

СЛЕДСПЪТНИКОВ АВИАЦИОНЕН МОНИТОРИНГ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ

Павел Пенев

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: ppenev@space.bas.bg*

Ключови думи: Аерокосмически мониторинг, спътникови системи за наблюдение, следспътников авиационен мониторинг с безпилотни летателни апарати (БЛА) и техните задачи

Резюме: Предложена е дефиниция на аерокосмически мониторинг. Обоснована е необходимостта от следспътников мониторинг с БЛА на основание анализ на техните силни и слаби страни спрямо спътниците за наблюдение. Посочени са основните компоненти на структурния и операционния модел на БЛА и се формулира подход за определяне на районите им на търсене. Дефинирани са целевите задачи при следспътников авиационен мониторинг с използване на БЛА.

POST-SATELLITE AVIATION MONITORING USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Pavel Penev

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ppenev@space.bas.bg*

Keywords: Aerospace monitoring, satellite surveillance systems, post-satellite aviation monitoring with unmanned aerial vehicles (UAVs) and their tasks

Abstract: A definition of aerospace monitoring is proposed. The need for post-satellite monitoring with UAVs is justified based on an analysis of their strengths and weaknesses compared to observation satellites. The main components of the structural and operational model of UAVs are indicated and an approach for determining their search areas is formulated. The target tasks for post-satellite aviation monitoring using UAVs are defined.

Аерокосмическите системи и технологии понастоящем имат определящо значение за нормалното функциониране на икономиката, екологията, хуманитарната област и отбраната. На настоящия етап аерокосмическата информация, получавана основно от спътници за дистанционни изследвания (ДИ) и безпилотни летателни апарати (БЛА) за наблюдение има основен дял във формирането на съвременната информационна среда.

Мониторингът (т. е. наблюдението и контрола) на обекти, явления и процеси на земната повърхност е една от основните функции на спътниците за ДИ и на пилотируемите летателни апарати (ЛА) и БЛА за наблюдение [6]. В първия случай мониторингът се нарича космически, а във втория – авиационен (аеромониторинг).

Аерокосмическият мониторинг представлява синхронизирано оперативно наблюдение и контрол с космически и авиационни системи и средства за ДИ на състоянието на обекти, явления и процеси на земната (морската) повърхност (при необходимост и с наземни измервателни комплекси), с оглед последващо осъществяване на превантивни действия. Аерокосмическият мониторинг е основа на изработването на управленски решения в различни области от живота на обществото.

Космическият мониторинг, осигуряващ получаването на изображения от космическите системи и средства за наблюдение на различни обекти/райони на земната (морската) повърхност е пряко свързан с редица основни понятия на теорията на ДИ на Земята – ползрение, полоса (ивица) на заснемане, полоса (ивица) на обзора, пространствена

разделителна способност, информативност и периодичността на наблюдение от съответния спътник [7]. При това показател за детайлността на полученото изображение е пространствената разделителна способност, представляваща способността на дадена система за наблюдение да разграничи единичен обект от земната (морската) повърхност (в m), а информативността е информация, получавана от средството за наблюдение, която изяснява в необходимата степен характеристиките на наблюдавания обект.

Известно е, че съвременните спътници за ДИ се намират на ниски околоземни орбити и нямат възможности, за разлика от авиационните системи и средства за наблюдение, да осъществяват продължително време наблюдение и контрол на обекти, явления и процеси (съответните спътници „изгряват“ и „заклязват“). С оглед увеличаване на това време до приемливи стойности, осигуряващо получаване на необходимите за анализ и оценка едромасщабни изображения на обекти/райони, за следспътников мониторинг в редица държави се използват пилотируеми ЛА (самолети и вертолети) и БЛА за наблюдение. Следспътниковият авиационен мониторинг в реален мащаб на времето (РМВ) през последните десетилетия е неразделна част на аерокосмическия мониторинг и има за цел получаване на по-детайлни изображения на обекти/райони от тези на космическия мониторинг.

Основните силни и слаби страни на спътниците за ДИ, реализиращи космически мониторинг с оптикоелектронни и радиолокационни системи и средства и летящи на слънчево-синхронни орбити (ССО), спрямо БЛА за наблюдение, са показани в табл. 1.

Таблица 1

№	Силни страни на спътниците за наблюдение спрямо БЛА за наблюдение	Слаби страни на спътниците за наблюдение спрямо БЛА за наблюдение
1	Голям пространствен обхват на наблюдаваната територия, значителен обем на получавана информация и независимост от релефа;	Бордовите сензори на спътниците за наблюдение, както и самите спътници са многократно по-скъпи и сложни от БЛА за наблюдение и техните сензори;
2	Наблюдение на обекти/ райони за мониторинг с висока и свърхвисока пространствена разделителна способност, в РМВ; при автономна работа на целевата апаратура;	По-ниска пространствена разделителна способност и по-ниска оперативност на предаване на изображенията спрямо тези на БЛА за наблюдение, летящи на малки и пределно-малки височини;
3	Движение на спътниците за наблюдение основно на ССО, осигуряващи непроменена осветеност от обиколка към обиколка на едни и същи точки от трасето на полета;	Предимствата на спътниците за наблюдение, движещи се по ССО, се реализират дискретно, като в зависимост от параметрите на орбитата често през 1–2 денонощия (за разлика от БЛА);
4	Висока денонощна производителност (заснета площ за денонощие) на спътниците за наблюдение и ретроспективност (наличие на собствена база от изображения, получени значително преди текущия космически мониторинг);	Високата денонощната производителност на спътниците за наблюдение се конкурира с ефективността на реалната производителност на БЛА, определяща се от голямата продължителност на полета им над района/обекта за мониторинг;
5	Реализиране на космически мониторинг при относително малко време на пребиваване на спътника в зоната на видимост на съответните обекти или райони.	По-малко време на пребиваване на спътника в зоната на видимост на обекта за мониторинг от това на БЛА за наблюдение.

По отношение втората силна страна на спътниците в табл. 1 следва да се отбележи, че изображенията със свърхвисока пространствена разделителна способност [7] са значително по-скъпи (дори десетократно) от тези с висока пространствена разделителна способност.

Към разгледаните в табл. 1 силни и слаби страни на спътниците за наблюдение спрямо БЛА за наблюдение могат да се добавят силно развития международен пазар на космически изображения; получаване на радиолокационни изображения независимо от условията на времето и денонощието; космически мониторинг на райони и обекти в различни диапазони на електромагнитния спектър, повишаващи информативността на изображенията [4], формиране на геопропространствена информация, включително на цифрови модели на местността и др.

Съвременните БЛА за наблюдение по ефективност, ефикасност, уязвимост, безопасност и по оперативност на получаваната информация в РМВ превъзхождат пилотируемите ЛА. Поради това понастоящем особено актуални и ефективни за следспътников мониторинг са съвременните БЛА за наблюдение [3], функциониращи в състава на безпилотни

авиационни системи (БАС). Всяка от тях е целева система, включваща няколко БЛА, наземна станция за контрол и управление (НСКУ) и средства за наземно осигуряване.

При изпълнение на следспътников авиационен мониторинг с използване на БЛА следва да се изхожда от техните основни силни и слаби страни спрямо спътниците за ДИ, реализиращи космически мониторинг, които са показани в табл. 2.

Таблица 2

№	Силни страни на БЛА за наблюдение спрямо спътниците за наблюдение	Слаби страни на БЛА за наблюдение спрямо спътниците за наблюдение
1	Значително по-ниска обща и експлоатационна стойност на БЛА и на сензорите им спрямо спътниците за наблюдение;	По-малки пространствени граници на зоните за наблюдение на БЛА спрямо тези на спътниците за наблюдение;
2	По-ниска финансова стойност на получаваните изображения на обектите или районите за мониторинг от тази със спътници за наблюдение;	По-ниски възможности на БЛА за предаване на големи обеми от видеоинформация към НСКУ спрямо тази на спътниците за наблюдение;
3	По-висока пространствена разделителна способност на изображенията (от порядъка на см) от тази на спътниците за наблюдение при полети на БЛА на пределно-малки височини и на малка скорост, както и възможност за полети под облаци;	Необходимост от успешно изпълнение на рисков „бръснец“ полет на БЛА за наблюдение над обекта/района за авиационен мониторинг, изискващ висока квалификация на екипа на НСКУ;
4	Наблюдение от БЛА на обекти/райони за авиационен мониторинг с по-ниска стойност на разделителната способност по време (интервал между снимките на даден обект) от тази със спътници за наблюдение	Необходимост от използване на БЛА за наблюдение с голяма продължителност на полета със съответните сензори (или няколко БЛА), с цел намаляване на интервала между снимките;
5	Висока оперативност на информацията, предавана към НСКУ в РМВ; както и високи възможности за откриване и следене на подвижни обекти	Необходимост от непрекъсната ретрансляция на сигналите от БЛА за наблюдение с цел предаването им към НСКУ
6	Висока информативност на изображенията и възможност за създаване на високоточни 3D модели при различни ъгли на оглеждане на обекта (обектите) от БЛА;	Необходимост от разходи за ГИС-системи и за екип от съответни специалисти за дешифриране на изображенията и създаване на моделите,
7	Гъвкавост, многоцелевост и висока мобилност.	Необходимост от екип и средства за бърза смяна (при необходимост) на сензорите на целевото оборудване на БЛА и за предислоциране на БАС от един район/обекти за мониторинг към друг.

От съдържанието на табл. 2 следва, че **използването на БЛА за мониторинг на обекти е с по-висока икономическа ефективност от тази на спътниците за наблюдение, при една и съща стойност на разходите.**

Разгледаните в табл. 2 силни и слаби страни на БЛА за наблюдение спрямо спътниците за наблюдение имат съществено значение за реализирането на следспътников авиационен мониторинг, като не са единствените. Към положителните страни могат да се добавят възможностите на тези БЛА да компенсират ограниченията на спътниците с електроннооптически средства за наблюдение поради плътна облачност, запрашеност и задименост на обекта/района за мониторинг (чрез изпълнение на полети на пределно-малки височини); възможност за спрягане на БЛА с други авиационни и космически системи и др. От военна гледна точка съществени предимства са отсъствието на човешки загуби на борда на БЛА в условия на военни кризи и конфликти, както и ниската им откриваемост (оптична, звукова, инфрачервена, радиолокационна).

Конкретните възможности по пространствена разделителна способност на спътниците за наблюдение и на БЛА за наблюдение, както и различното време и височини на пребиваване на спътниците и БЛА в зоната на видимост на обектите за мониторинг позволяват получените космическите изображения, да се съпоставят, анализират и комплексно да се изучат техните характеристики. Комбинирането на използването на спътници и БЛА за наблюдение на обекти/райони позволяват изключването (минимизирането) на слабите страни на космическия и авиационния мониторинг и получаването на максимум полезна информация за следспътниковия мониторинг. При това следва да се отчитат и съвременните икономически тенденции, свързани с намаляващата финансова стойност на комерсиалните спътници и БЛА.

Реализирането на следспътников авиационен мониторинг изисква формирането на предварителен структурен модел и на операционен модел на БАС. Основните компоненти на предварителния структурен модел на БАС могат да бъдат следните:

- няколко БЛА, като се уточнява за всеки безпилотен апарат типът на платформата, планерът, двигателят и горивото, системата за управление и навигация, целевото оборудване, системата за енергозахранване и системата за спасяване;
- стартови комплекс (ако има такъв);
- НСКУ – състав, основни функции в РМВ, възможности за едновременно управление на БЛА и др.;
- наземен екип за управление (по функции за всеки член на екипа);
- изнесени пунктове с различно предназначение;
- осигуряващи средства и персонал (включително техническо обслужване и ремонт).

Всеки от изброените компоненти на предварителния структурен модел е обект на отделен анализ. Така например по първия от тях, както е известно, съвременните БЛА се реализират на два типа платформи – от самолетен или вертолетен тип. Ако обектът за мониторинг е на голямо разстояние от НСКУ и е със значителни линейни размери (например, нефтопровод, газопровод, железопътни линии и др.) е целесъобразно използването на БЛА от самолетен тип. В противен случай е удачно изпращането на БЛА от вертолетен тип, които могат да „зависват“ над обекта за мониторинг и да работят в тези ограничени условия.

По отношение на целевото оборудване за реализиране на следспътниковия мониторинг БЛА за наблюдение могат да използват камери с различен физически принцип на действие [9], както и други технически средства. Осовите им представители могат да бъдат следните:

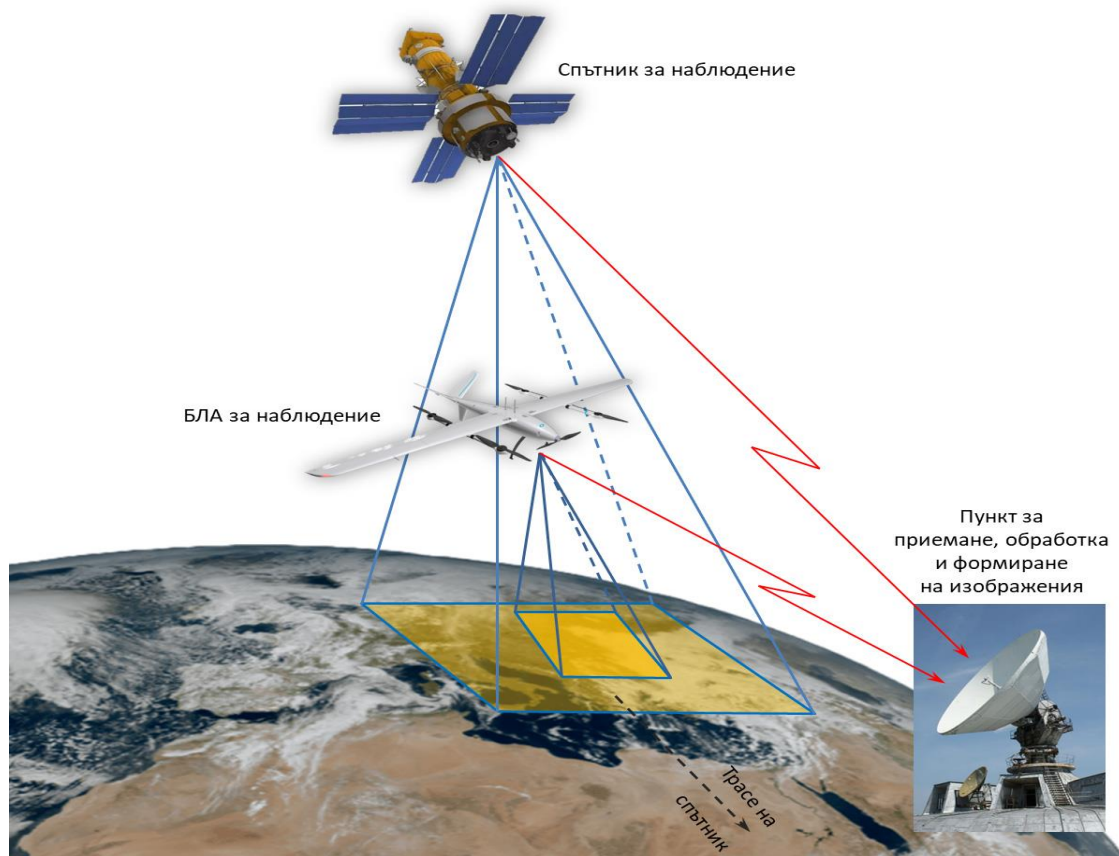
- оптични камери, известни като RGB-камери, функциониращи във видимия спектър на електромагнитните вълни – червен, зелен и син (подобно на възприемането на света от човешкото око);
- топловизионни камери, регистриращи инфрачервеното излъчване на обекта за мониторинг;
- мултиспектрални камери, фиксиращи изображения в няколко спектрални диапазона (вкл. видимия, инфрачервения и ултравиолетовия спектър);
- хиперспектрални камери, фиксиращи изображения в стотици тесни спектрални диапазона;
- лидарни системи, излъчващи лазерни импулси за измерване на разстояния и създаване на 3D-модели на обекта за мониторинг и на местността;
- газ-анализатори на различни газови смеси.

В състава на целевото оборудване, основно на някои тежки военни БЛА, е включена и бордна радиолокационна станция (БРЛС), включително със синтезирана апертура (БРЛС СА), осигуряваща радиолокационни изображения на обекта за мониторинг, независими от условията на времето и денонощието.

Следва да се отбележи, че редица съвременни спътници за наблюдение разполагат с камери от посочения по-горе тип, включително и с БРЛС СА [7].

На основата на предварителния структурен модел се предлага операционен модел на БАС, отразяващ отделните етапи и събития в процеса на функционирането на системата за следспътников мониторинг чрез БЛА. Операционният модел на БАС включва следните етапи:

- транспортиране на компонентите на БАС от постоянното място за базиране и разполагането им в района за извършване на мониторинг;
- излитане на БЛА от писта (площадка) или стартиране (катапултиране);
- набор на височина и полет на БЛА към обекта/района за извършване на мониторинг;
- извършване на следспътников авиационен мониторинг на съответния обект/район с помощта на целевото оборудване на БЛА и получаване на информация в НКСУ в РМВ (фиг. 1);
- полет на БЛА към пистата (площадката за кацане) или към района за спасяване;
- кацане (спускане с парашут) или кацане в мрежа;
- събиране, натоварване на компонентите на БАС и транспортирането им до постоянното им място за базиране.



Фиг. 1. Съвместно синхронизирано използване на спътници и БЛА за наблюдение на обекти/райони от земната (морската) повърхност

Изложеното дотук по своя смисъл е част от първоначалната постановка на задачата за избор на БЛА за следспътников мониторинг на зададени обекти/райони.

На фиг. 1 ясно се открояват ползреностите на спътника за наблюдение и на БЛА за наблюдение като пространствени ъгли, в границите на които се получават изображения (сцени) на повърхността на Земята или морето. Всяко от тях е изобразено с три непрекъснати и една прекъсната линия. Съгласно теорията на ДИ от ползреността на спътника или БЛА за наблюдение зависи полосата (ивицата) на заснемане и полосата (ивицата) на обзора, които са в основата на редица разчети и оценки с различни приложения.

Показаното на фиг. 1 илюстрира комплексен синхронен аерокосмически експеримент (мониторинг) за ДИ на Земята [1, 5], в който (в класическата му структура) отсъства третото ниво – наземните измервателни комплекси. При това не е задължително БЛА за наблюдение да прелита над обекта/района за мониторинг едновременно със спътника за наблюдение.

Следспътниковият авиационен мониторинг с използване на БЛА е целесъобразно да е синхронизиран с космическия мониторинг и да се извършва след получаване на изображение на съответния обект/район от спътника за наблюдение. При това времевият цикъл на БЛА за наблюдение от заснемането до получаването на изображението е няколкократно по-малък от този на спътниците за наблюдение. По-конкретно, след получаване на изображение (сцена) на съответния обект/район от спътника за наблюдение, може да се наложи детайлизиране на получената сцена и повишаване на нейната информативност. **В зависимост от размерите на сцената се определя район за търсене на БЛА за наблюдение, а в съответствие с обекта за мониторинг – целевото оборудване на БЛА и способа за търсене на обекта за мониторинг.** След заснемането му от БЛА за наблюдение получената информация се изпраща в Пункта за приемане, обработка и формиране на изображения (фиг. 1). Тук се извършва комплексна обработка на информацията, получена от спътника и БЛА за наблюдение, като се отчитат предимствата и недостатъците на двата типа изображения чрез съвместната им обработка по определен алгоритъм, както и формирането на крайното изображение на обекта за мониторинг [2].

Целевите задачи, решавани от БЛА при следспътников мониторинг на кризисни обекти и процеси от невоенен характер, могат да бъдат следните:

- ранно откриване и предупреждение за пожари в ненаселени места;
- ранно откриване и предупреждение за наводнения в ненаселени места;
- ранно откриване и предупреждение за техногенни аварии;
- оценка на радиационната обстановка в районите на АЕЦ;
- екомониторинг, т. е. измерване на чувствителни елементи на атмосферата и откриване на замърсявания от различен характер;
- участие в охраната и контрола на критичната инфраструктура на страната - енергийна (нефтепроводи, газопроводи и др.) и транспортна;
- наблюдение и оценка на миграционни и бежански потоци в страната и извън нея;
- идентифициране и следене движението на нефтени петна и други продукти в акваторията на Черно море, по р. Дунав и другите по-големи реки в страната, в РМВ;
- оценка на щетите от природни бедствия и техногенни аварии;
- ранно откриване на бедстващи хора на територията и акваторията на страната (спасителни операции);
- информационно осигуряване на хуманитарни операции и др.

Всяка от формулираните задачи може да се декомпозира на по няколко съставни задачи. Очевидно е, че изброените по-горе задачи, решавани с помощта на БЛА, имат значимо хуманитарно, антикризисно и икономическо значение за страната.

Реализирането на следспътников авиационен мониторинг в нашата страна с използване на БЛА ще осъвремени и повиши качеството на информационното осигуряване на икономиката, екологията, хуманитарната област и на военното дело. Ще се модернизира и въздушния компонент на Националната система за ранно предупреждение за възникване на кризи и конфликти от различен характер.

Литература:

1. Гецов, П. Национална аерокосмическа система за мониторинг и защита от природните екокатастрофи, С., акад.изд. проф. Марин Дринов, 2000 г., стр. 7, 18–19, 23
2. Илиев, Т. Комплексно използване на авиационни и космически системи и средства за наблюдение при информационно осигуряване в съвременните операции. Дисерт. труд за присъждане на ОКС „доктор“, С., ВА „Г. С. Раковски“, 2020, стр. 98, 157
3. Концепция за изграждане на Център за аерокосмическо наблюдение, контрол и управление, С., ИКИТ-БАН, 2025, стр. 6–7
4. Мардирисян, Г. Въведение в космонавтиката, С., изд. проф. Марин Дринов, 2023 г., стр.144–173
5. Мардирисян, Г. Природни екокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване С., изд. на БАН, проф. Марин Дринов, 2023 г., стр. 113–115
6. Пенев, П. Космос и сигурност, С., Витал, 2014 г., стр. 345
7. Пенев, П. Военни аспекти на използването на космоса, С., Изд. на БАН „проф. Марин Дринов“, 2025 г., стр. 312, 340–342, 359–377
8. AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY, 2024–2025
9. <https://navgeotech.com/ru/bpla-i-kamery/>
10. <https://eos.com/ru/products/high-resolution-images/>