



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **83590** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
G01P 5/10 (2006.01)
G08B 23/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2012 12982	(72) Винахідник(и):	Бернардо Сіріло (AU), Прейта Алфредо Джоуз (NO)
(22) Дата подання заявки:	28.04.2011	(73) Власник(и):	НОРСК ІНСТІТУТТ ФОР ЛЮФТФОРСКНІНГ, Instituttv. 18, NO-2027 Kjeller, Norway (NO)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.09.2013	(74) Представник:	Крилова Надія Іванівна, реєстр. №30
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	20100625, 61/329,353		
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	29.04.2010, 29.04.2010		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	NO, US		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.09.2013, Бюл.№ 18		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/EP2011/056805, 28.04.2011		

(54) СИСТЕМА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРИЯТЛИВИХ АТМОСФЕРНИХ УМОВ ПЕРЕД ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ**(57) Реферат:**

Система для виявлення несприятливих атмосферних умов попереду літального апарата включає в себе множину інфрачервоних камер, встановлених на літальному апараті. Інфрачервоні камери налаштовані на просторове виявлення інфрачервоного випромінювання в різних діапазонах інфрачервоного світла. Кожна камера підключена до комп'ютера обробки зображень, який обробляє і комбінує зображення і генерує сигнали для відеодисплея, щоб створити відеодисплей, який показує положення несприятливих атмосферних умов відносно літального апарата. Кожна камера оснащена відповідним фільтром, налаштованим на фільтрування інфрачервоного світла в діапазоні, який відповідає інфрачервоним діапазонним характеристикам несприятливої атмосферної умови з набору несприятливих атмосферних умов.

UA 83590 U

Предметом винаходу є система і спосіб для виявлення несприятливих атмосферних умов перед літальним апаратом. Система має множину інфрачервоних камер, які можуть виявляти, наприклад, двоокис сірки і такі частинки як вулканічний попіл, пил, який розноситься вітром і частинки льоду. До її складу також входить комп'ютер, який обробляє зображення і дисплей,

щоб показати екіпажу літального апарата несприятливі умови. Є певна кількість несприятливих атмосферних умов, які бажано виявити. До неї входить вулканічний попіл, токсичні гази такі як газоподібний двоокис сірки, частинки, принесені вітром і частинки льоду.

Вулканічні хмари містять у собі силікатний попіл і гази, які небезпечні для авіації. Деякі зіткнення реактивних літальних апаратів і вулканічним попелом призводять до значних пошкоджень, викликаних потраплянням попелу в гарячі частини двигуна і наступним зіткненням і наплавленням на лопатки турбін. Попіл також може заблокувати трубки Піто і вплинути на чутливі інструменти літального апарата, викликати зношування направляючих країв деталей конструкції літального апарата. Вулканічні гази, головним чином SO_2 , менш небезпечні для літальних апаратів, але виявлення SO_2 може бути використане як індикатор вулканічного попелу, оскільки ці речовини часто зустрічаються разом і разом переносяться атмосферними вітрами. Іншим важливим газом у вулканічних хмарах є водяна пара (H_2O , газ). Водяна пара зустрічається в значних кількостях у вулканічних хмарах як за рахунок захоплення з навколишнього повітря, так і за рахунок води з вулканічних джерел (наприклад, морська вода - загальне джерело води для вулканів на островах або прибережних районів). В атмосфері водяна пара може швидко конденсуватись на частинках попелу, утворюючи часточки льоду значно меншого радіусу, ніж у частинок льоду в звичайних метеорологічних хмарах. Ці численні дрібні часточки льоду небезпечні для літальних апаратів, оскільки швидке розтавання льоду при його контакті з гарячим двигуном вивільняє вулканічні часточки, які потім наплавляються на лопатки турбіни, погіршують характеристики двигуна і потенційно можуть викликати його зупинку.

Пошкодження літального апарата може коштувати мільйони доларів. Найбільш серйозні зіткнення літальних апаратів з хмарами попелу бувають на крейсерських висотах, але в аеропортах для літальних апаратів також є небезпека, викликана вулканічним попелом. Такі аеропорти, зазвичай, знаходяться поблизу активних вулканів, але також можуть бути на деякій відстані від джерела виверження внаслідок атмосферних потоків, які приносять попіл в район аеропорту.

Витрати від загроз від попелу для роботи аеропортів невідомі, але можуть бути значними, якщо врахувати втрати від затримки прибуття і відправлення рейсів, а також витрати авіаційних операторів на ремаршрутизацію. Останнє (14 квітня 2010 р.) виверження вулкану Ейяфьаллпладжокул в Ісландії призвело до витрат авіаційних операторів, які оцінили у 2 млрд. доларів США. В даний час немає регулюючих вимог для операторів аеропортів для попередження про загрози вулканічного попелу. Попередження надходять на основі інформації від вулканічних обсерваторій, метеорологічних експертів і, в деяких випадках, радарних станцій про стовпи попелу від виверження. В загальному випадку, для аеропортів поблизу вулкана тільки інформація від радарів є надійною на початку виверження вулкана, коли хмара попелу густа і, зазвичай, доступна тільки така інформація. Для аеропортів, віддалених від джерела попелу, доступні декілька прямих спостережень. Деякі спостереження надходять з супутникових систем та інших джерел інформації, надходять прогнози дані про траєкторію, на основі даних про вітер і висоту хмар. Багато з цих даних є спорадичними і несвоєчасними, і є потреба в системах кращого виявлення.

Іншими несприятливими атмосферними умовами є токсичні гази, які викидаються вулканами і промисловими підприємствами. Зокрема, важливим і розповсюдженим є газоподібний двоокис сірки (SO_2).

Хмари SO_2 з вулканів будуть в атмосфері реагувати з водяною парою і утворювати сірчану кислоту, яка може пошкодити літальний апарат. Слід зазначити, що двоокис сірки може бути знайдений не тільки у вулканічному попелі. Літальний апарат може пролетіти крізь двоокис сірки і не пролітаючи крізь попіл. Обслуговування двигуна після зіткнення з двоокисом сірки відрізняється і є значно дешевшим, ніж обслуговування після зіткнення з попелом. Відповідно, бажано мати можливість попереджати літальний апарат про хмари SO_2 .

Попіл та інші частинки можуть за певних умов ініціювати утворення частинок льоду, коли вода замерзає навколо цих центрів кристалізації. Таким чином, пил, який розноситься вітром, і частинки льоду можуть становити значну небезпеку для літальних апаратів, транспортних засобів та їм подібним.

Реактивний літальний апарат на крейсерській висоті (приблизно 15 000 футів) і швидкості (>500 км/год.) на цей час не має засобів виявлення небезпеки від вулканічних хмар попереду. Враховуючи високу швидкість, спосіб виявлення повинен забезпечити швидкий збір інформації і автоматичне надання попередження і мати спеціальний алгоритм, здатний відрізнити вулканічні частинки від інших частинок в атмосфері (наприклад, метеорологічних хмар води і льоду).

В патентах WO2005031321A1, WO2005068977A1 і WO2005031323A1 описані способи і пристрої для моніторингу двоокису сірки, вулканічного попелу і пилу, який розноситься вітром, з використанням, щонайменше, двох довжин хвиль інфрачервоного випромінювання відповідно до несприятливих атмосферних умов.

В патенті US3931462 описане використання ультрафіолетової відеосистеми для вимірювання SO_2 в струмені з димової труби.

В патенті US4965572 описані пристрої і способи для віддаленого виявлення за допомогою інфрачервоного температурного детектора турбулентності низького рівня зміщення вітру.

Патент US5140416 розкриває систему і спосіб для об'єднання або злиття відеозображень з різних джерел так, щоб результуюче зображення мало покращений інформаційний зміст. Сенсори відповідають за різні типи спектру сканованого простору, такі як короткі і довгі інфрачервоні хвилі.

В патентах US5654700 і US5602543 описана система виявлення несприятливих атмосферних умов для літального апарата, яка спостерігає за умовами попереду літального апарата, використовуючи інфрачервоні детектори, показує положення, попереджає і перенаправляє літальний апарат.

Згідно першого аспекту предметом винаходу є система виявлення несприятливих атмосферних умов попереду літального апарата, яка включає в себе множину інфрачервоних камер, встановлених на літальному апараті, в якій інфрачервоні камери налаштовані, щоб просторово виявляти інфрачервоне випромінювання в різних діапазонах інфрачервоного випромінювання, кожна камера підключена до комп'ютера обробки зображень, який виконує обробку і комбінування зображень і генерує сигнали для відеодисплея для створення зображення, на якому показане положення несприятливих атмосферних умов відносно літального апарата, кожна камера оснащена відповідним фільтром, налаштованим для фільтрування інфрачервоного випромінювання в діапазоні, який відповідає інфрачервоним смуговим характеристикам несприятливих атмосферних умов з набору несприятливих атмосферних умов, комп'ютер обробки зображень адаптований для розпізнавання несприятливих атмосферних умов, вказане розпізнавання базується на порогових умовах і використанні виявленого інфрачервоного випромінювання, даних з довідкових таблиць і виміряних параметрах, які включають інформацію про положення і/або орієнтацію літального апарата, і комп'ютер обробки зображень, крім того, налаштований на відображення розпізнаних несприятливих атмосферних умов у вигляді просторового зображення на дисплеї.

Предметом винаходу є пристрій, придатний для літального апарата, який виявляє несприятливі атмосферні умови, зокрема, викликані вулканами, і візуалізує їх для екіпажу літального апарата. Зокрема, винахід корисний для виявлення вулканічних хмар. Наприклад, винахід забезпечує швидке виявлення вулканічних продуктів попереду реактивних літальних апаратів на крейсерських висотах і одночасне виявлення і розпізнавання вулканічного попелу, газоподібного SO_2 і вкритих льодом частинок попелу. Винахід пропонує алгоритми і процеси обробки для перетворення даних камер в розпізнавання попелу, газоподібного SO_2 і вкритих льодом частинок попелу.

Система відслідковує поле зору літального апарата.

Камери згідно винаходу можуть бути мікроболометричними розміщеними поруч камерами без охолодження.

В одному варіанті реалізації системи кут нахилу відносно поперечної осі і зовнішня температура враховуються в довідковій таблиці.

Несприятливі атмосферні умови включають в себе вулканічний попіл, вкритий льодом попіл, водяну пару і двоокис сірки. Виміряні параметри можуть включати в себе кут нахилу відносно поперечної осі і зовнішню температуру.

Порогові умови розраховують попередньо з використанням атмосферної моделі передачі випромінювання.

Комп'ютер обробки зображень призначений для визначення температури яскравості виявленого інфрачервоного випромінювання, вказане розпізнавання включає в себе визначення того, які значення температури яскравості відповідають пороговим умовам.

Система також може включати в себе одну або більше зовнішніх затемнених заслінок, з якими попередньо калібрують камери зображень для надання каліброваних значень в польоті.

Система надає статистичне попередження, засноване на аналізі зображень, призначених для показу несприятливих умов: попелу, двоокису сірки або вкритого льодом попелу. Статистичне попередження використовує просторову і часову інформацію і може бути налаштоване відповідно до польотних тестів, щоб зменшити хибні сигнали тривоги і

5 забезпечити надійність.

В цих варіантах реалізації може бути використана програма, яку завантажують у внутрішню пам'ять процесорного блоку комп'ютерної системи, і яка містить у собі програмний код для виконання вказаних кроків.

10 В цих варіантах реалізації може бути використаний комп'ютерний програмний продукт, який зберігають на машиночитаному носії, і який містить у собі програму роботи процесорного блоку комп'ютерної системи для управління виконанням вказаних кроків.

Система призначена для виявлення у повітрі попереду літального апарата за допомогою віддаленого способу, щонайменше, трьох вулканічних продуктів (попелу, SO_2 , і вкритих льодом частинок) і додатково здатна вирізнити їх з інших метеорологічних хмар водяних крапель і

15 льоду.

Предметом винаходу також є система виявлення несприятливих атмосферних умов попереду літального апарата, яка включає в себе множину інфрачервоних камер, встановлених на літальному апараті, в якій: інфрачервоні камери налаштовані на просторове виявлення інфрачервоного випромінювання в різних діапазонах інфрачервоного світла; кожна камера підключена до комп'ютера обробки зображень, який обробляє і комбінує зображення; кожна камера оснащена відповідним фільтром, налаштованим на фільтрування інфрачервоного світла в діапазоні, який відповідає характеристикам інфрачервоного діапазону несприятливих атмосферних умов з набору несприятливих атмосферних умов; і комп'ютер обробки зображень налаштований для розпізнавання і відображення несприятливих атмосферних умов, вказане розпізнавання базується на порогових умовах і використанні виявленого інфрачервоного випромінювання і вимірних параметрах, які включають в себе інформацію про положення і/або орієнтацію літального апарата.

Згідно іншого аспекту предметом винаходу є спосіб виявлення несприятливих атмосферних умов попереду літального апарата і відображення вказаних несприятливих атмосферних умов, який включає в себе просторове виявлення інфрачервоного випромінювання в різних діапазонах інфрачервоного світла з використанням множини інфрачервоних камер; і для кожної камери: i) Фільтрування інфрачервоного випромінювання за допомогою фільтра, налаштованого на фільтрування інфрачервоного випромінювання в діапазоні, який відповідає характеристикам інфрачервоного діапазону несприятливих атмосферних умов в наборі несприятливих атмосферних умов; ii) розпізнавання можливої присутності несприятливих атмосферних умов на основі порогових умов і використанні виявленого інфрачервоного випромінювання, табличних даних і вимірних параметрів, які включають інформацію про положення і/або орієнтацію літального апарата; і iii) обробка виявленої можливої присутності несприятливих атмосферних умов для створення просторового зображення.

40 В одному варіанті реалізації спосіб, крім того, містить у собі крок iv) комбінування зображення із зображеннями з інших камер і інформацією про маршрут літального апарата.

Несприятливі атмосферні умови включають в себе вулканічний попіл, вкритий льодом попіл, водяну пару і двоокис сірки. Виміряні параметри можуть включати в себе кут нахилу відносно поперечної осі і навколишню температуру.

45 Згідно ще одного аспекту предметом винаходу є система виявлення вулканічних хмар попереду літального апарата, до складу якої входить одна або більше інфрачервоних камер, встановлених на літальному апараті, інфрачервоні камери налаштовані для просторового виявлення інфрачервоного випромінювання в різних діапазонах інфрачервоного світла, кожна камера підключена до комп'ютера для обробки зображень, який обробляє і комбінує зображення, комбінуючи їх з інформацією про траєкторію від літального апарата, і генерує сигнали для дисплея, який показує положення несприятливих атмосферних умов відносно літального апарата, яка відрізняється тим, що кожна камера оснащена відповідним фільтром, налаштованим на фільтрування інфрачервоного світла в діапазоні, який відповідає інфрачервоним характеристикам одного з вулканічних продуктів в наборі вулканічних продуктів, і в якій комп'ютер обробки зображень налаштований для розпізнавання і відображення вулканічних продуктів у вигляді просторового зображення на дисплеї за допомогою порогових довідкових таблиць для відповідних порогів, накладаючи пороги для інфрачервоного випромінювання, вище яких можлива присутність вулканічних продуктів, на виміряні параметри.

50 Згідно ще одного аспекту предметом винаходу є спосіб виявлення вулканічної хмари попереду літального апарата і відображення вказаних хмар, обробки інформації від однієї або

60

більше інфрачервоних камер, які просторово виявляють інфрачервоне випромінювання в різних діапазонах інфрачервоного світла, комбінування інформації з інформацією про траєкторію польоту від літального апарата, який відрізняється тим, що в кроках для кожної камери: i) фільтрування інфрачервоного випромінювання за допомогою фільтра, налаштованого на
 5 фільтрування інфрачервоного світла в діапазоні, який відповідає характеристикам інфрачервоного діапазону одного з вулканічних продуктів в наборі вулканічних продуктів; ii) розпізнавання можливої присутності вулканічних продуктів шляхом пошуку виявлених значень інфрачервоного випромінювання в таблиці порогових значень для інфрачервоного випромінювання, вище яких можлива присутність вулканічних продуктів, для створення
 10 просторового зображення.

Нижче тільки в якості прикладів будуть описані бажані варіанти реалізації винаходу з посиланням на відповідні рисунки, на яких:

Фіг. 1 – схема одної камери з фільтром, лінзами, заслінкою і захисним вікном;

Фіг. 2 – приклад конфігурації системи з декількох камер;

15 Фіг. 3 – хмара попелу на дисплеї;

Фіг. 4 – діаграма розрахунку променевої передачі для горизонтальної траєкторії в чистій атмосфері для трьох різних значень висоти польоту; і

Фіг. 5 – діаграма інтенсивності ліній для двох діапазонів SO_2 при 8,6 мкм і 7,3 мкм. Також показані функції відгуку для фільтрів системи.

20 Основний принцип виявлення вулканічних субстанцій попереду літального апарата, пов'язаний з використанням фільтрованого інфрачервоного випромінювання в діапазоні 6-13 мкм. В цьому діапазоні вибирають вузькі діапазони (0,5-1,0 мкм) для виявлення попелу, водяної пари, газоподібного SO_2 і вкритого льодом попелу. Бажаний спосіб виявлення полягає у використанні широкого огляду, швидкої вибірки, неохолоджуваних мікроболометричних камер.

25 Мікроболометр використовують як детектор в термічних камерах. Інфрачервоне випромінювання потрапляє на матеріал, нагріває його і таким чином змінює його електричний опір. Цю зміну опору вимірюють і трансформують в значення температури, яке може бути використане для створення зображення. На відміну від інших типів інфрачервоного детектуючого обладнання мікроболометри не потребують охолодження.

30 Зазвичай така камера може мати $640 \times 512 \times$ пікселів \times рядків, має шум, еквівалентний різниці температур 50 мК (або кращий) при 300 К в області 10-12 мкм і має швидкість вибірки 60 Гц. П'ять розміщених поруч камер призначені для одночасного виявлення попелу, газоподібного SO_2 , газоподібної H_2O і вкритого льодом попелу. Кожна камера має детектор, чутливий до інфрачервоного випромінювання в області 6-13 мкм. На кожну камеру встановлені
 35 вузькосмугові фільтри для обмеження спектру випромінювання для розпізнавання несприятливих атмосферних умов. Камери розділяють одне і те ж поле зору попереду літального апарата і видають одночасні вузькосмугові інфрачервоні зображення в реальному часі зі швидкістю вибірки до 60 Гц. Ці суміжні зображення можна швидко обробити, використовуючи спеціальні алгоритми розпізнавання кожної з чотирьох несприятливих
 40 атмосферних умов, визначених раніше.

В одному варіанті реалізації система має п'ять розміщених поруч камер зображення, але це число може бути більшим або меншим залежно від потреб користувача. Типовий приклад камери в системі показаний на фіг. 1. Інфрачервоне випромінювання з простору попереду літального апарата потрапляє на фільтр 1 кожної камери, фокусується через лінзу 2 камери і
 45 падає на детекторну матрицю 3. Заслінку 4 використовують для калібрування (див. нижче). Сигнали передають по стандартному високошвидкісному комунікаційному протоколу 5 в комп'ютер для подальшої обробки. Для захисту фільтра і лінзи, коли система оглядає простір попереду літального апарата, між заслінкою і фільтром встановлене прозоре для інфрачервоного випромінювання вікно 7 (наприклад, з германієвого скла). Заслінку
 50 контролюють за температурою 6, і вона затемнена з боку оптики.

На фіг. 2 показаний приклад конфігурації багатокамерної системи з п'ятьма камерами 8. Захисну заслінку 4 можна механічно переміщати на передню частину збірки 9 і знімати, коли систему використовують. Германієве скляне вікно 7 забезпечує захист від чужорідних часточок під час режиму огляду простору. Лінії сигналу 5 і живлення 10 розміщені в задній частині корпусу збірки 9, де розміщені електронні схеми, блок захоплення зображення і комп'ютерне
 55 обладнання. Показані п'ять камер, але конфігурація може складатись з більшої або меншої кількості камер, в залежності від кількості небезпечних явищ, які хочуть розпізнати. Наприклад, система з двома камерами дозволяє розпізнавання вулканічного попелу і вкритого льодом попелу.

Перед встановленням на літальний апарат камери калібрують, тому кожна камера реєструє однаковий цифровий сигнал при потраплянні на неї однакової кількості інфрачервоного випромінювання. Цього можна досягти встановленням кожної камери без її фільтра перед відомим джерелом інфрачервоного випромінювання (відомої постійної температури) і записом цифрового сигналу від кожного пікселя кожної камери. Довідкова таблиця може бути сформована зміною температури джерела від 210 до 300 К з кроком (наприклад) 10 К для кожної камери, що дає можливість скласти таблицю $640 \times 512 \times 10 \times 2$ значень, припускаючи лінійне калібрування. Цей процес можна повторити для кожного використаного вузькосмугового фільтра. На борту літального апарата може бути проведене періодичне повторне калібрування вставлянням нагрітої і затемненої заслінки перед фільтром і записом цифрових імпульсів, які відповідають відомій (контрольованій) температурі заслінки. Заслінка також служить для захисту від сторонніх частинок і бруду перед камерою під час зльоту і приземлення, коли система згідно винаходу вимкнута. Зрозуміло, що, як опція, може бути використана друга заслінка для забезпечення другої точки калібрування в лінійному рівнянні калібрування. Використання другої заслінки є питанням зручності і не міняє основного принципу роботи винаходу.

Систему активують, коли літальний апарат досягає крейсерської висоти і кожний раз, коли в повітрі виявлена небезпека, і літальний апарат виконує маневри, змінюючи напрям – висоту польоту і курс. В неактивному режимі заслінка зачинена. Перед активацією проводять цикл попереднього калібрування системи (всіх 5 камер). Заслінку відкривають і система починає збирати зображення. Камери, які є на ринку, можуть робити вибірку з частотою 60 Гц, це бажана частота (або вища). Однак, деякі експортні обмеження встановлюють для деяких камер і їх можливостей нижчу частоту вибірки. В наступному обговоренні ми прийняли швидкість вибірки 8 Гц, оскільки для цієї частоти немає експортних обмежень. При використанні вищої частоти вибірки основний принцип винаходу не змінюється.

Кожна камера кожен секунду видає 8 зображень розміром N пікселів у M рядках. Довідкову таблицю використовують разом з даними калібрування на борту для конвертації цифрових сигналів у температуру яскравості ($B, T_{i,j,k}$), де k – номер камери, k=1, 2, 3, 4 або 5 в поточній системі, а i і j позначають номер пікселя і рядка відповідно. Температура яскравості визначається формулою:

$$R_{i,j,k} = \frac{c_1 v_k^3}{e^{c_2 v_k / B T_{i,j,k}} - 1},$$

де $R_{i,j,k}$ – випромінювання в пікселі i, рядка j і фільтра k,

v_k – центральне хвильове число для фільтра k,

$B, T_{i,j,k}$ – температура яскравості,

c_1 і c_2 – константи випромінювання Ейнштейна.

Випромінювання $R_{i,j,k}$ визначають з передкалібрувальних і післякалібрувальних процедур і вважають лінійною функцією цифрових сигнальних імпульсів. Зображення камери можуть бути усереднені для зменшення шуму і покращення співвідношення сигнал/шум системи.

Тільки в якості ілюстрації розглянемо один піксель зображення і вважатимемо, що решта пікселів можуть бути оброблені так само, зазначимо, що калібрувальні довідкові таблиці різні для кожного пікселя. Дані для одного пікселя складаються з вимірювань: BT1, BT2, BT3, BT4 і BT5, які представляють значення температури яскравості від кожної з п'яти камер (наприклад, BT1 – температура яскравості для цього пікселя в камері 1, яка має фільтр 1).

Система згідно винаходу з'єднана з потоком інструментальних даних, тобто координати GPS, висота (z), довгота (l), широта (q), курс (h), напрям (d), боковий нахил (r), обертання навколо вертикальної осі (y), нахил відносно поперечної осі (x), час (t), швидкість відносно землі (v), швидкість вітру (w), зовнішня температура (T_a) оновлюються 1 раз в секунду і, бажано, швидше.

У варіанті реалізації система використовує фільтри з наступними центральними хвильовими числами (в см^{-1}):

Таблиця 1

Специфікація фільтрів для реалізації винаходу

Фільтр	Центральне хвильове число (см ⁻¹)	Ширина смуги (см ⁻¹)	Шумове еквівалентне відхилення температури (мК)	Призначення
1	1410	100	200	H ₂ O
2	1363	100	200	SO ₂
3	1155	100	200	SO ₂ /попіл
4	929	60	100	Попіл/лід
5	830	60	100	Попіл/лід

Алгоритм виявлення попелу

Піксель об'являють попелом, якщо в кожен момент виконуються такі умови:

$$DT1_{\text{попіл}} = (BT4-BT5)/Ta > T1_{\text{попіл}}(Ta, r, y, x)/Ta \quad (1)$$

$$DT2_{\text{попіл}} = (BT3-BT5)/Ta > T2_{\text{попіл}}(Ta, r, y, x)/Ta \quad (2)$$

Де $T1_{\text{попіл}}$ і $T2_{\text{попіл}}$ - різниці температур, визначені з попередньо виконаних розрахунків передачі випромінювання для набору параметрів, включаючи зовнішню температуру (Ta) і реальні значення бокового нахилу, нахилу відносно поперечної осі і обертання навколо вертикальної осі. Зазначимо, що $DT1_{\text{попіл}}$ і $DT2_{\text{попіл}}$ – безрозмірні величини і є тільки індексами.

Сигнал тривоги подається, якщо відбувається послідовність 8 підряд випадків виконання умов (1) і (2) в попередньо визначеній частині загального зображення. Значення 5 % від загальної кількості пікселів в різниці зображення використовують, але таке налаштування роблять в разі необхідності – нижче значення встановлюють, якщо літальний апарат знаходиться у просторі, об'явленому забрудненням, або коли існує можливість його забруднення вулканічним попелом; вище значення встановлюють в областях без забруднення.

Алгоритм виявлення H₂O

Піксель вважається водяною парою, якщо наступні умови виконуються в кожний момент:

$$DT_{\text{вп}} = BT1 - Ta > T_{\text{вп}}(Ta, r, y, x) \quad (3)$$

Де $T_{\text{вп}}$ – різниця температур, визначена з попередньо виконаних розрахунків передачі випромінювання для набору параметрів, включаючи зовнішню температуру (Ta) і реальні значення бокового нахилу, нахилу відносно поперечної осі і обертання навколо вертикальної осі.

Сигнал тривоги не подається, але $T_{\text{вп}}$ використовують з алгоритмом виявлення льоду, якщо ця тривога подається.

Алгоритм виявлення вкритого льодом попелу

Піксель вважають вкритим льодом попелом (ВЛП), якщо наступні умови виконуються в кожний момент:

$$DT_{\text{влп}} = (BT4-BT5)/Ta < T_{\text{влп}}(Ta, r, y, x)/Ta \quad (4)$$

Де $T_{\text{влп}}$ - різниця температур, визначена з попередньо виконаних розрахунків передачі випромінювання для набору параметрів, включаючи зовнішню температуру (Ta) і реальні значення бокового нахилу, кута нахилу відносно поперечної осі і кута обертання навколо вертикальної осі.

Сигнал тривоги видається, якщо відбувається послідовність 8 підряд випадків виконання умови (4) в попередньо визначеній частині загального зображення. Значення 5 % від загальної кількості пікселів в різниці зображення використовують, але таке налаштування роблять в разі необхідності – нижче значення встановлюють, якщо літальний апарат знаходиться у просторі, об'явленому забрудненням або коли існує можливість його забруднення вулканічним попелом; вище значення встановлюють в областях без забруднення. Коли видається сигнал тривоги, перевіряють умову (3), якщо ця умова виконується, підтверджують, що піксель являє собою ВЛП. Використання умови водяної пари є повністю новим і зменшує кількість хибних сигналів тривоги при виявленні небезпечних вкритих льодом частинок попелу малого розміру.

Алгоритм виявлення SO₂

Піксель вважають газом SO₂, якщо наступні умови виконуються в кожний момент:

$$DT1_{\text{SO}_2} = (BT1-BT2)/Ta > T1_{\text{SO}_2}(Ta, r, y, x)/Ta \quad (5)$$

$$DT2_{\text{SO}_2} = (BT3-BT5)/Ta > T2_{\text{SO}_2}(Ta, r, y, x)/Ta \quad (6)$$

Де $T1_{SO_2}$ і $T2_{SO_2}$ – значення температури, визначені з попередньо виконаних розрахунків передачі випромінювання для набору параметрів, включаючи зовнішню температуру (T_a) і реальні значення бокового нахилу, кута нахилу відносно поперечної осі і кута обертання навколо вертикальної осі.

Сигнал тривоги видається, якщо відбувається послідовність 8 підряд випадків виконання умов (5) і (6) в попередньо визначеній частині загального зображення. Значення 5 % від загальної кількості пікселів в різниці зображення використовують, але таке налаштування роблять в разі необхідності – нижче значення встановлюють, якщо літальний апарат знаходиться у просторі, об'явленому забрудненим, або коли існує можливість його забруднення вулканічним попелом; вище значення встановлюють в областях без забруднення.

Приклад зображення на дисплеї для екіпажу для виявлення хмари попелу показаний на фіг. 3. Зображення показує хмару попелу, яка складається з силікатного матеріалу і створює сигнал $DT1_{вп}$ для 6 кадрів, розділених коротким проміжком часу, з двох камер, які виконують огляд попереду літального апарата. Найвища концентрація попелу показана червоним (або темним на фіг. 3, яка є чорно-білою), фон неба показаний світло пурпурним (або світло-сірим на фіг. 3). При наближенні літального апарата до небезпеки пілот може змінити курс літального апарата, щоб уникнути небезпеки.

Важливою частиною винаходу є використання попередньо розрахованих порогових значень з детальної моделі передачі випромінювання атмосферою з і без вулканічних хмар і використання геометричних міркувань, які відповідають вигляду в інфрачервоному діапазоні (6-13 мкм) з літального апарата. На фіг. 4 показане моделювання випромінювання чистої атмосфери при горизонтальній траєкторії з $700-1600 \text{ см}^{-1}$ при трьох різних висотах. На висоті 9,5 км атмосфера дуже холодна - еквівалентна температура чорного тіла горизонтальній траєкторії становить приблизно 227 К. Будь-яка вулканічна хмара, розміщена між літальним апаратом і холодним фоном змінить випромінювання, яке отримує система, відомим чином. Спектр випромінювання містить ознаки попелу, SO_2 , H_2O і вкритих льодом частинок попелу. Ці ознаки також можуть бути змодельовані за допомогою моделі передачі випромінювання, і результати можуть бути збережені у великій довідковій таблиці. Зазначимо, що криві випромінювання змінюються з висотою і, відповідно, із зовнішньою температурою, зовнішню температуру визначають за допомогою бортових приладів і використовують в алгоритмі розпізнавання. Так само замість температури можна використовувати висоту (висоту польоту), але вимірювання температури є більш надійним.

Сигнал попелу в цьому спектрі відрізняється вищою температурою яскравості у фільтрі 4 (BT4), ніж у фільтрі 5 (BT5), на холодному фоні. Порогові значення визначають з використанням індексних даних заломлення для силікатів, і розрахунки розсіювання базуються на вимірюваному розподіленні розміру частинок для частинок з радіусом порядку 1-20 мкм згідно відомих методик. Загалом, інструмент забезпечує горизонтальний і трохи верхній (літальний апарат, зазвичай, має нахил відносно поперечної осі 3° вгору) огляд. Однак, літальний апарат може нахилитись вниз відносно поперечної осі, в цьому випадку фонові температура може змінитись з холодного фону на теплий фон. В цьому випадку ознакою попелу є умова $BT4 < BT5$. Довідкова таблиця побудована так, що враховуються кут нахилу відносно поперечної осі і навколишня температура. Крім того, компенсують кут бокового нахилу і кут обертання навколо вертикальної осі, незважаючи на те, що вони мало впливають на алгоритм виявлення. В алгоритм за допомогою використання фільтра близько 8,6 мкм, який має чутливість до вулканічного попелу, також включені безпечні порогові значення.

Функціонування алгоритму виявлення вкритого льодом попелу подібне до функціонування алгоритму виявлення попелу за винятком того, що довідкову порогову таблицю формують з використанням даних для льоду (коефіцієнти заломлення і дані розсіювання для малих частинок, радіуси $<30 \text{ мкм}$). У випадку малих частинок льоду $BT4 < BT5$ для огляду на холодному фоні (на відміну від попелу без покриття). Фонові умови враховують так, як і при виявленні попелу.

Нормалізацію температурних відмінностей виконують для забезпечення певної надійності і для забезпечення незалежності виявлення від зовнішньої температури.

Також використовують довідкові таблиці SO_2 і H_2O . Як показано на фіг. 5, SO_2 має дуже сильну абсорбцію поблизу значень 8,6 мкм і 7,3 мкм. Принцип виявлення SO_2 був описаний раніше, він базується на розрахунках передачі випромінювання, виконаних з припущенням про інтенсивність ліній і передачі у випадку атмосфери з SO_2 . За нормальних умов SO_2 становить дуже низький вміст ($<10^{-3}$ частинок на мільйон), і таким чином виявлення SO_2 з використанням цих абсорбційних властивостей дуже ефективно у випадку наявності вулканічних хмар попереду літального апарата.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Система для виявлення несприятливих атмосферних умов попереду літального апарата, яка включає в себе множину інфрачервоних камер, встановлених на літальному апараті, в якій:
- 5 інфрачервоні камери налаштовані на просторове виявлення інфрачервоного випромінювання в різних діапазонах інфрачервоного світла;
- кожна камера підключена до комп'ютера обробки зображень, який обробляє і комбінує зображення і генерує сигнали для відеодисплея, щоб створити відеодисплей, який показує положення несприятливих атмосферних умов відносно літального апарата;
- 10 кожна камера оснащена відповідним фільтром, налаштованим на фільтрування інфрачервоного світла в діапазоні, який відповідає інфрачервоним діапазонним характеристикам несприятливої атмосферної умови з набору несприятливих атмосферних умов;
- комп'ютер обробки зображень призначений для розпізнавання несприятливих атмосферних умов, вказане розпізнавання базується на порогових умовах і використанні виявленого інфрачервоного випромінювання, даних з довідкової таблиці і вимірних параметрах, які
- 15 включають в себе інформацію про положення і/або орієнтацію літального апарата; і крім того, комп'ютер обробки зображень призначений для показу розпізнаних несприятливих атмосферних умов на дисплеї у вигляді просторового зображення.
2. Система за п. 1, в якій набір несприятливих атмосферних умов включає в себе вулканічний попіл, попіл, вкритий льодом, водяну пару і двоокис сірки.
- 20 3. Система за п. 2, в якій система налаштована на намагання розпізнати вкритий льодом попіл і водяну пару, і в якій розпізнавання водяної пари використовують для підтвердження розпізнавання вкритого льодом попелу.
4. Система за пп. 1, 2 або 3, в якій порогові умови розраховують попередньо з використанням атмосферної моделі передачі випромінювання.
- 25 5. Система за будь-яким з попередніх пунктів, в якій комп'ютер обробки зображень налаштований на визначення значень температури яскравості з виявленого інфрачервоного випромінювання, і вказане розпізнавання включає в себе визначення того, чи значення, які належать до температури яскравості, відповідають пороговим умовам.
- 30 6. Система за будь-яким з попередніх пунктів, в якій виміряні параметри включають в себе кут нахилу відносно поперечної осі і зовнішню температуру.
7. Система за будь-яким з попередніх пунктів, яка включає в себе одну або більше зовнішніх затемнених заслінок, на фоні яких попередньо калібрують вказані камери зображень для отримання в польоті каліброваних значень.

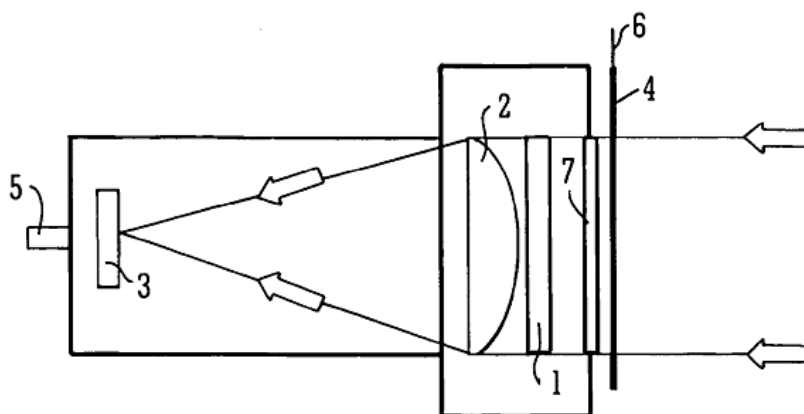


Fig. 1

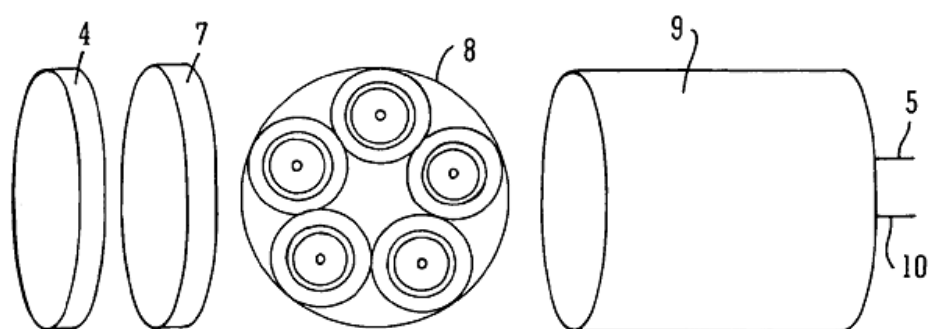


Fig. 2

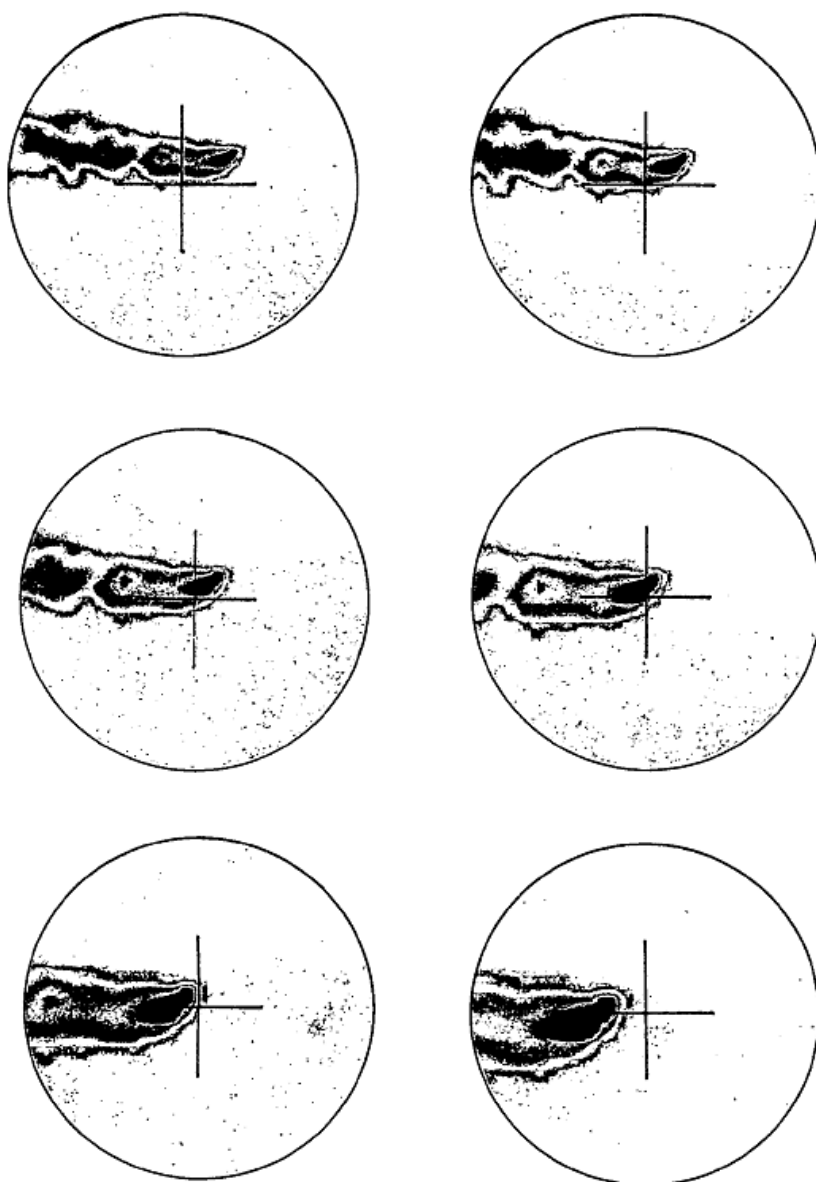
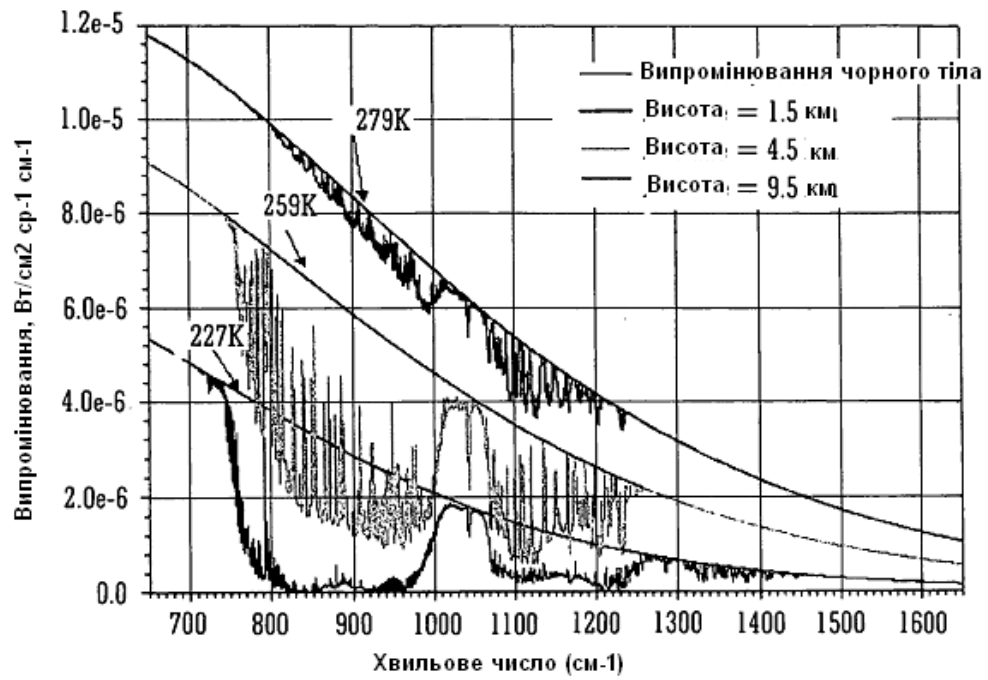
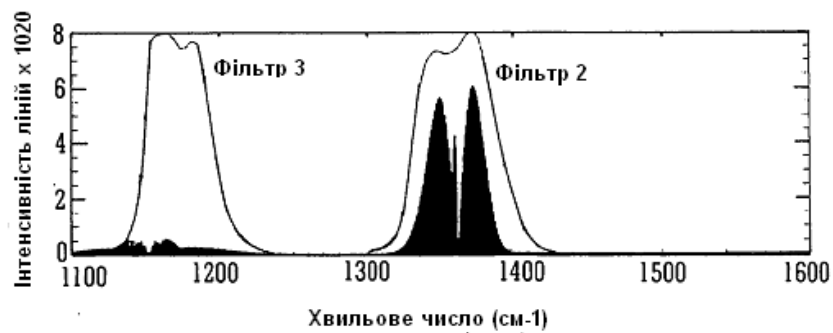


Fig. 3



Фіг.4



Фіг.5

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601