

УДК 520.253

П. Ф. Лазоренко¹, В. Л. Карбовський¹, О. В. Денисюк¹,
Ю. Г. Бабенко², М. І. Буромський², С. І. Касьян², О. М. Ковальчук³

¹Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
03680 Київ, вул. Академіка Заболотного 27

²Науково-дослідна лабораторія «Астрономічна обсерваторія»
Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка
04053 Київ, вул. Обсерваторна 3

³Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія»
Міністерства освіти і науки України
54030 Миколаїв, вул. Обсерваторна 1

Київський меридіанний аксіальний круг з ПЗЗ-камерою

Описуються зміни конструкції і методики спостережень на Київському меридіанному аксіальному крузі (МАК) після переходу до спостережень з ПЗЗ-камерою. Матриця камери містить 1040×1160 елементів. Спостереження ведуться у режимі синхронного накопичення сигналу з ефективним часом експозиції 108 с для екваторіальних зірок. Фотометрична система МАК відповідає стандартній V-смугі Джонсона, гранична зоряна величина $V = 17^m$. За результатами спостережень на МАК в 2001—2003 рр. створено ПЗЗ-каталог КМАС1, який містить положення, власні рухи та фотометричні величини B, V, R, r', J для 100 тисяч зірок у полях з об'єктами ICRF. Похибка положень та V -величин у каталозі відповідно дорівнюють 50—90 мсд та 0.1^m для зірок $V < 15^m$. Ведуться спостереження зірок в екваторіальній області неба та радіозірок з метою визначення їхніх точних положень, власних рухів та блиску. Каталоги доступні в електронному вигляді у Страсбурзькій базі даних (<ftp.cdsarc.u-strasbg.fr>) і на сайті Головної астрономічної обсерваторії (<http://www.mao.kiev.ua>).

КИЕВСКИЙ МЕРИДИАННЫЙ АКСИАЛЬНЫЙ КРУГ С ПЗС-КАМЕРОЙ, Лазоренко П. Ф., Карбовский В. Л., Денисюк Е. В., Бабенко Ю. Г., Буромский Н. И., Касьян С. И., Ковальчук А. Н. — Описываются изменения конструкции и методики наблюдений на Киевском меридианном аксиальном круге (МАК) после перехода к наблюдениям с ПЗС-камерой. Матрица камеры содержит 1040×1160 элементов. Наблюдения выполняются в режиме синхронного накопления сигнала с эффективным временем экспозиции 108 с для экваториальных звезд. Фотометрическая система МАК соответствует стандартной V полосе Джонсона, предельная звездная величина $V = 17^m$. По итогам наблюдений на МАК в 2001—2003 гг. получен ПЗС каталог КМАС1, содержащий положения, собственные движения и фотометрические величины B, V, R, r', J для

100 тисяч звезд в полях с объектами ICRF. Ошибка положений и V величин каталога равны соответственно 50—90 мсд и 0.1^m для звезд $V < 15^m$. Ведутся наблюдения звезд в экваториальной области неба и радиозвезд с целью определения их точных положений, собственных движений и блеска.

KYIV MERIDIAN AXIAL CIRCLE WITH CCD CAMERA, by Lazorenko P., Karbovsky V., Denisjuk O., Babenko Yu., Buromsky M., Kasjan S., Kovaltchuk O. — We describe the present performance and observation technique of the Kyiv meridian axial circle (MAC) of the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Astronomical Observatory of the Kyiv University which is equipped with a 1040×1160 CCD camera. Observations are performed in the drift-scan mode (time-delay imaging) with an effective exposure time of 108 s for equatorial stars. The MAC photometric system reproduces the standard V system; the limiting magnitude is $V = 17.0$. The first CCD catalogue obtained with the MAC includes data on positions, proper motions, and photometric B, V, R, r', J values for 100 thousand stars in fields with ICRF objects. The external accuracy of one catalogue position is 50—90 mas for the stars with $V < 15$ mag and the average photometric error is better than 0.1 mag for the stars down to 16 mag. Observations of stars near equator are now in progress.

ВСТУП

Успішне завершення космічної місії HIPPARCOS, отримання високоточних каталогів HIPPARCOS/«Tycho» [13], які є первинною реалізацією міжнародної опорної системи координат (ICRF) в оптичному діапазоні, істотно змінили ситуацію у спостережній астрономії. Зокрема, змінилася роль наземної меридіанної астрометрії, основним завданням якої стає підтримка і поширення системи ICRF/HIPPARCOS на слабші об'єкти. На зміну абсолютному методу визначення координат приходять диференційні спостереження слабких зірок, чому сприяє застосування високочутливих ПЗЗ-приймачів випромінювання.

Застосування ПЗЗ-матриць замість фотоелектричних приймачів світла дало можливість виконувати масові спостереження досить слабких небесних об'єктів на меридіанних телескопах з невеликою вхідною апертурою при

Таблиця 1. Діючі меридіанні інструменти з ПЗЗ-камерами

Телескоп	Місце розташування	Розмір ПЗЗ-матриці (НхV елементів)	Фотометрична смуга/проникна здатність	Рік завершення модернізації	Літературне джерело
FASTT ($D = 20$ см, $F = 2$ м)	USNO, Флагстафф, США	2048×2048	$R/17.5^m$	1996	[11]
САМС ($D = 17.8$ см, $F = 2.665$ м)	Ла Пальма, Канари	2060×2048	$R/17^m$	1999	[5]
МС ($D = 19$ см, $F = 2.370$ м)	Бордо, Франція	1024×1024	$R/16^m$	1996	[14]
Valinhos МС ($D = 19$ см, $F = 2.576$ м)	Сан Пауло, Бразилія	512×512	$V/15^m$	1995	[14]
РМС ($D = 19$ см, $F = 2.576$ м)	НАОJ, Токіо, Японія	1242×1152	$R/16^m$	1993	[15]
АМК ($D = 18$ см, $F = 2.480$ м)	Миколаїв, Україна	1040×1160	$V/15^m$	1996	[1]
МАК ($D = 18$ см, $F = 2.335$ м)	Київ, Україна	1040×1160	$V/17^m$	2001	[6]

Таблиця 2. Основні характеристики київського меридіанного аксіального круга

Вхідний отвір	180 мм
Фокусна відстань	2335 мм
Фотометрична смуга	V (Johnson)
Масштаб	$1.394''/\text{пкл}$
Гранична зоряна величина	$V = 17^m$
Режими роботи ПЗЗ-камери	
Кадровий	
Розмір кадру	$24.2' \times 28'$
Експозиція	0.01--1000 с
Синхронне накопичення	
Розмір скану по схиленню	$24.2'$
Тривалість експозиції зірок	$108 \text{ с} \cdot \text{sec}\delta$

одночасному зменшенні похибки визначення координат і зоряних величин. Переоснащення більшості діючих меридіанних інструментів ПЗЗ-камерами відбулося 1990-х рр. (табл. 1).

В 2000—2001 рр. проведена модернізація меридіанного аксіального круга (МАК) ГАО НАН України та обсерваторії Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка; для цього на телескопі була встановлена ПЗЗ-камера, виготовлена у Миколаївській астрономічній обсерваторії. Основні характеристики Київського меридіанного аксіального круга приведені в табл. 2.

КИЇВСЬКИЙ МЕРИДІАННИЙ АКСІАЛЬНИЙ КРУГ: БУДОВА І ФУНКЦІОНУВАННЯ

Київський меридіанний аксіальний круг виготовлено за схемою горизонтального меридіанного інструмента [2]. Розташування основних оптичних, механічних та електронних вузлів телескопа МАК показано на рис. 1.

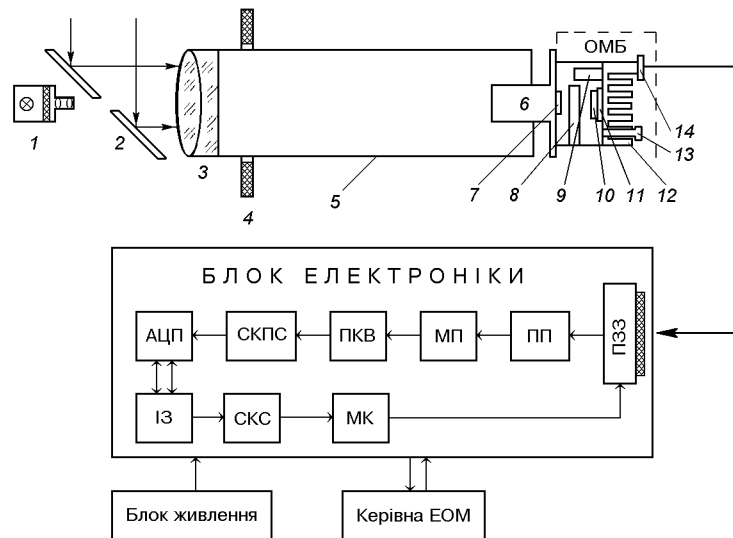


Рис. 1. Основні конструкційні вузли телескопа МАК: 1 — контрольне джерело світла, 2 — дзеркало, 3 — об'єктив, 4 — розділений круг, 5 — труба, 6 — перехідний фланець, 7 — вхідне вікно, 8 — блок фільтрів, 9 — попередній підсилювач, 10 — ПЗЗ-матриця, 11 — охолоджувач ТЕМО, 12 — радіатор, 13 — камера з силікагелем, 14 — з'єднання. До складу блоку електроніки входять: ПП — попередній підсилювач, МП — масштабний підсилювач, ПКВ — схема подвійної корельованої вибірки, СКПС — схема компенсації постійної складової, АЦП — аналого-цифровий перетворювач, ІЗ — інтерфейс зв'язку, СКС — синтезатор сигналів керування, МК — модуль керування

Труба телескопа 5 розміщена горизонтально у першому вертикалі і обертається навколо своєї осі на двох шарикопідшипниках. Перед об'єктивом 3 під кутом 45° до його оптичної осі встановлено плоске ситалове дзеркало 2, жорстко прикріплене до труби. Завдяки йому оптична вісь МАК має продовження, направлене у меридіан. В центрі дзеркала зроблено отвір діаметром 35 мм, за яким розташоване контрольне джерело світла 1 для калібровки ПЗЗ-зображень. В оригінальній конструкції МАК цей отвір використовувався для контролю параметрів телескопа за спостереженнями марки вакуумної міри. Дволінзовий об'єктив 3 ($D = 18$ см, $F = 2.335$ м) має титанову оправу і прикріплений до труби з боку діагонального дзеркала. З іншого боку до перехідного фланця 6 кріпиться оптико-механічний блок (ОМБ) камери, в якому розміщені скляні фільтри та ПЗЗ-матриця з попереднім підсилювачем. Конструкція ОМБ забезпечує виконання юстувальних переміщень матриці у трьох напрямках і її обертання навколо оптичної осі телескопа.

У камері використано ПЗЗ-матрицю з віртуальною фазою ISD017AP [6]. Матриця має 1040×1160 пкл, розмір пікселя 16×16 мкм, темновий сигнал $7\epsilon/\text{пкл}/\text{с}$, шум зчитування 18 електронів. Матриця 10 з охолоджувачем 11 виготовлені як єдиний модуль, що кріпиться до радіатора 12. Охолоджувач складається з двох каскадів напівпровідникових термоелементів Пельтьє і забезпечує різницю температури «матриця — навколишнє середовище» до 40°C . Деякі результати дослідження матриці, її основні характеристики як приладу для накопичення фотонів приведені в роботах [3, 6, 7, 12].

Сигнал з ПЗЗ-матриці надходить до попереднього підсилювача аналогового сигналу, виготовленого за схемою диференційного підсилювача з коефіцієнтом підсилення по напрузі 20 і малим рівнем власних шумів. Він змонтований на платі у металевому екрані і розміщений поблизу матриці. Сигнал з підсилювача поступає на масштабний підсилювач з програмно керованим коефіцієнтом підсилення. Схема подвійної корельованої вибірки служить для зменшення шумової складової аналогового сигналу з ПЗЗ-матриці та фіксації його амплітуди на час аналого-цифрового перетворення. Програмно керована схема компенсації постійної складової сигналу здійснює підсилення сигналу до необхідної амплітуди та компенсацію постійної складової перед його перетворенням у цифрову форму. Аналого-цифровий перетворювач здійснює перетворення аналогового сигналу в цифровий 12-бітовий код.

Інтерфейс зв'язку призначений для обміну цифровими даними між блоком електроніки та керувальним комп'ютером в обох напрямках. До складу інтерфейсу входять: вставка РІО-24Н в інформаційну шину ISA в РС/АТ, інтерфейсна плата, що розміщена безпосередньо в електронному блоці та з'єднувальний кабель між керувальною ЕОМ і блоком електроніки. Передача даних здійснюється у 8-бітному паралельному коді з швидкістю 1 Мб/с.

Модуль керування служить для формування напруг, необхідних для живлення ПЗЗ-матриці та підсилення сигналів керування до необхідного рівня. Синтезатор сигналів керування призначений для формування синхросигналів, які забезпечують функціонування камери у вибраному режимі спостережень. Під дією керуючої програми модуль генерує всі необхідні синхросигнали з потрібними фазовими та часовими характеристиками.

Сигнал з ПЗЗ-матриці після підсилення та перетворення у цифрову форму у блоці електроніки передається на керуючий комп'ютер. Запис даних на жорсткий диск відбувається в залежності від програми спостережень або з попереднім створенням динамічної буферної структури в ОЗУ з

подальшим переписом даних на диск після завершення сканування, або безпосередньо на диск. Перший варіант накладає обмеження на максимальну довжину скану, що визначається розміром ОЗУ.

РЕЖИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Можливі два режими роботи ПЗЗ-камери. У першому, кадровому режимі під час експозиції здійснюється накопичення сигналу (зарядових пакетів) одночасно у всіх пікселях матриці, а після завершення експозиції заряди швидко зчитуються. У зв'язку з відсутністю на МАК механічних засобів відслідковування добового руху зір (гідування) цей режим може застосовуватися лише для спостереження малорухомих об'єктів та дослідження матриці. Кутовий розмір знімка $24.2' \times 28'$.

Для спостережень зірок використовується другий режим роботи (scan-drift mode) [10], у якому накопичення електричного сигналу від об'єкта відбувається одночасно з переносом зарядових пакетів синхронно з добовим рухом зображень зірок. Швидкість перенесення зарядових пакетів вибирається рівною швидкості руху оптичного зображення об'єкта по поверхні ПЗЗ-матриці. Кутовий розмір відсканованої області неба по схиленню визначається кутовим розміром проекції матриці у даному напрямі і становить $24.2'$, а по прямому піднесенню розмір скану обмежений лише тривалістю спостереження і може досягати кількох десятків градусів.

Для спостережень із синхронним переносом зарядових пакетів властиве додаткове розмиття зображень зірок [4], яке збільшує розмір зображення по схиленню внаслідок відхилення проекції добової паралелі на поверхню матриці від прямої лінії. Розмиття по прямому піднесенню зумовлене залежністю видимої швидкості руху зображень зірок від схилення, яке в різних частинах поля є різним. Вказаний ефект для матриці МАК приводить до розмиття зображень зірок, що становить $4.9'' \operatorname{tg} \delta$ по прямому піднесенню та $1.2'' \operatorname{tg} \delta$ по схиленню. Для схилень $\delta < 30^\circ$ розмиття не перевищує $2.8''$ по прямому піднесенню та $0.7''$ по схиленню і значно менше за типовий розмір зображень зірок $\text{FWHM} = 4''$. З цих міркувань рекомендована зона спостережень для МАК обмежена схиленнями $\delta < 30^\circ$.

ХРОМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТИВА МАК

З метою визначення можливості спостережень в різних фотометричних смугах були проведені дослідження хроматичної аберації оптичного каналу телескопа. Для цього за ПЗЗ-знімками зірок, отриманими з інтерференційними фільтрами у смугах $\lambda\lambda = 540, 645, 808$ та 880 нм, визначались положення фокальної площини телескопа. Отримано залежність положення фокуса об'єктива від довжини хвилі показана на рис. 2. Як видно, об'єктив скоректовано на візуальні спостереження, і хроматична аберация мінімальна в області V-смуги ($\lambda\lambda = 590\text{—}690$ нм), у якій зміна фокуса не перевищує ± 0.25 мм.

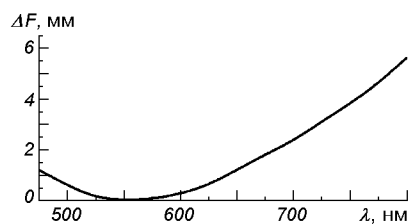
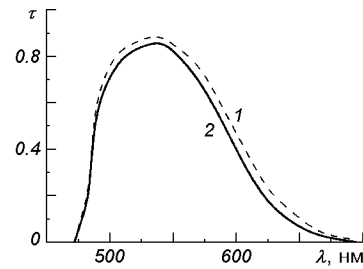


Рис. 2. Хроматична характеристика об'єктива МАК

Рис. 3. Коефіцієнт пропускання τ для стандартної фотометричної V -смуги (1) та скляного фільтра МАК з урахуванням спектральної чутливості матриці (2)



Зображення зірок у V -смузі чіткі та мають симетричний профіль з гауссовим параметром розмиття $\sigma = 1.0\text{—}1.3$ пкл, що відповідає розміру зображень $\text{FWHM} = 3.5\text{—}4.5''$. Зображення зірок, отриманих у R -смузі, мають значно більший розмір, бо для крайніх довжин хвиль цієї смуги ($\lambda = 580$ і 780 нм) різниця положення фокуса досягає 6 мм. Форма зображень зірок апроксимується гауссовим профілем лише у центральній частині зображення діаметром до $9''$, де концентрується 70 % світла. Решта світлової енергії розсіяна на периферії зображення. Числове моделювання показало можливість покращення якості зображення зірок в R -смузі тільки шляхом звуження ефективної ширини пропускання фільтра із стандартного $\Delta\lambda = 200$ нм до непринятно малого значення $\Delta\lambda = 80$ нм. Тому на МАК реалізована лише односмугова фотометрична V -система. Фільтр складається із скла ЖС-17 товщиною 2.5 мм та скла СЗС—21 товщиною 2.4 мм. Його характеристика (рис. 3, крива 2) з урахуванням спектральної чутливості матриці близька до характеристики стандартного фільтра (крива 1), в якій передбачалось використання фотоелектронного помножувача з сурм'яно-цезієвим катодом.

ПРОГРАМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Спостереження зірок в полях з радіоджерелами. З 2001 по 2003 р.р. проводились спостереження зірок в площадках з радіоджерелами — об'єктами ICRF з метою створення опорного астрометричного каталогу КМАС1 зірок до $V = 17^m$ в напрямку на позагалактичні радіоджерела [3, 7].

Список програми включав 192 позагалактичних радіоджерела з каталогу GAOUA99C03 [8] в зоні схилень $0\text{...}+30^\circ$. Площинки отримано в режимі сканування і мають кутовий розмір $24'$ по схиленню та $46'$ по прямому піднесенню. На рис. 4 показано розподіл вибраних площадок на небесній сфері.

Всього отримано 1184 знімки неба. Кожна площадка спостерігалась 4—10 разів. У середньому на площадці знаходиться 577 зір. Найменша кількість зірок на площадці становить 115, найбільша — 4922. Гранична зоряна величина $V = 17^m$.

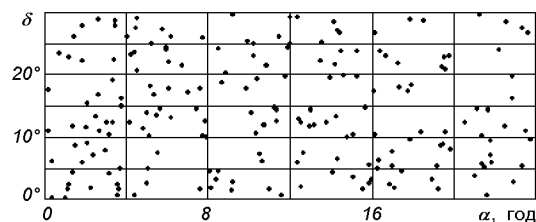


Рис. 4. Розташування площадок каталогу КМАС1 на небесній сфері

Зображення ділянок неба з радіоджерелами зберігаються на компакт-дисках. Створений архів спостережень має об'єм близько 5.5 Гбайт та містить майже 800 тисяч зображень зірок. Обробка спостережних даних включала послідовність операцій, таких як фільтрація ПЗЗ-сканів від шумів, flat-fielding, ототожнення опорних зір, обчислення інструментальних координат та зоряних величин, внесення інструментальних редуцій, врахування систематичних помилок, залежних від зоряної величини, калібрування шкали зоряних величин, редуція до екваторіальних координат, визначення власних рухів зірок та компіляція каталогу КМАС1 [3, 7].

За опорний каталог для редуції до системи ICRF передбачався каталог «Tycho 2». Цей каталог звичайно використовується при редуції сучасних високоточних ПЗЗ-спостережень, бо має достатню щільність кількості зірок на небі та високу точність. Спеціальні дослідження каталогу «Tycho 2» на епоху спостережень КМАС1 на основі порівняння положень цього каталогу з трьома сучасними ПЗЗ-каталогами (СМС13, UCAC2 та попередньою версією КМАС1) показали, що точність положень зірок «Tycho 2» недостатня для високоточної редуції ПЗЗ-спостережень на МАК. Так, було показано, що для 12 % зірок «Tycho 2» помилки положень перевищують 0.2". Редуція з каталогом «Tycho 2» у багатьох площадках не забезпечувала підтримки високої точності оригінальних спостережень. Тому редуція до системи ICRF була виконана у двох варіантах, і отримано дві версії каталогу КМАС1. Версія КМАС1-T, що містить 104796 зірок у 159 полях, була отримана безпосередньо з редуцією до каталогу «Tycho 2». У другій версії КМАС1-CU використано опорні каталоги UCAC2 і СМС13. Ця версія каталогу містить 115032 зірки в 192 полях. Внутрішня похибка положень каталогу складає 30—50 мсд, а різниця з каталогами СМС13 та UCAC2 зростає до 30—80 мсд для зірок $V < 14^m$. Похибка V -величин становить 0.05—0.07^m для $V < 14^m$. Для зірок $V > 16^m$ відповідні оцінки становлять 160 мсд, 200 мсд та 0.1^m.

Каталог розміщено у Страсбурзькій базі даних та на сайті Головної астрономічної обсерваторії НАН України у вигляді двох текстових файлів: kmas1t для версії КМАС1-T та kmas1cu для версії КМАС1-CU [<http://cdsarc.u-strasbg.fr>, <http://www.mao.kiev.ua>]. Кожен із файлів містить: порядковий номер об'єкта, ідентифікаційне позначення радіоджерела, положення α , δ на епоху спостережень, зоряну величину V , власні рухи μ_α , μ_δ , величини B , R , r' , J , скопійовані з каталогів USNO-B, СМС13, 2MASS, додаткову інформацію.

Спостереження зірок в екваторіальній зоні та радіозірок. В 2003 р. розпочато довготермінову програму спостережень зірок в екваторіальній зоні ($\delta = 0\dots+5^\circ$) з 4-кратним перекриттям сканів. Програма має на меті поширення опорної системи HIPPARCOS—Tycho на зорі до $V = 17^m$, отримання їхніх фотометричних характеристик та визначення власних рухів. В рамках цієї програми вже отримано біля 14000 знімків неба в екваторіальній зоні неба з майже 6 млн зображень зірок.

Розпочато спостереження радіозірок яскравістю від 11 до 16^m в зоні схилень 0...+9°.

При плануванні програми спостереження зірок екваторіальної зони неба враховувалось, що режим неперервного сканування забезпечує найбільшу кількість отриманих спостережень зірок за одиницю часу і тому є ефективнішою стратегією використання МАК. Створення вказаного каталогу є важливою проблемою, актуальність якої зберігається і надалі аж до реалізації нових космічних місій, наприклад GAIA.

1. Ковальчук А., Пинигин Г., Процюк Ю. и др. ПЗС-аксиальный меридианный круг Николаевской обсерватории // Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики: Тр. конф. — С-Петербург: ИТА РАН, 1996.—С. 91—96.
2. Скорик К., Миняйло Н., Лазоренко П. и др. Меридианный аксиальный круг ГАО АН УССР // Кинематика и физика небес. тел.—1989.—5, № 2.—С. 79—85.
3. Babenko Yu., Lazorenko P., Karbovsky V., et al. Kyiv Meridian Axial Circle catalogue (KMAC1) of stars in fields with extragalactic radio sources // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl.—2005.—N 5.—P. 316—321.
4. Brad K. Gibson and Paul Hickson. Time-delay integration CCD read-out technique: image deformation // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1992.—258.—P. 543—551.
5. Carlsberg Meridian Catalogue N 9. Observation of position of stars and planets: May 1984 to March 1995. — La Palma, 1997.—CD-ROM version.
6. Karbovsky V. The Kyiv Meridian Axial Circle with a CCD micrometer // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl.—2005.—№ 5.—P. 390—392.
7. Lazorenko P., Babenko Yu., Karbovsky V., et al. The Kyiv Meridian Axial Circle catalogue of stars in fields with extragalactic radio sources // Astron. and Astrophys.—2005.—438.—P. 377—389.
8. Molotaj O. Compiled coordinates of 736 radio sources in the ICRF-RSC (GAOUA) 99C03 // Proc. of IVS 2000 General Meeting, Koetzing / Eds N. Vandenberg, K. Bayer. — Hanover, NASA, 2000.—P. 338—343.
9. Pinigin G., Shulga A., Fedorov P., et al. The Axial Meridian Circle of the Nikolaev Astronomical Observatory // Astron. and Astrophys. Transactions.—1995.—8, N 2.—P. 161—163.
10. Stone R., Monet D., Monet A., et al. The Flagstaff astrometric scanning transit telescope (FASTT) and star positions determined in the extragalactic reference frame // Astron. J.—1996.—111, N 4.—P. 1721—1741.
11. Stone R., Monet D., Monet A., et al. Upgrades to the Flagstaff astrometric scanning transit telescope: a fully automated telescope for astrometry // Astron. J.—2003.—126.—P. 2060—2080.
12. Telnyuk-Adamchuk V., Babenko Yu., Lazorenko P., et al. Observing programs of the Kyiv meridian axial circle equipped with a CCD micrometer // Astron. and Astrophys.—2002.—386, N 3.—P. 1153—1156.
13. The Hipparcos and Tycho Catalogues. — ESA SP-1200.
14. Viateau B., Requieme Y., Le Campion J., et al. The Bordeaux and Valinhos CCD meridian circles // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1999.—134.—P. 173—186.
15. Yoshizawa W., Suzuki S., Kuwabara T., Ishizaki H. Observation of faint stars deep to 16th magnitude with CCD meridian circle // Developments in astrometry and their impact on astrophysics and geodynamics: IAU Symp. N 156. — Shanghai, China, 1993.—P. 71—74.

Надійшла до редакції 16.11.06