна орбітального групування на «Глокасс-К» дозволить збільшити гарантійний термін експлуатації до 10 років, а точність – до десятків сантиметрів. ГЛОНАСС забезпечує більш точне позиціонування в північних широтах, а GPS – у середніх.

Глобальна навігаційна супутникова система GALILEO створена Європейським Союзом у взаємодії з Європейським космічним агентством для забезпечення незалежності країн членів в сфері координатно-часового та навігаційного забезпечення. Експериментальні супутники GIOVE-A і GIOVE-B були запуснені на орбіту 28 грудня 2005 року і 27 квітня 2008 року відповідно. Основне завдання GIOVE-A полягало в оцінці точностних характеристик навігаційних радіосигналів GALILEO у всіх частотних діапазонах, а GIOVE-B – в тестуванні навігаційного корисного навантаження. Два перших

навігаційних космічних апарати (КА) були запуснені 20 жовтня 2011 року. Протягом чотирьох років на орбіті було виведено 22 космічних апарати (заплановано 30 КА). GALILEO забезпечує хороше покриття на широтах до 75° північної широти, точність позиціонування може сягати 1 м [6].

Китай завершив формування навігаційної системи «BeiDou», запусивши у космос 23 червня 2020 року супутник системи Бейдоу-3, який став останнім в орбітальному угрупованні власної системи навігації КНР. За допомогою BeiDou можна визначити розташування об'єктів в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні з точністю до 10 см.

Система «BeiDou» розроблена за принципом сумісності із зарубіжними аналогами. Клієнти усього світу зможуть користуватися чотирма супутниками з кращими сигналами навігації спільно або незалежно один від одного. В даний час система «BeiDou» встановила механізм співпраці з GPS, ГЛОНАСС і GALILEO для сприяння взаємозв'язку та забезпечення послуг. Згідно з даними китайських ЗМІ, в даний час більше 120 країн користується сервісами, що базуються на даних, отриманих за допомогою «BeiDou», включаючи відстеження руху суден в портах і боротьбу з наслідками стихійних лих.

Японська квазізенітна супутникова система QZSS (регіональна) призначена для обслуговування споживачів в Тихоокеанському–Азіатському регіонах. Перший космічний апарат Michibiki був успішно запуснені на навколосеземну орбіту у вересні 2010 року. Останній запуск четвертого супутника був здійснені у 2017 році.

Система QZSS працює у взаємодії з GPS. Космічні апарати Michibiki посилають сигнали на однакових частотах з GPS, тому супутники американської і японської навігаційних систем використовують як єдине супутникове угруповання, що дає можливість стабільно здійснювати визначення координат з високою точністю. Крім того, враховуючи особливості системи QZSS постійного розташування одного із супутників майже в зеніті над Японським архіпелагом, в крупних містах з щільною міською забудовою похибка вимірювань буде зменшена до дециметрової точності. До того ж треба відмітити, що система квазізенітних супутників може бути використана в якості заміни GPS. QZSS має важливе значення з точки зору забезпечення безпеки і для Японії, і для США [5].

У травні 2006 року Індія затвердила програму створення системи регіональної навігаційної супутникової системи IRNSS, яка повинна забезпечити автономне навігаційно-тимчасове

забезпечення на Індійському півострові. Перший навігаційний космічний апарат IRNSS-1a було запущено 8 липня 2013 року. Формування штатної орбітального угруповання з 7 космічних апаратів було закінчено в 2016 році. Тоді ж система й отримала нову назву – NavIC.

Система NavIC надає споживачам з одночастотною апаратурою іоносферні поправки на основі параметрів іоносферної точкової сітки, забезпечуючи тим самим точність визначення місця розташування споживача, яку можна порівняти з точністю, одержуваною при використанні двочастотної апаратури.

Основні характеристики навігаційних супутникових систем світу зведено у таблицю 1. Цікаво, що, залежно від програмування, усі вищеназвані навігаційні системи є взаємосумісними і можуть функціонально доповнювати одне одного.

Підвищення точності позиціонування досягається використанням глобальних систем диференційних поправок SBAS (Space Based Augmentation System), що можна дослівно перекласти, як «космічні допоміжні системи»: WAAS (сигнали доступні в Північній і Південній Америці), EGNOS (у Європі), MSAS і QZSS (у Японії).

Таблиця 1

Характеристика навігаційних супутникових систем світу

ГНСС–системи	Розпочато створення системи, рік	Виведено на орбіту супутників (працюють за призначенням)	Дата останнього запуску супутника	Точність позиціонування, м	Зона покриття
GPS (США)	1973	33 (31)	06.11.2020 р.	≈ 2,0	Навколоземний простір
ГЛОНАСС (Росія)	1982	28 (23)	25.10.2020 р.	≈ 3,0	Навколоземний простір
GALILEO (Євросоюз)	1994	22 (18)	17.12.2015 р.	≈ 4,0	Навколоземний простір
BeiDou (Китай)	1994	45 (39)	23.06.2020 р.	≈ 3,0	Навколоземний простір
QZSS (Японія)	2002	4 (4)	09.10.2017 р.	≈ 0,5	Японія, райони Південно-Східної Азії, Австралія
NavIC (Індія)	2006	8 (7)	31.08.2017.р.	≈ 10,0	Індійський півострів

Для корекції GPS–даних на території України використовуються методи коригування DGPS і RTK з наземних базових станцій. Диференціальний режим DGPS забезпечує дециметрову точність (1 – 3 м) визначення місцерозташування об'єкту. Цей метод є достатньо простим і економічним, так як в роботі застосовуються одночастотні антени. Для високоточної координатії, знаходження планових координат і висот точок топографічної поверхні із сантиметровою точністю використовується режим RTK. Для роботи в режимі RTK необхідні двочастотні антени, які дають можливість картографування ділянок території з геодезичною точністю на всій території покриття мережі RTK.

Використання методів корекції отриманих даних DGPS і RTK є досить ефективним у високоякісному обладнанні і професійному програмному забезпеченні [4]. Основним недоліком є те, що отримання поправок у реальному часі – це платні послуги.

Проаналізувавши діючі навігаційні системи, бачимо, що кожна з цих навігаційних систем має свою історію становлення і всесвітнього визнання, яка підкріплена довготривалістю наукових досліджень і водночас значними фінансовими вкладеннями.

Український супутник дистанційного зондування Землі «Січ-2-1» можна називати космічним довгобудом, бо роботу над ним почали ще у 2013 році, щоб запустити в космос у 2017 році, проте за браком фінансування запуск космічного апарату було відкладено.

В останнє Україна запускала свій супутник «Січ-2» на своїй ракеті-носії «Дніпро» з російського космодрому в 2011 році. Запуск космічного апарату був присвячений 20-річчю Незалежності України. Замість запланованих 5 років супутник через втрату енергопостачання пробув на орбіті лише 16 місяців.

Супутник «Січ-2-30» є модифікацією «Січ-2-1», також вироблений у Дніпрі в КБ «Південне». Він має бути запущений на честь 30-річчя Незалежності України ймовірно в грудні 2021 року за допомогою ракети Falcon 9 компанії Ілона Маска «SpaceX». За даними Державного космічного агентства України стан готовності супутника становить 75 %. Готовність наземних станцій, які будуть керувати ним та приймати, обробляти інформацію – 35 %. Супутник повністю зібраний, проводяться електричні випробування функціонування його систем.

Згідно з підрахунками Державного космічного агентства, для запуску українського супутника необхідно не менше 140 млн гривень (лише послуги «SpaceX» можуть обійтися в 1 млн доларів). Перемовини з компанією Ілона Маска тривають з кінця минулого року. Наразі обговорюються технічні моменти, бо супутник «Січ-2-1» був розроблений для запуску на іншій ракеті [7].

На сьогодні затверджена лише Концепція Державної космічної програми, яка передбачає, що супутник «Січ-2-30» з терміном експлуатації 5 років буде доповнений кількома супутниками. Їх слід запускати майже щороку. Очікують на ухвалення найближчим часом Державної космічної програми, яка гарантує галузі майже 3 млрд гривень щорічного фінансування упродовж п'яти років.

Запуск українського супутника – це шлях до часткової інформаційної незалежності, дозволить заощаджувати чималі кошти на космічних знімках. З'явиться можливість отримувати більш точну інформацію про те, що відбувається в Криму, в Чорному і Азовському морях, на кордонах з Росією, Білорусією і на окупованих територіях. Можна здійснювати аналіз екологічних проблем цих територій: затоплення шахт на території Донбасу, просідання житлових районів (наприклад, м. Суходільськ Луганської області, рівень просідань ґрунтів – 29 см/рік).

Керувати супутником і обробляти інформацію з нього буде Національний центр управління та випробування космічних засобів, який підпорядкований Державному космічному агентству. Проте супутник «Січ-2-30» не зможе забезпечити Україні повну інформаційну незалежність. Знімки з інших космічних апаратів задля військових цілей доведеться купувати і надалі. «Січ-2-30» має роздільну здатність знімків 8 м. Якщо його дані порівняти зі знімками, знятими іноземними супутниками з роздільною здатністю 50-70 см, то зрозуміло, що «Січ-2-30» передаватиме менш детальну інформацію. На отриманих фото об'єкти величиною з літак матимуть вигляд крапок. Тому «Січ-2-30» можна назвати оглядовим супутником. На його дані дуже чекають, зокрема, у міністерствах та відомствах, які на тлі земельної реформи мають звірити дані земельного кадастру з супутниковими знімками. Уряд матиме можливість перевірити і те, чи дотримуються великі заводи екологічних норм, як працює аграрний сектор: наприклад, скільки полів дійсно засіяно; робити економічні прогнози і прогнози щодо зміни клімату. Можна відслідковувати надмірні

опади у північній частині України і значну посуху у південних її регіонах.

Правоохоронці та рятувальники теж хочуть мати оперативний доступ до супутникових знімків, щоб мати можливість зупиняти контрабандистів на суші і на морі, знати, де почалися лісові пожежі, аби вчасно їх гасити, щоб володіти повною інформацією щодо масштабів пожеж. Міндовкілля теж буде співпрацювати з Державним космічним агентством, щоб в майбутньому мати змогу моніторити вирубки лісу, вчасно реагувати на незаконні рубки, відстежувати стан водойм та забруднення повітря, здійснювати моніторинг надр (виявлення незаконних копанок, кар'єрів, незаконних сміттєзвалищ, забудову прибережно-захисних смуг).

Висновки

Ринок космічних послуг стрімко розвивається. Україна, на думку голови Асоціації «Космос», має всі шанси стати серйозним гравцем на ньому, брати участь у різних міжнародних програмах, зокрема з освоєння Місяця, повноцінно інтегруватися у Європейську космічну систему, що передбачає Угода про асоціацію України з ЄС. Це дозволить іншим галузям економіки отримати замовлення і створити нові робочі місця. Також це відкриває двері для іноземних інвестицій в український космос.

У нас є наземні станції спостереження, наземні станції прийому і обробки супутникової інформації з будь-якого супутника: і українського, й іноземного. Є можливість показати ефективність роботи наземних станцій. Вони можуть бути включені в європейську інфраструктуру і співпрацювати з наземними станціями ЄС.

Список літератури

1. Проект постанови Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до Порядку побудови Державної геодезичної мережі» від 18.05.2020 / Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України разом із Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://land.gov.ua/info/proektu-postanovy-kabinetu-ministriv-ukrainy-pro-vnesennia-zmin-do-poriadku-pobudovy-derzhavnoi-heodezichnoi-merezhi/>
2. Павлик В.Г., Кутний А.М., Нестеренко С.В. Визначення локальних вертикальних рухів перманентної GPS – станції у Полтаві / В. Г. Павлик, А. М. Кутний, С. В. Нестеренко; XIII Міжнародна науково-практична конференція «Академічна й університетська наука: результати та перспективи», НУПД, 10-11.12.2020. – Полтава, 2020. – С. 141–145.
3. Система глобального позиціонування GPS. ООО «ЕКОМ» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ecomgeo.com/contacts.htm>

4. Методы коррекции геоанных. *Leica Geosystems* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ngc.com.ua/info/correction.html#:~:text=DGPS%20—%20дифференциальный%20режим%20системы%20GPS,GPS%20\(от%203%20м\).&text=Это%20является%20приемлемым%20для%20некоторых,координации%20с%20более%20высокой%20точностью](https://ngc.com.ua/info/correction.html#:~:text=DGPS%20—%20дифференциальный%20режим%20системы%20GPS,GPS%20(от%203%20м).&text=Это%20является%20приемлемым%20для%20некоторых,координации%20с%20более%20высокой%20точностью)
5. Спутники японской системы позиционирования «Митибики»: прорыв в будущее. *Nippon.com: Современный взгляд на Японию* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.nippon.com/ru/currents/d00354/>
6. Холодюк О. В. Глобальні навігаційні супутникові системи та їх роль у технологіях точного землеробства / О.В. Холодюк; *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – Вінниця, 2020. – № 2 (109). – С. 71–87.
7. Підгола Ю. Відновимо присутність України у навколземному просторі, 2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://suspilne.media/121789-vidnovimo-prisutnist-ukraini-u-navkolozemnomu-prostori-u-dnipri-rozroblaut-suputnik-sic-2-30/>