УДК 551.508+621.396.67

Ю.П. Сальник[1], П.І. Ванкевич[1], Є.Г. Іваник[1], В.Д. Смичок[2], С.В. Прохоренко[3]

[1] *Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*
[2] *Львівський обласний центр з гідрометеорології ДСНС України, Львів*
[3] *Національний університет «Львівська політехніка», Львів*

СИСТЕМА ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

Запропоновано метод тактичної оперативної розвідки з використанням літального об'єкту у вигляді повітряного зонду. З цією метою сформовано апаратний комплекс, який містить наземний оптико-електронний приціл, оптичну розпізнавальну апаратуру, фотооб'єктив якої включений в USB порт електронного гаджету, в пам'яті якого з використанням відповідного програмного забезпечення інстальована топографічна карта місцевості. Відпрацьовано схему проведених зйомок, дані яких у відповідному алгоритмі і програмно-математичному забезпеченні використовуються для цифрової обробки.

Ключові слова: *тактична розвідувальна інформація, оптико-електронний приціл, повітряна розвідка поля бою, розпізнавальна апаратура, топографічна карта місцевості, програмне забезпечення, система пасивної тактично-оперативної аерологічної розвідки, турбулентність середовища, зонд.*

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз сучасних бойових дій та збройних конфліктів свідчить, що одним з найефективніших методів отримання тактичної розвідувальної інформації є повітряна розвідка поля бою з активним використанням безпілотних літальних апаратів (БпЛА). Такий метод володіє як низкою переваг порівняно з з методами наземної розвідки до яких слід віднести значну оперативність та високу точність, так водночас і недоліками, серед яких є необхідність радіокерування повітряним об'єктом з землі, яке, за певних обставин, обмежує дальність дії розповсюдження радіохвиль виділеного діапазону. Сучасна тактика ведення бойових дій передбачає виконання оперативних завдань з розвідки поля бою в умовах безпосереднього контакту з противником збільшує ймовірність виявлення позиції розвідувального підрозділу. Також слід брати до уваги той факт, що достатньо значна вартість і висока можливість при цьому втрати безпілотника не завжди виправдовують його використання там, де розвідувальну інформацію можна отримати іншим більш простим способом із збереженням повноти і достовірності отриманої інформації.

Саме тому пошук методів отримання тактичної розвідувальної інформації обумовлює актуальність поставленої проблеми.

Аналіз досліджень і публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми. На сьогодні відома велика кількість джерел, на основі матеріалів яких можна розвивати математичні методи аналізу результатів вимірювань, спробувати виділити з загальних результатів вплив окремих з багаточисельної сукупності факторів, які так чи інакше впливають на перебіг розглядуваного явища [1 – 4]. Значну кількість публікацій такого роду проблем складають технічні доповіді державних лабораторій або науково-дослідних установ військово-промислового комплексу, які в тій чи іншій мірі є таємними.

Серед досліджень, присвячених розгляду математичних основ про рух аерозондів та подібних повітряних об'єктів у просторі заснованих на аеростатичному принципі руху, виданих на теренах України та на території СНД, за актуальністю, сучасністю, повноті та детальності викладу питань можна відзначити праці [1 – 5]. У праці [6] подано системний виклад способів визначення дериваційного відхилення літальних апаратів, що безперечно слід брати до уваги для ефективного ведення оперативної розвідки.

Обумовлені турбулентністю випадкові зміни показника заломлення повітря здатні суттєво обмежити технічні характеристики навігаційних оптичних систем спостереження, тому сама доцільність їх застосування має визначатись на основі оперативного прогнозування флуктуацій оптичних властивостей повітряного середовища з урахуванням наявної в атмосфері оптико-метеорологічної ситуації. Значну увагу в працях [3 – 5] приділено аналізу енергетичних і точністних характеристик оптико-локаційних систем, які використовують бістатичну схему локації, за якої падаюча на лоційовану поверхню і відбита хвилі пересуваються в середовищі по рознесених в просторі шляхах.

Поставлена проблема на перший план висуває значну потребу в розв'язуванні задач визначення статистичних характеристик сигналу в турбулентній атмосфері в умовах моностатичної локації об'єктів природного і штучного виникнення. Особливістю цих задач є кореляція падаючої і відбитої хвиль, які долають при розповсюдженні одні і ті ж перешкоди, неоднорідних за структурою, внаслідок турбулентності середовища.

© Ю.П. Сальник, П.І. Ванкевич, Є.Г. Іваник, В.Д. Смичок, С.В. Прохоренко

Виконання експериментів та формування відповідного комплексу приладів та пристроїв з метою відпрацювання технологічної схеми, яка в змозі істотно підвищити швидкість виконання вимірювань з одночасним збільшенням точності кількісних параметрів об'єктів досліджень, показує, що апаратура не конфігурована відповідно до поставленої мети і комплексу задач, які виникають в розглядуваному процесі: зокрема, не вирішено питання щодо граничного значення відстані, на якій ведеться розвідка, роздільна здатність об'єктів, за якими виконується моніторинг, необхідна величина кратності об'єктива і швидкодія реєструючого пристрою, геометричні розміри кулі повітряної аеророзвідки.

Додаткового дослідження потребує аналіз впливу інтенсивності турбулентності атмосфери, розмірів розсіючої поверхні, параметрів приймача та передавача підсвічування на статистичні характеристики амплітуди поля відбитого сигналу і ефекти, обумовлені кореляцією прямої і оберненої хвиль.

Формулювання мети статті. Враховуючи переваги і недоліки застосувань БпЛА авторами запропоновано метод тактичної оперативної розвідки. Основним завданням статті визначено систематизацію підходу до вивчення руху аерозонду в атмосфері, а також відповідний теоретичний апарат, заснований на законах аеродинаміки, геометричної оптики, метеорологічного забезпечення та інструментарій і апаратні засоби, здатні зробити можливим вирішення даної проблеми. Кінцевою метою є компонування пристрою, що дає змогу провести в масштабі реального часу експрес-аналіз зображення, що знаходиться «за горизонтом» щодо спостерігача, тобто у перекритій будь-якою штучною або природною перешкодою зоні (за бруствером окопу, за живоплотом, замаскований ворожий снайпер тощо).

Виклад основного матеріалу

Головні вузли системи ведення повітряної розвідки відповідно до поставленої задачі складають оптико-електронний приціл, основою якого є фотооб'єктив високої роздільної здатності і світлосили, швидкодією не менше 50-х кратного оптичного збільшення зображення (залежності від дальності спостереження і розмірів об'єктів спостережень). Фотооб'єктив включений в USB порт портативного комп'ютера, в середовищі якого відповідним програмним забезпеченням інсталюється топографічна карта місцевості.

На електронній карті місцевості нанесена «умовна сітка квадратів координат і масштабів місцевості». На карті також нанесені «умовні позначки-мітки орієнтирів».

За допомогою механічного пристрою у вертикальному або у визначеному напрямі проведення спостереження викидається капсула, яка при досягненні необхідної висоти наповнює інертним газом (гелієм або воднем) еластичну сферичну кульку. Поверхня кульки покрита дзеркальною речовиною яка здатна повністю (на 100%) відбивати зображення. На поверхні кульки нанесена ідентична (з тією що в комп`ютері) «умовна сітка квадратів координат масштабів місцевості», а також «умовні позначки – мітки орієнтирів».

В процесі польоту кульки над місцевістю на її поверхні в сферичних координатах відображається все, що потрапляє в протилежне поле світлових променів згідно законів оптичного відтворення [5]. Наземне обладнання при проведенні швидкісної реєстрації і запису польоту кульки фіксує всі можливі її положення в польоті.

Опрацювання проведених зйомок виконується на основі відповідних алгоритмів і розробленого програмно-математичного забезпечення, що включає перерахунок даних в сферичній системі координат у відповідні декартові, масштабування і співставлення даних, відповідно до пари «умовна сітка квадратів» – «координат і масштабів місцевості», а також «умовні позначки – мітки орієнтирів», введення поправки на дзеркальну інверсію, програмно-математичні функції перетворення і розпізнавання зображення за допомогою векторної і растрової графіки використовуючи оригінальні алгоритми штучного інтелекту. Для виконання поставлених задач пропонується використовувати ефективні математичні пакети, серед яких найбільш розповсюдженими є на сьогодні MathCAD та MAPLE-15 [7 – 9]. Звичайно досягнути значного ефекту в умовах одноразового запуску тяжко. Як результат програмного опрацювання даних реєстрації польоту в результаті отримаємо зображення місцевості із нанесеною сіткою квадратів координат і всього того, що на даний час знаходилось в кожній точці на місцевості в полі прямої видимості з висоти польоту зонду-розвідника. Кулька одноразового використання і після прольоту за горизонт, або за сигналом з Землі, в ній самозапалюється водень, відбувається її загорання і самоліквідація (рис. 1).

Рис. 1. Схема відстрілювання повітряного аерозонду

На рис. 2 відображено процес виконання комплексу досліджень згідно наявного апаратного забезпечення та описаної методики проведення експериментальних пусків аерозондів.

Рис. 2. Вигляд наземного зображення в аерозонді

На рис. 3, для більшої наочності кольором позначені полоси – мітки відбиття місця пострілу, зміщене з положенням кулі, що вистрілюють і знаходиться між **голубою і зеленою** полосами – до проведення пострілу і при проведенні пострілу вертикально вгору (центральний рисунок). Верхній і нижній рисунок відображають знаходження віддзеркалення положення кулі відносно місця пострілу: у цьому випадку місце пострілу надалі знаходиться між **голубою і зеленою** полосами, як при стрільбі вертикально, або до пострілу, а віддзеркалення кулі зміщується в інші гами кольорових полос залежно від напрямку вектора проведення пострілу (в чорно-білому зображенні місце пострілу позначено чорною кулькою, а куля-зонд має вигляд сірого затіненого кола).

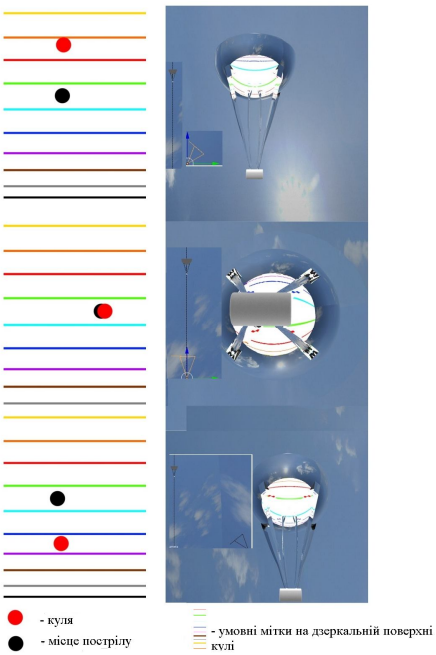

Рис. 3. Схема польоту аероонду

Переведення в площинне зображення сферичного відбиття є нескладною задачею, оскільки реєстрація (з огляду на передбачуваний малий час життя відбивного люстра) відбуватиметься на комп'ютер/смартфоні.

Необхідність цього, зокрема, зумовлюється тим, що тоді є можливою зворотня прив'язка до попередньо-зробленої картографічної зйомки за допомогою відстеження.

На рис. 4 відображено систему пасивної (акустично/оптичної) навігації об'єкту спостереження.

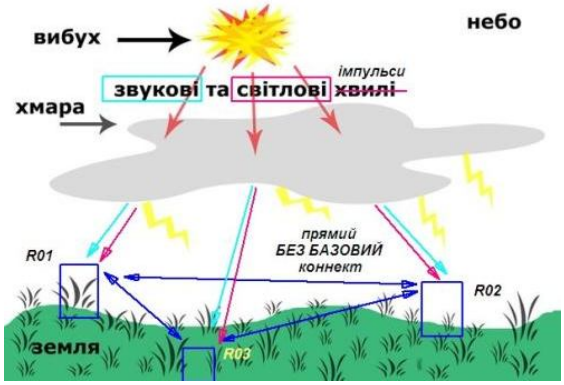

Рис. 4. Система пасивної аеророзвідки

Пропонована система оптичного позагоризонтного зондажу (ОпПоЗ) є по суті системою експрес-аналізу на основі «відблискового об'єкту», що зависає над полем спостереження з використанням оптичного радіо-пасивного ретранслятора, що зводить до мінімуму «вистрілювання» об'єкту ОпПоЗ, а також зменшує вартість одиничного оптико-кадру поля бою.

Наступний рис. 5 відображає процес переміщення аерозонду та моніторинг середовища від місця відстрілу і підняття в повітря.

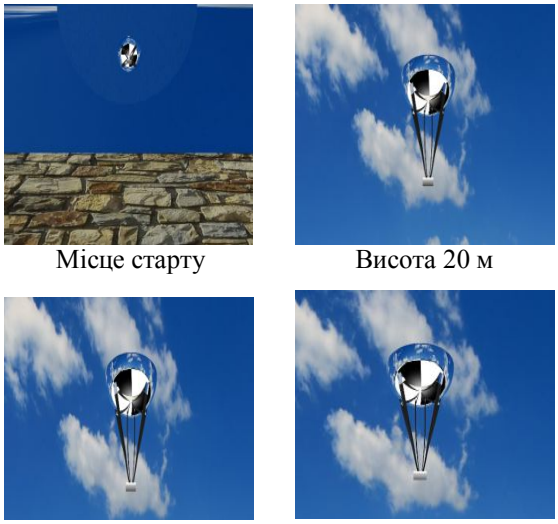

Рис. 5. Ілюстрація різних етапів польоту аерозонду

Дуже важливим моментом в розробці повномасштабної моделі ОпПоЗ є інформація про рух повітря в атмосфері, яке характеризується невпорядкованою зміною швидкості за величиною і

напрямом в кожній точці простору і наявність неоднорідностей (вихрів), що призводить перемішування струменів повітря. Якщо через L позначити характерний розмір потоку, через u – характерну швидкість його переміщення і через ν – кінематичну в'язкість рідини або газу, то з цих параметрів складається безрозмірна комбінація, відома як число Рейнольдса [3, 10]: $Re = uL/\nu$. Перехід від ламінарного перебігу течіння до турбулентного здійснюється при визначеному критичному значенні числа Рейнольдса Re_*. Якщо прийняти за характерний розмір потоку в приземному шарі атмосфери висоту точки спостереження над підстилаючою поверхнею $h = 2$ м, то при швидкостях $u = 1 \div 5$ м/с і значеннях см^2/с, які відповідають середнім атмосферним умовам, числа Рейнольдса $Re = 2,5 \div 7 \cdot 10^5$ дуже великі, і, тому, рух в атмосфері має турбулентний характер.

Природа турбулентності руху повітря висвітлена в класичних монографіях [10, 11] і полягає в тому, що атмосферні процеси, насамперед тертя повітряного потоку внаслідок зіткнення з поверхнею землі і утворення внаслідок цього профілю швидкості вітру в поєднанні з великими вертикальними градієнтами, термічна конвекція, пов'язана з неоднаковим ступенем нагрівання різних ділянок підстилаючої поверхні, зміна поля температури і швидкості вітру внаслідок хмароутворення тощо [3, 12], приводять до виникнення крупномасштабних вихрів. Характерний розмір L_0 цих вихрів має назву зовнішнього масштабу турбулентності; якщо при цьому число Рейнольдса $\Delta u_{L_0}/\nu$, де Δu_{l_0} – різниця швидкостей на віддалі L_0, значне, то такі вихри виявляються нестійкими і під впливом сил інерції розпадаються на більш дрібніші, передаючи їм свою енергію. Процес подрібнення вихрів без втрати енергії продовжується доти, поки їх розміри не наблизяться до деякого критичного значення l_0, яке має назву внутрішнього масштабу турбулентності, за якого число Рейнольдса $\Delta u_{l_0} l_0/\nu$ матиме порядок біля одиниці. Починаючи з цього моменту сили тертя матимуть визначальний вплив порівняно з силами інерції, і кінетична енергія вихрів дисипуватиме в тепло. Інтервал масштабів між параметрами L_0 і l_0 згідно [11] називається інерційним, вихрі з масштабами $r \le l_0$ відносяться до інтервалу дисипації.

Відносна роль термічних та динамічних факторів та їх взаємозалежність в розвитку атмосферної турбулентності характеризується числом Річардсона [11], яке визначається відповідно до залежності

$$Ri = \frac{g}{\langle T \rangle} \frac{\partial \langle T \rangle / \partial h}{\left(\partial \langle u \rangle / \partial h\right)^2},$$

в якій $g = 9,8$ м/с^2 – прискорення сили тяжіння; $\langle T \rangle$ і $\langle u \rangle$ – середні значення температури і швидкості вітру. Згідно класичних теорій величина Ri може інтерпретуватись як відношення архімедових сил плавучості до сил інерції [3]. При додатних значеннях числа Річардсона (чітка термічна стратифікація) сили плавучості протидіють розвитку турбулентності, частина енергії турбулентності витрачається на переборення вказаних сил. За від'ємних значень числа Ri (нестійка термічна стратифікація) сили плавучості сприяють виникненню і розвитку турбулентності. Якщо ж значення Ri близькі до нуля (інертна стратифікація), Архімедові сили не впливатимуть на режим турбулентності.

Дуже важливою складовою даної комплексної науково-технічної проблеми є також фактор температури, оскільки внаслідок турбулентного перемішування шарів атмосферного повітря з різними значеннями температури, виникають мікронеоднорідності температурного розподілу. Це також справляє значний вплив на таку важливу характеристику як діелектрична проникність $\varepsilon(\vec{r}, t)$, $\vec{r}$ – просторова координата, t – час: макропульсація поля температур є основною причиною просторово-часової її змінності; певний вклад у флуктуацію величини ε вносять також випадкові зміни концентрації поглинаючих компонент атмосферних газів (наприклад, водяних парів). Однак в праці [13] виявлено, що у вікнах прозорості оптичного діапазону довжин хвиль цей вклад незначний. Слід також брати до уваги те, що припущення про локальну однорідність та ізотропність турбулентності в інтервалі масштабів, близьких до зовнішнього, не є строго обґрунтованим.

Тому попутно виникають задачі технічної діагностики за тепловими показниками, наслідком чого доцільним є розроблення відповідних математичних моделей для кількісного опису теплоперенесення з метою дослідження явищ контактної взаємодії термоперетворювачів з поверхнями рухомих об'єктів та отримати розрахункові дані для вибору схем і параметрів, відповідної числової оцінки їх метрологічних характеристик [14 – 16]. В оціночних розрахунках процесу теплової діагностики можна використовувати встановлений факт [13], що величина зовнішнього масштабу, яка визначається як висота над підстилаючою поверхнею, на якій різниця середніх температур порівнюється з середньоквадратичним відхилення різниці температур, рівна $L_0 \cong \kappa h$, де $\kappa = 0,4$ – стала Кармана.

Висновки

Виконані дослідження і проведена низка необхідних експериментів стали основою розроблення альтернативного методу системи проведення повіт-

ряної тактично-оперативної розвідки. Перевагою даного методу є низька вартість повітряної кульки одноразового використання з одночасним використанням наземного обладнання високого класу точності, що дає змогу отримувати технічні фотознімки результатів спостереження високої роздільної здатності, які за певних умов в змозі переважати існуючі системи аеророзвідки оперативного призначення. Розроблена методика ведення повітряної розвідки є реалістичною, відтворюваною, достатньо прозорою та результативною.

Напрямком подальших досліджень є вивчення розсіювання хвиль природнім аерозолем в умовах турбулентної атмосфери, результати яких дозволяють попутно розвинути методику зондування атмосферної турбулентності, що не потребуватиме розміщення передавача та приймача на різних точках траси.

Список літератури

1.Інструкція з оцінювання якості гідрометеорологічних спостережень і робіт. – К.: Державна гідрометеорологічна служба, 2009. – 184 с.

2.Смичок В. Прогнозування грозонебезпечних явищ на основі ймовірнісних моделей процесу пасивної реєстрації та пеленгації блискавок / В. Смичок, В. Данилович // Теоретична електротехніка. – 2009. – Вип. 60. – С. 78-83.

3.Турбулентность в свободной атмосфере / Н.К. Винниченко, Н.З. Пинус, С.М. Шметер, Г.Я. Щур. — Л.: Гидрометеоиздат, 1976. — 336 с.

4.Сигналы и помехи в лазерной локации / В.М. Самохвалов, Г.М. Креков и др. — М.: Радио и связь, 1985. — 266 с.

5.Чернов Л.А. Волны в случайно-неоднордных средах / Л.А. Чернов. – М.: Наука, 1975. – 174 с.

6.Розрахунок дериваційного відхилення літальних апаратів, що обертаються / [В.І. Макєєв, В.І. Грабчак, П.Є. Трофименко, Ю.І. Пушкарьов] // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2008. – Вип. 3(7). – С. 116-119.

7.Аладьев В.З. Вычислительные задачи на персональном компьютере / В.З. Аладьев, Н.А. Гершгорн. – К.: Техника, 1991. – 245 с.

8.Дьяконов В. MathCAD 2000: учебн. курс / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2000. – 592 с.

9.Молчанова Л.А. Введение в MAPLE: учеб.-метод. пособ. / Л.А. Молчанова. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2006. – 36 с.

10. Юдаев Б.Н. Теплопередача / Б.Н. Юдаев. – М.: Высшая школа, 1973. – 360 с.

11. Монин А.С. Статистическая гидромеханика. Ч. 2 / А.С. Монин, А.М. Яглом. – М.: Наука, 1967. – 720 с.

12. Савкин ЛС. Метеорология и стрельба артиллерии / Л.С. Савкин, Б.Д. Лебедев. – М.: Воениздат, 1974. – 144 с.

13. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере / В.Е. Зуев. – М.: Сов. радио, 1970. – 496 с.

14. Ванкевич П.І. Моделювання умов теплообміну між контактними термоперетворювачами та дослідними поверхнями / П.І. Ванкевич // Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження. – 2006. – № 10. – С. 369-373.

15. Ванкевич П.І. Напрями розвитку контактної термометрії рухомих об'єктів / П.І. Ванкевич // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2000. – Вип. 57. – С. 67-69.

16. Смичок В.Д. Прилади та методи температурно-вітрового зондування атмосфери та стратосфери / В.Д. Смичок, О.М. Бурнаєв, П.І. Ванкевич // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2003. – Вип. 64. – С. 126-130.

Надійшла до редколегії 27.01.2015

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співр. А.М. Зубков, Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

СИСТЕМА ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Ю.П. Сальник, П.И. Ванкевич, Е.Г. Иваник, В.Д. Смычок, С.В. Прохоренко

Предложен метод тактической оперативной разведки с использованием летательного объекта в виде воздушного зонда. С этой целью сформирован аппаратный комплекс, включающий наземный оптико-электронный прицел, оптическую распознавательную аппаратуру, фотообъектив, включенный в USB порт электронного гаджета, в памяти которого с использованием соответствующего программного обеспечения инсталлирована топографическая карта местности. Отлажено схему проведения съёмок, данные которых в разработанном алгоритме и соответственным программно-математическом обеспечением используются для цифровой обработки.

Ключевые слова: *тактическая разведывательная информация, оптико-электронный прицел, воздушная разведка поля боя, распознавательная аппаратура, топографическая карта местности, программное обеспечение, система пассивной тактично-оперативной аэрологической разведки, турбулентность среды, зонд.*

SYSTEM OF AERIAL RECONNAISSANCE BY USE OF GIS-TECHNOLOGY

Yu.P. Salnik, P.S. Vankevych, E.G. Ivanyk, V.D. Smychok, S.V. Prokhorenko

The methods of tactical operative reconnaissance by use flying objects like aerial probe are proposed. With this aim is formulated equipment which including ground optical electronic back-sight, optical identification apparatus, photoobjective, insert in USB-port of electronic gadget, in memory some by use corresponding programmers is installation the topographic maps of region. Is repair the scheme of realization of survey, the some data's in develop algorithm in corresponding program-mathematical soft for digital processing is used.

Keywords: *tactical reconnaissance information, optical electronic back-sight, air reconnaissance of battle fields, recognize apparatuses, topographical maps of locality, programming soft, system of passive tactical-operative air reconnaissance aerial, turbulation of aerospace, airballoon.*