



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 116724

(13) U

(51) МПК

G01S 13/66 (2006.01)

G01S 17/66 (2006.01)

G06T 7/60 (2017.01)

H04N 5/30 (2006.01)

H04N 101/00 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

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

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2017 03116</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Ковальчук Олександр Миколайович (UA), Шульга Олександр Васильович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>03.04.2017</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ "МИКОЛАЇВСЬКА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ", вул. Обсерваторна, 1, м. Миколаїв, 54030 (UA), Ковальчук Олександр Миколайович, вул. 8-Березня, 2, кв. 8, м. Миколаїв, 54030 (UA), Шульга Олександр Васильович, вул. Обсерваторна, 1, корпус 5, кв. 2, м. Миколаїв, 54030 (UA)</b>
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.05.2017</b>	<b>(74)</b> Представник: <b>Могилевський Валентин Михайлович, реєстр. №13</b>
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.05.2017, Бюл.№ 10</b>	

**(54) СПОСІБ СПОСТЕРЕЖЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ****(57) Реферат:**

Спосіб спостереження космічних об'єктів, при якому за допомогою телескопа, оснащеного камерою з ПЗЗ-матрицею, одержують зображення космічних об'єктів і зірок, що задають опорну систему координат. Спосіб здійснюють на нерухомому телескопі, оснащеному автоматизованою системою приводів по осях, і камерою з ПЗЗ-матрицею, установленою на поворотній платформі також з автоматичним приводом і системою контролю кута повороту.

UA 116724 U



Корисна модель належить до галузі спостережень космічних об'єктів з одержанням їх зображень за допомогою телескопів, оснащених камерою з ПЗЗ-матрицею. ПЗЗ-матриця (скор. від "прилад із зарядовим зв'язком") або CCD-матриця (скор. від англ. CCD, "charge-coupled device") - спеціалізована аналогова інтегральна мікросхема, що складається зі світлочутливих елементів, виконана на основі кремнію, яка використовує технологію ПЗЗ-приладів із зарядовим зв'язком.

З моменту створення ПЗЗ зробили справжній переворот у спостережній астрономії, їхнє застосування дозволило встановити новий стандарт точності та достовірності одержуваних даних. Сьогодні астрономи практично завершили перехід від фотографічних емульсій до приймачів світла на основі ПЗЗ-матриць - цими приладами оснащені всі професійні обсерваторії, як наземні, так і космічні.

Відомі способи спостереження космічних об'єктів з використанням ПЗЗ-матриць [1, 2]

Найпоширенішими в сучасній астрономії є повнокадрові ПЗЗ-матриці, оскільки вони мають максимальні квантову ефективність і динамічний діапазон [3].

Камери з повнокадровими ПЗЗ-матрицями мають ряд специфічних режимів, які активно використовуються в астрономічних спостереженнях:

1. Стандартний кадровий режим.

2. Швидке очищення ПЗЗ-матриці від раніше накопиченого заряду. Застосування режиму швидкого очищення гарантує відсутність у поточному кадрі заряду, що залишився від попереднього кадра.

3. Архітектура повнокадрових ПЗЗ-матриць дозволяє реалізувати властивий тільки їм режим формування зображення - синхронне перенесення заряду - СПЗ [5]. В цьому режимі зображення об'єктів, яке рухається по матриці, формується в процесі синхронного перенесення заряду, тоді як на нерухомій ПЗЗ-матриці, яка працює в кадровому режимі, зображення, що рухається, "розмазується". СПЗ одержало велике розповсюдження при спостереженнях на меридіанних колах і телескопах, які здійснюють спостереження в нерухомому стані [6, 7, 8].

4. Бінування, при якому здійснюється процес об'єднання зарядових пакетів прилеглих комірок ПЗЗ перед перетворенням сигналу у вихідному пристрої. Після об'єднання вихідний сигнал являє собою суму сигналів декількох комірок, званих суперкоміркою. Бінування можна робити як по горизонталі, так і по вертикалі. Оскільки операція бінування виконується над зарядовими пакетами, а не над перетвореним у вихідному пристрої сигналом, додаткового шуму не вноситься. Отже ця операція дозволяє поліпшити відношення сигнал/шум на виході ПЗЗ, що, правда, за рахунок втрати просторового розділення. Режим бінування використовується в способі, розкритому в [4].

Головна проблема при спостереженнях об'єктів, вектор швидкості яких у полі зору телескопа відрізняється від швидкості руху зображень зірок, полягає в тому, що зображення об'єктів, які становлять інтерес, розмазуються по полю матриці, і по суті перетворюються на штрихи деякої інтенсивності та довжини. При класичних способах спостережень (кадровий, СПЗ) зазначений ефект призводить до різкого зниження точності визначення координат, а то і повної неможливості спостережень, тобто об'єкт стає практично невидимим.

Задача корисної моделі є створення способу спостереження космічних об'єктів, який дозволяє одержувати точкові зображення космічних об'єктів будь-якої яскравості, які рухаються з різною швидкістю та у довільному напрямку, для підвищення точності визначення їх координат. Ще однією задачею корисної моделі є можливість використання способу на астрономічних інструментах з невеликою апертурою, що неможливо при класичних (кадрових, СПЗ) спостереженнях, а при використанні на великих телескопах значне збільшення проникної здатності, а отже числа і класу (штучні супутники Землі, астероїди) спостережуваних об'єктів.

В способі спостереження космічних об'єктів, при якому за допомогою телескопа, оснащеного камерою з ПЗЗ-матрицею, одержують зображення космічних об'єктів і зірок, що задають опорну систему координат, поставлена задача вирішується тим, що

спосіб здійснюють на нерухомому телескопі, оснащеному автоматизованою системою приводів по осях, і камерою з ПЗЗ-матрицею, установленою на поворотній платформі також з автоматичним приводом і системою контролю кута повороту, при цьому спостереження здійснюють у три етапи:

на першому етапі проводять спостереження опорних зірок, при цьому, а) якщо в точці спостереження є достатня кількість опорних зірок і можна одержати хорошу точність на короткій експозиції, використовують кадровий режим у тому ж положенні камери, що і при спостереженні космічного об'єкта на другому етапі,

б) якщо умова а) не виконується, то для спостереження опорних зірок використовують синхронне перенесення заряду (СПЗ) з розворотом камери у положення для спостереження зірок,

в) якщо сумарна експозиція СПЗ за б) виявляється занадто великою, використовують режим скороченого синхронного перенесення заряду (ССПЗ),

на другому етапі за допомогою поворотної платформи повертають камеру таким чином, щоб зображення об'єкта рухалося вздовж стовпця матриці ПЗЗ-камери, а швидкість перенесення заряду встановлюють такою, що вона дорівнює швидкості руху зображення,

на третьому етапі проводять спостереження, тотожні тим, які проводилися на першому етапі,

при цьому всі спостережні процедури здійснюють з фіксацією моментів точного часу та кутів повороту камери для наступного обчислення координат космічного об'єкта в системі опорного каталогу на момент спостереження.

На другому етапі, якщо сумарна експозиція СПЗ виявляється занадто великою, застосовують режим ССПЗ.

Суть способу, згідно з корисною моделлю, полягає в тому, щоб рознести в часі спостереження опорних зірок і КО, а також використати для їх спостережень найбільш оптимальний режим роботи ПЗЗ-камери, що дозволяє одержати точкове зображення всіх спостережуваних об'єктів.

Нижче описано один з варіантів способу, реалізований у НДІ "Миколаївська астрономічна обсерваторія" з посиланнями на графічні зображення, на яких:

Фіг. 1 - одержання зображення КО способом, що заявляється;

Фіг. 2 - кадр, формований при здійсненні способу, що заявляється;

Фіг. 3 - точність спостережень астероїдів, що зближуються із Землею (АЗЗ) в умовах низької елонгації;

Фіг. 4 - точність спостережень способом згідно з винаходом у відношенні інших обсерваторій світу.

Спосіб спостереження, згідно з корисною моделлю, здійснювався на нерухомому телескопі діаметром 0,5 м і фокусною відстанню 3 м, оснащеному повнокадровою ПЗЗ-камерою, установленною на поворотній платформі (ПП).

На першому етапі проводили спостереження опорних зірок у режимі СПЗ пропорційно швидкості добового руху залежно від схилення, при цьому регістр ПЗЗ-матриці встановлювали перпендикулярно напрямку руху зірок.

На другому етапі за допомогою поворотної платформи камеру повернули так, щоб зображення об'єкта рухалося вздовж стовпця матриці ПЗЗ-камери, а швидкість перенесення заряду встановили такою, що вона дорівнювала швидкості руху зображення.

На третьому етапі проводили спостереження, тотожні першому.

Оскільки режим СПЗ, використовуваний як для одержання зображень зірок, так і зображень КО, за певних умов має занадто велику експозицію, то застосовували режим скороченого синхронного перенесення заряду (ССПЗ), що полягає в комбінуванні процесів синхронного перенесення заряду та швидкого читання. Для цього задавали час експозиції, включали режим СПЗ і після спливання часу експозиції робили швидке читання всього зображення з матриці (як при читанні звичайного кадра).

Одержання зображення КО із застосуванням ПП і повнокадрової ПЗЗ-камери та з використанням режиму ССПЗ представлено на фіг. 1, де

а) - кадровий режим без повороту камери,

б) - кадровий режим з поворотом камери,

в) - з використанням режиму ССПЗ.

Формування ПЗЗ кадра з використанням ССПЗ показане на фіг. 2.

Як видно на фіг. 2, в результаті використання режиму ССПЗ формується кадр з шириною, яка більше ширини ПЗЗ-матриці на кількість рядків, яка була зчитана в режимі СПЗ. Різні рядки мають різний час експозиції: протягом перших  $N$  рядків експозиція рядка зростає від 0 до заданого часу експозиції  $E$ , протягом останніх  $N$  рядків експозиція рядка навпаки падає. Перші і останні  $N$  рядків отриманого зображення відкидали і одержували ширину корисного зображення  $N_{\text{frame}}$  менше ширини ПЗЗ-матриці  $N_{\text{CCD}}$  на  $2N$  рядків.

Всі спостережні процедури здійснювали з фіксацією моментів точного часу та кутів повороту камери для наступного обчислення координат космічного об'єкта в системі опорного каталогу на момент спостереження.

Спосіб, згідно з корисною моделлю, здійснювали для спостереження космічних об'єктів - малорозмірних астероїдів, що зближуються із Землею (АЗЗ).

Малорозмірні АЗЗ можуть являти загрозу для населених пунктів, що підтверджено на прикладі падіння Челябінського метеорита, в результаті якого багато людей одержали травми, були пошкоджені будинки. Малорозмірні АЗЗ (діаметром менше 140 м) є найменш вивченими малими тілами Сонячної системи, в силу того що можуть бути зареєстровані тільки в періоди зближення із Землею. По даним Міжнародного астрономічного союзу на жовтень 2013 р. знайдено:

861 АЗЗ діаметром більше 1000 м, включаючи 155 потенційно небезпечних астероїдів (ПНА) (передбачувана кількість АЗЗ такого розміру -  $966 \pm 45$ );

5784 АЗЗ діаметром більше 140 м, включаючи 1424 ПНА (передбачувана кількість - 15000);

6448 АЗЗ діаметром більше 100 м (передбачувана кількість - 20000);

8398 АЗЗ діаметром більше 40 м (передбачувана кількість - 300000);

Найчастіше малорозмірні АЗЗ вважаються загубленими, тому що мала дуга спостережень не дозволяє обчислити орбіти з необхідною точністю. Спостереження АЗЗ в умовах малої сонячної елонгації необхідні для збільшення дуги спостережень і, як наслідок, поліпшення точності визначення елементів орбіт АЗЗ.

Заявленим способом були проведені спостереження 15 АЗЗ розміром до 140 м, 14 з них спостерігалися при зближенні із Землею на відстань менше 0,05 а.о. (астрономічних одиниць). АЗЗ 15-17 зоряної величини спостерігалися з експозицією 90 с, АЗЗ 17-18,5 зоряної величини з експозицією 120 с. В табл. 1 представлені характеристики АЗЗ на момент спостережень і точність отриманих положень.

Таблиця 1

Розміри, умови і точність спостережень малорозмірних АЗЗ

№	Номер	Діаметр, км	N	N2 %	Delta а.о.	Mag	App. Motion "/хв	(O-C)"	
								RA	DEC
1	:000WL63	0,02-0,04	263	2,7	0,18	17,8	4,7	0,13	0,22
2	:011JY1	0,03-0,08	106	6,6	0,03	18,5	16,0	0,01	0,04
3	:012EO8	0,04-0,09	119	5,0	0,01	17,1	82,8	0,11	0,02
4	:012FQ35	0,05-0,12	170	4,7	0,04	18,3	15,5	0,21	0,19
5	:012HM	0,04-0,10	521	3,6	0,01	15,7	46,3	0,18	-0,1
6	:012HP13	0,04-0,09	195	10,3	0,01	15,8	174,7	0,33	0,24
7	:012LJ	0,02-0,05	53	13,2	0,005	18,2	306,3	-0,03	0,09
8	:012TC4	0,01-0,03	301	4,0	0,001	16,5	19,1	0,15	-0,05
9	:012XH112	0,01-0,02	48	41,7	0,01	17,2	90,4	0,00	0,05
10	:013GK69	0,05-0,11	65	4,6	0,04	18,1	20,5	0,15	-0,01
11	:013XY8	0,03-0,06	248	8,5	0,01	14,9	80,1	-0,35	0,28
12	:014FD	0,02-0,05	78	11,5	0,01	18,1	55,6	-0,33	-0,67
13	:014FO38	0,01-0,03	79	5,1	0,01	18,0	58,1	0,42	0,53
14	:014FR52	0,05-0,11	79	7,6	0,05	18,4	9,4	0,08	-0,3
15	:014HV2	0,01-0,04	70	12,9	0,02	18,6	8,1	-0,11	0,28

де: N - кількість спостережень, N2 - кількість спостережень в %, Delta а.о. - відстань в астрономічних одиницях, Mag - зоряна величина, App. Motion 7 хв - видимий рух у дугових секундах за хвилину, (O-C)" - нев'язка (спостереження-обчислення), RA - пряме сходження, DEC - схилення

Як видно з таблиці 1, всі АЗЗ спостерігалися зі швидкістю видимого руху більше 57хв, при цьому середнє (O-C) спостережень склало по прямому сходженню 0,06", по схиленню - 0,05".

Ставилась також задача виявлення та супроводження АЗЗ в умовах малої сонячної елонгації (менше 90°). Пошук АЗЗ в зоні малих елонгацій заплановано в космічних місіях Gaia, Near Earth Object Surveillance Satellite. Всього заявленим способом на малих кутах сонячної елонгації (менше 90°) проводилися спостереження 8 АЗЗ, з них 3 - при елонгації менше 45°. Умови спостережень наведені в табл. 2.

Таблица 2

## Спостереження АЗЗ на малих кутах сонячної елонгації

Номер	Сонячна елонгація	Середнє відмінювання	Середня mag	Середня V ["/хв]
3199	36	38° 58' 38"	17,6	2,5
1999HF1	43	56° 18' 46"	16,5	4,9
2014HQ124	45	61° 48' 10"	17	18,6
2001PJ9	54	50° 45' 54"	17,6	18,3
2011WV134	58	65° 26' 28"	16,6	9,7
2002GT	59	78° 26' 04"	18	4,6
1999KW4	67	57° 33' 53"	17,6	5,3
2012LJ	67	73° 42' 05"	17,6	346,4

де: Mag - зоряна величина, V ["/хв] - видима швидкість в дугових секундах за хвилину

Результати спостережень АЗЗ в умовах малої сонячної елонгації порівнювалися з результатами подібних спостережень іншими обсерваторіями, отриманими з Міжнародного планетного центру (МПЦ). Залежність нев'язок (О-С) по прямому сходженню від (О-С) і по схилянню наведена на фіг. 4, в якій наведена точність спостережень АЗЗ в умовах низької елонгації: ° - способом згідно з винаходом, ж - способами інших обсерваторій. На таблиці (О-С) Dec" - нев'язка по схилянню, (О-С) Ra" - нев'язка по прямому сходженню.

Як видно на фіг. 3, нев'язки спостережень за способом, згідно з корисною моделлю, знаходяться у межах  $\pm 1''$  і рівномірно розподілені біля нуля, що говорить про відсутність систематичних помилок. У порівнянні з іншими обсерваторіями спосіб згідно з корисною моделлю, дозволяє одержувати положення АЗЗ, спостережуваних в умовах малої сонячної елонгації, з високою точністю.

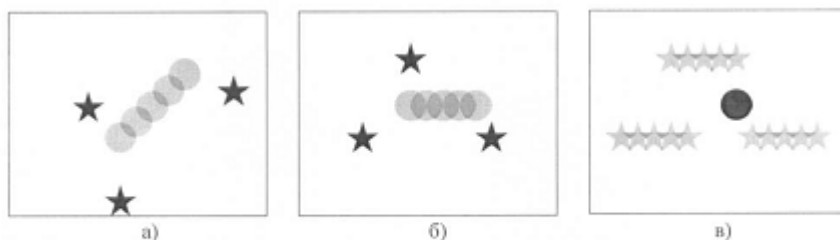
Для визначення ефективності спостережень ПНА та АЗЗ був проведений аналіз світових даних, представлених у МПЦ. Точність спостережень за способом, згідно з корисною моделлю, у відношенні інших обсерваторій світу представлена на фіг. 4, де СКП - середньоквадратична помилка у хвилинах, mag - зоряна величина, All\_Ra - точність по прямому сходженню, забезпечувана іншими способами, All\_Dec - точність по схилянню, забезпечувана іншими способами, NAO\_Ra - точність по прямому сходженню, забезпечувана заявленим способом, NAO\_Dec - точність по прямому сходженню, забезпечувана заявленим способом.

## Список цитованих документів

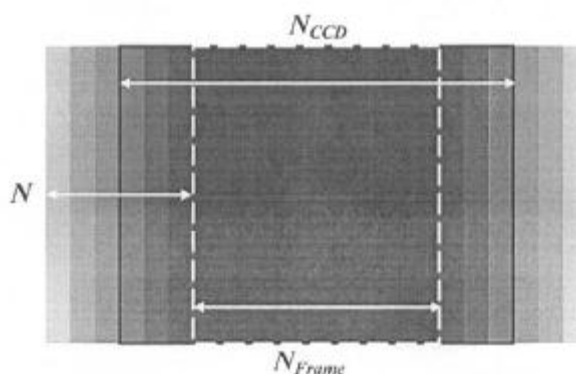
1. Патент RU 2319172, МПК G01S 13/66, G01S 17/66, G05D 3/12, опубл. 27.01.2014. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА.
2. Патент RU 2597028, МПК G01C 21/02, опубл. 10.09.2016. СПОСОБ ОБЗОРА КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА МЕЖДУ СОЛНЦЕМ И ЗЕМЛЁЙ, НЕДОСТУПНОГО ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ, НАХОДЯЩИМИСЯ НА ЗЕМЛЕ И НА ОКОЛОЗЕМНЫХ ОРБИТАХ, ИЗ-ЗА ИХ ЗАСВЕТКИ СОЛНЦЕМ, С КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, РАЗМЕЩЁННОГО НА ОРБИТЕ ЗЕМЛИ НА ПОСТОЯННОМ РАССТОЯНИИ ОТ ЗЕМЛИ.
3. Mclean I.S. Electronic Imaging in Astronomy. Detectors and Instrumentation (Second Edition) / Mclean I.S. - Berlin: Springer-Praxis, 2008. - 592 p.
4. Патент RU 2574522, МПК G06T 7/60, H04N 5/30, опубл. 10.02.2016. СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ МАЛОКОНТРАСТНЫХ ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ.
5. Rabinowitz D. Drift Scanning (Time-Delay Integration) / Rabinowitz D. // Michelson Summer Workshop, Caltech. - 2005.
6. Fogh Olsen H.G. The Carlsberg automatic meridian circle and the plans for Anglo-Danish collaboration / Fogh Olsen H.G. and Helmer L // Modern Astronomi JAN coll.48. Viena. - 1978. - P. 219
7. Kuhne C Anew automatic meridian circle PMC-190 / Kuhne C. // Astron. Astrophys. - 1983. - Volume 121. - P.165-173.
8. A.N. Kovalchuk CCD Micrometer of the Mykolayiv Axial Meridian Circle / A.N. Kovalchuk, Yu.I. Protsyuk, A.V. Shulga // Astronomical & Astrophysical Transactions. - 1997. - Vol.13. - P.23.

# ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб спостереження космічних об'єктів, при якому за допомогою телескопа, оснащеного камерою з ПЗЗ-матрицею, одержують зображення космічних об'єктів і зірок, що задають опорну систему координат, який **відрізняється** тим, що спосіб здійснюють на нерухомому телескопі, оснащеному автоматизованою системою приводів по осях, і камерою з ПЗЗ-матрицею, установленою на поворотній платформі також з автоматичним приводом і системою контролю кута повороту, при цьому спостереження здійснюють у три етапи:
  - а) якщо в точці спостереження є достатня кількість опорних зірок і можна одержати хорошу точність на короткій експозиції, використовують кадровий режим у тому ж положенні камери, що і при спостереженні космічного об'єкта на другому етапі,
  - б) якщо умова а) не виконується, то для спостереження опорних зірок використовують синхронне перенесення заряду (СПЗ) з розворотом камери в положення для спостереження зірок,
  - в) якщо сумарна експозиція СПЗ за б) виявляється занадто великою, використовують режим скороченого синхронного перенесення заряду (ССПЗ),
 на другому етапі за допомогою поворотної платформи повертають камеру так, щоб зображення об'єкта рухалося вздовж стовпця матриці ПЗЗ-камери, а швидкість перенесення заряду встановлюють такою, що вона дорівнює швидкості руху зображення, на третьому етапі проводять спостереження, тотожні тим, які проводилися на першому етапі, при цьому всі спостережні процедури здійснюють з фіксацією моментів точного часу і кутів повороту камери для наступного обчислення координат космічного об'єкта в системі опорного каталогу на момент спостереження.
2. Спосіб спостереження космічних об'єктів за п. 1, який **відрізняється** тим, що на другому етапі, якщо сумарна експозиція СПЗ виявляється занадто великою, застосовують режим ССПЗ.



Фіг. 1



Фіг. 2

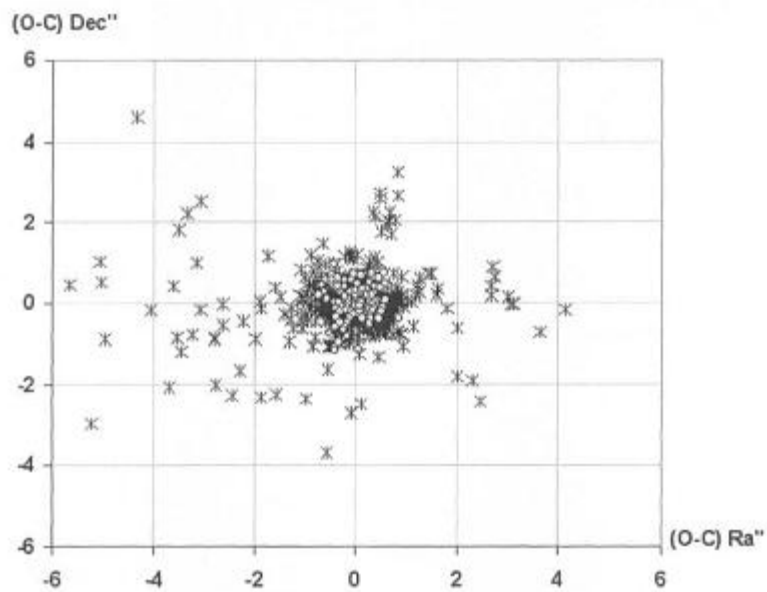


Fig. 3

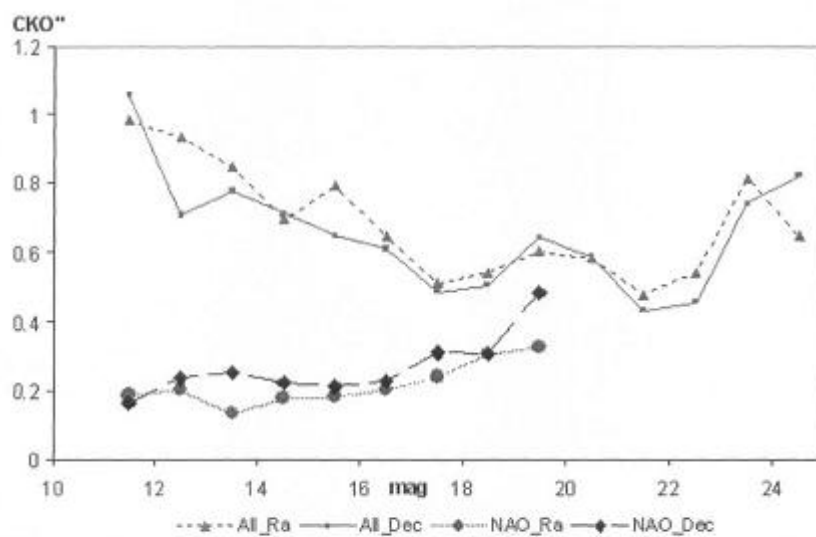


Fig. 4

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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