

**КИНЕМАТИКА**  

---

**И ФИЗИКА**  

---

**НЕБЕСНЫХ**  

---

**ТЕЛ**  

---

**ПРИЛОЖЕНИЕ**  

---

**№ 1, 1999**

УДК 520.25

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИКОЛАЕВСКОГО АМК В СОГЛАСОВАННЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ С ТЕЛЕСКОПОМ НА ПАРАЛЛАКТИЧЕСКОЙ МОНТИРОВКЕ

А. Н. Ковальчук<sup>1</sup>, Г. И. Пинигин<sup>1</sup>, Ю. И. Процюк<sup>1</sup>, А. В. Шульга<sup>1</sup>, Р. И. Гумеров<sup>2</sup>

© 1999

<sup>1</sup>Николаевская астрономическая обсерватория Государственного Комитета по вопросам науки и интеллектуальной собственности, 54030, Николаев, ул. Обсерваторная, 1

<sup>2</sup>Астрономическая обсерватория им. В. П. Энгельгардта Казанского государственного университета, 422526, Татарстан, Зеленодольский район, ст. Обсерватория

Аксиальный меридианный круг (АМК) с программным управлением Николаевской астрономической обсерватории, введенный в действие в 1995 г., показал широкие возможности во время регулярных наблюдений звезд в 1996—1998 гг. Для повышения эффективности астрометрических наблюдений предлагается проведение согласованных наблюдений на телескопах, оснащенных ПЗС и программным управлением — Николаевским аксиальным меридианным кругом и телескопом на параллактической монтировке, типа астрографа АЗТ-8 и АЗТ-22.

ВИКОРИСТАННЯ МИКОЛАЇВСЬКОГО АМК В УЗГОДЖЕНИХ СПОСТЕРЕЖЕННЯХ З ТЕЛЕСКОПОМ НА ПАРАЛЛАКТИЧНІЙ МОНТИРОВЦІ, Ковальчук О. М., Пинігін Г. І., Процюк Ю. І., Шульга О. В., Гумеров Р. І. — Аксиальний меридіанний круг (АМК) з програмним управлінням Миколаївської астрономічної обсерваторії, введений в дію в 1995 р., показав широкі можливості під час регулярних спостережень зірок в 1996—1998 рр. Для підвищення ефективності астрономічних спостережень пропонується проведення узгоджених спостережень на телескопах, оснащених ПЗС і програмним управлінням — Миколаївським аксиальним меридіанним кругом і телескопом на параллактичній монтировці, типу АЗТ-8 і АЗТ22.

USING OF THE MYKOLAYIV AXIAL MERIDIAN CIRCLE IN COORDINATE OBSERVATION WITH THE TELESCOPE HAVING AN EQUATORIAL MOUNT, by Kovalchuk A. N., Pinigin G. I., Protsyuk Yu. I., Shulga A. V., Gumerov R. I. — Axial meridian circle (AMC) with the computer control of the Mykolayiv astronomical observatory was put into operation in 1995 and demonstrated a large possibilities during regular star observation in 1996—1998. It is proposed for increasing of observation efficiency to make coordinate observation with telescopes equipped with CCD and computer control: Mykolayiv Axial meridian circle and telescope having an equatorial mount like astrograph AZT-8 and AZT-22.

### ВВЕДЕНИЕ

С появлением практической космической астрометрии произошли коренные изменения в традиционной позиционной астрономии и ее приложениях. При постановке новых задач в астрометрии отмечается значительное увеличение объемов наблюдений за счет слабых объектов (до десятков и сотен млн звезд), расширение астротрического приложения в астрометрических программах, появление новой техники (ПЗС, мощные компьютеры и средства хранения данных), конкурирующих методов (РСДБ, оптическая интерферометрия, космические методы). Поскольку точность космических наблюдений вне конкуренции, программы наземных наблюдений охватывают область звезд слабее 12<sup>m</sup>, которые не были включены в программы первых космических проектов (HIPPARCOS, TYCHO). Здесь активно работают телескопы-астрографы и автоматические меридианные круги, оснащенные ПЗС-приемниками. В этой связи предлагается рассмотреть использование астрометрического комплекса, включающего два инструмента: Аксиальный меридианный круг (АМК) Николаевской обсерватории и телескоп-астрограф на параллактической монтировке с целью повышения точности определения положений наблюдаемых объектов, наблюдения более широкого списка с расширением в сторону слабых по яркости объектов и пр.

### НИКОЛАЕВСКИЙ АКСИАЛЬНЫЙ МЕРИДИАННЫЙ КРУГ

Николаевский аксиальный меридианный круг (АМК) с программным управлением был запущен в работу в 1995 г., а в 1996—1998 гг. с его помощью была выполнена программа определения положений звезд 12—14<sup>m</sup> в площадках вокруг 190 внегалактических радиоисточников, в зоне склонений от -15° до +70°.

Схема, детальное описание АМК и полученные в ходе испытаний и наблюдений характеристики инструмента приведены в работах [2, 7]. Отметим лишь последние данные об оснащении АМК крупноформатной матрицей, а также некоторые параметры АМК, необходимые для сравнительного анализа по теме нашего сообщения. В 1998 г. АМК был оснащен изготовленной в обсерватории новой камерой с крупноформатной ПЗС-матрицей ISD 017 (1040×1160 пикселей, размером 16×16 мкм) производства «Электрон-Оптроник» (Санкт-Петербург) [3]. Проверка возможностей звездного микрометра АМК с новой ПЗС-камерой подтвердила его возросшие возможности — предельная звездная величина 16.5<sup>m</sup>, точность регистрации небесных объектов до 16.5<sup>m</sup> — в диапазоне 0.04—0.06". Разработанная методика фотометрических наблюдений в трех участках спектра (BVR) позволяет получать звездные величины наблюдаемых объектов с точностью 0.05<sup>m</sup>, а также хроматические поправки. С учетом возможностей крупноформатной матрицы была усовершенствована система программного управления АМК (см. статью Ю. И. Процюка в настоящем сборнике).

По итогам создания АМК как астрономического телескопа нового типа для высокоточных определений угловых координат небесных объектов в качестве современного инструментально-измерительного комплекса с программным управлением и по результатам проведенных инструментальных исследований и наблюдений получены основные данные, характеризующие качество и возможности инструмента [4, 7]. В частности, стабильность инструментальной системы АМК в течение трех лет наблюдений была весьма высокой — отклонения отдельных значений системы инструмента от среднего не превышали 0.02". Результаты выполнения программы определения положений опорных звезд в площадках вокруг внегалактических радиисточников в 1996—1998 гг. рассмотрены в статье А. В. Шульги (см. настоящий сборник). Сравнение характеристик АМК с показателями для действующих отечественных и зарубежных аналогов, приведенное в табл. 1, показывает в основном близкий с ними уровень по техническим данным измерительно-регистрирующих устройств и лучшие показатели по параметрам весовых и термических деформаций телескопа (гнутие, коллимация), определяющих результирующую точность определения координат небесных объектов, а в конечном итоге — эффективность АМК [2].

Табл. 1. Сравнительные характеристики автоматического аксиального меридианного круга НАО с зарубежными аналогами

Характеристики	АМК (Украина)	РМС (Япония)	САМС (Канары)	FASTT (США)
<b>I. КОНСТРУКЦИЯ</b>				
- телескоп	аксиал. сидеростат в 1 верт. $D = 180, F = 2480$	рефрактор в меридиане $D = 190, F = 2576$	рефрактор в меридиане $D = 178, F = 2665$	рефрактор в меридиане $D = 200, F = 2000$
- оптический узел	сигаловый цилиндр	нет	нет	нет
- коллиматор в 1 верт.	1 ( $D = 180, F = 12360$ )	нет	нет	нет
- коллиматор в меридиане	1 ( $D = 180, F = 2000$ )	2 ( $D = 190, F = 1800$ )	2 ( $D = 178, F = 1800$ )	1 ( $F = 4300$ )
- мира	1 ( $D = 200, F = 60$ м)	2 ( $D = 190, F = 80$ м)	2 ( $D = 178, F = 20, 50, 80$ м) в надири	1
- горизонт	в надири	в надири и зените	80 м) в надири	нет
- время изготовления	1980—1995 (1998)	1975—1982 (1995)	1953—1982 (1997)	1981—1990 (1996)
- широта установки	+46°58'	+35°40'	+28°46'	+35°11'
<b>II. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ</b>				
- метод регистрации	ПЗС 1040×1160, 16 мкм/pix	ПЗС 1242×1152, 22.5 мкм/pix	ПЗС 1000×1500,	ПЗС 1024×1024, 12 мкм/pix
- точность отсчета круга	±0.°02	±0.°01	±0.°04	±0.°01
- точность установки по Z	±4"	±2"	±2"	±0.°6
- предельная зв. величина	(14)16.5 <sup>m</sup>	16 <sup>m</sup>	(14)16 <sup>m</sup>	17.5 <sup>m</sup>
- участок спектра,	B, V, R,	B, V, R	U, B, V	U, B, V
точность (зв. вел.)	0.05 <sup>m</sup>	0.05 <sup>m</sup>	0.05 <sup>m</sup>	0.02 <sup>m</sup>
- производительность	(2500) 7000 зв/час	(120) 7500 зв/час	(120) 7000 зв/час	9000 зв/час
<b>III. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕДЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА</b>				
- весовые деформации (горизонтальное гнутие)	0.°037	0.°96	1°—1.5	≈1.°00
- термические деформации:				
коллимация,	0.°026/1°С	0.°05/1°С	0.°1/1°С	≈0.°05/1°С
азимут	0.°09/1°С	0.°10/1°С	0.°1/1°С	0.°09/1°С
нуль-пункт круга	0.°1/1°С	0.°16/1°С	0.°15/1°С	0.°16/1°С
наклонность	0.°09/1°С			
Точность				
$\epsilon_{\alpha \cos \delta}$	±0.°11 (secZ) <sup>0.65</sup>	0.°03/1°С ±0.°14 (secZ) <sup>0.6</sup>	0.°1/1°С ±0.°20 (secZ) <sup>0.6</sup>	±0.°14
$\epsilon_{\delta}$	±0.°11 (secZ) <sup>0.65</sup>	±0.°14 secZ	±0.°18 (secZ) <sup>0.9</sup>	±0.°17
Систематические разности вида (Cat - HC)				
$\Delta \alpha_{\delta}$	±0.°02	±0.°03	±0.°03	±0.°06
$\Delta \delta_{\delta}$	±0.°02	±0.°02	±0.°06	±0.°06

СОВМЕСТНЫЕ ПРОГРАММЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Отмеченные возможности АМК позволяют использовать его в современных астрометрических программах, аналогично другим автоматическим МК [5, 8]. Среди наиболее важных можно отметить:

- уплотнение и расширение каталогов НС/ТС в сторону слабых по яркости объектов до 16—17<sup>m</sup>;
- уточнение связи между оптической (НС) и радио (ICRF) опорными системами координат;
- уточнение положений тел Солнечной системы (больших планет и их спутников, малых планет и астероидов) с целью уточнения динамической системы координат, решения задач космонавтики и астероидной опасности, изучения эволюции солнечной системы и пр.

В то же время имеется достаточное количество телескопов-астрографов, оснащенных ПЗС-приемниками, решающих задачи дифференциальной астрометрии для большого количества объектов (сотни миллионов звезд), яркостью до 18—22<sup>m</sup>, с высокой точностью и эффективностью [1, 5].

Сочетание меридианного телескопа и астрографа на параллактической монтировке имеет определенные особенности, используя которые можно повысить точность определения положений наблюдаемых объектов. При рассмотрении этого предложения были использованы данные конкретных телескопов, типа АЗТ-8 и АЗТ-22, которые пригодны для проведения совместных наблюдений (см. табл. 2). Совместное использование двух типов инструментов дает возможность, с одной стороны, устранить ограничения наблюдений объектов на АМК по яркости (16.5<sup>m</sup>); с другой стороны, при использовании астрографа можно решить посредством АМК проблему обеспечения наблюдений опорными звездами.

Табл. 2. Сравнительные характеристики АМК и избранных телескопов на параллактической монтировке

Название телескопа	АМК	Среднефокусные системы F 2.5+4.5 м		Длиннофокусные системы F 11+13 м	
		АЗТ-8 <sup>1)</sup>	АЗТ-22 <sup>2)</sup>	АЗТ-22 <sup>2)</sup>	2-м Цейса <sup>3)</sup>
тип	рефрактор	рефлектор	рефлектор	рефлектор	рефлектор
оптические параметры D, мм, F, мм	180, 2480 0.5°	550, 2500 1°	1500, 4519 1°	1500, 11600 1°28' (с корр.)	2000, 16000 1°48'
ПЗС I	ФППЗ-13М 288×256 24×32 мкм 1."9×2."6/pix 9'×13'	ST-6 375×242 23×27 мкм 1."8×2."1/pix 8'×10'	LORAL 2048×2048 24×24 мкм 1."1/pix 37.'5×37.'5	LORAL 2048×2048 24×24 мкм 0."43/pix 14.'7×14.'7	
ПЗС II	ISD017A 1024×1160 16×16 мкм 1."26/pix 23'×26'		CCD CODAK 1600 2048×2048 9×9 мкм 0."41/pix 14.'1×14.'1	CCD CODAK 1600 2048×2048 9×9 мкм 0."16/pix 5'×5'	
Метод регистрации	кадровый дрейфовый	кадровый	кадровый дрейфовый	кадровый дрейфовый	
проницающая способность, накопление 60 с	ПЗС I 14 <sup>m</sup> ПЗС II 16.5 <sup>m</sup>	18 <sup>m</sup>	21 <sup>m</sup>	21 <sup>m</sup>	
кадровый метод регистрации:	23'×26' mag: 10.5+16+17.5	23'×26'	13'×14'	5'×6'	4'×5'
расчетные сравнительные характеристики для CCD: ISD 017A	0."04+0."06+ 0."3	14.5+21+22.5	17.5+24+25.5	15.5+22+23.5	15.5+22.5+24
АЦП 16 разр., замытие 2, накопл. 60 с, 20 т. ф. е	0."04+0."06+ 0."3	0."04+0."06+ 0."3	0."02+0."04+ 0."2	0."01+0."015+ 0."15	0."006+0."008+ +0."1
дрейфовый метод регистрации:	103 <sup>s</sup> mag: 10+16.5+18	103 <sup>s</sup>	57 <sup>s</sup>	22 <sup>s</sup>	16 <sup>s</sup>
расчетные сравнительные характеристики для CCD: ISD 017A	0."04+0."06+ 0."3	15+21.5+23	17+23.5+25	14.5+21+22.5	14+21+22.5
АЦП 16 разр., замытие 2, 20 т. ф. е, экватор. зв.	0."04+0."06+ 0."3	0."04+0."06+ 0."3	0."02+0."04+ 0."2	0."01+0."015+ 0."15	0."006+0."008+ 0."1

Примечание: 1) АЗТ-8 АО Харьковского университета 2) АЗТ-22 АО Казанского университета (в Турции), рефлектор Шанхайской АО (1560, 5000) с ПЗС матрицей (1024×1024), поле которой 12'×12' (КНР) 3) 2-м рефлектор Цейса ГАО НАНУ (Терскол), рефлектор Юннаньской АО (1000, 13000) с ПЗС матрицей (1024×1024), поле которой 6.5'×6.5' (КНР)

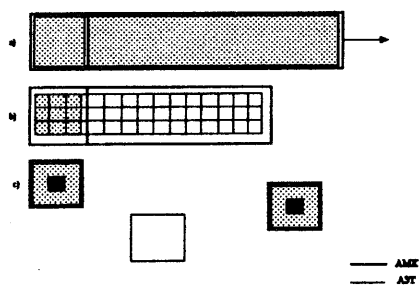


Рис. 1. Варианты совместных наблюдений АМК и астрографа

В настоящее время опорного каталога достаточно высокой плотности (до 200 звезд на один квадратный градус) и точности (уровня НС/ТС) пока не имеется.

В рамках данной статьи рассматривается комбинированный подход при совместных наблюдениях АМК с астрографами двух типов оптических систем: среднефокусной (2.5—4.0 м) и длиннофокусной (12—16 м).

1. В случае комплекса АМК и среднефокусного астрографа имеем близкие по угловым размерам поля регистрируемых ПЗС-площадок; при этом полагаем что работает режим дрейфового сканирования, а наблюдения ведутся таким образом, чтобы ПЗС-полосы перекрывались (совмещались) по площади (рис. 1, а). Поскольку размеры ПЗС площадок по склонению могут быть значительными (до 30' и более), то для получения больших по количеству звезд каталогов целесооб-

разно полюсу астрографа удлинять как можно больше (до нескольких часов и более). Однако из-за нестабильности механической конструкции монтировки астрографа следует ожидать значительных деформаций его полосы по прямому восхождению и склонению, что ограничивает длину полосы, а следовательно, и набор достаточного количества опорных звезд для получения высокой точности координат определяемых звезд. Наложение более стабильной полосы АМК позволит учесть все деформации полосы астрографа. Причем полоса АМК может быть: а) непрерывной, при этом набор опорных звезд осуществляется на двух телескопах в одинаковых областях небесной сферы, а стабильность полосы АМК обеспечивается достаточно частыми автоколлимационными измерениями ориентировки инструмента без изменения его положения; б) полоса АМК может быть с прерываниями для наведения АМК на опорные объекты за пределами полосы, например, внегалактические радиоисточники с целью прямой привязки наблюдений к системе ICRF. Сравнительные расчеты, приведенные в табл. 2 для случая оснащения телескопов одинаковой матрицей типа ISD 017A показывают, что в этом случае могут быть достигнуты точности: 0.04—0.06" для звезд до 21.5<sup>m</sup> на АЗТ-8, 0.02—0.04" для звезд до 23.5<sup>m</sup> на АЗТ-22 и 0.04—0.06" для звезд до 16.5<sup>m</sup> на АМК.

Применение вышеописанного варианта метода совмещенных полос при наблюдениях на АЗТ-22 позволит наблюдать оптические аналоги слабых внегалактических радиоисточников (до 23.5<sup>m</sup>) в системе опорного каталога НС и улучшить таким образом связь оптической и радио опорных систем координат. Но наиболее эффективно этот вариант может быть использован при расширении каталогов НС/ТС на слабые звезды с прямой привязкой к опорной системе ICRF. Это позволит реализовать программы определения положений, собственных движений и параллаксов небесных объектов по большим площадям небесной сферы с производительностью до ста миллионов наблюдений в год (рис. 2). Данный вариант эффективен и для случая определения положений и других характеристик малых тел Солнечной системы (астероидов, малых планет, спутников планет) яркостью до 23.5<sup>m</sup>.

2. В случае комплекса АМК и длиннофокусной системы астрографа имеется возможность проведения более «глубоких» ПЗС-наблюдений слабых объектов при более длительном времени накопления. В этом случае наблюдения на астрографе проводятся в кадровом режиме, а роль АМК сводится к созданию стабильной полосы, длительностью около часа, достаточной для набора значительного количества опорных звезд (рис. 1, б). На рис. 3 показано распределение звезд из ТС/АС TRC в полосе шириной 30' и часовой длительностью (15°) для экватора и области склонений 45°. В этом случае для полосы АМК можно определить положения достаточного числа опорных звезд (от 80 до 300), что позволит выполнять редуцицию определяемых звезд с точностью до нескольких сотых долей секунды. Посредством астрографа с длиннофокусной системой можно наблюдать отдельные ПЗС-площадки (по угловым размерам примерно в три раза меньшие, чем для АМК) в пределах полосы АМК. В течение часовой полосы АМК на ней можно расположить некоторое количество ПЗС-площадок астрографа, определяемое суммарным временем накопления, не превышающим длительность полосы АМК. Основное достоинство таких наблюдений заключается в возможности проведения наблюдений на астрографе более слабых объектов (до 24<sup>m</sup> и слабее), с более высокой точностью и эффективностью, минуя многоступенчатую связь с опорной системой координат. В данном случае связь обеспечивается совмещенной полосой АМК при минимальном влиянии систематических ошибок АМК (порядка 0.02").

Данный вариант эффективен при наблюдении с астрометрической точностью достаточно слабых объектов (20—25<sup>m</sup>), например транснептуновых астероидов из пояса Койпера, позволит осуществлять наиболее раннее обнаружение новых объектов в Солнечной системе на достаточно большом удалении, исследование слабых спутников планет, изучение звездных систем и галактик и др.

3. В более простом и уже применяемом случае (метод коротких полос [2]) возможны наблюдения

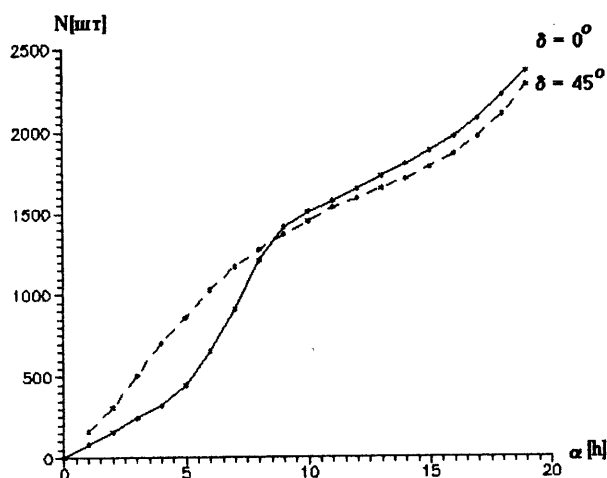


Рис. 2. Суммарное количество звезд ТС/АС TRC в длинной полосе по  $\alpha$  и шириной  $30'$  по  $\delta$

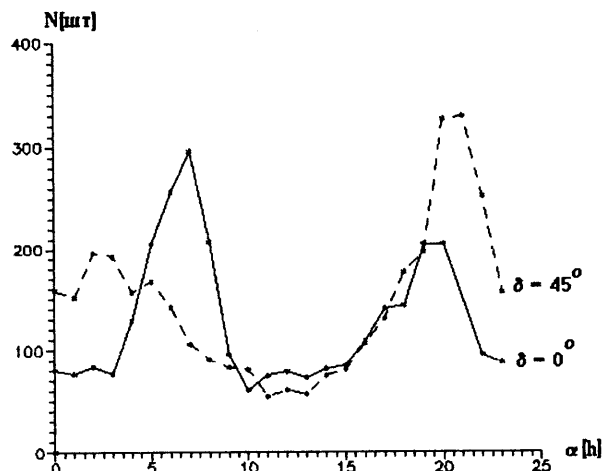


Рис. 3. Распределение звезд АС TRC по часовым интервалам в полосе  $30'$  по  $\delta$

отдельными совмещенными площадками (короткими полосами) на двух телескопах (рис. 1, в). Здесь АМК по существу «наполняет» площадки астрографа звездами до  $16.5^m$ , положения которых определены в системе опорного каталога НС/ТС. Наблюдения опорных звезд производятся выборочно путем отдельного наведения АМК.

Выбор конкретных программ наблюдений в этом случае определяется возможностью АМК обеспечить координаты достаточного количества опорных звезд в площадках астрографа. Этот вариант уже используется с 1996 г. в совместной программе наблюдений 75 избранных внегалактических радиисточников на АМК НАО и на 1.56-м рефлекторе Шанхайской обсерватории (КНР), а с 1998 г. — на АЗТ-8 АО Харьковского университета с целью уточнения связи между оптической (НС) и радио (ICRF) системами координат. Планируется участие АЗТ-2 АОЭ КГУ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместное использование высокоточного автоматического меридианного круга АМК НАО и телескопов на параллактической монтировке типа АЗТ-8 и АЗТ-22 для наблюдений методом совмещенных полос является реальным уже в настоящее время и дает возможность высокоточных определений астрометрических параметров большого числа звезд (десятки и сотни миллионов), а также отдельных небесных объектов в системе самого точного в настоящее время опорного каталога НС.

Таким образом, могут быть достаточно эффективно решены задачи: расширения НС/ТС на слабые звезды; улучшения связи радио- и оптической систем координат; уточнения динамической системы координат; определения положений слабых астероидов, спутников планет и др.

Исследования, лежащие в основе данной публикации, выполнены благодаря поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант РФФИ №. 99-02-17514.

1. Гумеров Р. И., Сахибуллин Н. А., Пинигин Г. И. Комплекс АЗТ-22АМК — Новые возможности наземного астрометрического эксперимента // Тр. IV съезда Астрономического общества, 19—29 ноября 1997 г. — М.: ГАИШ МГУ, 1998.—С. 82—88.
2. Ковальчук А. Н., Пинигин Г. И., Процюк Ю. И., Шульга А. В. ПЗС-аксиальный меридианный круг Николаевской астрономической обсерватории // Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики // Тр. конф. 23—27 сент. 1996 г. — СПб.: ИТА РАН, 1996.—С. 91—96.
3. Ковальчук А. Н., Шульга А. В. Светлоприемный пристрой // Заявка на патент N 99031256 от 05.03.99.
4. Пинигин Г. И., Шульга А. В., Федоров П. Н., Петров А. Г. и Мажаяев А. Э. Результаты исследования Аксиального меридианного круга (АМК) // Кинематика и физика небес. тел.—1994.—10, № 1.—С. 54—57.
5. Пинигин Г. И. Наземная астрометрия — возможности и перспективы // Изв. РАН. Сер. физ.—1998.—62, вып. 9.—С. 1774—1779.
6. Процюк Ю. И., Ковальчук А. Н., Шульга А. В. Система программного управления и обработки информации автоматического АМК НАО // Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики: Тр. конф., 23—27 сент. 1996. — СПб: ИТА РАН, 1996.—С. 97—101.
7. Kovalchuk A., Pinigin G., Shulga A. Position determination of 12—14 magnitudes stars in the selected fields around extragalactic radiosources with the automatic AMC // Journees 1997 Systemes de reference SpatioTemporels, Sept. 22—24. — Prague, 1997.—P. 14—17.
8. Stone R. C., Monet D. G., Monet A. K., et al. The Flagstaff Astrometric Scanning Transit Telescope (FASTT) and star positions determined in the extragalactic reference frame // AJ.—1996.—111, N 4.—P. 1721—1742.