

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ

ПРОЦІЮК Юрій Іванович

УДК 521.27 + 522.3 +  
522.62:681.325...2 + 522.62:518.5

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ЇХ  
ОБРОБКИ НА АВТОМАТИЧНОМУ МЕРИДІАННОМУ ТЕЛЕСКОПІ  
ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПУ.

01.03.01 - Астрометрія та небесна механіка.

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

Київ –2000

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Миколаївській астрономічній обсерваторії Міністерства освіти і науки України, м.Миколаїв.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор, Пінігін Геннадій Іванович, Миколаївська астрономічна обсерваторія, директор.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор, Кислюк Віталій Степанович, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, завідувач відділом  
кандидат фізико-математичних наук, Грегуль Олександра Яківна, Астрономічна обсерваторія Київського національного університету ім. Тараса Шевченка старший науковий співробітник

Провідна установа: Астрономічна обсерваторія Харківського національного університету ім. Каразіна Міністерства освіти і науки України

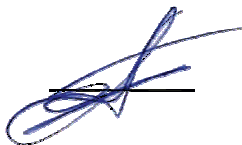
Захист дисертації відбудеться «15» грудня 2000 року на засіданні Спеціалізованої вченої ради Д26.208.01 при Головній астрономічній обсерваторії НАН України (ГАО НАН України, Голосіїв, Київ-127, МСП, 03680)

Початок засідань о 10 годині.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Головної астрономічної обсерваторії НАН України (ГАО НАН України, Голосіїв, Київ-127, МСП, 03680)

Автореферат розісланий «14» листопада 2000 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Гусева Н.Г.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*Актуальність теми*

В зв'язку з використанням останнім часом для виконання астрометричних задач можливостей космічних апаратів та розвитком електроніки й обчислювальної техніки до наземних астрометричних телескопів та їх програм спостереження висуваються високі вимоги. Космічні експерименти не заперечують необхідність наземних спостережень, а лише зміщують акценти в сучасних астрометричних програмах. Значне місце у цих програмах посідають автоматичні меридіанні телескопи, що мають можливість проведення масових спостережень зірок із високою точністю. Це стало можливим внаслідок використання сучасних ПЗЗ приймачів випромінювання та повної автоматизації телескопів, що дає змогу ставити програми спостережень зоряних списків, що перевищують мільйон об'єктів.

Саме тому робота по створенню методик, алгоритмів та програмного комплексу для першого в Україні автоматичного меридіанного телескопу з ПЗЗ приймачами випромінювання та одержання за допомогою цього комплексу високоточних каталогів зірок (11-14.5 зоряної величини) навколо вибраних позагалактичних радіоджерел є на сьогодні безперечно актуальною.

Одержанні каталоги можуть бути використані для забезпечення зв'язку між оптичною системою координат та міжнародною небесною системою координат ICRF, що базується на позагалактичних радіоджерелах. Створені методики, алгоритми та програмний комплекс можуть бути використані для проведення позиційних астрометричних спостережень та їх обробки на будь якому телескопі обладнаному ПЗЗ камерами.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами*

Дисертаційна робота є складовою частиною наступних науково-дослідних робіт Миколаївської астрономічної обсерваторії (МАО), затверджених Міністерством науки та інтелектуальної власності (тепер Міністерство освіти і науки України):

Підписано до друку 6.11.2000 р.  
Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1.75  
Тираж 100 прим. Зам. № \_\_\_\_\_  
Віддруковано ДП «ТТЦ»  
54000 Миколаїв, вул. Московська 11

тема “БЕТА” - Вдосконалення зоряної системи координат із спостережень на меридіанних інструментах з сучасними системами реєстрації та контролю, 1995-1999 рр.; відповідальний виконавець, участь у створенні програми спостережень, участь у регулярних спостереженнях, дослідженні телескопа, обробці одержаних результатів, розробка методик, алгоритмів та програм системи програмного керування телескопа, розробка методик, алгоритмів та програм для обробки одержаних результатів, розробка універсального пакету програм для обробки ПЗЗ спостережень;

тема “БАЗИС” – “Розробка і реалізація пропозицій по модернізації існуючих і створенню нових астрономічних інструментів”, 1997-1998 рр., виконавець, участь у дослідженні інструментальних похибок Аксіального меридіанного круга (АМК) та обробці результатів, розробка технічної пропозиції та технічного завдання на систему програмного керування на базі локальної комп’ютерної мережі для телескопу АМК з ПЗЗ - мікрометром на широкоформатній матриці та універсальною ПЗЗ - відліковою системою;

тема “ЗВ’ЯЗОК”- “Зв’язок радіоінтерферометричної й оптичної небесної системи координат”, 1998-1999 рр., виконавець, участь у регулярних спостереженнях зірок навколо позагалактичних радіоджерел та обробці одержаних результатів, обчислення та аналіз каталогів, проведення ітерацій повної переобробки одержаного матеріалу.

**Метою дисертаційної роботи** є теоретичні та методичні основи масових високоточних спостережень зірок та їх обробки на астрометричному телескопі горизонтального типу з ПЗЗ реєструючими пристроями. Для досягнення цієї мети необхідно було розробити та впровадити високотехнологічний процес, який включає автоматизовану підготовку та обробку вхідних даних, повністю автоматичне проведення спостережень небесних об’єктів, контрольовані процедури обміну інформацією між вузлами телескопа та керуючими ЕОМ, високоточну та продуктивну обробку одержаних спостережень від первинної обробки до одержання каталогів спостережених об’єктів включно. Засоби його реалізації повинні були забезпечити достатню для астрометричних спостережень точність, однорідність та вірогідність отриманих результатів, а також максимальну

каталог прямых восхождений и склонений 14022 звезд (11-14.5 звездной величины) из списка USNO-A2.0 вокруг 190 внегалактических радиоисточников (AMC1B).

В диссертации рассмотрена теория редукции и погрешностей, методика учета параметров инструмента и статистический подход к обработке результатов. Показана методика наблюдений и обработки результатов. Приведена методика создания каталогов на автоматических меридианных телескопах. Особое внимание уделено эффективности использования программного обеспечения и повышению производительности наблюдений на автоматических телескопах. Описан универсальный программный комплекс для обработки астрометрических наблюдений на телескопах оборудованных ПЗС камерами. Детально описан процесс наблюдений на Аксиальном меридианном круге с использованием созданного автором программного комплекса. Показана эффективность комплекса при решении поставленных задач и его надежность при проведении трехлетнего цикла наблюдений звезд. Производительность наблюдений, которая определяется в первую очередь параметрами ПЗС матрицы и проникающей способностью телескопа, составила до 2500 звезд за ночь. Показаны методики и процесс обработки полученного на АМК наблюдательного материала и вывода дифференциального каталога опорных звезд вокруг избранных внегалактических радиоисточников. Большое внимание уделено учету особенностей наблюдений на телескопе горизонтальной конструкции с использованием ПЗС приемников излучения. Проведены исследования и анализ полученного каталога. Точность каталога составила

$$\epsilon_{\alpha} \cdot \cos(\delta) = \pm 0.07 \cdot \sec(Z)^{0.20} \cdot (\text{mag}-7)^{0.43}$$

$$\epsilon_{\delta} = \pm 0.09 \cdot \sec(Z)^{0.10} \cdot (\text{mag}-7)^{0.31}$$

Даны некоторые советы относительно дальнейшего развития методического и программного обеспечения для автоматических меридианных инструментов, улучшения проникающей способности телескопов и повышению эффективности и производительности наблюдений.

Ключевые слова: позиционная астрономия, автоматизация наблюдений, методика обработки, программный комплекс, каталоги.

ефективність усього процесу в цілому. Для реалізації цієї мети було поставлено *задачі*:

1. Проаналізувати теоретичні основи проведення та обробки позиційних спостережень на меридіанних телескопах.
2. Розробити методики, алгоритми та програмне забезпечення для підготовки до спостережень та проведення спостережень на автоматичному телескопі горизонтальної конструкції з ПЗЗ приймачами випромінювання.
3. Розробити методики, алгоритми та програмне забезпечення для обробки результатів спостережень на телескопі з ПЗЗ та фотоелектричними реєструючими пристроями.
4. Розробити алгоритми та програми для проведення досліджень вузлів телескопа та обробки їх результатів.
5. Розробити загальні методики, алгоритми та програми для використання при астрометричних спостереженнях на телескопах з ПЗЗ камерами.
6. Провести цикл спостережень на Аксиальному меридіанному крузі та обчислити прямі піднесення та схилення зірок 11-14 зоряної величини навколо вибраних позагалактичних радіоджерел.

**Наукова новизна** дисертації полягає в тому, що проведення масових високоточних спостережень та їх обробки на першому в Україні астрометричному телескопі автоматі для створення сучасних астрометричних каталогів – це новий вид досліджень, який не мав аналогів у вітчизняній науці. Для його реалізації було зроблено наступне:

- 1) вперше створено теоретичні та методичні основи для підготовки й проведення автоматичних масових спостережень зірок та їх обробки на Аксиальному меридіанному крузі (АМК) МАО з ПЗЗ камерами;
- 2) вперше в Україні відпрацьовано методику проведення спостережень методом коротких смуг та їх обробку;
- 3) вперше створено методики, алгоритми та програмне забезпечення для обробки та аналізу одержаних на АМК спостережень, від первинної обробки інформації до виводу астрометричних каталогів включно;

- 4) вперше в Україні створено універсальний пакет програм ПУМА (Пакет універсальний мультипрограмний астрометричний) для обробки позиційних астрометричних спостережень, що має високі показники та може бути використаний без змін на телескопі будь якої конструкції з близькими параметрами, обладнаному ПЗС камерами;
- 5) вперше за допомогою створеної системи програмного керування на телескопі АМК на протязі 169 ночей у співавторстві проведено близько 5000 спостережень зірок із каталогу HIPPARCOS та більше 120000 спостережень зірок до 15 зоряної величини в площадках навколо вибраних позагалактичних радіоджерел;
- 6) одержано каталог АМС1В положень 14022 зірок, ототожнених по списку USNO-A2.0, для забезпечення зв'язку між оптичною та радіо системами координат.

#### ***Практичне значення роботи.***

Впровадження повної автоматизації меридіанного телескопа з використанням сучасних реєструючих пристроїв на базі теоретичних, методичних та програмних розробок на прикладі АМК (в порівнянні з напівавтоматом з фотоелектричною реєстрацією) дозволило: скоротити кількість спостерігачів не менш ніж в 2 рази; суттєво збільшити продуктивність спостережень (близько 50 разів); підвищити проникну здатність телескопу більш ніж в 100 разів; більш ефективно розподілити спостережний час; отримувати статистично однорідний спостережний матеріал не зв'язаний з конкретним спостерігачем; підвищити точність реєстрації; ввести адаптивний режим проведення спостережень (автоматично та оперативно змінювати режими роботи вузлів телескопа в залежності від стану апаратури та зовнішніх умов). Розроблені методика спостережень короткими смугами та схема побудови системи програмного керування показали свою доцільність, зручність, надійність та продуктивність при проведенні регулярних спостережень за допомогою автоматичного інструментально-вимірювального комплексу АМК в 1996-1998 роках каталогу слабких зірок в площадках навколо вибраних позагалактичних радіоджерел.

Розроблений комплекс системи програмного керування (СПК) після

#### **АННОТАЦІЯ**

Процок Ю.И. Теоретические и методические основы наблюдений и их обработки на автоматическом меридианном телескопе горизонтального типа. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.01 - Астрометрия и небесная механика. - Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев - 2000.

В диссертации представлены к защите теоретические и методические основы наблюдений и их обработки на автоматическом меридианном круге Николаевской астрономической обсерватории посредством проведения наблюдений и их обработки в автоматическом режиме. Разработан и внедрен высокотехнологический процесс, который включает автоматизированную подготовку к наблюдениям и обработку входных данных, полностью автоматическое проведение наблюдений небесных объектов, контролируемые процедуры обмена информацией между узлами телескопа и управляющей ЭВМ, высокоточную и продуктивную обработку полученных наблюдений от первичной обработки до получения дифференциальных каталогов наблюдаемых объектов включительно. На протяжении 169 ночей при помощи созданного программного комплекса проведено более 120000 наблюдений звезд.

Впервые в Украине отработана методика проведения наблюдений методом коротких полос и их обработки. Создан комплекс программ для исследования параметров Аксиального меридианного круга и контроля его узлов в автоматическом режиме. Впервые в Украине получен практический опыт астрометрических наблюдений на автоматическом телескопе с ПЗС приемниками излучения и программным управлением. Создан универсальный пакет программ ПУМА для обработки астрометрических наблюдений, который имеет высокие показатели и может быть использован без изменений на любом телескопе с близкими параметрами, оборудованном ПЗС камерами. Применение разработанных в диссертации методик, алгоритмов и программ обеспечило эффективность функционирования всего комплекса, позволило получить однородные наблюдательные данные, провести их полную обработку и получить

## ABSTRACT

Protsyuk Yu.I. Theoretical and methodical bases of observation and their processing on automatic meridian telescope of horizontal type. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of physical and mathematical sciences on a speciality 01.03.01 – Astrometry and celestial mechanics. - Main Astronomical Observatory of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv - 2000.

The dissertation presents a theoretical and methodical bases of positional observation and their processing on automatic meridian telescope of horizontal type of the Mykolayiv astronomical observatory by observation and their processing in an automatic mode. The highly technological process which includes the automated preparation for observation and processing of the input data, completely automatic realisation of observation of celestial objects, all control procedures of information interchange between parts of a telescope and managing computer, precision and productive processing of the received observation from basic processing to reception of the differential catalogues of observed objects was developed and introduced. During 169 nights by help of the program complex more than 120000 observation of stars was carried out. The use of the techniques, algorithms and programs, developed in the dissertation, are ensured efficiency of functioning of all complex, allowed to receive the homogeneous observed data, carried their processing and obtain the catalogue of direct ascensions and declinations of finally 14022 stars (11-14.5 stellar magnitudes) from the list USNO-A2.0 around 190 extragalactic radiosources (AMC1B).

Keywords: positional astronomy, automation of observations, processing methods, catalogues, program complex.

незначних змін може бути впроваджений на астрометричних телескопах с ПЗЗ камерами. Зокрема модифікований варіант СПК в 2000 році встановлено на Зонному астрографі Миколаївської обсерваторії (Акт впровадження від 10 березня 2000 року).

Розроблено універсальний пакет програм ПУМА для обробки астрометричних позиційних спостережень, що має високі показники та може бути використаний без змін на телескопі будь якої конструкції з близькими параметрами, обладнаному ПЗЗ камерами. Він дозволяє проводити цифрову фільтрацію ПЗЗ зображень, ототожнювати на отриманих зображеннях зіркоподібні об'єкти (зірки, планети, астероїди, комети) і визначати їхні координати.

Пакет використовувався і показав хороші результати при обробці в МАО спостережень, отриманих на наступних телескопах: Аксіальному меридіанному крузі і Зонному астрографі Миколаївської астрономічної обсерваторії, АЗТ-8 астрономічної обсерваторії Харківського університету та 1.56м рефлекторі Шанхайської астрономічної обсерваторії (КНР) в рамках міжнародної кооперації по спостереженню вибраних радіоджерел, а також переданий для незалежної обробки в астрономічній обсерваторії ім. Енгельгардта (Казань) в рамках договору про співробітництво.

Отриманий каталог положень близько 14000 зірок із списку USNO-A2.0 в вибраних площадках навколо позагалактичних радіоджерел на сьогодні використовується для забезпечення зв'язку між оптичною та радіо системами координат та визначення кутів повороту між двома системами в наукових групах Миколаївської астрономічної обсерваторії, астрономічної обсерваторії Харківського університету, Шанхайської астрономічної обсерваторії та астрономічної обсерваторії ім. Енгельгардта.

#### **Особистий внесок здобувача**

Автор провів 33% спостережень усіх об'єктів, що увійшли до каталогів.

Автором розроблено методики, алгоритми та створено програмне забезпечення для:

- підготовки до спостережень - самостійно,
- контролю вузлів телескопа – в співавторстві,
- визначення параметрів орієнтування телескопа – методики в

- співавторстві, програмне забезпечення самостійно,
- проведення нічного циклу спостережень – в співавторстві,
- первинної обробки ПЗЗ кадрів – в співавторстві,
- обробки фотоелектричних відліків скляного лімба - самостійно,
- ототожнення об'єктів, що спостерігались ПЗЗ мікрометром - самостійно,
- визначення координат спостережених об'єктів у системі координат ПЗЗ матриці - самостійно,
- обробки нічного циклу спостережень – методики в співавторстві, програмне забезпечення самостійно,
- обробки 3-х річного циклу спостережень – самостійно,
- аналізу отриманих даних та каталогів – самостійно.

Автором у співавторстві з Пінігіним Г.І. створено списки об'єктів, що спостерігались на АМК протягом 1996-1998 років та увійшли до представлених каталогів.

Автором проведено близько 50 відсотків первинної обробки усіх об'єктів, що спостерігались на АМК протягом 1996-1998 років.

Автором самостійно проведено обробку усіх нічних циклів спостережень до одержання прямого схилення та піднесення усіх спостережених небесних об'єктів.

Автором самостійно проведено загальну обробку 3-х річного циклу спостережень і отримано каталог прямих піднесень та схилень 14022 зірок (11-14.5 зоряної величини) навколо 190 позагалактичних радіоджерел.

Положення, що складають суть дисертації, висновки та рекомендації зроблені по темі дисертації були сформульовані, вирішені та отримані Ю.І.Процюком самостійно. По темі роботи автором опубліковано 19 статей та одне авторське свідцтво, чотири з них – самостійно, інші в співавторстві. У спільних публікаціях внесок автора полягає у наступному: участь в обробці та обговоренні отриманих результатів [1,17], участь у розробці системи програмного керування [9], розробка методик, розробка системи програмного керування, участь у спостереженнях, обробці та обговоренні результатів [10-13, 2, 15], розробка методик, розробка системи програмного керування, розробка системи обробки інформації [14],

## АНОТАЦІЯ

Процюк Ю.І. Теоретичні та методичні основи спостережень та їх обробки на автоматичному меридіанному телескопі горизонтального типу. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.01 - Астрометрія та небесна механіка. - Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ - 2000.

В дисертації представлено до захисту теоретичні та методичні основи позиційних спостережень та їх обробки на автоматичному меридіанному крузі Миколаївської астрономічної обсерваторії шляхом проведення спостережень та їх обробки в автоматичному режимі. Розроблено та впроваджено високотехнологічний процес, який включає автоматизовану підготовку до спостережень та обробку вхідних даних, повністю автоматичне проведення спостережень небесних об'єктів, контрольовані процедури обміну інформацією між вузлами телескопа та керуючою ЕОМ, високоточну та продуктивну обробку одержаних спостережень від первинної обробки до одержання диференційних каталогів спостережених об'єктів включно. На протязі 169 ночей за допомогою програмного комплексу проведено більше 120000 спостережень зірок. Застосування розроблених в дисертації методик, алгоритмів та програм забезпечило ефективність функціонування усього комплексу, дозволило отримати однорідні спостережні дані, провести їх обробку та одержати каталог прямих піднесень та схилень 14022 зірок (11-14.5 зоряної величини) зі списку USNO-A2.0 навколо 190 позагалактичних радіоджерел (АМС1В).

Ключові слова: позиційна астрономія, автоматизація спостережень, методика обробки, програмний комплекс, каталоги.

- 17) A.N.Kovalchuk, G.I.Pinigin, Yu.I.Protsyuk, A.V.Shulga. Mykolayiv AMC: Current Results of Observation and Investigation. // Всеукраїнській астрономічній конференції. – Київ: ГАО НАНУ. - Інф.бюл. УАА. - 1998. - №12. - С.50.
- 18) Z.H.Tang, W.J.Jin, S.H.Wang, G.Pinigin, A.Shulga, N.Maigurova, Yu.Protsyuk. Determination of Optical Positions for Extragalactic Radio Sources under the Collaboration Between SHAO and NAO. // Proc. of IAU Coll. 180 "Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond Astrometry". – USNO, Washington, DC (USA). – 2000. – P.57-60.
- 19) Процюк Ю.И. Универсальный пакет программ обработки астрометрических наблюдений на инструментах с ПЗС-камерами.// Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI векаю – С.Петербург: ИПА РАН. – 2000. – С.171-172.
- 20) Protsyuk Yu.I. The universal software complex for processing of astrometric observations on telescopes with CCD camera. // Proc. of JENAM-2000. – Moscow (Russia). – 2000. – P.180.

розробка системи програмного керування, розробка системи обробки інформації, участь у спостереженнях, обробці та обговоренні результатів [16-17,5,7], участь у постановці задачі та обговоренні методик[4], участь в обробці та обговоренні результатів [18].

#### *Апробація результатів дисертації*

Основні результати досліджень, що увійшли до дисертації, були представлені у вигляді стендових та усних доповідей на:

- симпозиумі IAU N156 "Developments in Astrometry and Their Impacts on Astrophysics and Geodynamics", 1992..
- 24-й астрометричній конференції в Пулкові, Росія, 4-8 жовтня 1993 р.
- III з'їзді УАА, Київ, 1995.
- симпозиумі IAU N166 "Astronomical and Astrophysical Objectives of Sub-Milliarcsecond Optical Astrometry", Hague, Netherlands, 1995.
- Third East-Asian Meeting «Ground-Based Astronomy in Asia», National Astronomical Observatory, Tokyo, Japan, July 17-21, 1996.
- конференції "Роль наземної астрометрії в Post-Hipparcos період", присвяченій 175-річчю Миколаївської астрономічної обсерваторії, Миколаїв, 5-7 вересня, 1996.
- конференції «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики», С.Петербург, 23-27 вересня, 1996.
- симпозиумі ESA «Hipparcos-Venice'97», Venice, Italy, 13-16 May, 1997.
- IV з'їзді УАА та Всеукраїнській астрономічній конференції, Київ, 27-28 жовтня, 1997.
- міжнародній конференції "Застосування ПЗС методів для досліджень Сонячної системи", Миколаїв, червень, 1999.
- міжнародній конференції, присвяченій 90-річчю з дня народження Є.П.Федорова, Київ, 26-28 червня, 1999.
- конференції «Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века», С.Петербург, Росія, червень, 2000.
- міжнародній конференції "JENAM-2000", Москва, Росія, 29 травня-3 червня, 2000.
- конференції "Astronomy in Ukraine 2000 and Beyond", Київ, 5-8 червня, 2000.

Автор був основним доповідачем на 7 наукових конференціях.

**Публікації**, що відображають основні положення дисертації. Основні результати досліджень дисертаційної роботи представлено у 20 публікаціях, в тому числі 7 в наукових журналах та збірниках по спеціальності, 12 в матеріалах і тезах конференцій та в одному авторському свідоцтві.

**Обсяг та структура дисертації.** Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку цитованої літератури (72 найменування) та 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 107 сторінок.

### ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У Вступі обґрунтовано актуальність роботи по визначенню положень зірок проміжної системи координат навколо позагалактичних радіоджерел, що дає можливість прив'язати оптичну систему координат до міжнародної системи ICRF. Показано стан діючих автоматичних меридіанних телескопів класичних та горизонтальних конструкцій у світі та їх програмного керування. Сформульовано головну мету дисертаційної роботи, показано її наукове та практичне значення, приведені основні положення, які виносяться на захист.

Перший розділ присвячений огляду теорії автоматичних меридіанних телескопів з програмним керуванням (АМК, ГМК). Показано відмінність від класичних та напівавтоматичних інструментів. Розглянуто теорію редукції та похибок, методику врахування параметрів інструменту та статистичний підхід до обробки результатів. Приведено методики створення каталогів на автоматичних меридіанних телескопах.

У другому розділі проводиться огляд програмного забезпечення автоматичних меридіанних телескопів. На прикладі Аксиального меридіанного круга Миколаївської обсерваторії та Горизонтального меридіанного круга Пулковської обсерваторії показано методику спостережень та обробки результатів. Особлива увага приділена

- 9) T.R.Kirian, K.N.Naumov, R.I.Gumerov, G.I.Pinigin, Yu.I.Protsyuk. On the Current State of the MAHIS Construction. // Developments in Astrometry and Their Impacts on Astrophysics and Geodynamic. - IAU Symp.№156. – 1993. - P.117-118.
- 10) А.Н.Ковальчук, Г.И.Пинигин, Ю.И.Процюк, А.В.Шульга. Результаты первых наблюдений на Николаевском АМК с ПЗС микрометром. // Инф.бюл. УАА. - №7. –1995. С.76.
- 11) G.I.Pinigin, A.V.Shulga, P.N.Fedorov, A.N.Kovalchuk, A.E.Mazhaev, A.G.Petrov, Yu.I.Protsyuk. Improvement of star positions by a new Axial meridian circle with negligible systematic errors. //Astronomical and Astrophysical Objectives of Sub-Milliarcsecond Optical Astronomy. - IAU Symp.№166. – 1995. – P.365.
- 12) A.N.Kovalchuk, G.I.Pinigin, Yu.I.Protsyuk, A.V.Shulga, R.I.Gumerov. Recent Advances with the Mykolayiv CCD Axial Meridian Circle. // Proc. of Third East-Asian Meeting on Astronomy «Ground-Based Astronomy in Asia» - National Astronomical Observatory (Japan). – 1995. - P.416-417.
- 13) Ковальчук А.Н., Пинигин Г.И., Процюк Ю.И., Шульга А.В. ПЗС-аксиальный меридианный круг Николаевской обсерватории. // Труды конференции «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики». - С.Петербург: ИПА РАН. – 1996. - С.91-96.
- 14) Процюк Ю.И., Ковальчук А.Н., Шульга А.В Система програмного управління и обработки информации автоматического АМК НАО. // Труды конференции «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики». - С.Петербург: ИПА РАН. - 1996. - С. 97-101.
- 15) A.N.Kovalchuk, G.I.Pinigin, Yu.I.Protsyuk, A.V.Shulga. First steps to re-observation of the HIPPARCOS/TYCHO star by ground-based automatic AMCs. // Proc.of the ESA Symposium «Hipparcos-Venice'97». – Venice (Italy). - ESA SP-402. – 1997. - P.139-141.
- 16) A.N.Kovalchuk, G.I.Pinigin, Yu.I.Protsyuk, A.V.Shulga. Position determination of 12-14 magnitudes stars in the selected fields around extragalactic radiosources with the automatic AMC. // In: Journees 1997 Systemes de Reference Spatio-Temporels.- Prague (Чехія), - 1997. -P.14-17.



Система програмного керування (СПК) АМК, яка не має аналогів в Україні, реалізована на базі двох комп'ютерів: основного, котрий встановлено в службовому приміщенні сектора АМК та керуючого, що знаходиться в кабіні поряд з телескопом АМК, розташованих на відстані близько 200м та одночасно працюючих в спільній комп'ютерній мережі. СПК використовується для керування усіма пристроями телескопа, проведення їх досліджень та визначення параметрів телескопа, підготовки до спостережень, виконання автоматичних спостережень небесних об'єктів в різноманітних режимах, проведення первинної обробки, відображення та збереження отриманої інформації. Схема взаємодії програмного забезпечення показана на рис. 1, де цифрою 1 позначено програмні засоби (ПЗ) встановлені на керуючому комп'ютері, а цифрою 2 - встановлені на основному комп'ютері.

Створений універсальний пакет програм ПУМА дозволяє проводити цифрову фільтрацію ПЗЗ зображень різними методами, ототожнювати на отриманих зображеннях зіркоподібні об'єкти (зірки, планети, астероїди, комети й ін.) і визначати їхні координати. Пакет може використовуватися для обробки астрометричних спостережень отриманих на телескопі будь-якої конструкції з близькими параметрами, оснащеному ПЗЗ камерою.

Третій розділ присвячений спостереженням на Аксіальному меридіанному крузі Миколаївської обсерваторії каталогу опорних зірок навколо позагалактичних радіоджерел з використанням створеного автором програмного комплексу. Розподіл зірок каталогу по зоряній величині наведено на рис.2. Приводиться методика складання робочого списку для спостережень, показано ефективність комплексу при вирішенні поставлених задач. Описано процес спостережень із використанням програмного комплексу. Відмічено надійність роботи усього програмно-апаратного комплексу. Показано проходження інформаційних потоків від різних реєструючих пристроїв телескопа під час спостережень, об'єм одержуваної інформації та методи її первинної обробки та зберігання (Рис.3)

Додаток В (на дискеті) містить універсальний пакет програм ПУМА із складу програмного комплексу АМК для проведення обробки спостережень (їх перелік та опис приведено в Додатку А).

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Вперше створено теоретичні та методичні основи для проведення автоматичних спостережень і їх обробки на Аксіальному меридіанному крузі (АМК) МАО з ПЗЗ камерами та основі цієї роботи отримано каталог положень 14022 зірок із списку USNO-A2.0 до 14.5 зоряної величини для забезпечення зв'язку між оптичною та радіо системами координат.
2. Вперше в Україні відпрацьовано методику проведення спостережень методом коротких смуг та їх обробки.
3. Вперше створено методики, алгоритми та програмне забезпечення для проведення спостережень на АМК та їх обробки й аналізу, від первинної обробки інформації до виводу диференціальних астрометричних каталогів включно.
4. Вперше в Україні створено комплекс програм для дослідження параметрів Аксіального меридіанного круга та контролю його вузлів в автоматичному режимі .
5. Вперше на Україні здобуто практичний досвід астрометричних спостережень на автоматичному телескопі з ПЗЗ приймачами випромінювання та програмним керуванням.
6. Створено універсальний пакет програм ПУМА для обробки астрометричних спостережень, що має високі показники та може бути використаний без змін на будь якому телескопі з близькими параметрами, обладнаному ПЗЗ камерами.
7. В процесі виконання роботи за допомогою створеної системи програмного керування на телескопі АМК на протязі 169 ночей у співавторстві проведено більше 120000 спостережень зірок до 15 зоряної величини в площадках навколо вибраних позагалактичних радіоджерел та обчислено їх прямі піднесення та схилення.

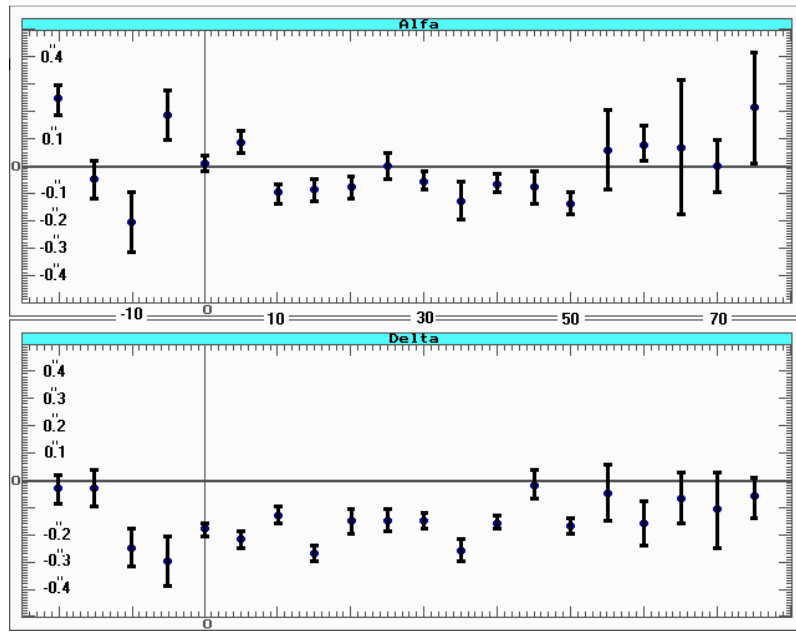


Рис.4 Систематична різниця між каталогами AMC1B та CAMC-9 виду  $\Delta\alpha_\delta$  та  $\Delta\delta_\delta$  в значенні (AMC-CAMC)

У Висновках стисло приводяться основні результати роботи та висновки, які можна зробити на основі досвіду, що накопичено під час цієї роботи. Дано деякі поради щодо подальшого розвитку програмного забезпечення для автоматичних меридіанних інструментів, покращення проникної здатності телескопів та підвищенню ефективності й продуктивності спостережень (зокрема, використання режиму віддаленого доступу до телескопа, в тому числі через мережу Internet).

Додаток А містить перелік та опис програм, що входять у програмний комплекс автоматичного АМК Миколаївської астрономічної обсерваторії.

У Додатку Б (на гнучкому диску 3.5 та в мережі Internet за адресою [http://mypage.goplay.com/naom/amk97\\_02.zip](http://mypage.goplay.com/naom/amk97_02.zip)) приведено каталог 14022 зірок до 14.5 зоряної величини із списку USNO-A2.0 (AMC1B), обчислений на основі спостережень отриманих на АМК протягом 1996-1998 років.

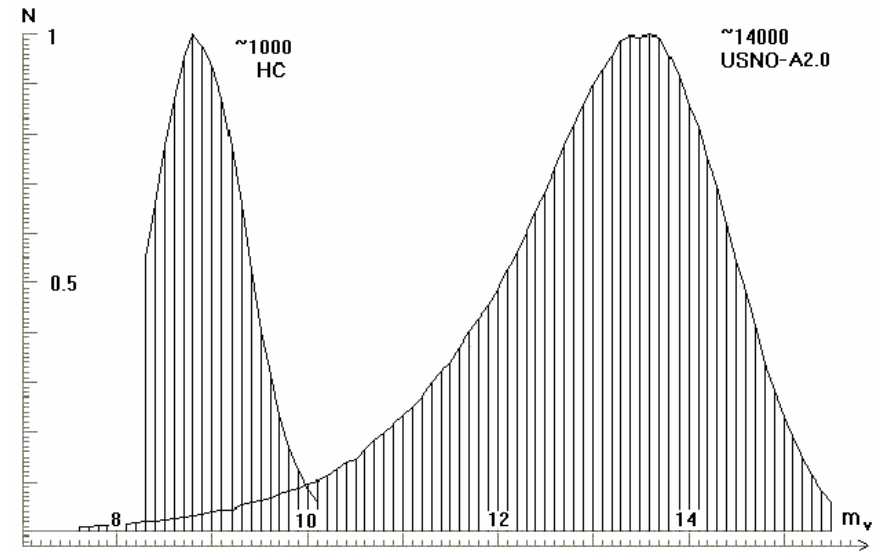


Рис.2. Розподіл зірок по зоряній величині в отриманих каталогах із списків HIPPARCOS та USNO-A2.0

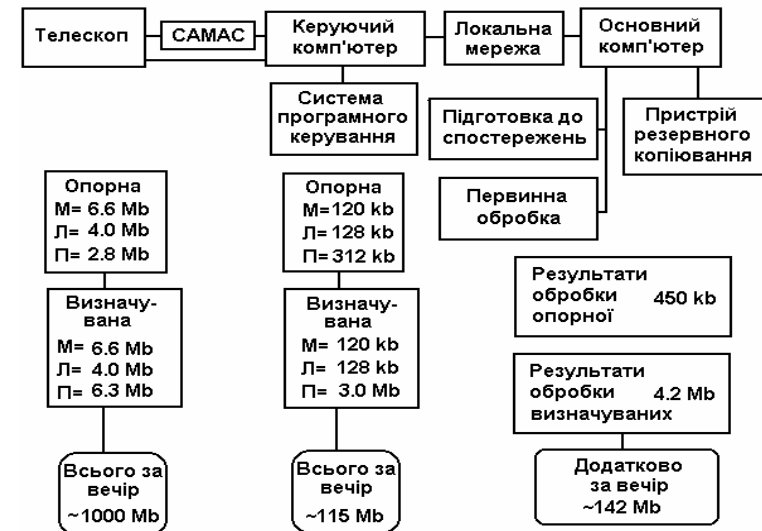


Рис. 3. Структура інформаційних потоків СПК АМК.

За допомогою комплексу проведено трьохрічний цикл спостережень зірок у вибраних площадках навколо позагалактичних радіоджерел. Продуктивність спостережень склала до 2500 зірок за ніч, що визначається в першу чергу параметрами ПЗЗ матриці та проникною здатністю телескопа.

Підготовка вхідних даних виконується автоматично щоденно по всій дузі спостережень та з врахуванням можливих змін метеорологічних умов. Результатом цієї підготовки є створення робочого списку небесних об'єктів для спостережень на даний вечір. Для підготовки до спостережень реалізовано можливість проводити юстування ПЗЗ - мікрометрів та відлікової системи, контролювати працездатність відлікової системи та пристрою точного часу (ПТЧ). Для контролю стану інструменту створено програмні засоби для проведення вимірювань колімації та прогину, а також вимірювання нерівномірності поля зору мікрометра відліку лімба та періодичних похибок лімба. Для проведення спостережень реалізовано автоматичне керування всіма пристроями та вузлами телескопа з можливістю оперативного контролю та гнучкого управління з боку оператора.

Реалізовано можливість як автоматичної так і ручної зміни режимів роботи вузлів телескопа та робочих списків для спостережень в залежності від умов спостережень. В ПЗ є можливість гнучкої настройки СПК в залежності від результатів тестування вузлів телескопа. Оскільки інструмент складається з багатьох вузлів, що можуть працювати у декількох режимах кожний у системі програмного керування передбачено гнучку настройку режимів усіх вузлів, що дає змогу досягнути найкращих показників точності реєстрації в залежності від конкретних погодних умов та стану інструменту. Об'єми та шляхи передачі потоків інформації одного вечора показано на рис. 3, де М - це колімаційні відліки, Л - відліки лімба, П - одержана площадка зоряного неба. З реєструючих пристроїв телескопа через КАМАК та напряму в керуючий комп'ютер поступає близько 1000Мб різноманітної інформації, яка частково обробляється в режимі реального часу і після чого близько 115Мб передається на основний комп'ютер для подальшої обробки.

Четвертий розділ присвячений обробці одержаного на АМК спостережного матеріалу та виводу диференційного каталогу опорних зірок навколо вибраних позагалактичних радіоджерел. Показано методики обробки даних, що використовувались при одержанні координат спостережених зірок та виводі каталогів. Після перевірок різних варіантів було вирішено взяти за основу метод Бесселя для обробки нічних спостережень по прямому сходженню та поліноміальне представлення для схилення.

$$\alpha - T' = (u+m) + (u+m)'_t + n \operatorname{tg} \delta + n'_t \operatorname{tg} \delta + 2c \operatorname{sec} \delta + 2c'_t \operatorname{sec} \delta$$

$$\delta + \rho - M' = a + a't + a''t^2 + a'''t^3 + b\delta + b'\delta^2$$

Велику увагу приділено врахуванню особливостей спостережень на телескопі горизонтальної конструкції з використанням ПЗЗ приймачів випромінювання. Проведено дослідження та аналіз одержаного каталогу. Точність каталогу (кожна зірка спостерігалась приблизно 3-4 рази ) склала

$$\epsilon_{\alpha} \cdot \cos(\delta) = \pm 0.07 \cdot \operatorname{sec}(Z)^{0.20} \cdot (\operatorname{mag}-7)^{0.43}$$

$$\epsilon_{\delta} = \pm 0.09 \cdot \operatorname{sec}(Z)^{0.10} \cdot (\operatorname{mag}-7)^{0.31}$$

Значної залежності від зенітної відстані не виявлено, що може бути наслідком спостережень у центрі міста приблизно на рівні моря і деяким загурбленням результатів внаслідок цього. Залежність від зоряної величини можна пояснити пониженням точності реєстрації в області слабких зірок використовуваної під час спостережень ПЗЗ матриці (ФППЗ-13М виробництва НВО "Силар" м. С-Петербург).

Зроблено співставлення із спільними зірками в площадках навколо позагалактичних радіоджерел із каталогу Карлсбергського автоматичного меридіанного круга САМС-9 (спостереження 1984-1995 років), котре показало систематичну різницю між каталогами на рівні 0."1-0."2. (Рис.4) В південній зоні це в значній мірі може бути зв'язано з присутністю систематичних похибок в самому каталозі САМС, в інших – різницею в конструкції обох телескопів (класична для САМС та горизонтальна для АМК).