



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **70505** (13) **U**  
(51) МПК (2012.01)  
**G01T 7/00**

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

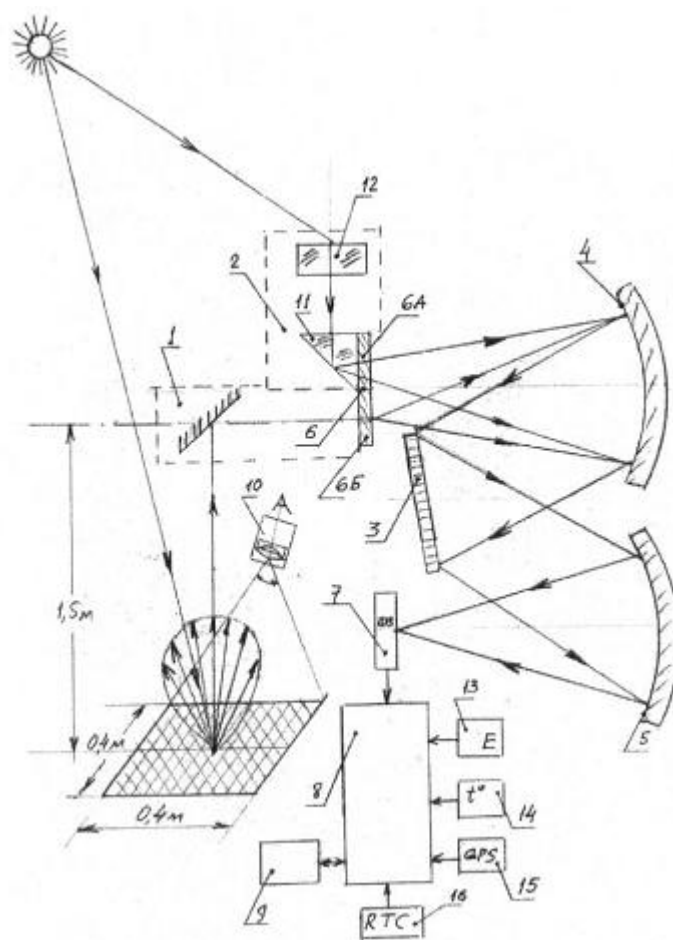
(21) Номер заявки: <b>u 2011 15271</b>	(72) Винахідник(и): <b>Кочубей Світлана Михайлівна (UA), Донець Володимир Володимирович (UA), Казанцев Тарас Анатолійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>23.12.2011</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>11.06.2012</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>11.06.2012, Бюл.№ 11</b>	(73) Власник(и): <b>ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН І ГЕНЕТИКИ НАН УКРАЇНИ, вул. Васильківська, 31/17, м. Київ, 03022 (UA)</b>

## (54) ПОЛЬОВИЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ СТАНУ РОСЛИННОСТІ

### (57) Реферат:

Польовий спектрометр для тестування стану рослинності містить вхідні оптичні блоки інформаційного та опорного каналів, диспергуючий елемент між вхідним та вихідним коліматорами, у фокальних площинах. Відповідно розташовані вхідна щілина та фотоприймальний блок з набором дискретних чутливих елементів, електрично зв'язаний з блоком обробки та блоком запису і збереження інформації. Вхідний оптичний блок інформаційного каналу об'єднаний з вхідним коліматором. Диспергуючий елемент має вигляд нестандартної дифракційної ґратки та фотоприймальний блок, виконаний у вигляді фоточутливої матриці, є спільними для інформаційного та опорного каналів. Частина матриці оптично зв'язана через верхню частину диспергуючого елемента з опорним каналом.

UA 70505 U



Корисна модель належить до галузі оптичної спектрометрії матеріалів, зокрема до спеціалізованих польових спектрометрів і може бути використана для вимірювання спектрів відбиття рослинного покриву, що дозволить проводити тестування великих площ рослинності за короткий час.

Крім того, запропонована корисна модель надасть можливість швидкого обстеження стану посівів сільськогосподарських культур для ефективного моніторингу технологій 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.

Як відомо, польовий спектрорадіометр моделі HS-300 американської компанії Arogee [1] має такі технічні характеристики:

- діапазон довжин хвиль - від 350 до 1000 нм;
- спектральне розрізнення -  $\delta\lambda = 0,5\text{ нм}$ ;
- відношення сигнал/шум - до 1000:1;
- детектор - ПЗЗ лінійка 2048 пікселів, розміром  $14 \times 200\text{ мкм}$ ;
- лінійний діапазон вимірювання від 0 до 2,1 одиниць оптичної густини, абсорбції  $< 0,5\%$ ;
- час інтеграції - від 4 до 6500 мс.

Відома аналітична система UniSpec-SC Spectral Analysis System [2]. Це одноканальний (VIS/NIR) портативний спектральний пристрій з власним процесором, який дозволяє проводити вимірювання інтенсивності світла, відбитого листками рослин, а також придатний для дистанційного зондування екосистем. Час вимірювання повного спектра (310-3100 нм)  $\leq 1\text{ с}$ .

Відомий спектрорадіометр FieldSpec 4 компанії ASD Inc., США [3]. Спектрорадіометр FieldSpec 4 втілює в собі усі кращі показники, які мав його попередник - FieldSpec 3: має робочий діапазон 350-2500 нм, який забезпечується одночасною роботою трьох внутрішніх спектрометрів, кожен з яких працює у своєму спектральному діапазоні. Спектральне розрізнення пристрою складає величину  $\delta\lambda = 3\text{ нм}$  на довжині хвилі  $\lambda = 700\text{ нм}$ . Крім того, спектрорадіометр FieldSpec 4 має GPS-приймач, що підключається до керуючого комп'ютера для автоматичного запису даних про місцезнаходження, де була проведена зйомка.

Всі ці спектральні аналогічні пристрої одноканальні. При проведенні спектрометричних вимірювань у натуральних умовах, особливо в межах Європейської зони, при наявності частоті зміни освітленості, наприклад, через набігання хмар, різко росте похибка в результатах вимірювань, у тому числі і при зміні як колірної температури джерела освітлення, так і зенітного кута Сонця.

Для усунення цих ефектів в останній час розроблено двоканальні спектрометри, які оперативно проводять вимірювання сигналу в інформаційному каналі з одночасним урахуванням характеру зміни сигналу в опорному каналі.

Найбільш близький аналог, який доцільно взяти за прототип, портативний польовий двоканальний спектрометр моделі HandySpec® Field Feldspektrometer фірми tec 5 AG, Німеччина [4]. Він розроблений спеціально для фермерів, оскільки надає інформацію як про стан полів, так і про їхні потреби. Прилад виконаний на базі 2-х ідентичних спектрометрів Zeiss MMS 1 з єдиною сенсорною головкою та входними світловодними каналами.

Цей польовий пристрій має входні оптичні блоки інформаційного та опорного каналів, у кожному з двох складових спектрометрів є ідентично використані: свій диспергуючий елемент (дифракційна ґратка), оптично розташована між входним та вихідним коліматорами, у фокальних площинах яких відповідно розташовані: своя входна щілина та свій фотоприймальний блок з лінійчатим набором дискретних чутливих елементів. Обидва фотоприймальні блоки електрично пов'язані з електронними блоками обробки та збереження результатів вимірювань.

Апертурний кут робочого каналу -  $25^\circ$ . Робочий спектральний діапазон - 360-1100 нм. Спектральна розрізненість  $\delta\lambda = 3,3\text{ нм/піксель}$ .

Проте, вказаний прототип має такі недоліки:

1. Спектрометр моделі HandySpec® Field Feldspektrometer фірми tec 5 AG виконаний на базі двох спектрометрів Zeiss MMS 1, кожний з яких (як окремий засіб вимірювання) має свою апаратну похибку вимірювань. Тому при корекції інформаційного сигналу додаткова похибка вноситься у результат вимірювання.

2. Спектрометр моделі HandySpec® Field Feldspektrometer фірми tec 5 AG не дає можливості одержувати достовірні значення коефіцієнтів відбиття при значній зміні кута падіння освітлюючого потоку (зенітних кутах Сонця) та зміні колірної температури джерела освітлення, оскільки існує нелінійність закону передачі інформації в площину входної щілини.

3. Спектрометр моделі HandySpec® Field Feldspektrometer фірми tec 5 AG хоча і має поле зору вхідного об'єктиву  $25^\circ$ , але поле зору сенсора у площині об'єкту вимірювання формується у вигляді вузького прямокутника з довжиною набагато більшою, ніж його ширина і таким чином кут  $25^\circ$  - залишається лише в одній проекції. Це створює незручності при вимірюваннях і значно знижує площу оцінювання, що знижує ступінь усереднення вимірюваних величин у рослинному покриві, які варіюють завдяки фактору біорізноманіття.

4. Спектрометр моделі HandySpec® Field Feldspektrometer фірми tec 5 AG має роздільну здатність  $\delta\lambda = 3,3\text{нм/піксель}$ , що може заважати при використанні методів із застосуванням деривативних вегетаційних індексів рослинності.

5. У спектрометрі моделі HandySpec® Field Feldspektrometer фірми tec 5 AG відсутній візуальний канал (видошукач) для наведення та визначення границь об'єктів вимірювання.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення пристрою для оптичної спектрометрії рослинності (рослинного покриття Землі) шляхом введення нових елементів і нових зв'язків між складовими елементами пристрою, що за рахунок підвищення достовірності і стійкості вимірювань спектрів відбиття рослинності в натуральних умовах при варіюючих рівнях освітленості з різноколірною температурою при різних зенітних кутах Сонця забезпечує можливість реєстрації спектрів відбиття рослинності у форматі коефіцієнтів відбиття при змінах освітленості в натуральних умовах.

Поставлена задача вирішується тим, що в польовий спектрометр (фіг. 1), який містить вхідні оптичні блоки інформаційного 1 та опорного 2 каналів, диспергуючий елемент (дифракційна ґратка) 3, який просторово, вздовж оптичної осі приладу, розташований між вхідним 4 та вихідним 5 коліматорами, у фокальних площинах яких відповідно розташовані вхідна щілина 6 (перша 6А та друга 6Б її частини) та фотоприймальний блок 7, який електрично паралельно зв'язаний з електронними блоками обробки інформації 8 та збереження результатів вимірювань (електронна пам'ять) 9, введений оптичний блок візирного каналу (видошукача) 10, при цьому вхідний оптичний блок інформаційного каналу 1 об'єднаний з вхідним коліматором 4, а диспергуючий елемент 3 та фотоприймальний блок 7 у вигляді фоточутливої матриці, є спільними для обох каналів.

Вхідний 4 та вихідний 5 коліматори виконані у вигляді сферичних дзеркал.

Перед вхідною щілиною 6 знаходиться роздільний оптичний елемент 11 (поворотна призма), який розділяє щілину 6 на дві частини - першу 6А і другу - 6Б.

Оптичний блок опорного каналу 2 послідовно пов'язаний через першу частину 6А вхідної щілини 6, вхідний коліматор 4, диспергуючий елемент 3 та вихідний коліматор 5 з фотоприймальним блоком 7.

Оптичний блок інформаційного каналу 1 послідовно пов'язаний через другу частину 6Б вхідної щілини 6, вхідний коліматор 4, диспергуючий елемент 3 та вихідний коліматор 5 з фотоприймальним блоком 7.

Диспергуючий елемент 3 виготовлений у вигляді нестандартної дифракційної ґратки з максимальною дифракційною ефективністю у діапазоні довжини хвиль  $\Delta\lambda = 650 - 725\text{ нм}$ .

Оптичний блок опорного каналу 2 містить деталь 12, яка виконана з оптичного матеріалу з високим коефіцієнтом дифузного розсіювання. Робоча поверхня деталі 12 оптично пов'язана як із джерелом освітлення у натуральних умовах, так і з верхньою частиною фотоприймального блока 7.

Крім цього, польовий спектрометр має додаткові датчики: для вимірювання освітленості 13, температури 14 та для визначення географічних координат місцезнаходження спектрометра (GPS - приймач) 15. Електронний блок обробки інформації 8 має RTC-годинник 16 (годинник реального часу з календарем). Всі ці блоки паралельно з'єднані з електронними блоками обробки інформації 8 та збереження результатів вимірювань 9.

Крім цього, спектрометр містить оптичний блок візирного каналу (видошукача) 10, який з'єднаний з робочим полем пристрою і призначений для наведення на об'єкт вимірювання та уточнення границь зони дослідження.

Польовий спектрометр працює таким чином.

Джерело освітлення одночасно однаково освітлює як об'єкт вимірювання, так і сам польовий спектрометр. Величину освітленості реєструє датчик 13, електричний сигнал з якого надходить в блок обробки інформації 8 і використовується як для документування результатів вимірювання, так і для управління величиною експозиції об'єкта вимірювання.

Світловий потік, що відбивається від об'єкту вимірювання (інформаційний сигнал) через оптичний блок вхідного каналу 1, та сонячне світло, що надходить через оптичний блок опорного сигналу 2, попадають відповідно на другу 6Б та на першу 6А частини вхідної щілини 6 польового спектрометра. Після проходження через щілину 6 та вхідний коліматор 4 ці два

розділені у просторі світлові пучки проміння паралельними потоками попадають на дифракційну ґратку 3. Далі зображення розкладених у спектр двох світлових потоків формуються вихідним коліматором 5 у площині матричного фотоприймального блока 7.

5 Фотоприймальний блок 7 у кожному своєму пікселі трансформує світлові сигнали в електронні. Останні, після аналого-цифрового перетворення разом із даними, що додатково надходять від датчиків 13-16 (які вимірюють відповідно освітленість, температуру оточуючого середовища, а також фіксують географічні координати місця та час проведення вимірювання) проходять обробку за необхідними алгоритмами в електронному блоці 8.

10 На виході електронного блока обробки інформації 8 формується і запам'ятовується електронною пам'яттю 9 єдина реєстрограма, яка містить в собі всі необхідні параметри як про об'єкт досліджень, так і про час, географічні координати (місцеположення) приладу та умови досліджень (зовнішню температуру та освітленість).

15 Виготовлення диспергуючого елемента у вигляді нестандартної дифракційної ґратки з максимальною дифракційною ефективністю у діапазоні довжини хвиль  $\Delta\lambda = 650 - 725$  нм, дозволяє реєстрацію коефіцієнта відбиття рослинності, який має мінімум в області так званого "червоного краю", виконувати з максимально можливою достовірністю, що також важливо для реалізації алгоритму розрахунку вмісту хлорофілу у рослинах із застосуванням деривативного вегетаційного індексу, що значно забезпечує розширення функціональних властивостей пристрою.

20 Виконання вхідного каналу шляхом поєднання вхідного коліматора та оптичного блока вхідного каналу спектрометра, дозволяє сформувати поле зору інформаційного каналу пристрою у площині об'єкта вимірювання у вигляді, зручному для вимірювання, у тому числі, забезпечує отримання поля зору у формі квадрату розміром  $0,4 \times 0,4$  м при розміщенні пристрою на висоті 1,5 м над поверхнею землі, що підвищує достовірність та стійкість вимірювання 25 спектрів відбиття рослинності і робить пристрій зручним та надійним в користуванні.

Виконання єдиного диспергуючого блока двоканального спектрального пристрою для реалізації високої роздільної спектральної здатності  $\delta\lambda$ , у діапазоні  $\Delta\lambda = 500 - 800$  нм шляхом застосування спеціалізованої дифракційної ґратки та конструкції вхідного оптичного блока у поєднанні з необхідними параметрами вхідної щілини, вхідного та вихідного коліматорів, 30 забезпечує достовірність та стійкість вимірювання спектрів відбиття рослинності, спектральне розділення  $\delta\lambda \leq 1,8$  нм у робочому спектральному діапазоні, яке необхідне для реєстрації спектрів відбиття рослинності у форматі коефіцієнта відбиття при змінах освітленості в натуральних умовах, а також зменшує собівартість самого пристрою.

Виконання єдиного приймально-реєструючого блока для двоканального спектрального 35 пристрою дозволяє здійснити одночасний прийом сигналів по інформаційному та опорному каналах, а також характеризується широким динамічним діапазоном, що здійснено шляхом застосування спеціальних способів організації прийому та накопичення сигналів (з урахуванням величини освітленості і її динамічної зміни). Це забезпечує можливість реєстрації спектрів відбиття рослинності у форматі коефіцієнтів відбиття при змінах освітленості в натуральних 40 умовах вимірювань в діапазоні 10-100 тис. люкс.

Польовий спектрометр може бути затребуваний підприємствами АПК України, оскільки в державі не виробляється спектральна апаратура даного призначення. Пристрій може представляти комерційний інтерес для країн, які проводять космічні дослідження рослинного покриву Землі. Серійний випуск вітчизняних польових спектрометрів дозволить досягти економії 45 затрат, які йдуть на закупку дорогої імпоротної апаратури.

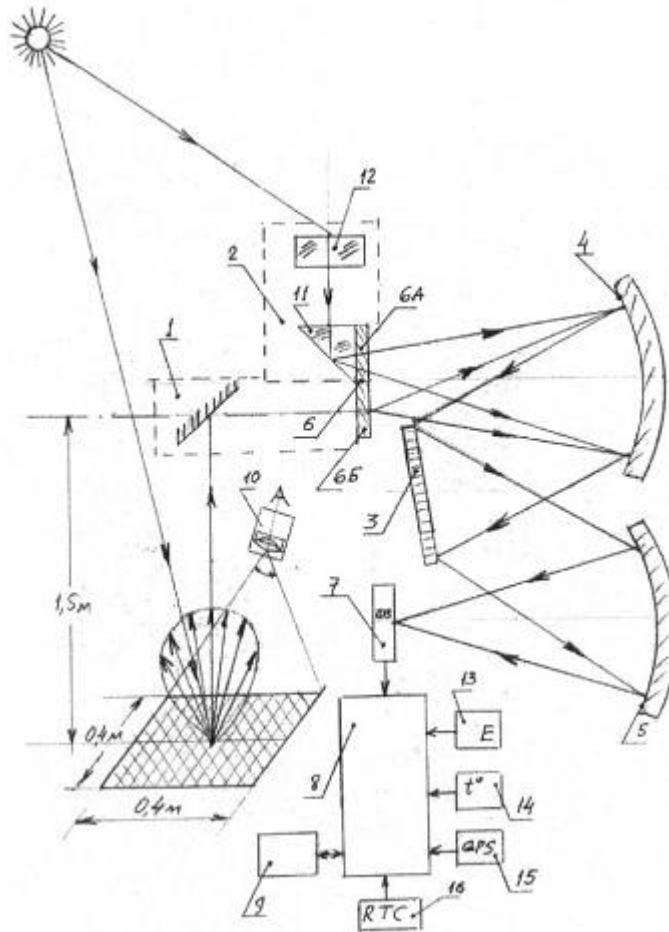
Джерела інформації:

1. (режим доступу - <http://www.apogeeinstruments.com>)
2. (режим доступу - <http://www.spectravista.com>)
3. (режим доступу - <http://www.photonics.com/Article.aspx>)
- 50 4. (режим доступу - [http://www.tec5.de/deutsch/products/spectr\\_systems/handyspec/index.html](http://www.tec5.de/deutsch/products/spectr_systems/handyspec/index.html)).

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

55 Польовий спектрометр для тестування стану рослинності, що містить вхідні оптичні блоки інформаційного та опорного каналів, диспергуючий елемент між вхідним та вихідним коліматорами, у фокальних площинах відповідно розташовані вхідна та вихідна щілина та фотоприймальний блок з набором дискретних чутливих елементів, електрично зв'язаний з блоком обробки та блоком запису і збереження інформації, який **відрізняється** тим, що вхідний оптичний блок інформаційного каналу об'єднаний з вхідним коліматором, диспергуючий 60 елемент, який має вигляд нестандартної дифракційної ґратки, та фотоприймальний блок, який

- виконаний у вигляді фоточутливої матриці, є спільними для інформаційного та опорного каналів, частина матриці оптично пов'язана через верхню частину диспергуючого елемента з опорним каналом, що містить оптичну деталь з високим коефіцієнтом дифузного розсіювання, а інша частина матриці зв'язана з інформаційним каналом, крім цього, він містить візирний канал (видошукач), що з'єднаний з робочим полем зору пристрою.
- 5



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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