

УДК 621.39:876.5

Є. В. ГАВРИЛКО, канд. військ. наук, ст. наук. співробітник, здобувач;

С. В. КОЗЕЛКОВ, д-р техн. наук, професор;

В. Ф. ЗАЙКА, канд. військ. наук, доцент;

М. М. СТЕПАНОВ, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник;

М. П. ТРЕМБОВЕЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## Екологічний моніторинг Землі з використанням супутникових телекомунікаційних систем і мереж

**Досліджено аспект використання сучасних супутникових телекомунікаційних систем і мереж із метою екологічного моніторингу Землі.**

**Ключові слова:** екологічний моніторинг; телекомунікаційні системи і мережі; космічні системи; космічні апарати.

### Вступ

Людство дедалі частіше стикається з проблемою зростання кількості та потужності надзвичайних ситуацій (НС) природного, техногенного, воєнного та соціального характеру. Негативний антропогенний вплив на навколишнє природне середовище, соціальні конфлікти, війни — усе це й надалі призводитиме до посилення такої тенденції. Війна на індустріальному Сході України засвідчила, що наша держава не може перебувати осторонь цих процесів і реалізація загрози щодо виникнення потужних НС — тільки справа часу. Саме тому постає невідкладна потреба в дослідженні питань стосовно адекватного реагування на такі виклики та пошуку нових технологічних вирішень із забезпечення швидкого реагування на будь-які НС. Одним із технологічних підходів до розв'язання цих проблем має стати створення Єдиної державної системи реагування на НС на основі сучасних телекомунікаційних технологій — *екологічна телекомунікація*.

**Мета статті** — дослідити аспект екологічних телекомунікацій для здійснення екологічного моніторингу Землі (ЕМЗ) на основі використання космічних апаратів (КА).

### Основна частина

Космічні апарати ЕМЗ, що забезпечують дистанційне зондування Землі, являють собою одне з основних джерел даних про стан довкілля.

Космічні технології є ідеальний засіб глобального, постійного та надійного екологічного моніторингу навколишнього природного середовища з плануванням заходів із ліквідації наслідків НС. Вони уможливають отримання оперативної інформації, необхідної в різних сферах реагування на НС. Передусім це оповіщення, гідрологія, картографування, ведення лісового та сільського господарства, радіаційна й хімічна розвідка, а також передавання отримуваних даних.

У сфері створення засобів здійснення ЕМЗ розгортаються революційні зміни: багато фірм відмов-

ляються від проектування дорогих багатоцільових систем — так званих великих КА і переходять до вузькоспеціалізованих систем на базі малих космічних апаратів (МКА). Найвищих результатів вдається досягти за допомогою оперативних космічних систем, які охоплюють не лише космічний сегмент, а й інфраструктуру отримання, зберігання, передавання та обробки даних, тобто здійснюють повне телекомунікаційне забезпечення.

Створення системи на базі МКА дозволить істотно скоротити бюджетні витрати на космічні програми, значно зменшивши терміни їх реалізації, що дуже важливо для України. Адже вартість цілком можливого в Україні виведення МКА ракетноносіями (РН) легкого класу в 3-5 разів менша, ніж вартість запуску за допомогою важких РН.

Останніми роками для задоволення запитів користувачів провідні космічні фірми світу створюють МКА, застосовуючи модульний принцип. Основу конструкції КА становить універсальна платформа, тоді як цільова апаратура комплектується різними функціональними модулями, здатними забезпечити певну емергентність свого застосування.

Окрім того, очевидна перевага МКА полягає в реалізації концепції створення багатосупутникових орбітальних угруповань, які забезпечують безперервне глобальне покриття Землі (наприклад, системи зв'язку «Гридій», «Глобалстар», «Орбком», перспективні американські системи СБІРС і Дискаверер-2), відзначаючись високою живучістю, надійністю й частотою перегляду будь-якого району Землі.

Сьогодні всі провідні космічні держави Європи розробляють проекти систем МКА ЕМЗ, що включатимуть у себе від двох до 15 малих супутників із різномірною апаратурою (оптичного, оптико-електронного, інфрачервоного, радіолокаційного спостереження) із роздільною здатністю на місцевості до 1–5 м. Перспективні космічні системи наведено в таблиці.

Перспективні системи малих КА дистанційної зйомки Землі

Найменування системи (країна)	Склад системи (маса)	Роздільна здатність, м	Швидкість передавання інформації	Орієнтовна вартість системи
COSMO/SkyMed (Італія)	Малі КА (до 600 кг)	2,5	До 70 Мбіт/с	565 млн Євро
3 S-Spot (Франція)	Малі КА (по 500 кг)	–		30 млн Євро/КА
Pleides (Франція)	Малі КА (до 1т)	1	До 100 Мбіт/с	< 1 млрд дол. США
RapidEye (Німеччина)	5 КА по 150 кг	Не більш як 5-8	До 280 Мбіт/с	
SARLure (Німеччина)	Малі КА	1	Понад 1000 Мбіт/с	Вартість НДР – 1 млн дол. США
ISHTAR (Іспанія)	Малі КА (по 450 кг)	До 1		95 млн Євро
David-Diamant (Ізраїль–Німеччина)	3 КА по 180 кг	–		4,4 млн дол. США (виділено Європейським Союзом)
TerraS AR (Німеччина–Великобританія)	2 КА по 2 т	–		640 млн дол. США

Спинимось на питанні ефективності за співвідношенням маса/ціна. Найбільш ефективний, як уже зазначалося, є запуск МКА легкими РН, що можуть бути побудовані в Україні. Можливий запуск надмалих РН з авіаційної техніки, зокрема з авіаційного комплексу типу «Руслан» під час польоту на висоті до 16 км і швидкості до 70 км/год.

Щоб розкрити зміст концепції застосування малих супутників в інтересах ЕМЗ, розглянемо кілька прикладів успішного застосування провідними країнами світу своїх орбітальних угруповань МКА.

Світовий лідер у галузі виробництва МКА — організація MSAT (США).

Протягом 25-річного періоду всі створені цією організацією і запуснені МКА успішно виконали свої завдання, забезпечивши реалізацію надзвичайно ефективної програми роботи з високою періодичністю перегляду поверхні Землі. Починаючи з 1996 року Національне управління космічної розвідки NRO (США) фінансує проект FIA (*Future Imagery Architecture*), націлений на створення багатосупутникової системи зовнішньої розвідки нового покоління. Передбачається, що нові супутники, маючи значно менші порівняно із сучасними КА серії «Кіхоул» і «Лакросс» габаритні розміри, вартість і масу, не поступатимуться їм за своїми можливостями. Розробники довели вартість МКА до кількох десятків тисяч доларів, зменшивши масу супутника до 20-30 кг.

Так, мікросупутник FireSat, розроблений організацією AMSAT і призначений для виявлення та контролю лісових пожеж, можна розглядати як вдалий приклад супутника, створеного на основі технології мініатюризації. Адже система низькоорбітальних супутників FireSat може передавати зображення, отримані багатоспектральною апаратурою з роздільною здатністю до кількох метрів.

Варто наголосити, що цей супутник здатний здійснювати спостереження за поширенням небезпечних речовин, відстежувати радіаційний

фон чи фронт пожежі, обробляти інформацію на борту і передавати дані службам через геостаціонарний супутник зв'язку.

Одне з можливих вирішень щодо застосування МКА FireSat з метою кризового моніторингу полягає ось у чому. Із літака розкидаються прості термодатчики. Кожний із них при температурі близько 100°С передає цифрове повідомлення, що містить закодований номер цього датчика. Мінісупутники, приймаючи сигнали датчиків, передають отримані дані, наприклад щодо температури та номера датчика, місцевій рятувальній службі.

Наземна станція складається з невеликого комп'ютера, передавача, приймача та вєспрямованої антени. Описана система здатна забезпечувати глобальний контроль щодо виникнення пожеж, визначаючи положення фронту пожежі та передаючи пожежникам повідомлення про його поширення. При цьому до супутників не висувається жодних особливих вимог.

Значний інтерес становить система МКА «Кондор-3», призначена для дистанційного зондування поверхні Землі в оптичному та СВЧ діапазоні з метою екологічного моніторингу, розвідки природних ресурсів, розв'язання завдань науково-прикладного характеру, а також для комерційного використання. У складі орбітального угруповання одночасно можуть функціонувати до 12 (за потреби) МКА, оснащених оптичною та радіолокаційною апаратурою. Ідеться про космічні апарати, створені на основі універсальної легкої космічної платформи, на якій може бути встановлено радіолокаційну або оптико-електронну апаратуру.

Передавання радіолокаційної інформації з борту МКА на центральні та регіональні пункти прийому інформації для її подальшої обробки й доставляння споживачеві може відбуватися по радіолінії як у режимі безпосереднього передавання, так і з проміжним записом у бортові блоки пам'яті.

Університет Техніон у Хайфі (Ізраїль) розробив проект багатосупутникової системи зйомки земної поверхні на основі МКА. Мікросупутник GURWIN (TechSAT-2) масою 48 кг із тривимірною системою стабілізації призначено для широкоспектральної розвідки земної поверхні в смузі 27 км 4,5 м із розрізненням, забезпечуваним із висоти 600 км. Окрім того, цей супутник виконує такі завдання: спостереження Землі за допомогою ультрафіолетового спектрометра, передавання даних у режимі електронної пошти, дослідження озонового шару атмосфери Землі за допомогою рентгенівських випромінювань. Розрахунковий термін активного функціонування КА становить три роки.

Слід згадати також МКА COSMO-SkyMed, що розробляється для італійського космічного агентства ASI. Головний розробник — провідна аерокосмічна компанія Італії Alenia Aerospaz, що реалізує програму SAR-2000. Раніше компанія виготовляла радіолокатори X-SAR, які використовувалися на борту американського корабля Shuttle. Тепер вона отримала замовлення на виготовлення космічної платформи Prima для перспективного канадського МКА Radarsat.

Ці МКА буде оснащено багатофункціональними поліметричними РЛС SAR-20, здатними забезпечувати зйомку земної поверхні в X-діапазоні частот у п'яти режимах. Як антена в цій системі використовується фазова антенна решітка з електронним скануванням променя, що забезпечує зйомку місцевості в детальному режимі з максимальною роздільною здатністю не менш як 1 м в кадрі розміром 10×10 км.

Варто наголосити, що МКА з оптико-електронною системою дасть змогу здійснювати моніторинг із високою роздільною здатністю, забезпечуючи одночасне формування зображень у шести каналах. Максимальна роздільна здатність у монохроматичному каналі — близько 1 м; у чотирьох каналах видимого та ближнього інфрачервоного спектра — 5 м; у каналі короткохвильової частини інфрачервоного спектра — 7,5 м. Інший комплект апаратури — гіперспектральні камери середнього розрізнення, із забезпеченням зйомки в 60 спектральних ділянках спектра.

Планується розгортати угруповання RapidEye з 5-6 малих супутників для цілей сільського господарства, картографії, а також реагування на НС. Докладну характеристику цього угруповання наведено далі. Усі апарати будуть розташовані на сонячно-синхронній орбіті і рівномірно розподілені в одній орбітальній площині. Місцевий час перетину вектора — близько 11.00, що забезпечує постійний екологічний моніторинг досліджуваної поверхні.

### Основні параметри угруповання RapidEye

Орбіта.....	600- 620 км, сонячно-синхронна
Кількість супутників.....	5
Маса КА.....	150 кг
Швидкість передавання даних.....	> 60 Мбіт/с (X-діапазон)
Максимальний кут розвороту КА.....	25°
Тип корисного навантаження.....	Сканер із лінійкою
Кількість оптичних каналів.....	5 (400-850 нм)
Розрізнення (GSD).....	6,5 м
Ширина смуги огляду.....	80 км
Глобальний час переогляду.....	< 1 дня
Середній період повтору покриття (Європа і Північна Америка).....	< 5 днів
Можливість додавання DEM (Digital Elevation Model).....	Так
Життєвий цикл.....	7 років

### Висновки

Розглянувши найбільш цікаві вирішення, які можуть бути реалізовані в Україні, зауважимо, що світ перебуває на порозі третьої надзвичайно масштабної революції з МКА.

Це пов'язано з появою новітніх апаратів високого розрізнення, які матимуть комерційне призначення. Уже до кінця 2017 року на орбіті перебуватиме близько 200 комерційних супутників високої роздільної здатності, у тому числі до 60 радарних, зйомка з яких буде можлива незалежно від погодних умов і часу доби, із забезпеченням розрізнення не менш як 70 см, а три супутники гарантуватимуть ще вищу (40-50 см) роздільну здатність. Таке угруповання має бути оснащено відповідною телекомунікацією для отримання та передавання користувачам постійно оновлюваної інформації.

Варто зазначити також, що наявність у кишені майже кожного землянина смартфона (а ці пристрої найближчим часом стануть потужнішими збирачами даних про температуру, тиск, вологість, радіаційний фон) дозволить на базі сучасних телекомунікаційних систем і мережі перейти до нового етапу екологічного моніторингу.

Як показує проведений науковий аналіз, нині з огляду на кардинальні зміни в підходах до отримання, зберігання, обробки та передавання даних постає потреба у створенні нового наукового і технічного напрямку — *екологічної телекомунікації*.

Розробці цієї проблеми буде присвячено подальші дослідження авторів.

Здобуті результати будуть корисні для фахівців із космічних технологій, телекомунікаційних систем і мереж, екологічного моніторингу, ліквідації наслідків НС, розвідки і т. ін.

**Література**

1. Козелкова, Е. С. Методика повышения качества моделирования многоспутниковой низкоорбитальной экологической системы дистанционного зондирования Земли: монография / Е. С. Козелкова. — К.: ЦНИИ НиУ, 2004. — 120 с.

2. Волосяк, В. К. Исследование возможностей некорректируемых экологических систем КА: материалы наук.-практ. конф. «Наукові проблеми розробки, модернізації та застосування інформаційно-вимірвальних систем космічного і наземного базування / В. К. Волосяк, Е. С. Козелкова. — Житомир, НАУ. — 2006. — С. 86–87.

3. Муртазов, А. К. Экологический мониторинг. Методы и средства: уч. пособие. Ч. 1 / А. К. Муртазов. — Рязань: Рязан. гос. ун-т им. С. А. Есенина, 2008. — 146 с.

4. Козлова, В. В. Информационно-телекоммуникационные технологии в системе обеспечения экологической безопасности / В. В. Козлова, В. В. Савиных // Современные наукоемкие технологии. — 2004. — № 2. — С. 40–44.

**Рецензент:** д-р техн. наук О. І. Тімочко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

*Е. В. Гаврилко, С. В. Козелков, В. Ф. Заика, М. М. Степанов, М. П. Трёмбовецкий*

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СПУТНИКОВЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ**

*Исследован аспект использования современных спутниковых телекоммуникационных систем и сетей с целью экологического мониторинга Земли.*

**Ключевые слова:** экологический мониторинг; телекоммуникационные системы и сети; космические системы; космические аппараты.

*E. Gavrilko, S. Kozelkov, V. Zaika, M. Stepanov, M. Trembovetskyi*

**ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE EARTH WITH SATELLITE TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORKS**

*In the article is studied an aspect of modern satellite telecommunication systems and networks in the interest of environmental monitoring of the Earth.*

**Keywords:** environmental monitoring; telecommunication systems and networks; space systems; space vehicles.

