



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **110814** (13) **C2**
(51) МПК (2016.01)
G01N 21/01 (2006.01)
G01V 8/00
G01J 3/04 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2013 09652	(73) Власник(и):	ІНСТИТУТ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ ТА ДЕРЖАВНОГО КОСМІЧНОГО АГЕНТСТВА УКРАЇНИ, пр. Академіка Глушкова, 40, корп. 4/1, м. Київ, 03680 (UA)
(22) Дата подання заявки:	02.08.2013	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	UA 70505U; 11.06.2012 US 2006018642 A1; 26.01.2006 GB 2483118 A; 29.02.2012 CN 103217936 A; 24.07.2013 CN 101750615 A; 23.06.2010 RU 2406295 C1; 20.12.2010
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	25.02.2016		
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.02.2014, Бюл.№ 3		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.02.2016, Бюл.№ 4		
(72) Винахідник(и): Донець Володимир Володимирович (UA), Лапчук Віктор Петрович (UA), Яценко Віталій Олексійович (UA)			

(54) БОРТОВИЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ВІЯВЛЕННЯ УРАЖЕНИХ ЗОН РОСЛИННОСТІ**(57) Реферат:**

Бортний спектрометр для виявлення уражених зон рослинності належить до галузі оптичної спектрометрії матеріалів, зокрема до оптико-електронних приладів для визначення спектральних характеристик оптичного вимірювання рослинного покриву Землі з виявленням його стресового стану, дистанційного виявлення локальних зон з біологічними ураженнями хімічними і іншими реагентами, що дозволить проводити тестування великих площ рослинності за короткий період часу. Бортний спектрометр включає вхідні оптичні блоки інформаційного та опорного каналів, диспергуючий елемент, який оптично розташований між вхідним та вихідним коліматорами, у фокальних площинах яких відповідно розташовані вхідна щілина та матричний фотоприймальний блок, електронна система обробки сигналів та керування, блок запису і зберігання інформації, додатково містить лазерний канал з об'єктивом та виконавчим механізмом, датчик для визначення географічних координат поточного місцезнаходження DGPS, датчик висоти. Введений субмодуль логічної обробки поступають відповідні сигнали для динамічного оперативного керування процесом внутрішнього підсилення матриці фотоприймального блока, що дозволяє зберігати лінійну характеристику в необхідному робочому діапазоні без перевантажень, забезпечуючи отримання достовірної інформації. За допомогою запропонованого спектрометра досягається можливість швидкого спектрометричного обстеження стану посівів с/г культур для ефективного моніторингу територій їх вирощування, отримання даних для реалізації програм точного землеробства (за різницею і формою спектрів, які впливають в результаті обробки сигналів в електронному блоці по відповідних алгоритмах), раннього виявлення екологічних ризиків, розроблення ефективної наземної валідації (перевірка на достовірність) вимірювань стану рослинності з борту літака чи космічного корабля.

UA 110814 C2

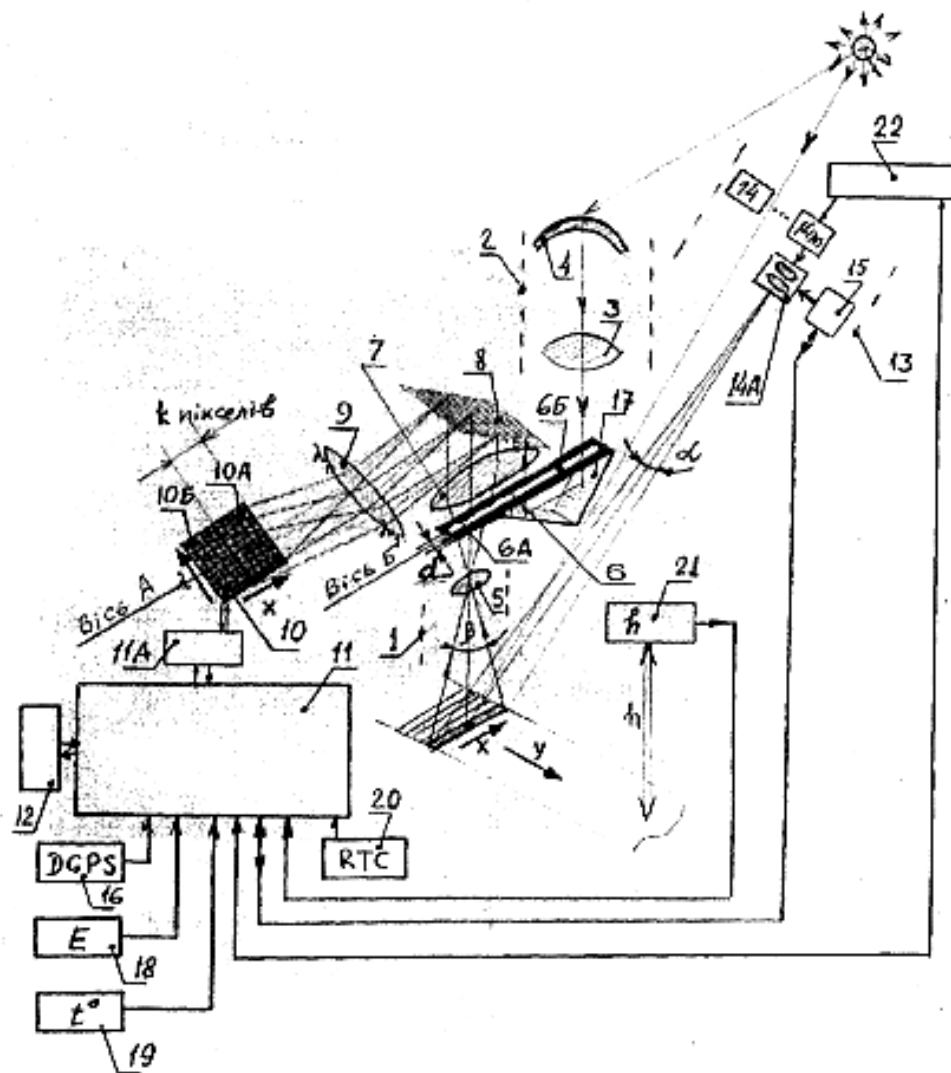


Fig. 1

Винахід належить до галузі спектрального приладобудування, зокрема до оптико-електронних приладів для визначення спектральних характеристик оптичного вимірювання рослинного покриву Землі з виявленням його стресового стану, дистанційним виявленням локальних зон з біологічними ураженнями хімічними реагентами, що дозволить проводити

тестування великих площ рослинності за короткий час.

Прилад встановлюється на літальному апараті, що надасть можливість швидкого спектрального обстеження стану посівів сільськогосподарських культур для ефективного моніторингу територій їх вирощування, отримання даних для реалізації програм точного землеробства, раннього виявлення екологічних ризиків, розроблення ефективної наземної валідації (перевірка на достовірність) вимірювань стану рослинності з борту літака чи космічного корабля.

Найбільш раннім приладом цього типу є портативний польовий спектрометр відбивання PFRS (Portable Field Reflectance Spectrometer), розроблений Абрамсом та ін. в 1977 р. (1).

Найбільш сучасними вважаються спектрометри виробництва фірми ASD(CIIIA). Серед них польовий спектрометр Field Spec Hand Held (2) та Field Spec4 (3), що працює зі спектральним діапазоном $\Delta\lambda=350-2500$ нм та спектральним розрізненням $\delta\lambda=2$ нм у діапазоні довжини хвиль $\Delta\lambda=1000-2500$ нм.

Робочий діапазон забезпечується одночасною роботою трьох внутрішніх спектрометрів, кожен з яких працює у своєму спектральному діапазоні. Прилад містить GPS-приймач, що підключається до керуючого комп'ютера для автоматичного запису даних про місцезнаходження, де була проведена зйомка.

В межах спектрометричної дії - ці пристрої одноканальні. Тому при проведенні спектрометричних вимірювань рослинності в натуральних умовах, при наявності частоті зміни як освітленості так і колірної температури джерела освітлення, наприклад через набігання хмар, зенітного кута Сонця, різко росте похибка в результатах вимірювань. Для усунення цих ефектів розроблено двоканальні спектрометри, які оперативно проводять вимірювання сигналу в інформаційному каналі з одночасним урахуванням характеру зміни сигналу в опорному каналі. Найбільш близьким аналогом, до запропонованого пристрою, є польовий спектрометр для тестування стану рослинності (4).

Цей польовий пристрій має вхідні оптичні блоки інформаційного та опорного каналів, де використовується єдиний диспергуючий елемент, наприклад, дифракційна ґратка, оптично розташований між вхідним та вихідним коліматорами, у фокальних площинах яких відповідно розташовані: вхідна спектральна щілина (яка є єдиною на обидва канали) та своя частина фотоприймача фотоприймального блока з матричним набором чутливих елементів (який є єдиним на обидва канали). Єдиний фотоприймальний блок електрично пов'язаний з електронними блоками обробки та збереження результатів вимірювань, містить додаткові датчики, GPS. Польовий спектрометр дозволяє одночасне прийняття та обробку вимірювального та опорного сигналів шляхом конструювання двоканальної оптичної системи, що забезпечує одержання функції спектрального розподілу коефіцієнтів відбиття, вхідний канал спектрометра забезпечує формування поля зору пристрою у вигляді, зручному для вимірювання при його розміщенні на висоті 1,5 метра над землею.

Проте даний спектрометр має ряд недоліків зокрема є наземним приладом і не призначений для установки на борт носія, в ньому відсутній датчик висоти. Пристрій для тестування стану рослинності не має можливості без додаткового збуджуючого випромінювання дистанційно виявляти та реєструвати локальні зміни з біологічними, наприклад, вірусними ураженнями або ураженнями хімічними реагентами з формування зональної реєстрограми, прив'язаної до зони спостереження. Відсутня можливість зміни коефіцієнту підсилення фотоприймача, що приводить до погіршення співвідношення "сигнал - шум" по спектру, особливо при використанні інтенсивного збуджуючого випромінювання.

В основу запропонованого винаходу поставлена задача удосконалення пристрою для оптичної спектрометрії рослинності шляхом введення нових елементів і нових зв'язків між складовими елементами пристрою, що забезпечить достовірність і стійкість вимірювань спектрів відбиття рослинності та підвищить моніторинг території її ураженості.

Поставлена задача вирішується тим, що спектрометр (фіг. 1) для виявлення уражених зон рослинності виконаний на основі бортового спектрометра, який складається з вхідних оптичних блоків інформаційного 1 та опорного 2 каналів, об'єктиву 3, оптична деталь 4 з високим коефіцієнтом дифузного розсіювання, об'єктивів 5 в фокальній площині якого розташована вхідна спектральна щілина 6 (вісь А на фіг. 1) та її перша 6-А і друга 6-Б частини, що формує просторову зону одномоментного дослідження, коліматор 7, який формує паралельний пучок світла на диспергуючий елемент 8 та вихідний коліматор 9, у фокальній площині якого

розташовано двомірний матричний фотоприймач 10. Одна частина матричного приймача 10А оптично зв'язана через диспергуючий елемент 8 та одну частину вхідної спектральної щілини 6А з інформаційним каналом 1, а друга частина матриці 10Б оптично зв'язана через диспергуючий елемент 8 та другу частину вхідної спектральної щілини 6Б з опорним каналом.

5 Двомірний матричний фотоприймач 10 виконаний у вигляді фоточутливої матриці зі змінним внутрішнім підсиленням. Для цього матричний фотоприймач 10 через субмодуль 11А логічної обробки сигналу пов'язаний з електронним блоком 11 обробки сигналів і керування та блоком 12 запису і збереження інформації (блоком пам'яті).

10 Спектрометр доповнений лазерним каналом 13 з m ($m \geq 2$) джерелами 14...14m монохроматичного випромінювання у виді m лазерів з об'єктивом 14А та з виконавчим механізмом 15, який електрично пов'язаний з електронним блоком 11 обробки сигналів і керування.

15 Об'єktiv 14А лазерного каналу 13 виконаний у вигляді варіооб'єктива (зі змінною фокусною віддалю). Він має виконуючий механізм 15, який електрично пов'язаний з електронним блоком 11 обробки сигналів і керування - для корекції кутового розміру α поля освітлення лазерного каналу при зміні висоти h носія комплексу.

Кутовий розмір α поля освітлення повинен бути не менший кутового розміру поля зору β вхідного оптичного інформаційного каналу. При цьому центр поля зору вхідного оптичного інформаційного каналу 1 співпадає з центром поля освітлення лазерного каналу 13.

20 Диференційний датчик 16 для визначення географічних координат поточного місцезнаходження спектрометра виконаний у вигляді диференційного GPS (DGPS). Завдяки диференційованим поправкам ця система має похибку - долі метра, тоді як похибка GPS-систем складає від 5 м.

25 Оптичний елемент 17 (поворотна призма), який знаходиться перед вхідною щілиною 6, розділяє її на дві частини - 6А і 6Б. Вхідний 7 та вихідний 9 об'єктиви (коліматори) можуть бути лінзовими, дзеркальними або комбінованими. Диспергуючий елемент 8, який виконаний з максимальною ефективністю у необхідному діапазоні довжини хвиль $\Delta\lambda$ може бути дифракційним (ґратка з профільованим штрихом) або призмовим.

30 Оптична деталь 4, яка виконана з оптичного матеріалу з високим коефіцієнтом дифузного розсіювання, оптично пов'язана як із джерелом освітлення, так і з верхньою частиною фотоприймального блоку 10Б. Крім цього, пристрій містить додаткові датчики 18-20, які вимірюють відповідно освітленість, температуру оточуючого середовища, час проведення вимірювань та експозицію.

35 В бортовому спектрометрі для виявлення уражених зон рослинності введені датчик висоти носія 21 та субмодуль керування 22 набором лазерних джерел 14...14m лазерного каналу 13, що електрично пов'язані з електронним блоком 11 обробки сигналів і керування.

Бортовий спектрометр для виявлення уражених зон рослинності працює таким чином.

40 Бортовий спектрометр працює в таких режимах: денний - освітлення лише сонцем і небом, нічний лідарний - лазерне освітлення і денний лідарний (комбінований) - освітлення лазером, сонцем і небом.

Денний режим роботи спектрометра принципово не відрізняється від роботи подібних приладів. Нічний лідарний режим використовується, коли природне освітлення об'єктів спостережень набагато менше, ніж лазерне освітлення від приладу.

45 Денний - лідарний пристрій відрізняється тим, що на початку вимірювань даного просторового елементу реєструється спектрограма об'єкту, освітленого тільки природнім світлом - прямим сонячним або розсіяним. Оскільки сигнал достатньо великий - потрібна коротка експозиція. Далі через модуль керування лазерами 22 вмикається необхідний лазерний освітлювач і реєструється відповідна спектрограма, як сума спектрів від лазерного та сонячного освітлення. Різниця спектрів від комбінованого освітлення та освітлення Сонцем, обрахована в блоці 11, дає спектр відгуку об'єкту на лазерне освітлення. Корисну інформацію дає як спектрограма при денному освітленні, так і люмінесценція від лазерного освітлення.

50 Природне джерело освітлення одночасно освітлює як об'єкт вимірювання (рослинний покрив Землі) так і сам спектрометр (опорний канал 2). Як доповнення до природнього освітлення по сигналу з блоку 11 (через модуль 22 керування лазерами) об'єкт дослідження 55 освітлюється лазерними потоками з робочими довжинами хвиль - $\lambda_{\text{лаз1}} \dots \lambda_{\text{лаз m}}$.

Після обрахування висоти носія (за даними від датчика висоти 21) з електронного блоку 11 обробки сигналів і керування на виконавчий механізм 15 поступають сигнали для керування кутовим розміром α поля освітлення, який повинен бути рівним кутовому розміру поля зору β .

60 З електронного блоку 11 обробки сигналів і керування в залежності від типу режиму роботи (денний, нічний лідарний чи денний лідарний комбінований) на субмодуль 11А логічної обробки

сигналу поступають відповідні сигнали для динамічного оперативного керування процесом внутрішнього підсилення матриці 10, що дозволяє зберігати лінійну характеристику в необхідному робочому динамічному діапазоні, тобто працювати без перевантажень, забезпечуючи отримання достовірної інформації.

5 Величину освітленості реєструє датчик 18, електричний сигнал з якого поступає в електронний блок 11 обробки інформації і використовується як для документування результатів вимірювання, так і для керування величиною експозиції об'єкта вимірювання.

Світловий потік, що відбивається від об'єкта вимірювання (інформаційний сигнал) через оптичний блок вхідного каналу 1, та природне освітлення, що надходить через оптичний блок опорного сигналу 2, попадають відповідно на другу 6Б та на першу 6А частини вхідної щілини 6 бортового спектрометра. Після проходження через щілину 6 та вхідний коліматор 7 ці два розділені у просторі світлові пучки проміння паралельними потоками попадають на диспергуючий елемент (дифракційну ґратку) 8. Далі зображення розкладених у спектр двох світлових потоків формуються вихідним коліматором 9 у площині матричного фотоприймального блоку 10 (10А та 10Б).

15 Фотоприймальний блок 10 у кожному своєму пікселі трансформує світловий потік в електричний сигнал. Останні, після проходження субмодуля 11А логічної обробки сигналу, залишаються без перевантажень. Далі ці сигнали від фотоприймального блоку 10 після аналого-цифрового перетворення в електронному блоці 11, разом із даними, що додатково надходять від датчиків 16, 18-21 (які вимірюють відповідно освітленість, температуру оточуючого середовища, а також фіксують висоту та географічні координати місця та час проведення вимірювання) проходять обробку за необхідними алгоритмами в електронному блоці 11.

Електронний блок 11 обробки сигналів і керування разом з блоком 12 запису і збереження інформації (блок пам'яті) формує запис і зберігає дані тривимірного масиву даних (гіперкуб даних), (фіг. 2) який включає в себе просторову інформацію XY (2D) щодо об'єкту, доповнену спектральною інформацією (1D) $\Lambda_1 \dots \Lambda_n$ по кожній просторовій координаті; формування множини по осі Y забезпечується за рахунок поступального руху носія спектрометра; розмір множини X є функцією від довжини частини вхідної спектральної щілини 6А інформаційного каналу 1, кількості k робочих пікселів у частині стовпців фоточутливої матриці 10А в зоні інформаційного каналу та фокусної віддалі вхідного оптичного телеоб'єктива 5 інформаційного каналу 1, а розмір векторів $\Lambda_1 \dots \Lambda_n$ залежить від кількості n спектральних каналів, яка є функцією від розміру (ширини d) вхідної спектральної щілини 6А інформаційного каналу 1, кількості k робочих пікселів у частині стовпців фоточутливої матриці 10А та величини дисперсії світла диспергуючого елемента 8.

Крім того, в блоці 12 запису і збереження інформації запам'ятовується блок даних, який містить в собі спектрограму об'єкту досліджень, час, географічні координати, орієнтацію приладу та умови досліджень (зовнішню температуру та освітленість та ін.) за весь час руху носія спектрометра.

40 При налагодженні бортового спектрометра проходить етап його "навчання". Тобто, в пам'ять електронного блока 11 обробки сигналів і керування заносяться наперед добути дані про значення та форми спектральних кривих (сигнатур) при вимірюванні спектрів відбиття рослинного покриву з виявленням його стресового стану, дистанційним виявленням локальних зон з можливими біологічними ураженнями або ураженнями хімічними реагентами для кожного з можливих стресів рослин.

45 За різницею і формою спектрів, які випливають в результаті обробки сигналів в електронному блоці 11, за відповідними алгоритмами, судять про наявність зон з тими чи іншими ураженнями.

Бортовий спектрометр для виявлення уражених зон рослинності може бути затребуваний підприємствами АПК України, оскільки в державі не виробляється спектральна апаратура даного призначення. Пристрій може представляти комерційний інтерес для країн, які проводять дистанційні космічні дослідження зеленої поверхні Землі. Промисловий випуск вітчизняних бортових гіперспектральних лідарних спектрометричних комплексів для різного роду носіїв дозволить досягти економії затрат, які йдуть на закупку дорогої імпоротної апаратури.

55 Джерела інформації:

1. Goetz, A. F. H. Portable field reflectance spectrometer 1975.- JPL Technical Report (pp. 183-188). Pasadena, California Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.

2. Польовий спектродіаметр FieldSpec Hand Held Режим доступу: <http://www.asdi.com/products/fIELDSPEC-handheld>.

3. Польовий спектрорадіометр FieldSpec 4 Standard-Res Spectroradiometer. Режим доступу: <http://www.asdi.com/products/fieldspec-spectroradiometers/fieldspec-4-standard-res>.

4. Патент України на корисну модель "Польовий спектрометр для тестування стану рослинності" № 70505 від 28.12.2011р.

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Бортовий спектрометр для виявлення уражених зон рослинності, що містить послідовно розташовані та з'єднані оптичні блоки інформаційного та опорного каналів, диспергуючий елемент між вхідним та вихідним коліматорами, у фокальних площинах яких відповідно розташовані вхідна щілина та фотоприймальний блок, виконаний у вигляді двовірної фоточутливої матриці, одна частина фотоприймального блока оптично з'єднана через диспергуючий елемент та одну частину вхідної спектральної щілини з інформаційним каналом, а друга частина якого оптично з'єднана через диспергуючий елемент та другу частину вхідної спектральної щілини з опорним каналом, фотоприймальний блок електрично з'єднаний з блоком обробки сигналів та керування, який електрично з'єднаний з блоком запису і зберігання інформації, датчиком поточного місцезнаходження, який **відрізняється** тим, що двовірний матричний фотоприймальний блок виконаний зі змінним внутрішнім підсиленням, та електрично з'єднаний з електронним блоком обробки сигналів і керування через введений субмодуль логічної обробки сигналів, і доповнений освітлюючим лазерним каналом з m ($m \geq 2$) джерелами монохроматичного випромінювання з об'єктивом та модулем керування лазерами, який електрично з'єднаний з електронним блоком обробки сигналів і керування, а датчик поточного місцезнаходження виконаний у вигляді диференційованого GPS (DGPS).
2. Бортовий спектрометр для виявлення уражених зон рослинності за п. 1, який **відрізняється** тим, що електронний блок обробки сигналів і керування виконаний з можливістю задання оптимізованого та адаптивного коефіцієнта внутрішнього підсилення фоточутливої матриці для кожного її рядка через субмодуль логічної обробки сигналу в залежності від амплітуди вихідного сигналу рядка фоточутливої матриці на заданій довжині хвилі.
3. Бортовий спектрометр для виявлення уражених зон рослинності за п. 1, який **відрізняється** тим, що блок обробки сигналів виконаний з можливістю сформувати запис і збереження тривимірного масиву даних (гіперкуб даних), який включає в себе просторову інформацію XY (2D) щодо об'єкту, доповнену спектральною інформацією (1D) $\Lambda_1 \dots \Lambda_n$ по кожній просторовій координаті; формування множини по осі Y забезпечується за рахунок поступального руху носія спектрометра; розмір множини X є функцією від довжини частини вхідної спектральної щілини інформаційного каналу, кількості робочих пікселів у стовпці фоточутливої матриці в зоні інформаційного каналу та фокусної віддалі вхідного оптичного об'єктива інформаційного каналу, а розмір векторів $\Lambda_1 \dots \Lambda_n$ залежить від кількості n спектральних каналів, яка є функцією від ширини вхідної спектральної щілини інформаційного каналу, кількості робочих рядків фоточутливої матриці та величини дисперсії світла диспергуючого елемента.
4. Бортовий спектрометр для виявлення уражених зон рослинності за п. 1, який **відрізняється** тим, що містить датчик висоти, а освітлюючий лазерний канал виконаний з можливістю корекції кута α поля освітлення за рахунок зміни фокусної віддалі варіооб'єктива при зміні висоти носія спектрометра, при цьому виконуючий механізм варіооб'єктива та датчик висоти електрично з'єднані з блоком обробки сигналів і керування.

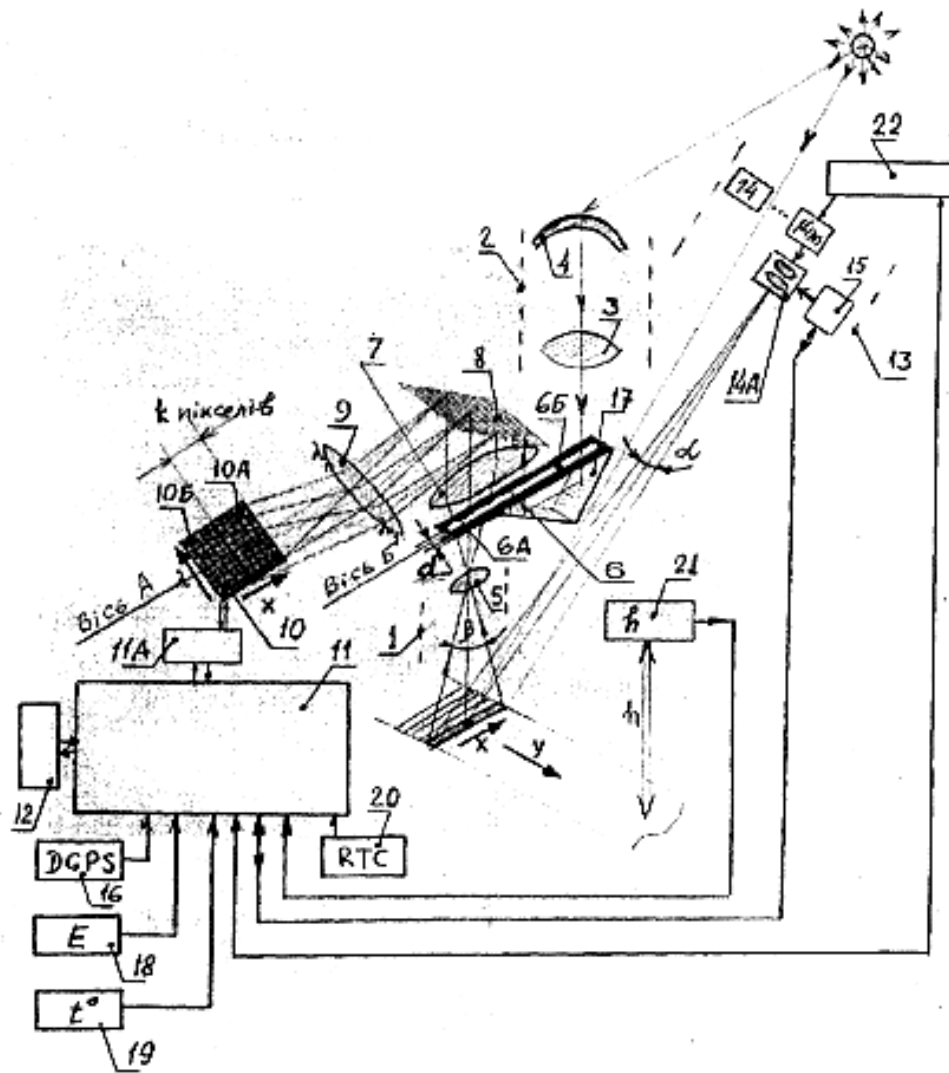
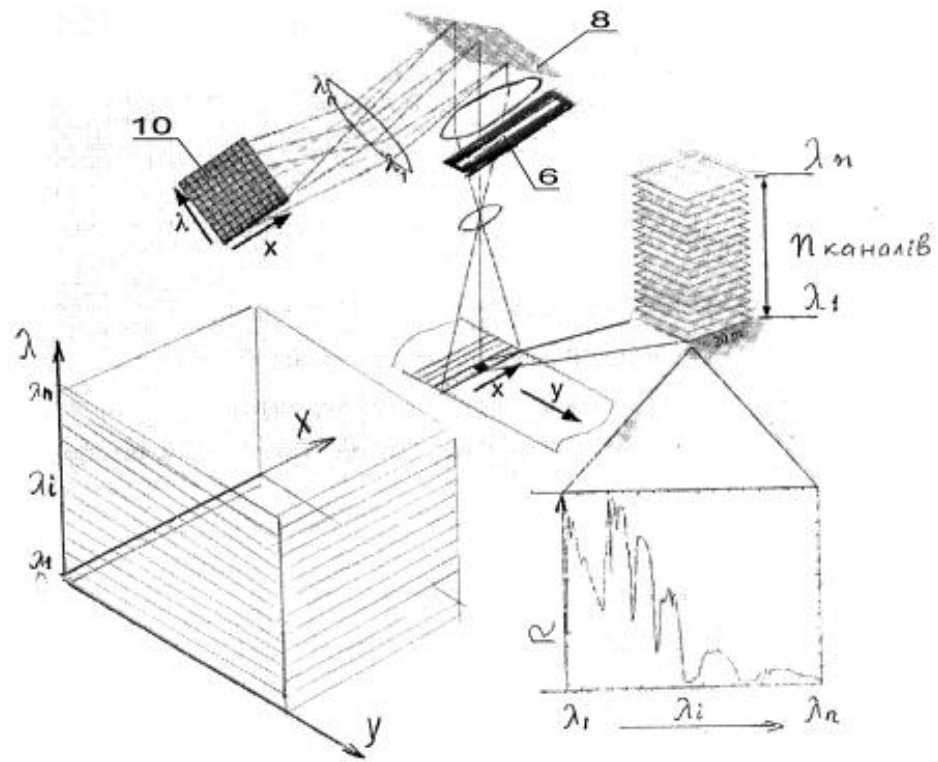


Fig. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

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

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