

**УКРАЇНА**

(19) **UA** (11) **90278** (13) **U**  
(51) МПК (2014.01)  
**G01N 21/00**  
**G01V 1/00**  
**G01T 1/36** (2006.01)  
**G01J 3/00**

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2013 09817</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Донець Володимир Володимирович (UA),</b> <b>Лапчук Віктор Петрович (UA),</b> <b>Яценко Віталій Олексійович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>07.08.2013</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.05.2014</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.05.2014, Бюл.№ 10</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ІНСТИТУТ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> <b>НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ</b> <b>ТА ДЕРЖАВНОГО КОСМІЧНОГО</b> <b>АГЕНТСТВА УКРАЇНИ,</b> пр. Академіка Глушкова, 40, корп. 4/1, м. Київ, 03680 (UA)

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

Бортний спектрометр для виявлення уражених зон рослинності містить послідовно розташовані та зв'язані 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 фоточутливої матриці, одна частина якого оптично зв'язана через диспергуючий елемент та одну частину вхідної спектральної щілини з інформаційним каналом, а друга частина якого оптично зв'язана через диспергуючий елемент та другу частину вхідної спектральної щілини з опорним каналом, електрично зв'язаний з блоком обробки сигналів, блоком запису і зберігання інформації з якими електрично зв'язаний датчик поточного місцезнаходження. Двомірний матричний фотоприймач виконаний зі змінним внутрішнім підсиленням, через введений субмодуль логічної обробки сигналів зв'язаний з електронним блоком обробки сигналів і управління, доповнений лазерним каналом з  $m$  ( $m \geq 2$ ) джерелами монохроматичного випромінювання з об'єктивом та модулем управління лазерами, який електрично зв'язаний з електронним блоком обробки сигналів і управління спектрометра, а координати поточного місцезнаходження виконані у вигляді диференційованого DGPS.

**UA 90278 U**

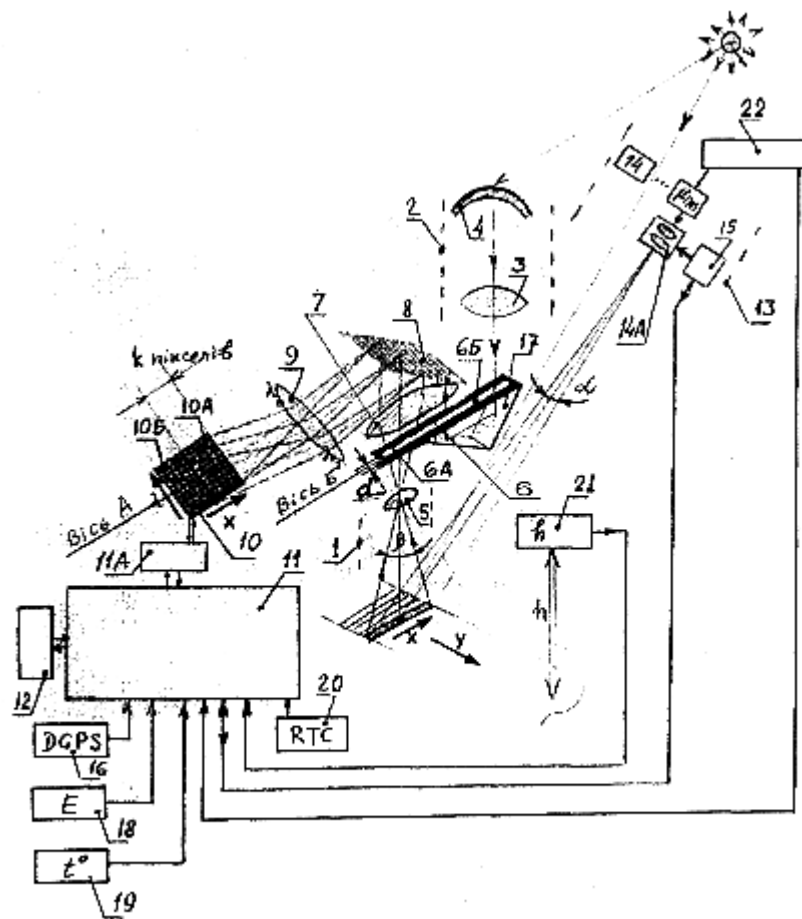


Fig. 1

Корисна модель 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(CUIA). Серед них польовий спектрометр Field Spec Hand Held (2) та Field Spec4 (3), що працює зі спектральним діапазоном  $\Delta\lambda = 350-2500\text{nm}$  та спектральним розрізненням  $\delta\lambda = 2\text{nm}$  у діапазоні довжини хвиль  $\Delta\lambda = 1000-2500\text{nm}$ .

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 коефіцієнта підсилення фотоприймача, що приводить до погіршення співвідношення "сигнал - шум" по спектру, особливо при використанні інтенсивного збуджуючого випромінювання.

В основу запропонованої корисної моделі поставлено задачу 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 об'єктив 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 ПА логічної обробки сигналу пов'язаний з електронним блоком 11 обробки сигналів і управління 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 вигляді  $m$  лазерів з об'єктивом 14А та з виконавчим механізмом 15, який електрично пов'язаний з електронним блоком 11 обробки сигналів і управління.

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 управління - для корекції кутового розміру  $\alpha$  поля освітлення лазерного каналу при зміні висоти  $h$  носія комплексу.

Кутовий розмір  $\alpha$  поля освітлення повинен бути не менший кутового розміру поля зору  $\beta$  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 - доли 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 блока 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 управління 22 набором лазерних джерел 14...14m лазерного каналу 13, що електрично пов'язані з електронним блоком 11 обробки сигналів і управління.

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 природним світлом - прямим сонячним або розсіяним. Оскільки сигнал достатньо великий - потрібна коротка експозиція. Далі через модуль управління 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, обчислена 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 природного освітлення по сигналу з блока 11 (через модуль 22 управління 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 блока 11 обробки сигналів і управління на виконавчий механізм 15 надходять сигнали для керування кутовим розміром  $\alpha$  поля освітлення, який повинен бути рівним кутовому розміру поля зору  $\beta$ .

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

сигналу надходять 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  
в надходить в електронний блок 11 обробки інформації і використовується як  
для документування результатів вимірювання, так і для управління величиною експозиції  
об'єкта вимірювання.

10 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  
15 світлових потоків формуються вихідним коліматором 9 у площині матричного фото  
приймального блока 10 (10 А та 10Б).

Фотоприймальний блок 10 у кожному своєму пікселі трансформує світловий потік в  
електричний сигнал. Останні, після проходження субмодуля НА логічної обробки сигналу,  
залишаються без перевантажень. Далі ці сигнали від фотоприймального блока 10 після  
20 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 в обробку за необхідними алгоритмами в електронному  
блоці 11.

25 Електронний блок 11 обробки сигналів і управління 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 просторову інформацію XY (2D) щодо об'єкта, доповнену  
спектральною інформацією (ID)  $\Lambda_1 \dots \Lambda_n$  по кожній просторовій координаті; формування  
множини по осі Y забезпечується за рахунок поступального руху носія спектрометра; розмір  
30 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,  
35 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  
40 носія спектрометра.

При налагодженні бортового спектрометра проходить етап його "навчання". Тобто, в пам'ять  
електронного блока 11 обробки сигналів і управління 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  
45 зон з можливими біологічними ураженнями або ураженнями хімічними реагентами для кожного  
з можливих стресів рослин.

По різниці і формі спектрів, які випливають в результаті обробки сигналів в електронному  
блоці 11 по відповідним алгоритмам, судять про наявність зон з тими чи іншими ураженнями.

Бортовий спектрометр для виявлення уражених зон рослинності може бути затребуваний  
50 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. 1<sup>^</sup>3-188). 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 КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Бортовий спектрометр для виявлення уражених зон рослинності, що містить послідовно розташовані та зв'язані 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 фоточутливої матриці, одна частина якого оптично зв'язана через диспергуючий елемент та одну частину вхідної спектральної щілини з інформаційним каналом, а друга частина якого оптично зв'язана через диспергуючий елемент та другу частину вхідної спектральної щілини з опорним каналом, електрично зв'язаний з блоком обробки сигналів, блоком запису і зберігання інформації з якими електрично зв'язаний датчик поточного місцезнаходження, який **відрізняється** тим, що двомірний матричний фотоприймач виконаний зі змінним внутрішнім підсиленням, через введений субмодуль логічної обробки сигналів зв'язаний з електронним блоком обробки сигналів і управління, доповнений лазерним каналом з  $m$  ( $m \geq 2$ ) джерелами монохроматичного випромінювання з об'єктивом та модулем управління лазерами, який електрично зв'язаний з електронним блоком обробки сигналів і управління спектрометра, а координати поточного місцезнаходження виконані у вигляді диференційованого DGPS.
2. Бортовий спектрометр для виявлення уражених зон рослинності за п. 1, який **відрізняється** тим, що коефіцієнт внутрішнього підсилення фоточутливої матриці є оптимізованим та адаптивним для кожного її рядка через субмодуль логічної обробки сигналу від електронного блока обробки сигналів і управління 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 сформування запису і збереження тривимірного масиву даних (гіперкуб даних), який включає просторову інформацію  $XY$  (2D) щодо об'єкту, доповнену спектральною інформацією (ID)  $\Lambda_1 \dots \Lambda_n$  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 розміру (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 додатково введений датчик висоти, а освітлюючий лазерний канал має можливість корекції кута  $\alpha$  поля освітлення за рахунок зміни фокусної віддалі варіооб'єктива при зміні висоти носія комплексу, при цьому виконуючий механізм варіооб'єктива та датчик висоти електрично пов'язані з блоком обробки сигналів і управління.

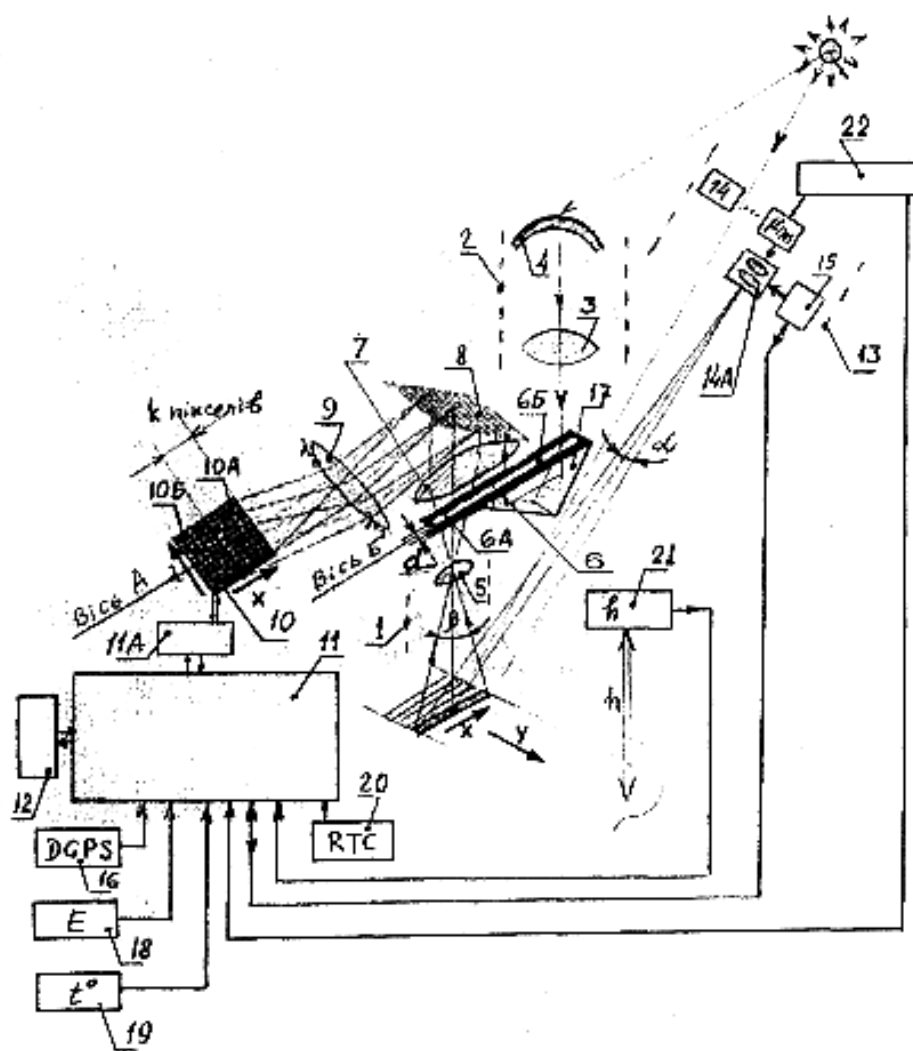
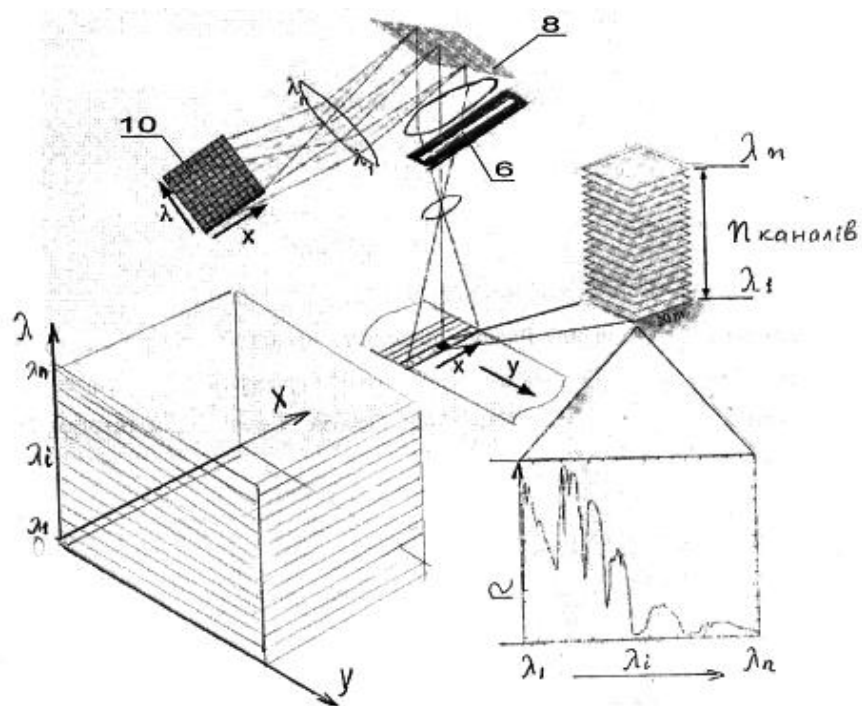


Fig. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка С. Чулій

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