

DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.14.1.174-181>

УДК 681.3.01:519.67

А.М. Зубков, д.т.н., с.н.с.**І.В. Петлюк**, к.т.н.**А.В. Д'яков**, к.т.н.**А.А. Щерба**, к.т.н.**В.В. Прокопенко**, к.т.н.**М.В. Файфура**<https://orcid.org/0000-0001-6729-2464><https://orcid.org/0000-0002-4696-3780><https://orcid.org/0000-0003-1589-1021><https://orcid.org/0000-0002-0013-0767>*Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна*

ПРИЛАДНЕ ОСНАЩЕННЯ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО ГЕОМОНІТОРИНГУ

На підставі виконаних теоретичних досліджень розглянуті варіанти практичної реалізації засобів багатоспектрального дистанційного моніторингу для спеціального та загальнотехнічного застосування на рівні структурних схем і основних технічних характеристик. Отримав подальший розвиток метод максимуму правдоподібності, за допомогою якого синтезовано оптимальні алгоритми багатоспектральної обробки локаційних сигналів для всіх етапів дистанційного геомоніторингу – викриття об'єктів противника, а також метод апаратно-алгоритмічного комплексування парціальних каналів геомоніторингу до рівня інтеграції просторово-часової обробки в рамках єдиного конструктивного виконання. Запропоновано інтегровану радіотеплову систему, структурну схему двоспектрального виявляча наземних об'єктів з адаптацією до цілефонового контрасту та структурну схему інтегрованого комплексу артилерійської розвідки. Відмічено, що подальшим розвитком практики багатоспектрального геомоніторингу є розробка системи для визначення фізичних характеристик спостережних об'єктів (цілей) противника та способу визначення теплофізичних характеристик об'єктів (цілей) при дистанційному моніторингу і системи для його реалізації. Представлено на рівні переваг та недоліків основні фізичні характеристики матеріалів, придатних для моно і багатоспектральних обтікачів та якісна оцінка параметрів по п'ятибальній шкалі (за виключенням питомої ваги). Виконано аналіз варіантів оптимального по критерію ефективність/вартість конструктивного виконання складових частин апаратури просторово-часової обробки геоінформації.

Ключові слова: геомоніторинг; локаційний моніторинг; дистанційний моніторинг; радіолокаційний канал; тепловий канал; комплексування каналів спостереження; синхронізація каналів спостереження; інтеграція; викриття (виявлення, розпізнавання, ідентифікація) об'єктів (цілей); цілефоновий контраст; виявляч; обтікач антени.

Постановка проблеми

В роботі [1] методом максимуму правдоподібності синтезовано оптимальні алгоритми багатоспектральної обробки локаційних сигналів для всіх етапів дистанційного геомоніторингу – виявлення, вимірювання координат, розпізнавання та ідентифікація об'єктів (цілей). Вказані алгоритми інваріантні до методу локації (активна, пасивна, напівактивна) та фізичному принципу побудови сенсору – радіо, оптичний, тепловий.

Оптимізація побудови багатоспектральної апаратури дистанційного моніторингу із врахуванням важливого практичного обмеження – мінімізація ваго-габаритних характеристик, яке є ключовим для бортової апаратури мобільних об'єктів, безсумнівно представляє науково-практичний інтерес. При цьому, комплексування каналів спостереження, що передбачає інформативне поєднання на виході каналів [1], не дозволяє досягнути визначеної мети внаслідок відсутності просторового взаємостування та часової синхронізації парціальних каналів

Постановка завдання

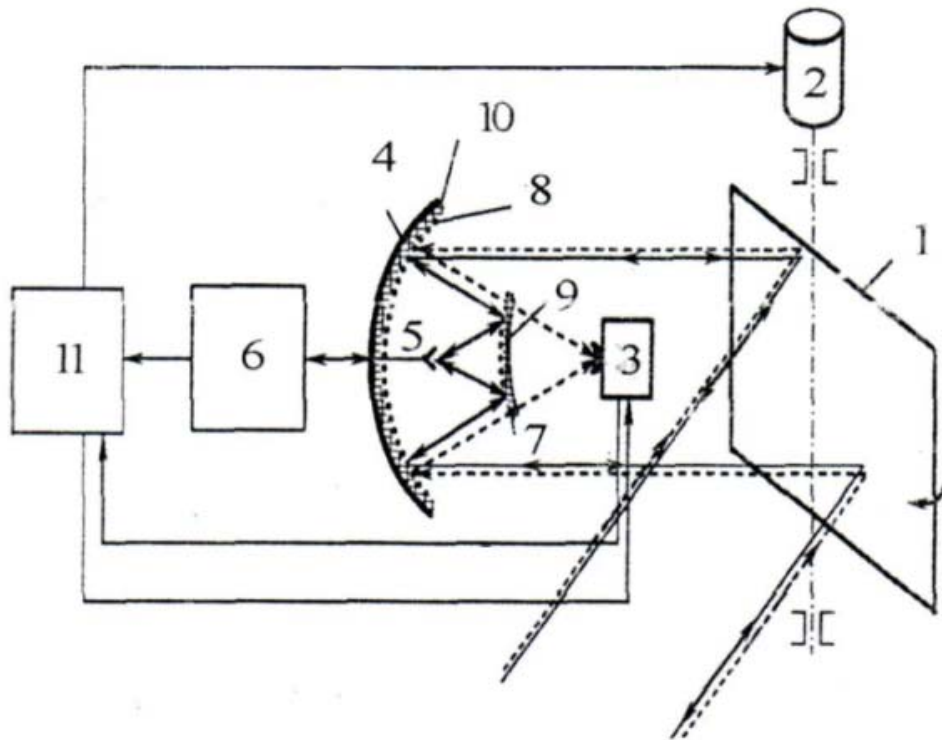
Розвиток методів апаратно-алгоритмічного комплексування парціальних каналів геомоніторингу до рівня інтеграції просторово-часової обробки в рамках єдиного конструктивного виконання.

Виклад основного матеріалу дослідження

Підґрунтям методики інтеграції парціальних спектральних каналів локаційного спостереження є можливість поєднання апертурних частин радіо- і теплового каналів в рамках єдиної конструкції на основі принципів геометричної оптики [2, 3].

Інтегрована радіотеплова система представлена на рис. 1. Радіолокаційний канал працює в міліметровому діапазоні (ММД) з міркувань мінімізації вагогабаритних характеристик із збереженням високої кутової роздільної здатності. Розвитком системи є доповнення її когерентно-імпульсною РЛС формування радіолокаційних зображень (РЛЗ) – елемент 6 на рис. 1.

Радіолокаційне зображення уявляє собою «дальністний портрет» об'єкту, що спостерігається [4]. В цьому випадку у блоці 11 формується трьохвимірне зображення об'єкту, з врахуванням «портрету» цілі в «картинній» (такою що перпендикулярна лінії візування цілі) площині, отриманого за рахунок високої кутової роздільної здатності приймача теплового випромінювання інфрачервоного (ІЧ) діапазону.



1 – плоске скануюче дзеркало; 2 – управляємий електропривод; 3 – приймач теплового випромінювання інфрачервоного діапазону; 4 – параболічне дзеркало; 5 – випромінювач ММД; 6 – когерентно-імпульсний приймач-передавач; 7, 8 – печатні поляризаційні фільтри; 9 – гіперболічна підкладка; 10 – параболічна підкладка; 11 – блок управління, обробки і синхронізації

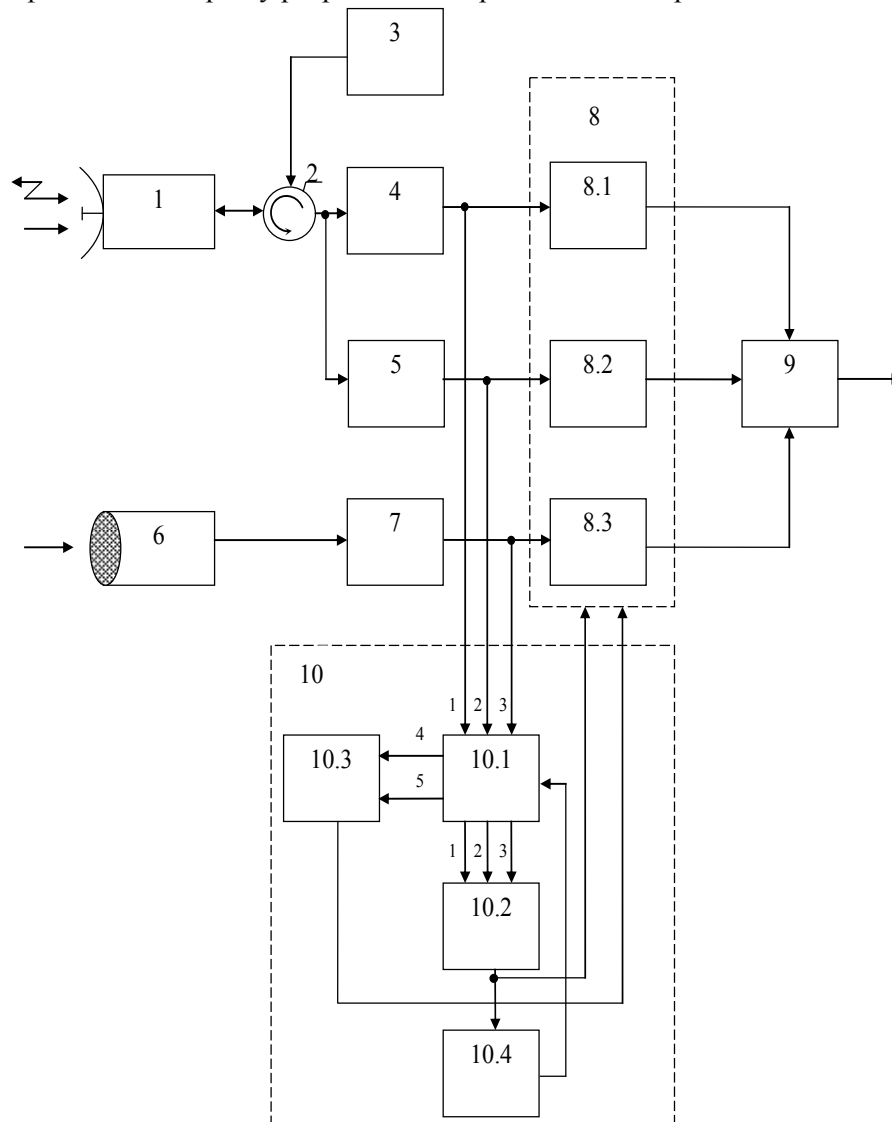
Рис. 1. Інтегрована радіотеплова оглядова система

Принциповим питанням локаційного моніторингу є забезпечення інваріантності характеристик виявлення, вимірювання координат та розпізнавання до параметрів цілефонового контрасту. Кількісно цілефоновий контраст характеризується відношенням сигнал/завада + внутрішній шум (ВСЗШ) на вході відповідного парціального каналу [5, 6].

Слід відмітити, що активний радіолокаційний канал – з однієї сторони, та радіометричний (радіотепловий) з інфрачервоним (тепловим) каналом – з другої сторони, з позиції формування РЛЗ можуть розглядатися як «позитив» і «негатив». Фізично це пояснюється тими обставинами, що в активному радіолокаційному каналі джерелом інформації про спостережний об'єкт є розсіяний металеву формують поверхню сигнал, а в тепловому (радіотепловому) каналі джерелом є випромінені нагрітим фізичним тілом сигнали, які характеризують діелектричний матеріал.

Тому, для забезпечення інваріантності характеристик спостереження з використанням багатоспектральної апаратури необхідно в реальному масштабі часу виконувати аналіз заводої обстановки.

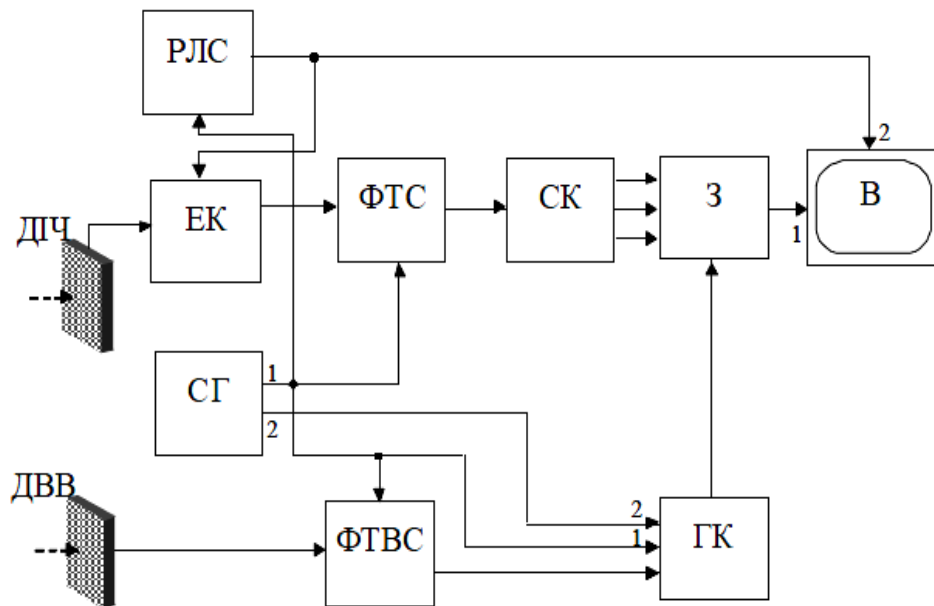
Структура і характеристики аналізатора заводої обстановки детально описані в роботі [7, 8]. Розроблена методика адаптації багатоспектральної локаційної системи до величини і знаку цілефонового контрасту. Структурна схема двоспектрального виявляча наземних об'єктів з адаптацією до цілефонового контрасту розроблена та представлена на рис. 2.



1 – антена радіолокаційного каналу; 2 – циркулятор розв'язки «прийом-передача»; 3 – передавач радіолокаційного каналу; 4,5 – приймачі активного і радіометричних каналів; 6, 7 – об'єкти та приймач інфрачервоного каналу; 8 – керовані ключі; 9 – блок виявлення; 10 – аналізатор заводої обстановки; 10.1 – керований комутатор; 10.2, 10.3 – блок вибору сигналу по максимуму; 10.4 – блок керування комутаторами.

Рис. 2. Двоспектральний виявляч

Подальшим розвитком практики багатоспектрального геомоніторингу є розробка системи для визначення фізичних характеристик спостережних об'єктів [4] та способу визначення теплофізичних характеристик об'єктів при дистанційному моніторингу і системи для його реалізації [9], які ілюструє рис. 3.



ДІЧ – детектор інфрачервоного випромінювання; ДВВ – детектор видимого випромінювання; ЕК – електронний ключ; СГ – синхрогенератор; ФТС – формувач тепловізійного сигналу; ФТВС – формувач телевізійного сигналу; СК – синтезатор кольору; 3 – змішувач; В – кольоровий монітор; ГК – генератор контурів.

Рис. 3. Структура системи визначення теплофізичних характеристик об'єктів

Призначення каналів:

- інфрачервоний – аналіз розподілення теплового контрасту на поверхні об'єкту, який спостерігається;
- телевізійний – формування контуру об'єкту в «картинній» площині;
- радіолокаційний – формування зображення об'єкту у розрізі.

У прикладному аспекті розроблений підхід дозволяє реалізувати режим просторової візуалізації неоднорідності внутрішнього стану спостерігаємих об'єктів у завданнях гуманітарного розмінування, контролю стану інженерних споруд.

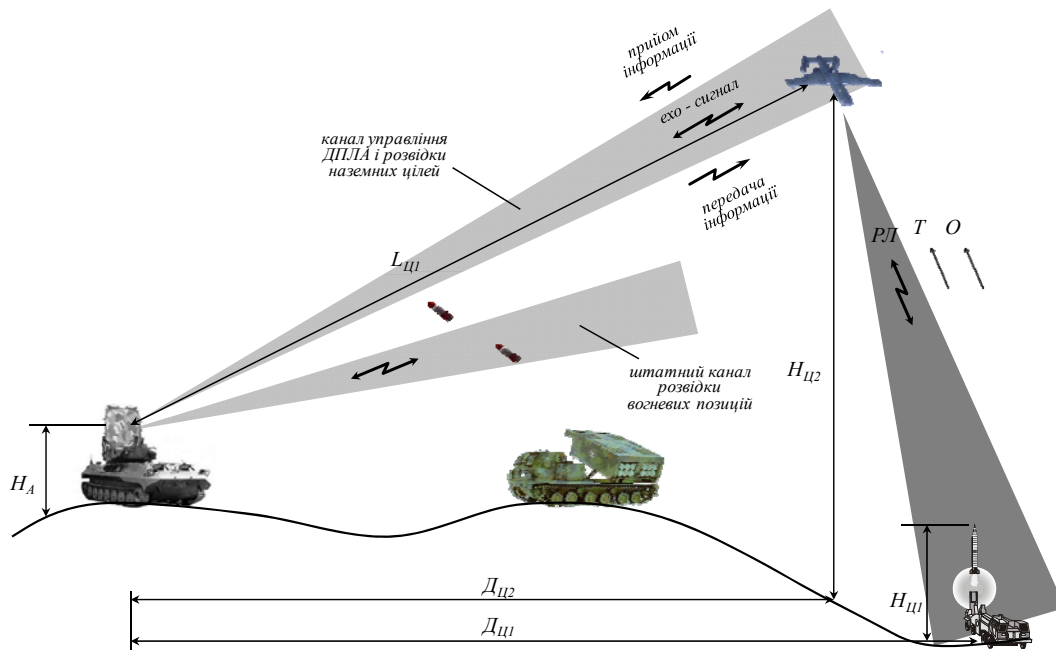
Безсумнівний практичний інтерес представляє проблема розширення можливостей багатоспектрального дистанційного геомоніторингу в напрямку підвищення дальності з одночасним збереженням точності та достовірності. Цього можна досягти шляхом об'єднання наземних і повітряних, зокрема безпілотних літальних апаратів (БПЛА), засобів установки апаратури моніторингу [10].

На рис.4 представлена, структурна схема інтегрованого комплексу артилерійської розвідки.

Вона включає:

- штатні канали радіолокаційного комплексу розвідки вогневих позицій (РЛК РВП) типу «Зоопарк-1,2», АНТРQ–36, 37 з фазованою антенною решіткою;
- канали управління БПЛА і спостереження наземних цілей у масштабі часу, близькому до реального, на основі штатних каналів РЛК РВП (загальна чисельність визначається тактичною доцільністю);
- багатоспектральну (у загальному випадку) апаратуру пошуку, викриття, виміру координат та розпізнавання наземних цілей, встановлену на БПЛА, який автоматично супроводжується за кутовими координатами і дальністю у штатному режимі роботи РЛК РВП.

Динаміка електронного сканування діаграми направленості ФАР і польоту БПЛА кількісно не співрозмірні, що дозволяє у фіксованому положенні діаграми направленості здійснювати виміри параметрів траєкторії БПЛА та штатних цілей РЛК РВП (снарядів, ракет, мін вогневих засобів противника у режимі розвідки вогневих позицій та снарядів, ракет, мін вогневих засобів у режимі коректування вогню).



H_A – висота антени; H_{U1} – висота цілі; H_{U2} – висота польоту БпЛА; D_{U1} – дальність до цілі; D_{U2} – відстань до ДпЛА від РЛК; L_{U1} – відстань похила до ДпЛА; РЛ – радіолокаційний канал, Т – тепловий канал, О – оптичний канал

Рис. 4. Структурна схема інтегрованого комплексу артилерійської розвідки

Ключовим елементом бортової системи геомоніторингу є багатоспектральний обтікач. Основні вимоги до якого:

- низькі втрати у всіх діапазонах;
- міцність конструкції;
- можливість серійного виробництва.

В таблиці 1 представлено на рівні переваг та недоліків основні фізичні характеристики матеріалів, придатних для моно і багатоспектральних обтікачів. Якісна оцінка параметрів по п’ятибальній шкалі (за виключенням питомої ваги) представлена в круглих скобках.

Таблиця 1

Порівняльні фізичні характеристики матеріалів обтікача

Матеріал обтікача	Питома вага (г/см ³)	Діелектрична проникність	Тангенс втрат /35ГГц	Прозорість в ІЧ діапазоні	Міцність при зсуві (psi)	Твердість по Кнуншу (кг/мм ²)	Макс. короточасний нагрів, град С ⁰
Багатоспектральні (ММД+ІЧ)							
Сульфід цинку ZNS	4,05	8,35 (3)	0,0024 (4)	(5)	18 (3)	350 (3)	370 (3)
Селенід цинку ZnSe	5,16	8,98 (2)	0,0017 (4)	(5)	8 (2)	150 (3)	315 (3)
Шпінель MgAl ₂ O ₄	3,68	9,19 (3)	0,0002 (5)	(4)	28 (3)	1650 (5)	980 (5)
Кварц SiO ₂	2,20	3,75 (5)	0,0004 (5)	(3)	8 (2)	600 (4)	1100 (5)

Продовження таблиці 1

Матеріал обтікача	Питома вага (г/см ³)	Діелектрична проникність	Тангенс втраг /35ГГц	Прозорість в ІЧ діапазоні	Міцність при зсуві (psi)	Твердість по Кнуну (кг/мм ²)	Макс. короткочасний нагрів, град С ⁰
Багатоспектральні (ММД+ІЧ)							
Нітрид кремнію Si ₃ N ₄	3,18	6,1 (4)	0,0006 (5)	(2)	90 (5)	2200 (5)	1500 (5)
Алмаз С	3,52	5,7 (4)	<0,0004 (4)	(2)	400 (5)	8800 (5)	1900 (5)

Висновки

1. На сьогодні існує науково-технологічний доробок для практичного впровадження методів багатоспектрального геомоніторингу для вирішення широкого кола загальнотехнічних та спеціальних задач.
2. Відпрацьовано питання технічної реалізації систем дистанційного геомоніторингу та їх складових частин.

Список використаних джерел

1. Зубков А. Оптимізація алгоритмів комплексування парціальних каналів багатоспектральних приладів артилерійської розвідки для всіх етапів спостереження / А.Н. Зубков, А.В. Дяков // Військово-технічний збірник. Львів, АСВ. 2011. № 2(5). С.12 - 17.
2. Зубков А. Интегрированный двухспектральный всепогодный и всесуточный поисково-прицельный комплекс. Сборник трудов IV Международной конференции "Артиллерийские ствольные системы, боеприпасы, средства артиллерийской разведки и управления огнем". Киев.: НТЦ АСВ. – 2000. С. 200 - 203
3. Спосіб дистанційного моніторингу земної поверхні та інтегрована система для його реалізації: пат. №70868 Україна, №20031213144 МПК G01J11/00, G01S13/00; заявл. 30.12.2003; опубл. 15.10.2004, Бюл. №10.
4. Спосіб визначення геометричних характеристик і параметрів руху наземних об'єктів при геомоніторингу і система для його реалізації: пат. №91299 Україна, №200904541, МПК G01S13/00, G01I3/28. заявл. 07.05.2009; опубл. 12.07.2010. Бюл. №13.
5. Бакут П.А., Большаков И.А., Герасимов Б.М., Курикша А.В., Репин В.А., Тартаковский Г.П. Вопросы статистической теории радиолокации: Москва: Сов. радио, 1963. – Т.1. – 318 с.
6. П.А. Бакут, И.А. Большаков, Б.М. Герасимов, А.В. Курикша, В.А. Репин, Г.П. Тартаковский. Вопросы статистической теории радиолокации: Москва: Сов. радио, 1964. – Т. 2. – 1079 с.
7. Зубков А.М. Аналізатор заводої обстановки для адаптивної багатоспектральної системи спостереження / А.М. Зубков, А.В. Д'яков, С.А. Мартиненко, А.А. Щерба // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – №4(91). – С. 68–70.
8. Багатоспектральний виявляч наземних об'єктів: пат. №94566 Україна, №15836; МПК G01J11/00, G01S13/00, заявл. 28.12.2010. опубл. 10.05.2011. Бюл. № 9.
9. Спосіб визначення теплофізичних характеристик об'єктів при дистанційному моніторингу та система для його реалізації: пат. №104906 Україна, №201203902МПК, G01S13/00, G01I3/28. заявл. 30.03.2012; опубл. 25.03.2014. Бюл. № 6.
10. Зубков А. М. Підвищення ефективності артилерійської розвідки шляхом конструктивно-функціональної інтеграції повітряних та наземних засобів спостереження / А. М. Зубков, А. А. Щерба // Радіоелектроніка, інформатика, управління. - 2014. - № 2. - С. 29-33. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/riu_2014_2_6.

References

1. Zubkov, A.N., & Dyakov, A.V. (2011). Optyimizatsiia alhorytmiv kompleksuvannia partsialnykh kanaliv bahatospektralnykh prykladiv artyleriiskoi rozvidky dlia vsikh etapiv sposterezhennia [Optimization of complexing algorithms of artillery reconnaissance multispectral instruments for all stages of surveillance]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk – Military technical collection*, 2(5), 12-17. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.5.2011.12-17> [in Ukrainian].
2. Zubkov, A. (2000). Integrirovannyj dvuhspektral'nyj vsepogodnyj i vsutochnyj poiskovo-pricel'nyj kompleks [Integrated dual-spectral all-weather and all-day search and sighting complex]. *Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoj konferencii «Artillerijskie stvol'nye sistemy, boepripasy, sredstva artillerijskoj razvedki i upravleniya ognem»*, Kiev : NTC ASV, 200 – 203 [in Russian].
3. Zubkov A.M., Prudyus I.N., & Smerklo L.M., inventors (2004). Sposib dystantsiinoho monitorynhu zemnoi poverkhni ta intehrovana systema dlia yoho realizatsii [Method for remotely monitoring the state of the earth surface and an integrated system for the realization of the method]. Ukraine, patent no. 70868, 15.10.2004.
4. Zubkov, A.M., Mymrikov, D.O., Lazko, L.V., & Prudyus, I.N., inventors (2010). Sposib vyznachennia heometrychnykh kharakterystyk i parametriv rukhu nazemnykh ob'ektiv pry heomonitorynhu i systema dlia yoho realizatsii [Method for determination of geometric characteristics and parameters of motion of surface objects at geo-monitoring and system for its realization]. Ukraine, patent no. 91299, 12.07.2010.
5. Bakut, P.A., Bol'shakov, I.A., Gerasimov, B.M., Kuriksha, A.V., Repin, V.A., & Tartakovskij, G.P. (1963). *Voprosy statisticheskoi teorii radiolokacii [Questions of the statistical theory of radar]*. (Vol. 1). Moskva: Sov. Radio Publ. [in Russian].
6. Bakut, P.A., Bol'shakov, I.A., Gerasimov, B.M., Kuriksha, A.V., Repin, V.A., Tartakovskij, G.P. (1964). *Voprosy statisticheskoi teorii radiolokacii [Questions of the statistical theory of radar]*. (Vol. 2). Moskva: Sov. Radio Publ. [in Russian].
7. Zubkov, A.M., Diakov, A.V., Martynenko, S.A., & Shcherba, A.A. (2010). Analizator zavadovoi obstanovky dlia adaptivnoi bahatospektralnoi systemy sposterezhennia [Interference analyzer for adaptive multispectral observation system]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, 4(91), 68-70 [in Ukrainian].
8. Martynenko, S.A., Mymrikov, D.O., Prudyus, I.N., Diakov, A.V., Zubkov, A.M., & Shcherba, A.A., inventors (2011). Bahatospektralnyi vyjavliach nazemnykh ob'ektiv [Multi-spectral device for reveal of surface facilities]. Ukraine, patent no. 94566, 10.05.2011.
9. Zubkov, A.M., Mymrikov, D.O., Prudyus, I.N., & Bozhenko, V.I., inventors (2014). Sposib vyznachennia teplofizychnykh kharakterystyk ob'ektiv pry dystantsiinomu monitorynhu ta systema dlia yoho realizatsii [Method for determining thermophysical characteristics of objects during remote monitoring and system for its implementation]. Ukraine, patent no. 104906, 25.03.2014.
10. Zubkov, A.M., & Shcherba, A.A. (2014). Pidvyshchennia efektyvnosti artyleriiskoi rozvidky shliakhom konstruktivno-funktsionalnoi intehratsii povitrianykh ta nazemnykh zasobiv sposterezhennia [Improving of artillery reconnaissance efficiency through constructive-functional integration of air and land surveillance]. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia – Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2, 29-33. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/riu_2014_2_6.

ПРИБОРНОЕ ОСНАЩЕНИЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ГЕОМОНИТОРИНГА

А. Зубков, И. Петлюк, А. Дьяков, А. Щерба, В. Прокопенко, М. Файфура

На основании выполненных теоретических исследований рассмотрены варианты практической реализации средств многоспектрального дистанционного мониторинга для специального и общетехнического применения на уровне структурных схем и основных технических характеристик. Получил дальнейшее развитие метод максимума правдоподобия, с помощью которого синтезированы оптимальные алгоритмы многоспектральной обработки локационных сигналов для всех этапов дистанционного геомониторингу – вскрытие объектов противника, а также метод аппаратно-алгоритмического комплексирования парциальных каналов геомониторингу до уровня интеграции пространственно-временной обработки в рамках единого конструктивного выполнения. Предложено интегрированную радиотепловую систему, структурную схему двоспектрального выявляча наземных объектов с адаптацией к целефонового контраста и структурная схема интегрированного комплекса артиллерийской разведки. Отмечено, что дальнейшим развитием практики многоспектрального геомониторингу является разработка системы для определения физических характеристик наблюдательных объектов (целей) противника и способа определения теплофизических характеристик объектов (целей) при дистанционном мониторинге и системы для его реализации. Представлены на уровне преимуществ и недостатков основные физические характеристики материалов, пригодных для моно и многоспектральных обтекателей и качественная оценка параметров по пятибалльной шкале (исключая удельный вес). Выполнен анализ вариантов оптимального по критерию эффективность / стоимость конструктивного исполнения составных частей аппаратуры пространственно-временной обработки геоинформации.

Ключевые слова: геомониторинг, локационный мониторинг, дистанционный мониторинг, радиолокационный канал, тепловой канал, комплексирование каналов наблюдения, синхронизация каналов наблюдения, интеграция, вскрытие (выявление, распознавание, идентификация) объектов (целей), целефонового контраст, выявляч, обтекатель антенны.

INSTRUMENTAL EQUIPMENT OF MULTISPECTRAL REMOTE GEOMONITORING

A. Zubkov, I. Petlyuk, A. Diakov, A. Shcherba, V. Prokopenko, M. Faifura

On the basis of the performed theoretical researches variants of practical realization of means of multispectral remote monitoring for special and general technical application at the level of structural schemes and the basic technical characteristics are considered. The method of maximum likelihood was further developed, which synthesized optimal algorithms for multispectral processing of location signals for all stages of remote geomonitoring - exposure of enemy objects, as well as the method of hardware-algorithmic complexation of partial channels of geomonitoring to the level of integration of spatial-temporal processing. implementation. An integrated radio thermal system, a block diagram of a two-spectrum ground object detector with adaptation to telephone contrast and a block diagram of an integrated artillery reconnaissance complex are proposed. It is noted that the further development of the practice of multispectral geomonitoring is the development of a system for determining the physical characteristics of enemy observation objects (targets) and a method for determining the thermophysical characteristics of objects (targets) in remote monitoring and a system for its implementation. The main physical characteristics of materials suitable for mono and multispectral fairings and qualitative assessment of parameters on a five-point scale (excluding specific gravity) are presented at the level of advantages and disadvantages. The analysis of variants of the optimal on the criterion of efficiency / cost of constructive execution of components of the equipment of space-time processing of geoinformation is executed.

Keywords: geomonitoring; location monitoring, remote monitoring, radar channel; heat channel; complexation of observation channels, synchronization of observation channels, integration, detection (detection, recognition, identification) of objects (targets), telephone contrast; detector, antenna fairing.