

В.В. Омельчук, к.т.н., доц.**Д.В. Пекарєв, к.т.н., с.н.с.***Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова***О.В. Омельчук, інженер***Національний центр управління і випробувань космічних засобів*

УЗАГАЛЬНЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Систематизовано й узагальнено інформацію про космічні системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та запропонована класифікація космічних апаратів ДЗЗ за масою, типом траєкторії польоту, призначенням, принципом формування іконічної інформації, оглядовістю, просторовим розрізненням та спектральним діапазоном.

Актуальність проблеми. Предметна область досліджень статті – космічні апарати (КА) дистанційного зондування Землі. Дистанційне зондування Землі з космосу – отримання даних про Землю з космосу, використовуючи властивості електромагнітних хвиль, що випромінюються, відбиваються, поглинаються чи розсіюються об'єктами зондування [1]. Теорія й досвід застосування космічних систем ДЗЗ показують великі потенційні можливості використання їх іконічної інформації при розв'язанні широкого кола задач практично у всіх галузях економіки і соціальної сфери. Методами ДЗЗ із космосу отримується видова наукова, народногосподарська та комерційна інформація, а також розвідувальна інформація в інтересах національної безпеки.

Космічні системи ДЗЗ є надійним сучасним інструментом глобального контролю. Перевагами супутникових методів ДЗЗ є [2–6]:

висока оглядовість, можливість одночасного отримання інформації про великі території;

можливість отримання видової інформації про будь-які території без порушень норм міжнародного права щодо державних кордонів;

порівняно невелика вартість отриманих даних за рахунок тривалого часу активного функціонування КА ДЗЗ (до 5–8 років);

можливість отримання інформації про важкодоступні райони Землі;

менша ймовірність випадкового спотворення зображення, що отримується, за рахунок стійкої геометрії польоту КА у порівнянні з літаками;

можливість переходу від дискретної картини значень показників стану району дослідження в окремих точках території до безперервної картини просторового розподілення показників;

високий ступінь генералізації інформації (узагальнення просторової інформації залежно від масштабу та тематичного призначення).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині в навколосемному просторі функціонує близько тисячі діючих космічних апаратів різного призначення та державної належності. Серед них близько півсотні космічних апаратів ДЗЗ та ще більше метеорологічних й топогеодезичних космічних апаратів і КА видової розвідки, що формують іконічну інформацію методами ДЗЗ. У науковій та спеціальній технічній літературі використовуються різноманітні назви та визначення таких космічних апаратів, що зумовлює неоднозначне їх тлумачення. На даний час не існує нормативно визначеної класифікації космічних апаратів (систем) ДЗЗ. В науково-технічній літературі [1–10] використовується класифікація космічних апаратів ДЗЗ тільки за окремими ознаками. Тому постає нагальна потреба розробити класифікацію космічних апаратів ДЗЗ з єдиних методологічних позицій за усіма ознаками, що має не тільки термінологічне, а й науково-технічне значення.

Мета статті. Розробка варіантів класифікації космічних апаратів ДЗЗ на основі аналізу ознак та систематизації й узагальнення інформації про космічні системи дистанційного зондування Землі.

Розробка варіантів класифікації космічних апаратів ДЗЗ. Класифікація [лат. classis – “розряд” + fasege – “робити”] космічних апаратів (систем) ДЗЗ – це розподілення їх на класи (підкласи, групи) на основі спільності однорідних суттєвих ознак (властивостей), що фіксує закономірні зв'язки між класами систем у відповідній галузі знань. Характеристики складових космічної системи отримання і розповсюдження іконічних даних космічного спостереження (апаратура космічної зйомки, бортові засоби передачі даних на Землю, носії апаратури зйомки й наземний інформаційний комплекс прийому інформації, її обробки та надання споживачам) або їх параметри є основою класифікації космічних апаратів (систем) ДЗЗ.

За визначенням Науково-технічного підкомітету Комітету ООН з космосу, ДЗЗ – це “спостереження й вимір енергетичних і поляризаційних характеристик власного і відбитого випромінювання елементів суші, океану й атмосфери Землі в різних діапазонах електромагнітних хвиль, що сприяють опису

розташування, характеру і тимчасової мінливості природних параметрів і явищ, природних ресурсів Землі, навколишнього середовища, а також антропогенних об'єктів і утворень" [2]. З наведеного визначення витікає, що методи й засоби ДЗЗ мають різні класифікації: за спектральним діапазоном використовуваного електромагнітного випромінювання; за типом сигналу, що реєструється; за параметрами зображень (просторове розрізнення, спектральне розрізнення, частота перегляду, розмір кадру на місцевості, оперативність виконання заявки, права на поширення та копіювання зображень); за характеристиками носіїв апаратури зйомки та її параметрів тощо. Геометричні параметри зображень та характеристики огляду визначально залежать від параметрів траєкторії КА та характеристик його бортової апаратури зйомки.

Класифікацію систем дистанційного зондування Землі за параметрами і характеристиками носія апаратури спостереження – космічного апарата ДЗЗ (параметри орбіти, масогабаритні параметри, державна належність космічних апаратів тощо) можна вважати загальною для всіх космічних апаратів, що є штучними супутниками Землі.

Класифікація космічних апаратів ДЗЗ за масою, як й інших штучних супутників Землі, нормативно не визначена. Доцільно використати класифікацію російських фахівців [7], які поділяють космічні апарати за масою на такі:

- великі – КА масою більше 1000 кг;
- малі – КА масою від 500 до 1000 кг;
- мінісупутники – КА масою від 100 до 500 кг;
- мікросупутники – КА масою від 10 до 100 кг;
- наносупутники – КА масою від 1 до 10 кг;
- пікосупутники – КА масою до 1 кг.

За типом траєкторії космічні апарати систем ДЗЗ можна поділити на низькоорбітальні, високоеліптичні та геостационарні. Згідно з [5] виділяють три діапазони висот орбіт КА:

низьковисотні навколосеземні орбіти пілотованих кораблів, космічних станцій та безпілотних КА, що створюють можливість проведення детальної зйомки з висоти польоту над поверхнею Землі – 200–600 км;

середньовисотні орбіти ресурсних й метеорологічних КА, що використовуються для оперативної, менш детальної, космічної зйомки з висоти польоту над поверхнею Землі – 600–1400 км;

геостационарні орбіти КА, що використовуються для постійного спостереження за визначеним районом з висоти польоту над поверхнею Землі – 36 тис. км й більше.

До 80 % всіх космічних апаратів систем ДЗЗ рухаються на низькоорбітальних (200–1400 км), близьких до кругових, приполярних орбітах. Для оптико-електронних систем ДЗЗ ці орбіти, як правило, сонячно-синхронні.

Загальну класифікацію безпосередньо космічних систем ДЗЗ доцільно здійснити за методами дистанційного зондування, що вперше ґрунтовно описані П.Кронбергом [8]. Найбільш загальний поділ космічних систем зйомки за П.Кронбергом: фотографічні (одномоментні) та нефотографічні.

До фотографічних систем відносяться традиційні засоби фотозйомки й новітні системи багатозональної або мультиспектральної зйомки з використанням оптико-електронних матриць на основі приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ-матриць). До нефотографічних систем космічної зйомки відносять оптико-механічні та оптико-електронні сканери й радіолокатори бокового огляду. Такі системи здійснюють огляд земної поверхні шляхом її послідовного сканування. Сканерні методи забезпечують реєстрацію електромагнітного випромінювання в більш широкому діапазоні спектра (ультрафіолетовий, видимий, інфрачервоний та радіодіапазон) й можливість цифрового представлення даних. Останнє суттєво розширює можливості їх передачі, зберігання та обробки. До нефотографічних часто відносять телевізійні методи на підставі того, що телевізійні системи зйомки формують зображення на екрані передавальної телевізійної трубки одномоментно, але зчитування його й подальше перетворення в електричні сигнали здійснюється шляхом послідовного сканування електронним променем.

На теперішній час бурхливий розвиток електроніки, оптоелектроніки, космічних технологій тощо призвів до розширення номенклатури й класифікації космічних систем зйомки. Нині космічні системи дистанційного зондування Землі за технологією отримання знімків більш детально поділяють на фотографічні, телевізійні, сканерні та радіолокаційні [5]. Радіолокаційні системи передбачають формування та випромінювання власного зондувального сигналу (сигналу опромінення об'єктів локації) й тому ще називаються активними. Інші системи ДЗЗ використовують власне природне випромінювання об'єктів й земної поверхні або відбите випромінювання природних джерел (Сонця, перевипромінювання Місяця тощо) й називаються пасивними.

На теперішній час іконічна інформація ДЗЗ використовується для вирішення близько трьохсот наукових, народногосподарських й оборонних задач, однак узагальнення й всебічної класифікації космічних систем ДЗЗ за призначенням не існує. Автори робіт [3], [9], [11] пропонують для інформаційного забезпечення вирішення наукових, народногосподарських проблем та питань

національної безпеки й оборони виділити тематичні завдання, що можуть бути основою класифікації космічних апаратів ДЗЗ за призначенням:

1. Космічні апарати інвентаризації сільськогосподарських угідь, виділення та ідентифікації типів сільськогосподарських культур, прогнозування врожаїв, аналізу сільськогосподарського потенціалу.

2. Космічні апарати контролю глобальних атмосферних змін – вимірювання температури поверхні, визначення стану поверхні, визначення стану атмосфери, спостереження за хмарними покривами, дослідження “парникового ефекту”.

3. Космічні апарати пошуку корисних копалин та енергоносіїв (нафти, природного газу, вугілля).

4. Космічні апарати топографічного картування, створення й оновлення карт, спостереження за зростанням населених пунктів, контролю за станом ґрунтів й пасовищ.

5. Космічні апарати спостереження прибережних зон і океанів, контролю водних джерел – вивчення й визначення океанських ресурсів, вимірювання товщини льоду, визначення снігового покриву та його водного еквівалента, виявлення місць і джерел забруднення акваторій.

6. Космічні апарати контролю за станом лісів, визначення типів лісонасаджень і домінуючих порід, оцінки запасів лісоматеріалів, лісозаготівлі.

7. Космічні апарати моніторингу надзвичайних ситуацій – запобігання їм, контролю та оцінювання наслідків повеней, пожеж і землетрусів.

8. Космічні апарати спостереження в інтересах оборони (видової космічної розвідки) – визначення стану військових, військово-промислових та інженерних споруд, стеження за прикордонними територіями, контролю за масовими пересуваннями військ.

Здатність системи космічної зйомки до охоплення території на знімках називають оглядовістю. Оглядовість космічної системи ДЗЗ залежить як від висоти орбіти носія апаратури зйомки (траєкторії польоту космічного апарата ДЗЗ), так і від характеристик цієї апаратури. За оглядовістю космічні апарати ДЗЗ можна поділити на такі класи [4], [12]:

глобальної зйомки оглядовістю 10^7 – 10^8 км², що забезпечують зображення усього або майже усього видимого диска Землі;

регіональної зйомки оглядовістю 10^6 – 10^7 км², що забезпечують формування зображення великих географічних областей й держав;

локальної зйомки оглядовістю 10^5 – 10^6 км², що забезпечують формування зображення окремих районів;

детальної зйомки оглядовістю до 10^2 – 10^4 км², що забезпечують формування зображення окремих площинних об'єктів.

Просторова розрізнявальна здатність є однією з основних характеристик космічних систем ДЗЗ. Вона визначає масштаб та детальність космічних зображень, що, в свою чергу, впливає на якість їх дешифрування, тобто на цінність знімків для цільового застосування. В літературі часто як розрізнявальна здатність оптико-електронних систем наводиться розмір проекції одиничного елемента матриці ПЗЗ на Землі (GSD – ground sampled distance), що в загальному випадку не відповідає мінімальному розміру об'єкта, який дешифрується. Класифікація систем ДЗЗ за просторовою розрізнявальною здатністю залежить від їх цільового призначення, робочого діапазону хвиль та досягнутого світового рівня розвитку таких систем. Так, наприклад, просторове розрізнення 100 м для вирішення задач метеозабезпечення більш, ніж достатньо, тобто є надвисоким, а для вирішення задач топографії, містобудування тощо – недостатнім, тобто низьким. На даний час аналіз джерел науково-технічної інформації з тематики ДЗЗ дає підстави класифікувати комерційні космічні апарати ДЗЗ за просторовим розрізненням на поверхні Землі з використанням розміру проекції елементарного каналу зображення [3], [12], [13], а саме:

космічні апарати ДЗЗ дуже високого розрізнення – розмір проекції елементарного каналу зображення менше 0,3 м;

космічні апарати ДЗЗ високого розрізнення – 0,3...3 м;

космічні апарати ДЗЗ середнього розрізнення – 3...30 м;

космічні апарати ДЗЗ низького розрізнення – 30...300 м;

космічні апарати ДЗЗ дуже низького розрізнення – 0,3...3 км;

космічні апарати ДЗЗ наднизького розрізнення – більше 3 км.

За кількістю зон електромагнітного спектра розрізняють одноканальні (панхроматичні, моноспектральні), багатоспектральні (зображення однієї сцени, отримані одночасно в двох чи більше різних діапазонах електромагнітного спектра) і гіперспектральні (багатозональне зображення отримане в чотирьох і більшому числі спектральних зон, до 100–1200 спектральних каналів) системи [12]. Космічні системи ДЗЗ можуть класифікуватись за спектральною розрізнявальною здатністю залежно від тематичного призначення.

Державним стандартом України [1] засоби ДЗЗ за спектральними діапазонами поділяються на:

радіочастотні засоби дистанційного зондування Землі з космосу – технічні засоби ДЗЗ, що працюють

в радіодіапазоні;

оптичні засоби дистанційного зондування Землі з космосу – технічні засоби ДЗЗ, що працюють в ультрафіолетовому, видимому або інфрачервоному діапазонах електромагнітного спектра.

Конкретніше узагальнену класифікацію космічних апаратів ДЗЗ за спектральним діапазоном можна представити так [12–15]:

оптичні космічні апарати ДЗЗ, що поєднують засоби видимого (0,38...0,72 мкм), ближнього інфрачервоного (0,72...1,3 мкм) і середнього інфрачервоного (1,3...3,0 мкм) діапазону спектра електромагнітного випромінювання;

інфрачервоні (теплові) космічні апарати ДЗЗ, що працюють в діапазонах довжин хвиль 3...5 мкм, 8...14 мкм власного теплового випромінювання;

мікрохвильові космічні апарати ДЗЗ, що працюють, як правило, в пасивному режимі в інфрачервоному, міліметровому та сантиметровому діапазонах радіохвиль (частіше в діапазоні 0,1...10 мм);

радіолокаційні космічні апарати ДЗЗ з радіолокаторами бокового огляду та радіолокаторами з синтезованою апертурою, що працюють в активному режимі в діапазоні електромагнітних хвиль 0,01–1 м.

Спектральне розрізнення відповідає кількості й розміру спектральних зон зйомки й залежить від параметрів апаратури зйомки. Спектральна зона може бути широкою, як одна зона чорно-білого панхроматичного знімку (0,4–0,7 мкм), або досить вузькою, як, наприклад, червона зона знімку апаратури “Landsat-TM” (0,63–0,69 мкм). Чим ширша зона електромагнітного спектра, тим нижче спектральне розрізнення. Чітке виділення спектральних зон підвищує ймовірність ідентифікації об’єктів, що цікавлять замовника [13–14].

За радіометричним розрізненням (кількістю можливих рівнів й динамічним діапазоном квантування спектральної яскравості) космічні системи зйомки можна класифікувати як: вузькодіапазонні, широкодіапазонні; з високим або з низьким радіометричним розрізненням. Радіометричне розрізнення оптико-електронних систем космічної зйомки інфрачервоного спектра може досягати частин градусів температури в діапазоні сотні градусів яскравісної температури, а кількість розрядів кодування спектральної яскравості 6–12 біт (наприклад, радіометр “ATSR-2” космічного апарата “ERS-2” Європейського космічного агентства – 12 біт [12], [13]).

Класифікація космічних систем ДЗЗ за часовими параметрами отримання й доведення до споживача космічних знімків (періодичність огляду району спостереження, оперативність виконання заявки) залежить не тільки від просторово-часових параметрів орбіти польоту космічного апарата ДЗЗ та апаратури зйомки, а й від параметрів та координат елементів інфраструктури наземного інформаційного комплексу, продуктивності засобів обробки та передачі інформації [13–15].

Засоби ДЗЗ, що базуються на геостационарних космічних апаратах, здатні безперервно здійснювати зйомку й передавати дані тільки по радіоканалу “КА → наземна станція прийому”.

Для полярноорбітальних космічних систем зйомки особливо важливий період обертання космічного апарата ДЗЗ й період повторення траси. Вони та оглядовість апаратури зйомки визначають період повторної зйомки одного й того ж району. При наявності можливості керованого відхилення оптичної вісі апаратури зйомки від надиру період повторної зйомки буде менше періоду повторення траси. Період повторної зйомки сцени сучасними полярноорбітальними космічними системами ДЗЗ складає 3–26 діб.

За способом доставки даних з борту космічного апарата системи ДЗЗ можна поділити на системи в яких матеріали зйомки доставляються на Землю в спеціальних капсулах або на апараті, що приземляється (низька оперативність та малий термін активного існування системи), та системи з передачею даних по радіоканалу “КА → наземна станція прийому даних”.

Висновки:

1. Запропоновані варіанти класифікації космічних апаратів ДЗЗ за ознаками маси, типів траєкторії польоту, технології отримання знімків, призначення, оглядовості, просторового розрізнення, спектрального діапазону, радіометричного розрізнення, часових параметрів отримання і доведення до споживача космічних знімків й способів доставки даних з борту КА будуть сприяти однозначному використанню термінології та формуванню бази науково-технічних знань у сфері дистанційного зондування Землі з космосу.

2. Розвиток радіоелектроніки та функціональної електроніки забезпечує можливості мікромініатюризаци апаратури бортових комплексів КА та зниження їх енергоспоживання, що створює технологічні умови інтегрування різних функцій в космічні апарати та подальшого розвитку космічних технологій. В майбутньому це може створити передумови уточнення та розширення ознак класифікації космічних апаратів ДЗЗ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Дистанційне зондування Землі: Терміни та визначення понять // ДСТУ 4220–2003. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 18 с.
2. Космічний моніторинг водних екосистем з використанням ГС-технологій / Г.Я. Красовський, В.А. Петросов. – К.: Український інститут досліджень навколишнього середовища і ресурсів, 2002. – 230 с.
3. *Гарбук С.В., Гершензон В.Е.* Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 1997. – 296 с.
4. *Лебедев А.А., Нестеренко О.П.* Космические системы наблюдения: синтез и моделирование. – М.: Машиностроение, 1991. – 224 с.
5. Теория и практика цифровой обработки изображений: Дистанционное зондирование и географические информационные системы: Учебное пособие МГУ / Под ред. А.М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
6. *Fiorenza N.* Eyes and Ears In Space: Armed Forces Journal International, 2002, July.
7. Анализ мирового опыта использования микроспутников в космических программах // <http://www.iki.rssi.ru/seminar/tarusa2003/podob.ppt>
8. *Кронберг П.* Дистанционное изучение Земли. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
9. *Попов М.О.* Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки та оборони // Наука і оборона. – 2003. – № 2. – С. 38–50.
10. Small Satellites for Earth Observation, 3rd International Symposium of the International Academy of Astronautics, Berlin, April 2-6, 2001. – 454 p.
11. *H.J. Kramer* Observation of the Earth and Its Environment. Survey of Missions and Sensors, 4th Enlarged Edition: Berlin: Springer-Verlag, 2001.
12. Космическая съемка Земли. Справочно-аналитическое издание / Под ред. Ю.А. Подъездкова. – М.: Радиотехника, 2004. – № 1. – № 2. – № 3. – № 4. – № 5.
13. Класифікатор діючих космічних апаратів. – Житомир: Науковий центр ЖВІРЕ.
14. *Щенко Д.А., Машков О.А., Омельчук О.В., Пекаревич Д.В.* Прогностичний аналіз тенденцій використання космічних систем дистанційного зондування Землі для глобального моніторингу в інтересах національної безпеки // Вісник ЖДТУ, 2004. – № 3 (30) / Технічні науки. – С. 62–67.
15. *Лялько В.І.* Стан і перспективи розвитку аерокосмічних досліджень Землі в Україні // Космічна наука і технологія. – 2002. – № 2/3. – С. 29–35.

ОМЕЛЬЧУК Валентин Васильович – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту радіоелектроніки імені С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- алгоритми функціонування складних інформаційних систем;
- методи та пристрої радіотехнічних вимірювань;
- дослідження космічних систем спостереження Землі.

ПЕКАРСВ Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник відділу наукового центру Житомирського військового інституту радіоелектроніки імені С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- алгоритми функціонування складних інформаційних систем;
- оптимізація застосування космічних систем.

ОМЕЛЬЧУК Олександр Валентинович – інженер Національного центру управління і випробувань космічних засобів.

Наукові інтереси:

- дослідження космічних систем спостереження Землі.

Подано 27.01.2006

Омельчук В.В., Пекарев Д.В., Омельчук А.В. Узагальнення класифікації космічних апаратів дистанційного зондування Землі

Омельчук В.В., Пекарев Д.В., Омельчук А.В. Обобщение классификации космических аппаратов дистанционного зондирования Земли

Omelchuk V.V., Pekarev D.V., Omelchuk O.V. Generalization of classification of remote sensing space vehicles

УДК 528.837: 629.783

Обобщение классификации космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / В.В. Омельчук, Д.В. Пекарев, А.В. Омельчук

Систематизирована и обобщена информация о космических системах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и предложена классификация космических аппаратов ДЗЗ по массе, типу траектории полета, назначению, принципу формирования иконической информации, обзорности, пространственному разрешению и спектральному диапазону.

УДК 528.837: 629.783

Generalization of classification of remote sensing space vehicles / V.V. Omelchuk, D.V. Pekarev, O.V. Omelchuk

In the article the information about remote sensing space systems is systematized and generalized, and the classification of remote sensing space vehicles based on a weight, a type of a flight trajectory, an assignment, a principle of iconic information formation, a visibility, a spatial resolution and a spectral range is offered.