

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ

На правах рукопису

ПРОЦЮК 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.

Спеціальність 01.03.01 - Астрометрія і небесна механіка.

ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Науковий керівник:
Пінігін Генадій Іванович
Доктор фіз.-мат. наук,
професор

Київ –2000

З М І С Т

	№ стор.
ЗМІСТ	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ I. ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНИХ МЕРИДІАННИХ ТЕЛЕСКОПІВ ІЗ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ	20
1.1. Теорія редукції та формули приведення і їх відмінність від формул неавтоматичних інструментів.	20
1.2. Методика створення каталогів по спостереженнях на автоматичних меридіанних телескопах. Статистичний підхід.	33
РОЗДІЛ II. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ МЕРИДІАННИХ ТЕЛЕСКОПІВ	34
2.1. Програмне забезпечення та апаратні засоби пулковського Горизонтального меридіанного круга	34
2.1.1. Вечірній цикл спостережень.	35
2.1.2. Обробка отриманих спостережень	39
2.1.3. Ефективність використання програмного забезпечення.	41
2.2. Програмне забезпечення та апаратні засоби миколаївського Аксіального меридіанного круга.	42
2.2.1. Підготовка до спостережень.	47
2.2.2. Вечірній цикл спостережень.	51
2.2.3. Первинна обробка одержаної інформації.	55
2.2.4. Обробка отриманих за ніч спостережень.	57
2.2.5. Обробка довгих рядів спостережень.	60
2.2.6. Ефективність використання програмного забезпечення.	62
2.3. Універсальний програмний пакет ПУМА для обробки	64

астрометричних спостережень .	
2.3.1. Первинна обробка.	65
2.3.2. Обробка отриманої за ніч інформації.	66
2.3.3. Впровадження універсального програмного пакету.	69
РОЗДІЛ III. СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА АМК ОПОРНИХ ЗІРОК У ПЛОЩАДКАХ НАВКОЛО ПОЗАГАЛАКТИЧНИХ РАДІОДЖЕРЕЛ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ	71
3.1. Підготовка до спостережень.	71
3.2. Використання програмного комплексу при проведенні спостережень.	73
3.3. Результати спостережень, обробка в реальному часі та збереження даних.	81
РОЗДІЛ IV. ВИВЕДЕННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО КАТАЛОГА ПОЛОЖЕНЬ ОПОРНИХ ЗІРОК У ПЛОЩАДКАХ НАВКОЛО ПОЗАГАЛАКТИЧНИХ РАДІОДЖЕРЕЛ АМС1В	85
4.1. Обробка отриманих за ніч спостережень.	85
4.2. Узагальнена обробка трирічного циклу спостережень.	102
4.3. Одержання й аналіз диференційного каталога АМС1В	105
ВИСНОВКИ	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	118
ДОДАТКИ	
А. Перелік та опис програм, що входять у програмний комплекс автоматичного Аксіального меридіанного круга	127
Б. Каталог 14403 зірок до 14.5 зоряної величини АМС1В, обчислений на основі спостережень отриманих на АМК протягом 1996-1998 років.	На ГМД
В. Універсальний пакет програм ПУМА із складу програмного комплексу АМК для проведення обробки спостережень	На ГМД

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.

ICRF	International Celestial Reference Frame
ICRS	International Celestial Reference System
ABC	Автоматична фотоелектрична відлікова система лімба
AMK	Миколаївський Аксіальний меридіанний круг
AMT	Автоматичний меридіанний телескоп
ГМІ	Горизонтальний меридіанний інструмент
ГМК	Пулковський Горизонтальний меридіанний круг
МАО	Миколаївська астрономічна обсерваторія
ПЗ	Програмні засоби, програмне забезпечення
ПЗЗ	Прилад із зарядовим зв'язком
ПТЧ	Пристрій точного часу на базі рубідієвого стандарту
ПУМА	Пакет універсальний мультипрограмний астрометричний
РНДБ	Радіоінтерферометр з наддовгою базою
СПК	Система програмного керування

ВСТУП

Позиційна астрономія на рубежі століть, як вказано в працях [17, 30, 58, 60, 68], знаходиться в стані активного розвитку. Можна виділити найбільш яскраві факти і стійкі тенденції, що визначають цей період:

- за результатами першого космічного експерименту Hipparcos (1989-1993pp) були створені два каталоги: а) Hipparcos каталог (НС), що включає 118218 зірок до 12-ї величини, з точністю положень, власних рухів і паралаксів на рівні однієї мілісекунди [19, 39]. За рішенням 23-го з'їзду МАС НС представляє первинну реалізацію міжнародної опорної системи координат ICRS в оптичному діапазоні; б) Tycho каталог (ТС), що включає положення для 1058332 зірок до 11-ї величини з середньою точністю $0.''025$, розподілених по всій небесній сфері з щільністю 25 зірок на квадратний градус (версія Tycho-1) [39, 48] і положення, власні рухи і фотометрія для 2.5 млн. зірок (Tycho-2) [41];
- широке використання каталогів НС/ТС уже на початковій стадії привело до значних змін деяких поглядів і положень у різних розділах астрономії (нове калібрування шкали міжзоряних відстаней, уточнення динамічних параметрів окремих, подвійних і скупчень зірок, уточнення структури, перегляд моделей еволюції галактики й ін.);
- на основі реальності результатів космічного експерименту Hipparcos затвердилося лідируюче положення космічної астрометрії, як самостійного і визначального напрямку в астрономії, особливо при встановленні і підтримці системи координат ICRF;

На тлі вражаючих успіхів космічної астрометрії роль наземних астрометричних досліджень зазнає в даний час істотні зміни. Визначальними факторами в цьому процесі є нові наукові задачі і можливості наземної спостережливої техніки.

Для технічного оснащення сучасних наземних астрометричних інструментів використовуються самі останні технічні досягнення. Активно застосовуються високочутливі детектори випромінювання, зокрема, прилади з зарядовим зв'язком (ПЗЗ), широко вводиться повна автоматизація і програмне керування при підготовці і проведенні спостережень, обробці і збереженні масивів спостережених даних з використанням високопродуктивних обчислювальних засобів, інформаційних мереж, лазерних дисків і ін. [5] Серед наземних астрометричних інструментів значну частину складають автоматичні меридіанні телескопи оснащені ПЗЗ камерами (Табл.0.1.)

Таблиця 0.1.

Діючі автоматичні меридіанні телескопи

ІНСТРУ-МЕНТ	МІСЦЕ УСТАНОВКИ	ПРОНИК НА ЗДАТ-НІСТЬ ^(м)	ЗОНА СХИЛЕНЬ (ГРАДУСИ)	РОЗМІР ПЗЗ МАТРИЦІ ТА ДАТА ПОЧАТКУ РОБОТИ З НЕЮ	В ПРАЦЯХ
PMC D190,F2576	NAOJ, Токуо, Японія +36°	16	-30 ÷ +45	1242x1152 1993	[45 - 47]
SAMC D178,F2665	La Palma, Canaries, +29°, 2100m	17	-30 ÷ +90	2060x2048 1999	[2]
FASTT D200,F2000	USNO, Flagstaff, США +35°,2230m	17.5	-2 ÷ +2	1024x1024 1993 2048x2048 1996	[32 - 34]
MC D190,F2370	Bordeaux, Франція, +44°, 75m	16	+11 ÷ +18	512x512 1994 1024x1024 1996	[29, 42]
SFAMC D176,F2664	El Leoncito Аргентина, -32°,2330m	15	-90 ÷ +30	1999	[18]
Valinhos MC D190,F2576	San Paulo, Бразилія, -23°	15	-77 ÷ +30	512-512 1995	[1,29,36,42]
AMC D180,F2480	Mykolayiv, Україна +47°, 52m	14.5	-10 ÷ +70	288x275 1995	[9-15,23,27, 52,54,55,]
		16	-20 ÷ +90	1094x1160 2001	[9,10,56]

Що характерно для технічного стану і характеристик зазначених АМТ - на них враховуються інструментальні помилки до рівня, приблизно 0."01-0."005. Це досягається завдяки: використанню найбільш оптимальних рішень конструкції телескопа, як наприклад, на горизонтальному Аксиальному меридіанному крузі Миколаївської обсерваторії для зменшення вагових і термічних деформацій; шляхом ретельного контролю і моніторингу всіх інструментальних параметрів (при точності лінійних вимірів 0.1-0.01мкм). Неодмінною умовою всіх сучасних АМТ є оснащення реєструючими пристроями на базі ПЗЗ приймачів. Продуктивність АМТ, оснащених ПЗЗ і програмним керуванням також висока: більше 9000 зірок у годину можна спостерігати на FASTT, близько 5000-7000 зірок на інших АМТ.

Наявність високоточної опорної системи НС дозволяє обмежитися на АМТ лише диференціальними позиційними спостереженнями, що є широко розповсюдженим у даний час. З іншої сторони при диференційному способі для реєстрації достатнього числа опорних зірок довжина ПЗЗ смуги може досягати двох і більше годин; також використовується метод спостережень короткими смугами, як наприклад на АМК, що має можливість спостережень зірок з одночасним контролем параметрів телескопа без зміни його установки по зенітній відстані.

Після проведення експерименту Hipparcos змінилися акценти деяких задач, частина програм втратила актуальність (FK6, IRS). Одною з основних стає створення і підтримка міжнародної небесної системи координат (ICRS), що опирається на положення позагалактичних радіоджерел, отриманих методом РНДБ [3, 6,20,31]. Така система координат повинна мати високу стабільність і точність, оскільки базується на положеннях крапкових позагалактичних радіоджерел із дуже малими власними рухами, порядку 10^{-5} сек. дуги в рік і субмілісекундною точністю. На сьогодні ми маємо глобальну позагалактичну систему координат (ICRF), створену на основі РНДБ спостережень. Система координат ICRF (6) включає положення 610

радіоджерел, що мають яскравість своїх оптичних аналогів близько 17^m - 19^m і точність 0.2 - 0.3 mas. Однак при усіх своїх перевагах ICRF має і деякі недоліки: 1) вона базується на радіоджерелах, що мають дуже слабкі аналоги в оптичному діапазоні, 2) має нерівномірний розподіл і малу кількість об'єктів (приблизно один на 65 квадратних градусів), 3) можлива розбіжність координат об'єктів у радіо і видимому діапазонах довжин хвиль.

Для практичного використання ICRF необхідно мати її представлення в оптичному діапазоні з такою ж точністю, у вигляді зірок більшої яскравості, ніж оптичні аналоги радіоджерел. Для цього її необхідно поширити на більш яскраві зірки, зберігаючи при цьому високу точність їхніх положень. З цією задачею справилась космічна місія Hipparcos. Необхідно також встановлення надійного зв'язку між оптичною і радіо системами координат. Існуючі методи зв'язку між системами координат (СК) розрізняються по яскравості в оптичному діапазоні приблизно на 10 зоряних величин і дозволяють вирішити цю задачу по різному: шляхом багатоступінчастої прив'язки через проміжні СК 12^m - 14^m , 16^m - 18^m використовуючи ширококутові астрографи, меридіанні телескопи і великі оптичні телескопи; прямі методи зв'язку передбачають спостереження радіозірок, що входять у оптичну і радіо СК за допомогою оптичних телескопів і РНДБ [16]. Якраз в цій області може бути використаний і вже використовується одержаний в даній роботі каталог положень 14403 зірок 11-14.5 зоряної величини навколо 190 позагалактичних радіоджерел (AMC1B).

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):

- 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

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 Аксіальному 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 Аксіальному 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 оптичними параметрами, обладнаному ПЗЗ камерами;
- 5) вперше за допомогою створеної системи програмного керування на телескопі АМК на протязі 169 ночей у співавторстві проведено близько 5000 спостережень зірок із каталога HIPPARCOS та більше 120000 спостережень зірок до 15 зоряної величини в площадках навколо вибраних позагалактичних радіоджерел;
- 6) одержано каталог АМС1В положень 14403 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 каталога слабких зірок в площадках навколо вибраних позагалактичних радіоджерел.

Розроблений комплекс системи програмного керування (СПК) після 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 буди 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 піднесення та схилення усіх спостережених небесних об'єктів.

Автором самостійно проведено загальну обробку 3-х річного циклу спостережень і отримано каталог прямих піднесень та схилень 14403 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 свідоцтво, 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], 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].

Автор висловлює глибоку вдячність Г.І.Пінігіну за ідейне керівництво роботою по темі дисертації, цінні зауваження та творчу дискусію по результатам спостережень та обробки. Автор також дякує всім співавторам наукових статей, зокрема Шульзі О.В., Ковальчуку О.М., та колегам по спільній праці на АМК за допомогу в спостереженнях, проведенні обробки, за обговорення та дискусії результатів представленої роботи.

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 Пулково, 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 ПЗЗ методів для досліджень Сонячної системи", Миколаїв, червень, 1999.
- міжнародній конференції, присвяченій 90-річчю з дня народження С.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.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

- 1) Т.Р.Кириян, К.Н.Наумов, Б.Н.Смирнов, О.Ю.Никифорова, Д.Л.Горшанов, Г.И.Пинигин, Ю.И.Процюк, В.Б.Капков, Р.И.Гумеров, Ф.Г.Аюпов. Результаты дифференциальных определений прямых восхождений и склонений звезд на пулковском Горизонтальном меридианном круге Л.А.Сухарева в 1988-90 гг. // Деп. в ВИНТИ 6.05.92, N 1488-B92.
- 2) A.N.Kovalchuk, Yu.I.Protsyuk and A.V.Shulga. CCD Micrometer of the Mykolayiv Axial Meridian Circle. // Astronomical & Astrophysical Transactions. – 1997. - Vol.13. - P.23-28.
- 3) Процюк Ю.І. Програмний комплекс автоматичного меридіанного круга для визначень положень небесних світил // Кінематика і фізика небесних тіл. – 1999. - №1. - С.93-97.
- 4) Ковальчук О.М., Пінігін Г.І., Процюк Ю.І., Шульга О.В., Гумеров Р.І. Використання миколаївського АМК в узгоджених спостереженнях з телескопом на паралактичному монтуванні.// Кінематика і фізика небесних тіл. – 1999. - №1. - С.79-83.
- 5) Ковальчук О.М., Пінігін Г.І., Процюк Ю.І., Шульга О.В. ПЗЗ автоматичний АМК МАО. // Застосування ПЗЗ методів для досліджень Сонячної системи. –Миколаїв: МАО. –1999. -С.20-39.
- 6) Процюк Ю.І. Система програмного керування для автоматичного меридіанного круга з ПЗЗ реєструючими пристроями. // Застосування ПЗЗ методів для досліджень Сонячної системи. – Миколаїв:МАО. – 1999. - С.40-55.
- 7) A.Kovalchuk, G.Pinigin, Yu. Protsyuk, A.Shulga,1999, Extension of the HIPPARCOS catalogue to the faint stars in the selected fields using the

- Nikolaev telescope AMC. // Застосування ПЗС методів для досліджень Сонячної системи. ”, Миколаїв:МАО. – 1999. - С. 68-76.
- 8) Система програмного керування для автоматичних меридіанних інструментів: Свідectво про держ. реєстрацію прав автора, Україна, / Ю.І.Процюк. - ПА №1863 ; Зареєстровано 29.03.1999.
 - 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 і обробки інформації 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: Journées 1997 Systemes de Reference Spatio-Temporels.- Prague (Чехія), - 1997. -P.14-17.
- 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.

РОЗДІЛ І.

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНИХ МЕРИДІАННИХ КРУГІВ ІЗ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ.

1.1. Теорія редукції та формули приведення і їх відмінність від формул неавтоматичних інструментів.

В основі програмних засобів системи програмного керування (СПК) горизонтальних меридіанних інструментів (ГМІ) лежать методи визначення прямих піднесень та схилень небесних об'єктів за допомогою ГМІ, зоряних величин об'єктів, що спостерігаються, дослідження й обліку інструментальних параметрів, рефракційних аномалій з метою виключення їхнього впливу на результати спостережень.

Редукційні формули для пулковського Горизонтального меридіанного круга (ГМК), принципова схема та вигляд якого показано на рис.1.1 - 1.2.

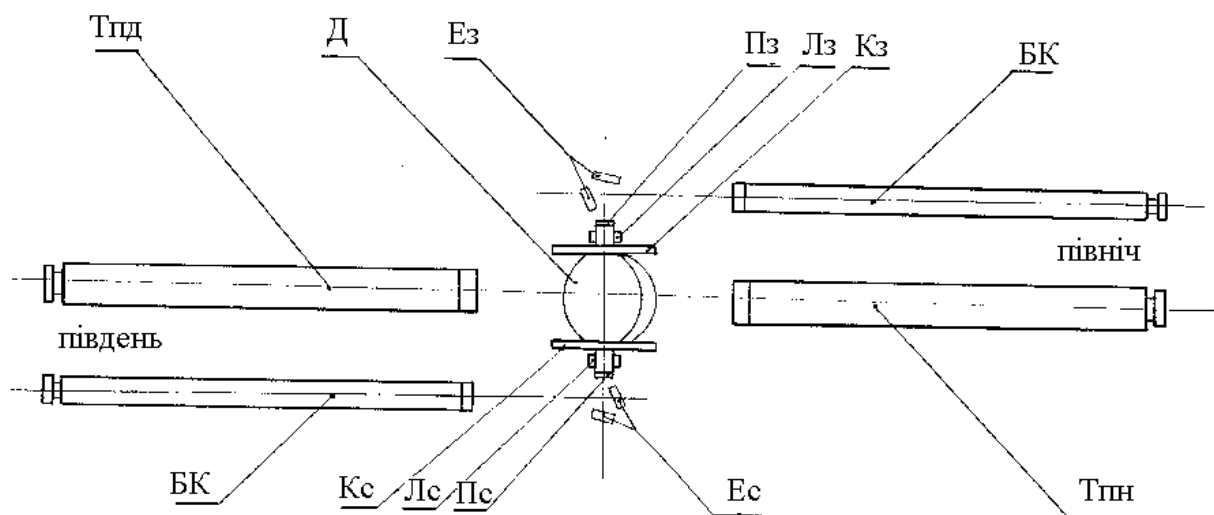


Рис.1.1 Принципова схема ГМК.

Тпд, Тпн – південна та північна горизонтальні труби;

БК – бічні коліматори з автоколімаційними мікрометрами;

Д – двостороннє металеве дзеркало;

Кз, Кс – відлікові круги;

Пс, Пз – плоскі дзеркала;

Ес, Ез – екери.

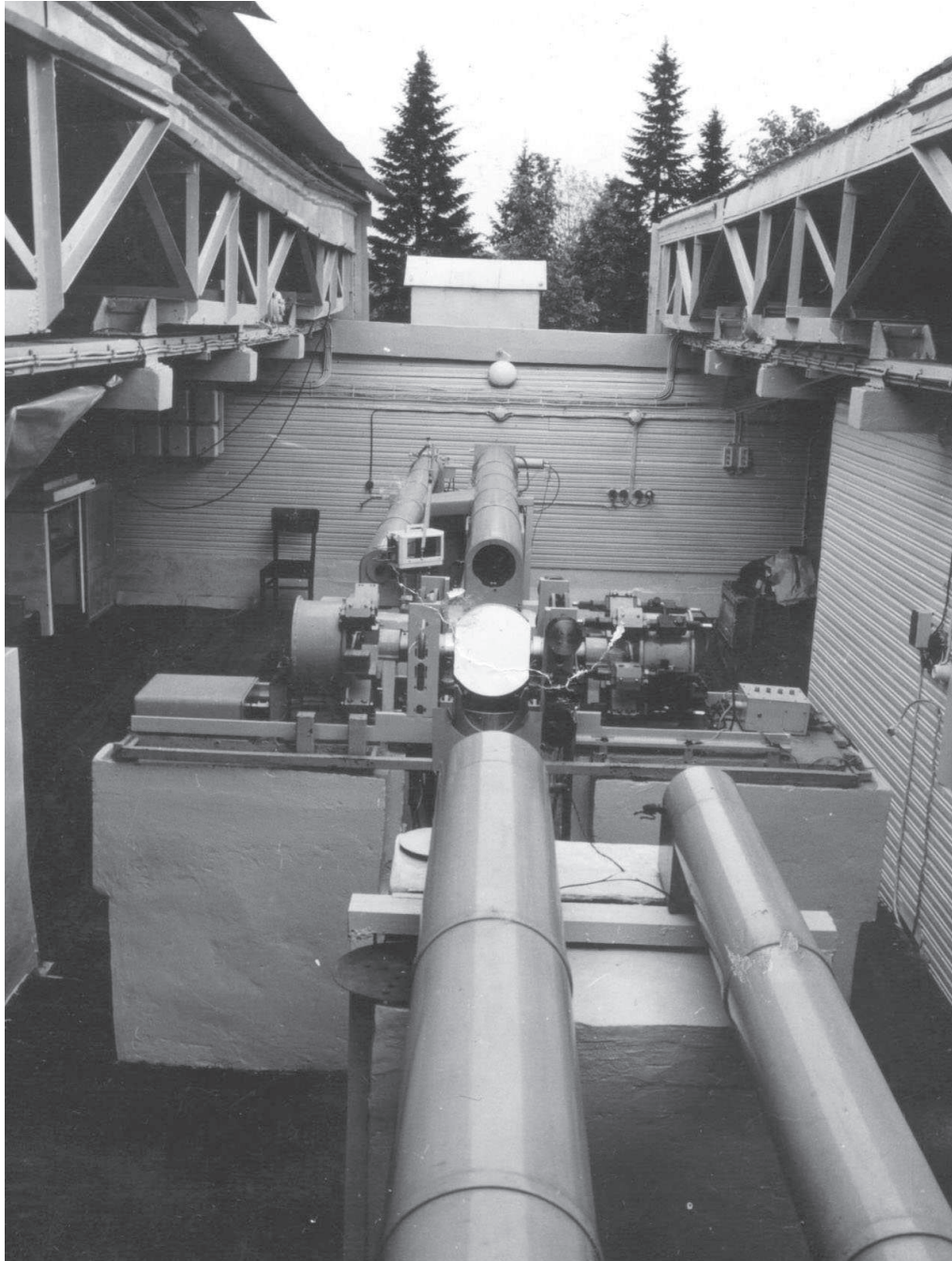


Рис.1.2 Загальний вигляд пулковського ГМК.

а) Для визначення прямого піднесення зірок при спостереженнях у верхній та нижній кульмінаціях (вк/нк), як вказано у працях [50, 58], можна записати наступний вираз:

$$\left(\frac{\text{вк}}{\text{нк}}\right) T_i = T_{\text{прох}} + \Delta T_{\text{прив}} \pm \rho,$$

де T_i – спостережуваний час проходження зірки через меридіан труб ГМК;

$T_{\text{прох}}$ - момент проходження зірки через візирну вісь, що визначається відліком окулярного мікрометра в горизонтальній площині, $X=6000$;

$\Delta T_{\text{прив}}$ - редуція на меридіан південної чи північної труби ГМК;

ρ - добова аберація [для ГМК = 0. $^s 01072 \cdot \text{Sec}(\delta)$]

Для північної труби ГМК ($N_{\text{тр}}$) редуція на меридіан обчислюється за формулами:

$$\left(\frac{\text{вк}}{\text{нк}}\right) \Delta T_{\text{прив}} = (i_{\text{дзерк}} \cdot \text{Cos}(\varphi \mp \delta) + \Delta k_N \cdot [\text{Sin}(\varphi \mp \delta) \mp 1]) \cdot \text{Sec}(\delta),$$

для південної труби ($S_{\text{тр}}$)

$$\left(\frac{\text{вк}}{\text{нк}}\right) \Delta T_{\text{прив}} = (i_{\text{дзерк}} \cdot \text{Cos}(\varphi \mp \delta) + \Delta k_S \cdot [\text{Sin}(\varphi \mp \delta) \pm 1]) \cdot \text{Sec}(\delta),$$

де $i_{\text{дзерк}} = \pm \frac{1}{2} \cdot (X_{\text{гориз}} \pm X_{\text{дзерк}})$ /нахил вісі обертання дзеркала/

тут верхнє значення відповідає N трубі, нижнє - S трубі. Колімаційний член в даних формулах відсутній, так як колімація лабораторним способом не визначалась.

$X_{\text{дзерк}}$ - відлік окулярного мікрометра від дзеркала по вісі X відносно $X_M=6000$ (середнє для прямого й зворотного ходу з врахуванням поправки за реверс),

$$X_{\text{гориз}} = \frac{1}{2} \cdot (X_{90^\circ} + X_{270^\circ}) \cdot R_x'',$$

де $R_x'' = 1 / 20.''24$ /масштаб окулярного мікрометра/

X_{90° , X_{270° - відлік окулярного мікрометра від горизонту по вісі X відносно $X=6000$ при положеннях горизонту 90° і 270° :

$$X_{90,270} = \frac{1}{2n} \cdot \sum_1^n \left[X_M + \frac{1}{2} \cdot (X_{\text{нен}} + X_{\text{нар}}) \right]$$

$\Delta K_{N,S} = (X_{\text{дзерк}} - X_M) \cdot R_x''$ /відносний азимут дзеркала/

Оскільки спостереження в N і S труби ГМК приведені до різних азимутів труб (k_N і k_S), але до одного нахилу дзеркала ($i_{\text{дзерк}}$) необхідно всі спостереження в різні труби привести до однієї системи параметрів орієнтування, наприклад до S труби. Для верхньої кульмінації маємо:

$$\begin{aligned} (O-C)_\alpha = (\alpha - T_i) = & (u + m) + n \cdot \operatorname{tg}(\delta) + 2 \cdot c \cdot \operatorname{Cos}\left(90^\circ - 45^\circ - \frac{\varphi - \delta}{2}\right) \cdot \operatorname{Sec}(\delta) + \\ & + k_S \cdot [\operatorname{Sin}(\varphi - \delta) + 1] \cdot \operatorname{Sec}(\delta) + (u + m)' \cdot \Delta t + n' \cdot \operatorname{tg}(\delta) \cdot \Delta t + 2 \cdot c' \cdot \operatorname{Cos}\left(90^\circ - 45^\circ - \frac{\varphi - \delta}{2}\right) \cdot \\ & \cdot \operatorname{Sec}(\delta) \cdot \Delta t + \Delta k_S' \cdot [\operatorname{Sin}(\varphi - \delta) + 1] \cdot \operatorname{Sec}(\delta) \cdot \Delta t \end{aligned}$$

де $(u+m)$, n , $(u+m)'$, n' - Бесельові параметри та швидкості їх зміни з часом, u - поправка годинника,

c і c' - значення колімації та швидкість її зміни,

Δk_s та $\Delta k'_s$ – поправка до відносного азимута дзеркала через невраховану колімацію та швидкість її зміни.

Приведення спостережень, виконаних у північну трубу до системи південної труби виконується в такий спосіб. Для спостережень прямих піднесень на N і S трубах можна записати вираз: $\alpha_{N,S} = u + T_{N,S} + \Delta T_{N,S}$; вважаємо, що добова аберація врахована. Тоді різницю спостережень в обох трубах можна представити як:

$$(\alpha - T)_S - (\alpha - T)_N = \Delta T_S - \Delta T_N = \Delta$$

Таким чином, щоб від системи N труби перейти до системи S труби необхідно знати величину Δ . Її значення шукається за формулою

$$\Delta = (k_N + k_S) \cdot \text{Sec}(\delta) + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot c \cdot \text{Sin}\left(\frac{\varphi - \delta}{2}\right) \cdot \text{Sec}(\delta)$$

Тоді маємо 2 види рівнянь для N і S труб, які розв'язуються відносно 8 невідомих: $(u+m)$, $(u+m)'$, n , n' , c , c' , Δk і $\Delta k'_s$.

На основі вивчення поведінки параметрів ГМК були отримані наступні дані:

$n' = 0."06/1^\circ\text{C} \sim 1 \text{ год.};$

$i'_{\text{зерк}} = 0."1/1^\circ\text{C} \sim 1 \text{ год.};$

$c' = 0."01 \div 0."004/1^\circ\text{C} \sim 1 \text{ год.};$

$(u+m)' = 0."09/1^\circ\text{C} \sim 1 \text{ год.};$

$k_{\text{тр}} = 0."05/1^\circ\text{C} \sim 1 \text{ год.};$

$\Delta k' \sim 0."2/1^\circ\text{C} \sim 1 \text{ год.};$

Вид формул, які можна використовувати при розв'язку системи рівнянь по опорним зіркам для визначення 8 невідомих параметрів телескопа наступний:

$N_{\text{труба}}$

$$\begin{aligned}
\left(\frac{\theta K}{HK}\right) (O-C)_\alpha = (\alpha-T_i) = (u+m) \pm n \cdot \operatorname{tg}(\delta) \pm 2 \cdot c \cdot \left[\operatorname{Cos}\left(\pm 45^\circ + \frac{\varphi \mp \delta}{2}\right) - \sqrt{2} \cdot \operatorname{Sin}\left(\frac{\varphi - \delta}{2}\right) \right] \cdot \\
\cdot \operatorname{Sec}(\delta) + \Delta k_s \cdot [\operatorname{Sin}(\varphi - \delta) - 1] \cdot \operatorname{Sec}(\delta) + (u+m)' \cdot \Delta t \pm n' \cdot \operatorname{tg}(\delta) \cdot \Delta t \pm \\
\pm 2 \cdot c' \cdot \left[\operatorname{Cos}\left(\pm 45^\circ + \frac{\varphi \mp \delta}{2}\right) - \sqrt{2} \cdot \operatorname{Sin}\left(\frac{\varphi - \delta}{2}\right) \right] \cdot \operatorname{Sec}(\delta) \cdot \Delta t + \Delta k'_s \cdot [\operatorname{Sin}(\varphi - \delta) - 1] \cdot \\
\cdot \operatorname{Sec}(\delta) \cdot \Delta t
\end{aligned} \tag{1.1}$$

S труба

$$\begin{aligned}
\left(\frac{\theta K}{HK}\right) (O-C)_\alpha = (\alpha-T_i) = (u+m) \pm n \cdot \operatorname{tg}(\delta) \pm 2 \cdot c \cdot \operatorname{Cos}\left(90^\circ \mp 45^\circ - \frac{\varphi \mp \delta}{2}\right) \cdot \operatorname{Sec}(\delta) + \\
+ k_s \cdot [\operatorname{Sin}(\varphi - \delta) + 1] \cdot \operatorname{Sec}(\delta) + (u+m)' \cdot \Delta t \pm n' \cdot \operatorname{tg}(\delta) \cdot \Delta t \pm 2 \cdot c' \cdot \operatorname{Cos}\left(90^\circ \mp 45^\circ - \frac{\varphi \mp \delta}{2}\right) \cdot \\
\cdot \operatorname{Sec}(\delta) \cdot \Delta t + \Delta k'_s \cdot [\operatorname{Sin}(\varphi - \delta) - 1] \cdot \operatorname{Sec}(\delta) \cdot \Delta t
\end{aligned} \tag{1.2}$$

б) Для визначення схилення, як вказано у працях [50, 58], можна записати наступні вирази :

для N труби

$$\left(\delta \begin{matrix} \leq \\ > \end{matrix} \varphi\right) Z_{\text{спост}} = \pm 2 \cdot M_{\text{Л}} \pm m + r + (\mp 2 \cdot M_O^N \mp i_{mp}^N) \mp 90^\circ$$

тут верхні знаки використовуються для випадку схилень між екватором і зенітом, нижні – для схилень від зеніту до полюса

для S труби

$$\left(\delta \begin{matrix} \leq \\ > \end{matrix} \varphi\right) Z_{\text{спост}} = \pm 2 \cdot M_{\text{Л}} \mp m + r + (\mp 2 \cdot M_O^N \mp i_{mp}^N) \mp 270^\circ, \text{ де}$$

$$M_{\text{Л}} = \frac{1}{4} \cdot (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) - \text{відлік круга по чотирьом мікроскопам}$$

m - /відлік мікрометра/=

$$= Y_{сер} = \left(\left[\eta_i - (\Delta X_i - PU \cdot \Delta T_i \cdot 15 \cdot \cos(\delta) \cdot 20.24) \cdot \frac{1}{2} \right] \cdot \frac{1}{20.24} \right) - \Delta K_{крив}$$

$$\Delta K_{крив} = (T_{прох} - \alpha_{вид})^2 \cdot 0.000272707 \cdot \sin(2 \cdot \delta)$$

де η_i – відстань від нижньої марки до вершини /2750мкм $\approx 137."$ 5/

PU = KU для першого проходу і PU = -PU для наступних

KU = 1 для верхньої кульмінації і -1 для нижньої

ΔX_i - відстань від вершини до траєкторії зірки

ΔT_i - поправка на обертання Землі

r - рефракція

$i_{тр}$ - нахил труби

M_0 - нуль пункт круга

$$\left(\frac{N}{S} \right) M_0 = \mp (Y_{зерк} - Y_{гор}) + (2 \cdot M_{гор} - M_{зерк}) + 90^\circ$$

$$\text{де } Y_{гор} = \frac{1}{2} \cdot (Y_0 - Y_{180}) \cdot R_y',$$

$$Y_{0,180} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_1^n (X_{нар} - X_{нен}) \cdot \text{tg}(\gamma) + Y_{N_0} \right)$$

$$i_{mp}^N = \pm \left(Y_3 - \frac{1}{2} \cdot (Y_T - 3247) \right) \mp 2 \cdot (M_T - M_3^N) - 90^\circ$$

$$i_{mp}^S = M_0^N - M_3^S + \frac{1}{2} \cdot Y_3 - 3247 - 180^\circ$$

Використовуючи формули для $Z_{спост}$, маємо для обчислення величин

$$\delta_i = \delta_{спост}$$

$$N_{\text{тр}}, S_{\text{тр}} : \delta_i = \varphi_0 - Z_{\text{сност}} \text{ при } \delta < \varphi, \varphi_0 = 59^\circ 46' 12." 0$$

$$N_{\text{тр}}, S_{\text{тр}} : \delta_i = \varphi_0 + Z_{\text{сност}} \text{ при } \delta > \varphi, \text{ вк}$$

$$\delta_i = 180 - \varphi_0 - Z_{\text{сност}} \text{ при } \delta > \varphi, \text{ нк}$$

Для визначення параметрів ГМК використовувалися наступні вирази:

$$\left(\delta \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} \varphi \right) (O-C)_{N,S} = \delta_i^{N,S} - \delta_{\text{кам}} = \Delta\varphi + \Delta\varphi' \cdot \Delta t \pm \left[\begin{matrix} \Delta M_0 + \Delta M'_0 \cdot \Delta t + (b + b' \cdot \Delta t) \cdot \text{Sin}(2 \cdot Z) + \\ + (\Delta r + \Delta r' \cdot \Delta t) \cdot \text{tg}[Z] \end{matrix} \right]$$

де $\Delta\varphi$ і ΔM_0 - поправки до прийнятих значень широти (φ_0) і нуля пункту круга (спільно з нахилом N і S труби: $\Delta M_{0_{N,S}} = \Delta M_0 + \Delta i_{mp_{N,S}}$, а також їх зміни з часом ($\Delta\varphi'$ і $\Delta M'_0$);

b, b' - горизонтальне гнуття дзеркала і його зміна,

$\Delta r, \Delta r'$ - поправка рефракції і її зміна з часом.

Щоб звести спостереження на двох трубах до єдиної системи невідомих - нуля пункту круга і нахилу труби (N чи S), необхідно врахувати внутрішньовечерову поправку $\Delta = \Delta M_{0_S} - \Delta M_{0_N} = \Delta i_{mp_S} - \Delta i_{mp_N}$

Тоді, маємо 2 види рівнянь для N і S труб, котрі вирішуються відносно однакових 6 невідомих: $(\Delta\varphi + \Delta M_0)$, $(\Delta\varphi' + \Delta M'_0)$, b, b' и $\Delta r, \Delta r'$.

На основі вивчення поведінки параметрів ГМК їх можливі зміни:

$$\Delta M'_0 \approx 0."1/1^\circ \text{C} \sim \text{год.};$$

$$\Delta M_0 \approx 0."2/1^\circ \text{C} \sim 1 \text{ год.};$$

$$\Delta i'_{\text{тр}} \approx 0."1/1^\circ \text{C} \sim 1 \text{ год.};$$

Остаточні формули, які можна використовувати для визначення 6 невідомих параметрів:

$N_{\text{труба}}$

$$(O-C)_{\delta} = (\Delta\varphi + \Delta M_0) + (\Delta\varphi' + \Delta M_0') \cdot \Delta t + b \cdot \sin(2 \cdot Z) + b' \cdot \sin(2 \cdot Z) \cdot \Delta t + \Delta r \cdot \operatorname{tg}(Z) + \Delta r' \cdot \operatorname{tg}(Z) \cdot \Delta t + (\Delta i_{mp}^S - \Delta i_{mp}^N) \quad (1.3)$$

$S_{\text{труба}}$

$$(O-C)_{\delta} = (\Delta\varphi + \Delta M_0) + (\Delta\varphi' + \Delta M_0') \cdot \Delta t + b \cdot \sin(2 \cdot Z) + b' \cdot \sin(2 \cdot Z) \cdot \Delta t + \Delta r \cdot \operatorname{tg}(Z) + \Delta r' \cdot \operatorname{tg}(Z) \cdot \Delta t \quad (1.4)$$

Редукційні формули для миколаївського Аксіального меридіанного круга (АМК), принципова схема та вигляд якого показано на рис.1.3 - 1.4.

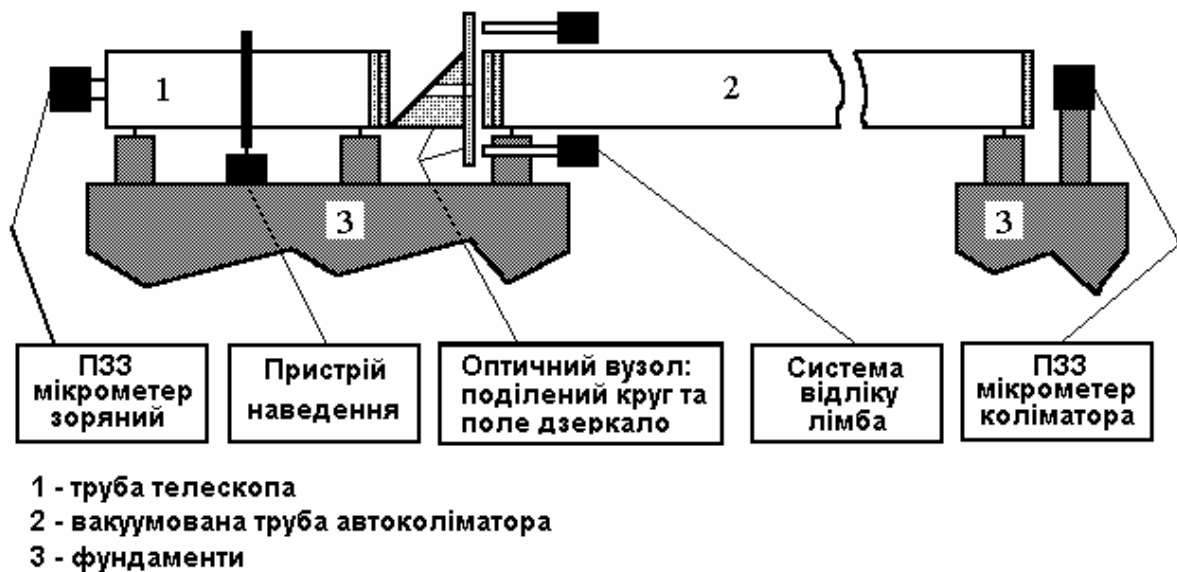


Рис.1.3. Принципова схема АМК.



Рис.1.4 Загальний зовнішній вигляд АМК.

а) Для визначення прямого піднесення зірок, як вказано в працях [58, 66] можна записати наступний вираз :

$$\alpha = U + T_{\text{прох}} + \Delta T_{\text{прив}} \mp \rho$$

де $T_{\text{прох}}$ - момент проходження зірки через середину робочого поля зоряного мікрометра;

$\Delta T_{\text{прив}}$ - редуція на меридіан;

ρ – добова аберація.

$$\Delta T_{\text{прив}} = [k \cdot \sin(\varphi - \delta) + i \cdot \cos(\varphi - \delta) - 2 \cdot c] \cdot \sec(\delta) + \\ + [(X_0 - X) \cdot R_\alpha + \langle (y_0 - y) \cdot \sin(\varphi - \delta) + (x - x_0) \cdot \cos(\varphi - \delta) \rangle \cdot R_k] \cdot \sec(\delta),$$

де X - середина робочого поля зоряного мікрометра;

X_0 – відлік автоколімаційної марки;

R_α - масштаб зоряного мікрометра в секундах часу;

R_k - масштаб мікрометра автоколіматора в секундах часу;

x_0, y_0 – відлік по двох координатах автоколімаційної марки;

x, y - відлік нуля пункту мікрометра автоколіматора;

$(\varphi - \delta)$ - кут між системою координат x, y мікрометра автоколіматора і екваторіальною системою координат;

i, k - нахил і азимут вісі автоколіматора;

c - колімація АМК.

Формули для визначення параметрів АМК по опорним зіркам:

$$\begin{pmatrix} \text{вк} \\ \text{нк} \end{pmatrix} (O - C)_\alpha = \frac{(u + m) \pm n \cdot \operatorname{tg}(\delta) \mp 2 \cdot c \cdot \operatorname{Sec}(\delta) \pm \Delta X \cdot \operatorname{Sec}(\delta) + (u + m)' \cdot \Delta t \pm n' \cdot \operatorname{tg}(\delta) \cdot \Delta t \mp \mp 2 \cdot c' \cdot \operatorname{Sec}(\delta) \cdot \Delta t \pm \Delta X' \cdot \operatorname{Sec}(\delta) \cdot \Delta t \pm (b_\sigma + b'_\sigma \cdot \Delta t) \cdot \operatorname{Cos}(Z) \cdot \operatorname{Sec}(\delta)}{\quad} \quad (1.5)$$

Тут 10 невідомих параметрів орієнтування вісі автоколіматора ($F=12.5\text{м}$) і їх зміни з часом $(u+m)$, $(u+m)'$, u , u' ;

колімація оптичного вузла і її зміна з часом (c , c');

параметр орієнтування труби АМК відносно автоколіматора по вісі X ($\Delta X, \Delta X'$), де $\Delta X = (X_0 - X) \cdot R$;

b_σ, b'_σ - бокове гнуття оптичного вузла і його зміна з часом.

На основі вивчення поведінки параметрів АМК були отримані наступні дані:

$$k' \approx 0.''1/1^\circ \text{ C} \sim 1 \text{ год.};$$

$$n' \approx 0.''14/1^\circ \text{ C} \sim 1 \text{ год.};$$

$$c' \approx 0.''1 \div 0.01''/1^\circ \text{ C} \sim 1 \text{ год.};$$

$$i' \approx 0.''1/1^\circ \text{ C} \sim 1 \text{ год.};$$

$$m' \approx 0.''14/1^\circ \text{ C} (\varphi \approx 45^\circ) \sim 1 \text{ год.};$$

$$\Delta x' \approx 0.''1 \div 0.''2/1^\circ \text{ C};$$

$$b'_\sigma \approx 0.''02/1^\circ \text{ C} \sim 1 \text{ год.}.$$

б) Для визначення схилення зірок у верхній та нижній кульмінаціях, як вказано в працях [58, 66], можна записати наступний вираз:

$$\text{вк} \begin{pmatrix} \delta < \varphi \\ \delta > \varphi \end{pmatrix} \delta = \varphi_0 \mp Z_{\text{спост}}$$

$$\text{нк} \quad \delta = 180^\circ - \varphi_0 - Z_{\text{спост}}$$

$$\text{де } Z_{\text{спост}} = M_{\text{л}} + m + \Delta m_{\text{к}} + r + m_{\mu} + M_0$$

де m - відлік зоряного мікрометра;

$M_{\text{л}}$ - відлік круга;

$\Delta m_{\text{к}}$ - поправка за кривизну паралелі;

r - рефракція;

M_0 - нульпункт круга;

$$M_{\mu} = (Y_0 - Y) \cdot R_{\delta}, \text{ де}$$

Y_0 - відлік зоряним мікрометром напрямку нормалі до торцевого дзеркала;

Y - відлік зірки;

R_{δ} - масштаб зоряного мікрометра в секундах дуги.

Для визначення 8 параметрів АМК по спостереженням опорних зірок можна використовувати наступні вирази:

$$\begin{pmatrix} \delta > \varphi \\ \delta < \varphi \end{pmatrix} (O-C)_{\delta} = \delta_i - \delta_{\text{кат}} = \Delta\varphi + \Delta\varphi' \cdot \Delta t \pm [\Delta M_0 + \Delta M_0' \cdot \Delta t + (b + b' \cdot \Delta t) \cdot \sin(Z) + \\ + (\Delta r + \Delta r' \cdot \Delta t) \cdot \text{tg}(Z)] + (\Delta m_{\mu} + \Delta m_{\mu}' \cdot \Delta t) \quad (1.6)$$

де $\Delta\varphi$ і ΔM_0 - поправки до прийнятих значень широти (φ_0) і нульпункта круга (M_0), а також їх зміни з часом : $\Delta\varphi'$ і $\Delta M_0'$;

b, b' - горизонтальне гнуття оптичного вузла і його зміни з часом ;

$\Delta r, \Delta r'$ - поправка рефракції і її зміни з часом.

Таким чином визначаються наступні 8 невідомих: $(\Delta\varphi + \Delta M_0)$, $(\Delta\varphi + \Delta M_0)'$; b , b' ; Δr , $\Delta r'$; Δm_μ , $\Delta m_\mu'$.

На основі вивчення поведінки параметрів АМК їх можливі зміни:

$$\Delta M_0 \approx 0.''1/1^\circ \text{ C} \sim 1 \text{ год.};$$

$$\Delta m_\mu \approx 0.''1 \div 0.''2/1^\circ \text{ C} \sim 1 \text{ год.};$$

$$b', \Delta r' \approx 0.''05/1^\circ \text{ C} \sim 1 \text{ год.}$$

В подальшому, маючи визначені параметри, можна отримати для визначуваних зірок їх прями піднесення та схилення.

Особливості розглянутих формул для використання на автоматичних меридіанних телескопах з програмним керуванням в порівнянні з формулами меридіанних кругів класичної конструкції полягають:

- у врахуванні членів вищого порядку розкладання у формулах приведення спостережень на меридіан, що особливо важливо при спостереженнях в близько полюсних областях небесної сфери;
- можливості включення у формули визначення положень небесних об'єктів достатнього числа параметрів інструмента для зменшення їхнього впливу при їх змінах з температурою і часом на розмір помилок спостережень як випадкового, так і систематичного характеру;
- нарешті використання адаптивного підходу, тобто створення і використання різних режимів вимірів і врахування впливу різних помилок за допомогою СПК, безпосередньо під час спостережень небесних об'єктів - це дозволяють особливості горизонтальної конструкції, зокрема Миколаївського Аксиального меридіанного круга.

1.2. Методика створення каталогів за спостереженнями на автоматичних меридіанних телескопах. Статистичний підхід.

Методика створення каталогів на автоматичних меридіанних телескопах відрізняється від класичної тим, що кількість спостережень зірок вимірюється десятками і сотнями тисяч. Це дає можливість ефективно використовувати різноманітні статистичні підходи. Крім того при самих спостереженнях збирається значно більше інформації стосовно стану інструменту та його параметрів, що дає змогу при обробці використовувати більш точні формули з більшою кількістю параметрів. Наявність телескопа автомата має на увазі наявність сучасного приймача випромінювання та можливості довгострокового збереження усієї інформації, що поступає з реєструючих пристроїв. Це дає змогу проводити обробку незмінного первинного матеріалу різними методами з вибором найкращих варіантів. При автоматичній машинній обробці такий перебір варіантів не займає такого значного часу, як у випадку неавтоматичних телескопів. Наявність сотень тисяч спостережень дає можливість більш жорстко і одноманітно підходити до обробки спостережень, не звертаючи уваги на можливе відбраковування від 10 до 20 відсотків спостережень, що не вписуються в необхідні точносні чи параметричні межі. В результаті одержаний матеріал, і так досить однорідний статистично порівняно з матеріалом неавтоматичного телескопа, стає ще більш однорідним. Крім того при наявності такої значної кількості спостережень можна використовувати методи отримання каталогів, які при меншій кількості просто не будуть працювати. Всі ці фактори в цілому призводять до того, що якість каталогів телескопів-автоматів, а особливо відношення кількість/якість для них, значно вищі ніж для неавтоматичних інструментів.

Р О З Д І Л ІІ.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ МЕРИДІАННИХ ТЕЛЕСКОПІВ.

Велике значення для підвищення точності та продуктивності астрономічних спостережень має автоматизація процесу спостережень. Для участі в сучасних астрометричних програмах інструмент має відповідати деяким конкретним вимогам [60, 68]. І крім високої точності однією з основних вимог є висока продуктивність спостережень, так як сучасні програми для спостережень включають від сотні тисяч до мільйона об'єктів.

2.1. Програмне забезпечення та апаратні засоби пулковського Горизонтального меридіанного круга.

При створенні вимірювального комплексу Горизонтального меридіанного круга (ГМК) (першого в СРСР автоматичного меридіанного телескопа) підвищення точності та продуктивності спостережень відбулося шляхом створення системи автоматичного наведення на об'єкт по заданій зенітній відстані з автоматичним відліком лімба та реалізації фотоелектричної реєстрації проходження зірки окулярним мікрометром [61, 63, 65]. Було розроблено комплекс апаратних та програмних засобів, що забезпечували повну автоматизацію основних процедур вимірювань [26, 49, 62, 64] в обсязі, що був можливий на той час (кінець 80-х). Загальна схема телескопу ГМК та основні складові частини інструменту, що були використані при створенні вимірювального комплексу докладно описано в [49, 59] та представлено на рис.1.1, 1.2 та 2.1, 2.2.

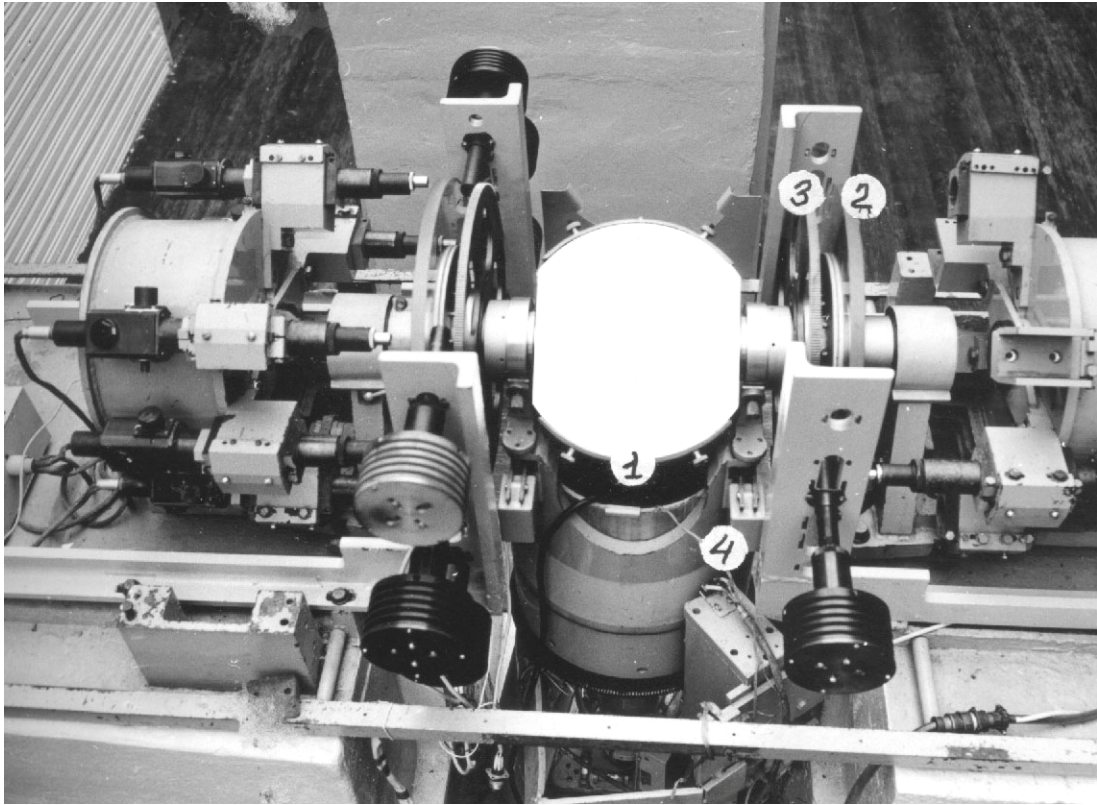


Рис.2.1. Вигляд центральної частини пулковського ГМК.

- 1 – дзеркало,
- 2 – розділений круг,
- 3 – шестрня,
- 4 – система розвантаження

2.1.1. Вечірній цикл спостережень

Система автоматичного керування (САК) ГМК призначена для реалізації автоматичного режиму роботи маятникового дзеркального горизонту, фотоелектричного окулярного мікрометра, фотоелектричного відліку лімба, пристрою наведення на об'єкт спостереження. Також в рамках САК проводилась обробка даних, що надходили від реєструючих пристроїв, редуційні обчислення та збереження результатів спостережень. Система складалась з двох частин: програмного контролера та процесора даних [49, 62].

Програмний контролер своїми портами вводу/виводу утворював інтерфейс системи і безпосередньо керував усім апаратним комплексом, забезпечуючи збір, попередню обробку та збереження інформації, що надходила від пристроїв.

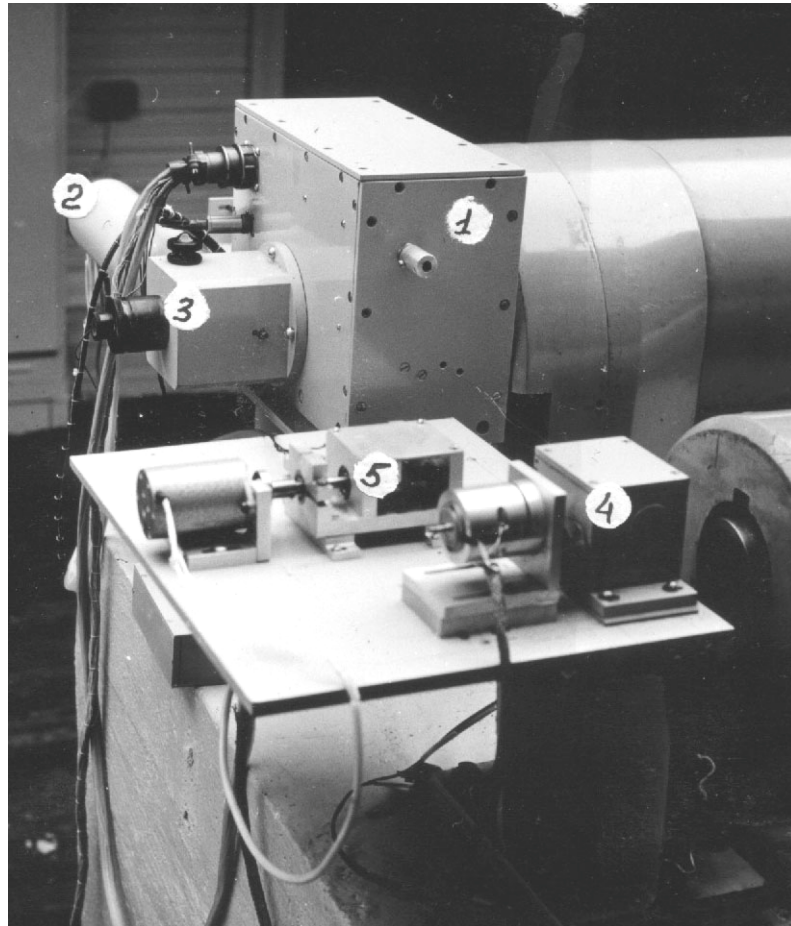


Рис.2.2. Вид окулярного мікрометра ГМК.

- 1 – кожух мікрометра,
- 2 – камера реєструючого фотоелектричного перетворювача,
- 3 – окуляр візуального контролю,
- 4 – привід діафрагми,
- 5 – привід скануючого елемента.

Процесор даних мав зв'язок з програмним контролером і вирішував задачі обробки даних, що надходили від програмного контролера з подальшою редуцією результатів, підготовки вихідних даних на вечір спостережень та ініціації режимів роботи телескопа. Процесор даних забезпечував роботу консолі спостерігача та збереження інформації на магнітних носіях.

Програмний контролер було побудовано на основі набору мікропроцесорних модулів “Електроніка С5-12”, його центральна частина – мікро-ЕОМ на базі 16-розрядного процесора дозволяла реалізовувати мультипрограмний режим роботи. В якості процесора даних використовувалась мікро-ЕОМ “Електроніка ДЗ-28” в комплекті з необхідною периферією. Блок схема програмного забезпечення, встановленого на ГМК представлено на рис.2.3. Воно складалось з двох

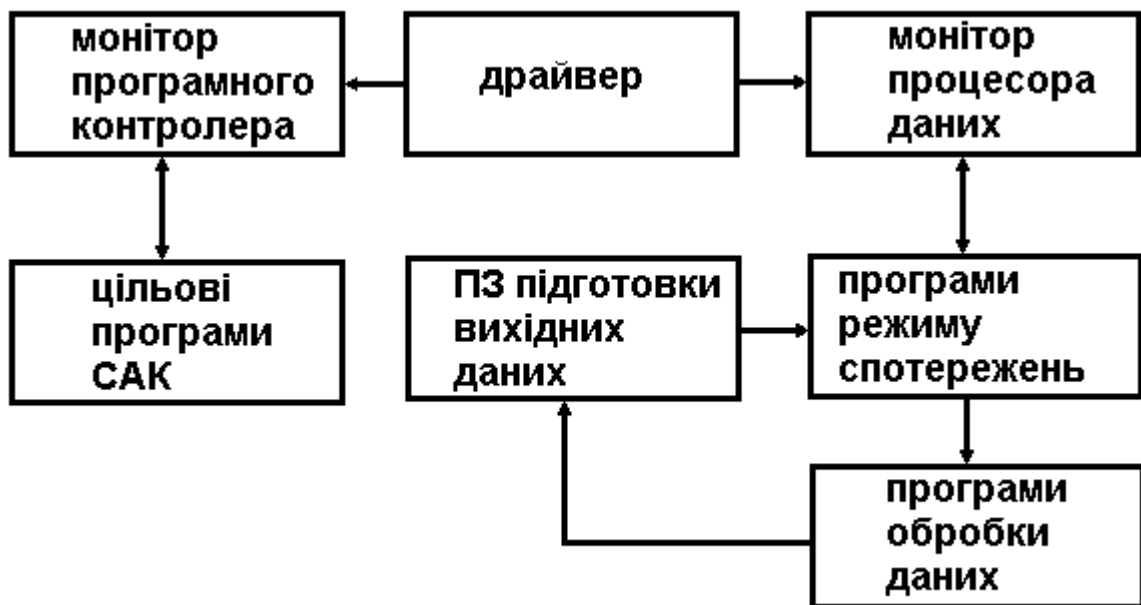


Рис.2.3. Блок-схема програмного забезпечення ГМК.

частин: ПЗ програмного контролера (ПК) та процесора даних (ПД). Програми для програмного контролера складались з монітора та цільових

програм САК. Монітор організовував мультипрограмний режим роботи та займався вводом-виводом інформації. Цільові програми САК служили для забезпечення роботи основних пристроїв інструмента та включали програми наведення, підготовки до реєстрації зірки, проведення фотоелектричних відліків лімба, зчитування фотоелектричного окулярного мікрометра та ін.

ПЗ процесора даних складались з монітора, котрий реалізував взаємодію процесора даних з контролером, а також мав команди ідентичні монітору ПК. Він давав можливість оператору встановлення та очищення любого біту керування, запис та зчитування даних, зчитування реєстрів апаратури, запуск пристроїв комплексу.

Спостереження проводились за допомогою програми, яка на основі попередньо обрахованих ефемерид зірок задавала установочні координати для програм ПК, розпочинала роботу різних вузлів по внутрішнім годинникам комплексу, проводила обробку даних, що приходили від реєструючих пристроїв та проводила запис даних на магнітну стрічку. Для контролю основна інформація, що включала номер реєстрації, зоряну величину, спектральний клас, температуру, вологість, тиск, відліки лімба, відношення сигнал/шум, координати об'єкта в системі координат окулярного мікрометра виводилась на екран дисплея та, при необхідності, на термопринтер. На основі отримуваних від ПК даних та результатів обробки відліків реєструючих пристроїв проводився аналіз на можливий збій комплексу. Крім цього в склад програми входили процедури визначення параметрів інструменту по автоколімаційним вимірам та оперативного контролю системи поділок лімба.

Як вказано в працях [49, 59] спостереження проводились в наступній послідовності:

- 1) включення комплексу, встановлення в вихідне положення вимірювальних пристроїв та дзеркала, введення списку для спостережень;
- 2) визначення параметрів інструменту, відлік метеоданих;

- 3) корегування з врахуванням параметрів інструменту спостережного списку на наступну годину;
- 4) наведення на необхідну зенітну відстань, вимір фону;
- 5) запуск в заданий момент часу реєстрації зірки;
- 6) відлік лімба, відлік метеоданих ;
- 7) обробка одержаної інформації;
- 8) наведення на наступну зірку (перехід на етап 4).

При закінченні годинного списку перехід йшов на етап 3, при настанні часу наступного визначення параметрів інструменту проводився перехід на етап 2.

2.1.2 Обробка отриманих спостережень

Для оцінки можливостей автоматичного пулковського ГМК було проведено спостереження в 1987-90р. списку, що включав обрані групи зірок з каталогів FK4, FK5, ФКС3 - каталог Ru(ГМК)88, а також список опорних зірок у площадках з позагалактичними радіоджерелами Ru(ГМК)89. Оскільки точний список FK5 у 1987р. ще не був визначений у програму ГМК були включені в якості опорних 329 зірок FK4 4-7 зоряної величини, а також зірки FK4S (253 зірки) північної півсфери і зірки ФКС3 (229 зірок). Весь список включав 911 зірок, з яких 502 зірки увійшли в каталог FK5. У список зірок AGR3 у площадках з радіоджерелами з метою уточнення їхніх положень у системі FK5 увійшли зірки у видимій в Пулкові зоні схилень від $+90^\circ$ до -10° . Усього в 62 площадках містилося 170 опорних зірок [24, 51, 59, 66].

З виконаних за період березень 1988 - травень 1990р. спостережень в обробці було використано близько 5 тис. спостережень зазначених списків зірок, отриманих протягом 80 ночей. Спостереження 1987р. носили характер пробних і були використані тільки для аналізу і вивчення технічного стану інструмента.

Обробка проводилась в досить складній послідовності: спостережені дані, отримані в Пулково на ГМК і записані там на магнітну стрічку

передавались в астрономічну обсерваторію ім.Енгельгардта (м.Казань), де на ЕОМ СМ-1420 проводилась їх попередня обробка з визначенням координат зірок в системі координат фотоелектричного мікрометра та визначення координат штрихів лімба. Після цього проміжна інформація передавалась в Миколаївську обсерваторію, де спочатку на СМ-1300, а далі на РС-АТ автором проводилась подальша обробка усіх ночей по опорним зіркам, визначення параметрів інструмента в кожний вечір в системі FK5, обрахування координат визначуваних зірок, вивід каталогів та їх аналіз.

Обрахування координат визначуваних зірок проводилось з використанням визначених на попередньому етапі обробки ночей параметрам інструмента по формулах:

$$\Delta\alpha_{N,S} = \Delta T_{N,S} + (u+m)_0 + (u+m)' + (n_0+n')\operatorname{tg}\delta + 2(c+c') \cdot \cos\left(45^\circ - \frac{\varphi-\delta}{2}\right) \sec\delta + \Delta\mu_s \cdot [\sin(\varphi-\delta)+1] \sec\delta$$

$$\Delta\delta_{N,S} = \Delta\varphi_0 + \Delta M'_0 + b \cdot \sin 2Z + \Delta r \cdot \operatorname{tg}Z$$

Визначення точності спостережень по обох координатах було зроблено за відхиленнями окремих поправок положень зірок від їхніх середніх значень, отриманих за весь період спостережень. Існуючу залежність помилок спостережень схилень від зенітної відстані було представлено виразом: $\varepsilon_\delta = \pm 0''.16(\sec Z)^{0.9}$, а помилок спостережень прямих піднесень виразом: $\varepsilon_\alpha \cos\delta = \pm 0^s.015(\sec Z)^{0.6}$ [51, 59, 66].

У табл.2.1 приведені дані по точності спостережень прямих піднесень і схилень зірок окремих списків. Також вказано кількість зірок, що ввійшли в списки і середню кількість спостережень однієї зірки.

Таблиця 2.1.

Точність спостережень, виконаних на Пулковському ГМК у 1988-90р.

Спостережені списки зірок	$\varepsilon_{\alpha} \cos \delta$	ε_{α}	Число зірок що входили у список	Число спостережень однієї зірки
FK5Б	$\pm 0^s .015(\sec Z)^{0.6}$	$\pm 0'' .16(\sec Z)^{0.9}$	329	4.1
FK5Б+FK4S+ФКСЗ	$\pm 0^s .017(\sec Z)^{0.6}$	$\pm 0'' .17(\sec Z)^{0.9}$	911	3.3
AGK3	$\pm 0^s .024(\sec Z)^{0.8}$	$\pm 0'' .20 \sec Z$	170	3.1

У цілому, точність спостережень на ГМК була на рівні з аналогічними даними того часу для автоматичного телескопа САМС на Канарських островах та японського РМС-190 [7, 51].

2.1.3. Ефективність використання програмного забезпечення

Ефективність використання програмного забезпечення на ГМК можна проілюструвати на прикладі спостережень 1987-90 років. Слід відмітити наступні позитивні результати, що характеризують ефективність використання програмного забезпечення [49, 51, 59]:

- завдяки методам обробки проникна здатність телескопу збільшилась в декілька разів;
- продуктивність спостережень склала до 40 зірок за годину;
- спостережний час розподілявся автоматично і більш ефективно;
- реалізовано оперативний контроль за стабільністю поділок лімба;
- отриманий спостережний матеріал є статистично однорідним при фіксованому стані телескопу і не зв'язаний з конкретним спостерігачем;
- в процесі спостережень можна в режимі реального часу контролювати якість самих спостережень;

- обробка ночей по опорним зіркам проводилась в напівавтоматичному режимі з повним відображенням необхідної інформації в графічному вигляді для можливості швидкого візуального аналізу людиною усіх параметрів в разі виникнення нестандартної ситуації;
- загальна обробка усіх спостережень проводилась в автоматичному режимі з використанням статистичних методів над усім масивом спостережень одночасно.

Багато з цих результатів було б не можливо отримати без використання програмного забезпечення, інші потребували б для їх отримання в десятки та сотні разів більшого часу. Все це показало ефективність та доцільність використання програмного забезпечення при проведенні астрометричних спостережень та їх обробки. Отриманий досвід та наробітки в подальшому були використанні автором при роботі над системою програмного керування телескопа МАГІС [8] та при створенні системи програмного керування та обробки результатів для Аксіального меридіанного круга [28, 70-74] на новому, більш високому рівні.

2.2. Програмне забезпечення та апаратні засоби миколаївського Аксіального меридіанного круга

При створенні Аксіального меридіанного круга (АМК) підвищення точності та продуктивності спостережень відбулося шляхом об'єднання сучасних реєструючих засобів, засобів автоматизації в один інструментально-вимірювальний комплекс з програмним керуванням. Для цього було створено оригінальні методики повної автоматизації меридіанного круга та проведення масових високоточних спостережень в режимі телескопа-автомата які й були втілені в життя на базі Аксіального меридіанного круга Миколаївської астрономічної обсерваторії. Загальна

схема телескопу АМК (мал.2.4) та основні складові частини інструменту, що були використані при створенні апаратно-програмного комплексу детально описано в працях [12, 14, 23, 54, 55, 67].

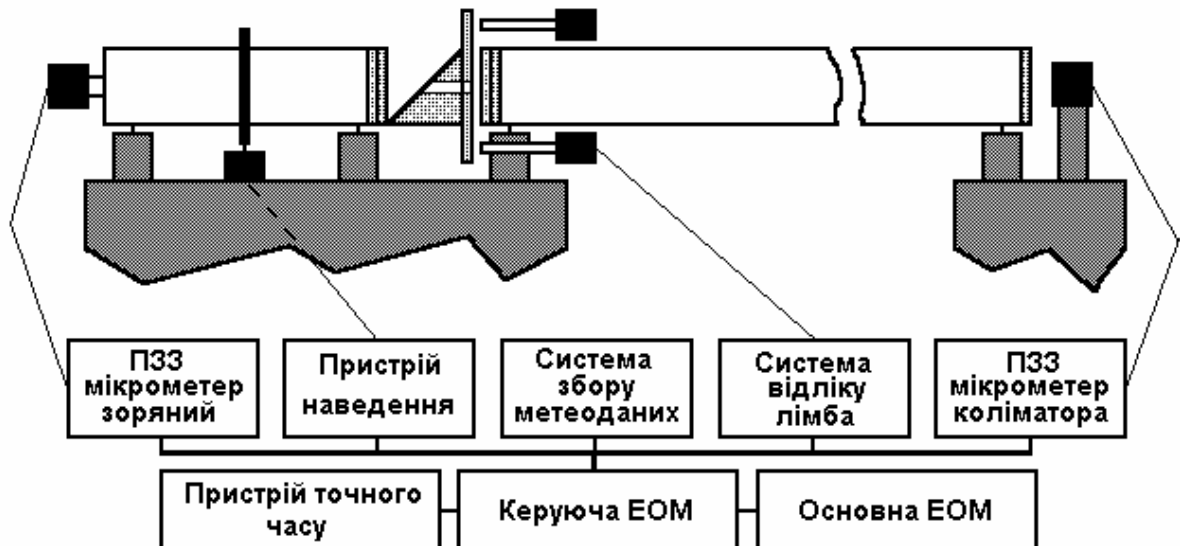


Рис.2.4. Загальна схема вимірювального комплексу телескопу АМК.

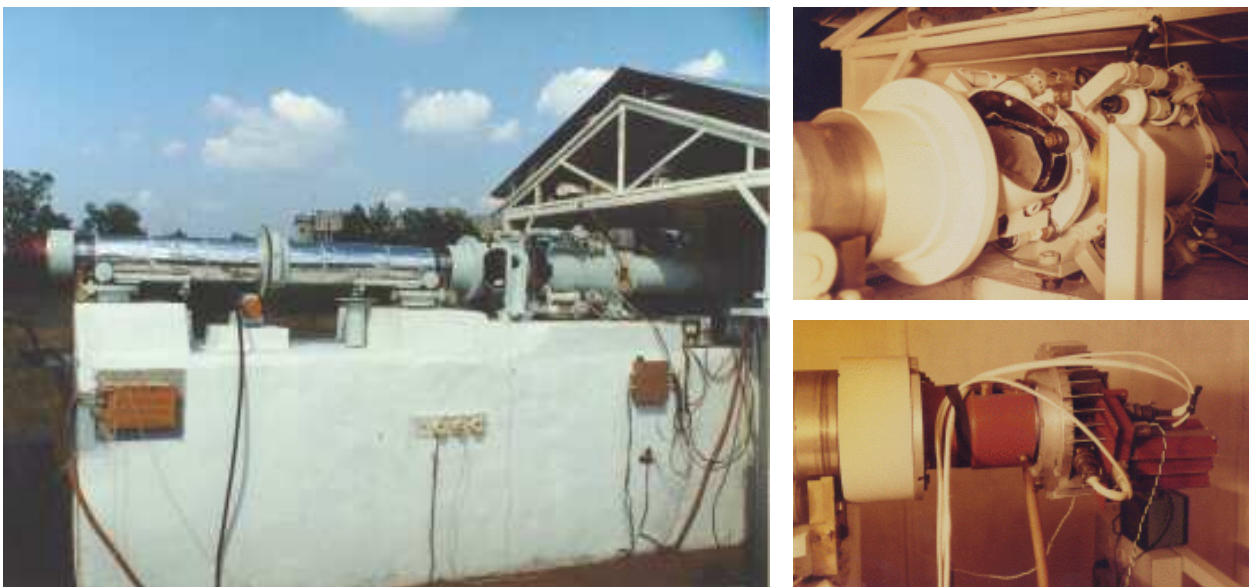


Рис.2.5. Вигляд АМК та його центральних вузлів (Зліва – сам телескоп, справа зверху – призмений вузол, внизу – ПЗЗ окулярний мікрометр).

Усі ці пристрої можуть працювати й автономно, проте не використовуючи усіх своїх можливостей. Внаслідок їх зв'язку в єдиний

програмно-апаратний комплекс за допомогою розробленої методики вдалось отримати вражаючі результати. Система програмного керування (СПК) АМК, яка не має аналогів в Україні, реалізована на базі двох комп'ютерів: основного (iP-ММХ), котрий встановлено в службовому приміщенні сектора АМК та керуючого (5x86), що знаходиться в кабіні поряд з телескопом АМК, розташованих на відстані близько 200м та одночасно працюючих в спільній комп'ютерній мережі [54, 71-73]. СПК використовується для керування усіма пристроями телескопа (ПЗЗ зоряний мікрометр, ПЗЗ мікрометр коліматора, система відліку лімба, пристрої точного часу та наведення телескопа, система збору метеоданих), 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.

Для забезпечення створення на базі усіх перерахованих вузлів автоматичного астрономічного інструментально - вимірювального комплексу з програмним керуванням було розроблено методику модернізації та автоматизації телескопу АМК. Вона включає в себе наступні складові частини:

- Для розміщення електронних засобів АМК вибрано стандарт САМАС як найбільш доцільний на момент створення для розв'язку усього комплексу проблем автоматизації процесу спостережень. Практично вся електроніка реєструючих пристроїв та схем керування вузлами телескопа виконана в стандарті САМАС і розміщена в двох типових крейтах що зв'язані з керуючим комп'ютером.

- Усі реєструючі пристрої розроблено з можливістю програмного керування та оперативної зміни режимів роботи на відстані.

- Для всіх електронних пристроїв реалізовано системи зворотного зв'язку для оперативного реагування та контролю.

- Для механічних пристроїв реалізовано електронні системи, що забезпечують повний контроль та управління механікою.

- Програмне забезпечення для доступу до усіх вузлів створено в єдиній системі з подібним інтерфейсом.

- Параметри роботи та схеми пристроїв передбачають резервні можливості, що вмикаються в разі виходу з ладу окремих вузлів або їх некоректної роботи.

- Методика проведення спостережень враховує специфічні особливості реалізації окремих вузлів.

Реалізація цих задумів у повному обсязі створила єдиний інструментально - вимірювальний комплекс. Наступним кроком необхідно було створити ефективну систему керування усім спостережним процесом. Для цього було реалізовано систему програмного керування, що стала завершальним штрихом у всьому комплексі і завдяки якій інструмент з простого набору вузлів та пристроїв перетворився у телескоп світового рівня, що за своїми параметрами входить у п'ятірку кращих меридіанних кругів світу (автоматичні МК в Морській обсерваторії США, на Канарських островах, в м.Бордо (Франція) та м.Токіо (Японія)).

Як уже відмічалось - СПК створено на базі двох комп'ютерів, основного, що знаходиться в робочому приміщенні сектора АМК, та керуючого, що знаходиться біля телескопу та працюючих одночасно в спільній комп'ютерній мережі. Орієнтовна схема взаємодії програмного забезпечення показана на рис.2.6, де цифрою 1 позначено ПЗ встановлені на керуючому комп'ютері, а цифрою 2 - встановлені на основному комп'ютері.

- Основний комп'ютер, призначений для підготовки до спостережень, накопичення інформації та повної обробки всіх одержаних під час спостережень даних, включаючи ототожнення усіх об'єктів до 16 зоряної величини по каталогам об'ємом від 1.2Гб до 6.0Гб, та накопичення матеріалів обробки вечора для проведення обробки річного або

багаторічного циклу, забезпечений достатнім об'ємом жорсткого диска для накопичення цієї інформації та проміжних даних після первинної обробки.

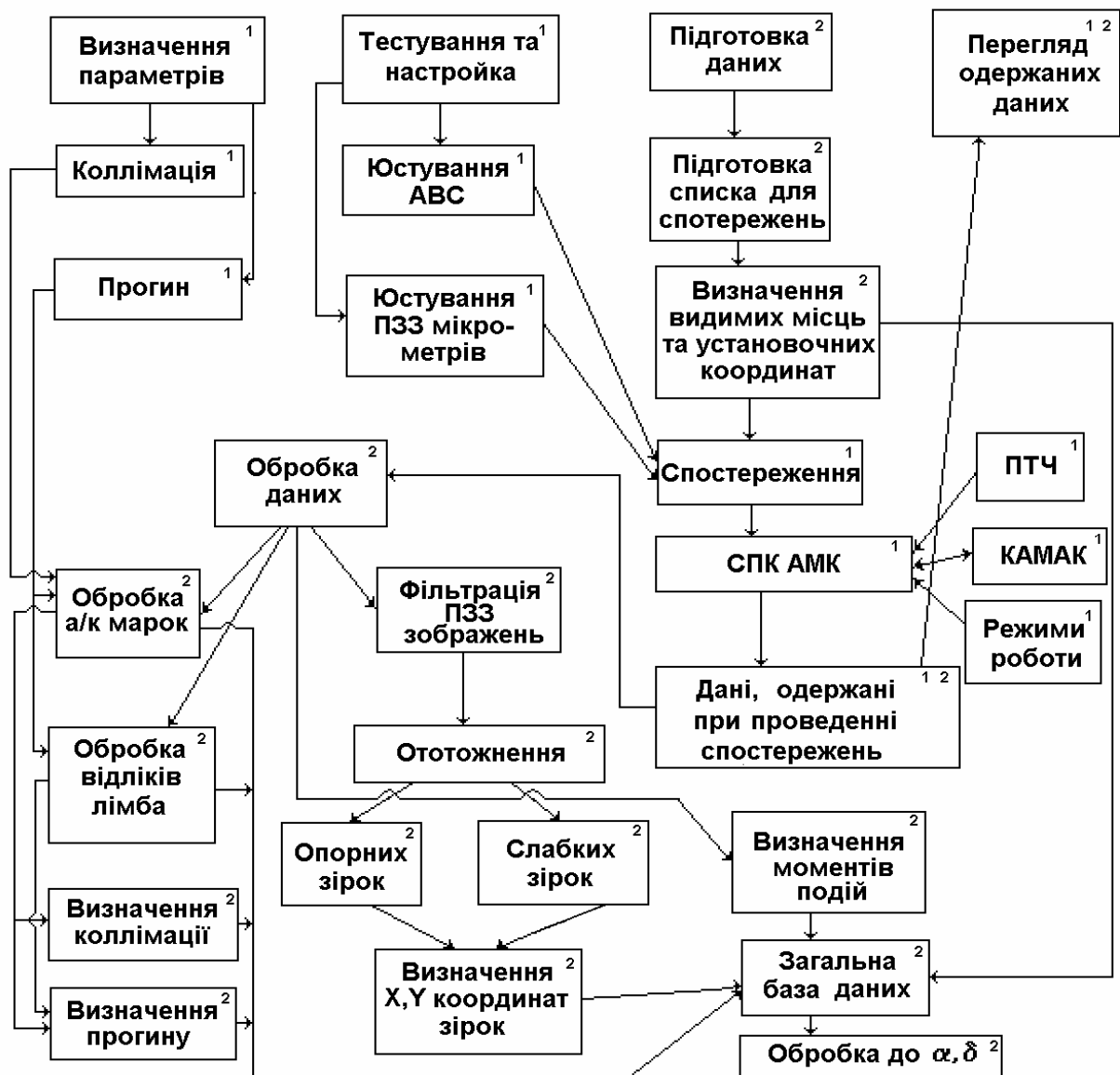


Рис. 2.6. Програмні засоби СПК АМК.

Центральний процесор комп'ютера має швидкість, достатню для первинної обробки усього одержаного матеріалу, що займає найбільш значні ресурси, за час не більше 4-х годин. Об'єм оперативної пам'яті забезпечує проведення усіх операцій переважно без використання віртуальної пам'яті на жорсткому диску. Комп'ютер обладнано пристроєм резервного копіювання на магнітній стрічці.

■ Керуючий комп'ютер, призначений для забезпечення проведення спостережень, керування усіма вузлами телескопа, їх тестування та настройки, передачі інформації після часткової обробки на основний комп'ютер, забезпечений жорстким диском, що дає змогу проводити автономні спостереження не менше 2-х діб. Центральний процесор комп'ютера дозволяє частково обробляти в реальному часі усю одержувану від телескопа інформацію для виключення її надлишкової частини та аналізу ходу спостережень, а також відтворення цієї інформації в наглядному графічному вигляді на екрані монітора без втрати інформації. Об'єм оперативної пам'яті достатній для проведення усіх операцій по керуванню, накопиченню інформації та її первинній обробці протягом одного спостереження без використання віртуальної пам'яті.

■ Лінія зв'язку довжиною більше 200 метрів виготовлена з коаксіального кабелю та для підвищення надійності прокладена під землею на глибині близько 0.3-0.4м. Вона забезпечує неперервний та якісний зв'язок між керуючим та основним комп'ютерами. Для забезпечення необхідної швидкості передачі інформації між комп'ютерами використано однорангову комп'ютерну мережу та апаратні засоби її підтримки, так що обмін усією інформацією по одному спостережному об'єкту між основним та керуючим комп'ютерами відбувається за час не більше 10 секунд

Весь програмний комплекс СПК використовувався під час проведення регулярних спостережень слабких зірок в зонах навколо позагалактичних радіоджерел в 1996-1998 роках [12, 13, 53, 55, 71-73].

2.2.1. Підготовка до спостережень

а) Проведення підготовки вхідних даних для наступних спостережень.

ПЗ призначенні для створення робочого списку небесних об'єктів для спостережень на даний вечір з вибором об'єктів із різних каталогів в зоні

спостережень телескопу з врахуванням реальних швидкісних характеристик телескопу, обчислення видимих місць усіх об'єктів та установочних координат для телескопу.

В склад ПЗ входять: каталог HIPPARCOS [39]; каталоги вибраних об'єктів; статистика по об'єктах, що спостерігались; програма створення робочого списку; програма обчислення видимих місць небесних об'єктів та установочних координат для телескопу; програма аналізу спектральної чутливості прийомного тракту інструменту.

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. Вона включає в себе вибір об'єктів із різних каталогів в зоні спостережень телескопу з врахуванням реальних швидкісних характеристик телескопу, обчислення видимих місць усіх об'єктів та установочних координат для телескопу. Для можливості оперативного реагування на зміни стану оточуючого середовища проводиться підготовка трьох списків для різних фіксованих станів. Для більш точного врахування параметрів інструменту при підготовці списків реалізовано визначення спектральної чутливості усього прийомного тракту по опорним зіркам, що вже спостерігались.

Програмне забезпечення підготовки даних для наступних спостережень складається з:

- програми підготовки робочих списків для спостережень - оперує каталогами 62000 зірок з каталога HIPPARCOS та 1600 зірок з каталога FK5, також у процесі підготовки використовуються положення 270 позагалактичних радіоджерел та 60 малих планет. Всього створюється 3 списки для різних зовнішніх умов при спостереженні. Діапазон об'єктів по схиленню -30° - $+80^{\circ}$, по прямому піднесенню - по всій дузі (24h). Кількість об'єктів в статистичній базі проведених спостережень - більше 10000;

■ програми визначення спектральної чутливості прийомного тракту - по вже проведеним спостереженням аналізує 70 спектральних підкласів чутливості прийомного тракту. Точність визначення чутливості в одному спектральному класі дозволяє оптимально налагодити режими роботи ПЗЗ мікромметра на майбутні спостереження з похибкою не більше 0.2 зоряної величини;

■ програми обчислення видимих місць - точність обчислення видимих місць, по обох координатах - 0."001;

Час, необхідний для повної підготовки усіх списків для спостережень близько 5 хвилин. Підготовка проводиться щоденно в автоматичному режимі без втручання оператора. Оперативна пам'ять, необхідна для роботи програм підготовки даних менше 600кБ.

б) Визначення параметрів телескопу та тестування його вузлів.

ПЗ призначені для контролю стану інструменту та подальшого врахування систематичних інструментальних похибок.

В склад ПЗ входять: програма вимірів польових та періодичних похибок лімба; програма вимірювання колімації телескопа; програма вимірювання гнуття телескопа; програма для контролю та юстування ПЗЗ мікромметрів; програма контролю пристрою точного часу; програма контролю системи відліку лімба.

Для підготовки до спостережень реалізовано можливість проводити регулювання положення ПЗЗ - мікромметрів та відлікової системи, контролювати працездатність відлікової системи та пристрою точного часу (ПТЧ). Для контролю стану інструменту створено ПЗ для проведення вимірювань колімації та прогину, а також вимірювання нерівномірності поля зору мікромметра відліку лімба та періодичних похибок лімба. Для контролю стану інструменту та подальшого врахування систематичних інструментальних похибок проводиться постійний контроль вузлів телескопа та визначення його параметрів. Для цього створено програмне забезпечення,

що дає змогу перед початком спостережень проводити контроль усіх важливих вузлів телескопа, а також в разі необхідності проводити їх настройку та юстування. Повна настройка також проводиться після значних перерв в роботі або зміни вузлів телескопа. Для одержання параметрів інструменту створено спеціальне програмне забезпечення для проведення рядів вимірів нерівномірності поля зору мікромметра відліку лімба та періодичних похибок лімба, колімації та прогину з послідуною їх обробкою.

Програмне забезпечення для визначення параметрів телескопу та тестування його вузлів включає:

- програму для вимірів періодичних похибок лімба та похибок поля мікромметра відліку лімба - може проводити від 10 до 100 серій вимірів похибок лімба, діапазон визначення похибок лімба - 0."01-1."00. Дискретність інтервалу вимірів може бути будь якою в діапазоні 4" - 10°. Повний час проведення одного відліку менше 20 сек. Є повний візуальний контроль ходу усіх вимірів похибок лімба;

- програму для вимірювання колімації та програму для вимірювання прогину - можуть проводити від 5 до 30 серій вимірів колімації та прогину. Повний час проведення одного виміру - 4-5хв. Точність визначення колімації та прогину 0."01-0."02. Передбачено візуальний контроль ходу вимірів;

- програму контролю та регулювання положення ПЗЗ зоряного мікромметра - дозволяє в графічному вигляді контролювати положення ПЗЗ - зоряного мікромметра відносно меридіана та регулювати його положення по зображенням колімаційних марок. При цьому розходження для лівого та правого краю мікромметра не перевищують 0.5 піксела;

- програму контролю пристрою точного часу - проводить контроль працездатності пристрою точного часу (ПТЧ). Час необхідний для проведення повного контролю пристрою точного часу - від 2 до 10хв.

■ програму контролю та юстування системи відліку лімба - призначена для контролю системи відліку лімба та юстування положення ПЗЗ - відлікових мікрометрів по зображенням штрихів лімба. При цьому розходження для верхніх та нижніх частин штрихів не перевищують 1 пікселя.

Необхідна оперативна пам'ять для роботи програм визначення параметрів телескопа та тестування його вузлів від 0.5 до 4.0МБ.

2.2.2. Вечірній цикл спостережень. Спостереження небесних об'єктів при різних режимах роботи СПК, відображення інформації одержуваної з вузлів телескопу та її збереження.

ПЗЗ призначені для проведення спостережень небесних об'єктів шляхом автоматичного керування всіма пристроями та вузлами телескопа, відображення основної інформації одержуваної з вузлів телескопу, її збереження у вибраному форматі та забезпечення гнучкого керування усім процесом.

В склад ПЗЗ входять: програма інтегрованого графічного середовища спостерігача; робочий список об'єктів для спостереження.

В склад СПК також входять наступні апаратні засоби: основний комп'ютер, на якому проводиться підготовка вхідних даних для спостережень, накопичення одержуваної від керуючого комп'ютера інформації та її первинна обробка та збереження інформації; керуючий комп'ютер, що знаходиться біля телескопу та призначений для забезпечення проведення спостережень, керування всіма вузлами телескопа, їх тестування та настройки, передачі інформації після часткової обробки на основний комп'ютер; лінія зв'язку між ними та однорангова комп'ютерна мережа для зв'язку між основним та керуючим комп'ютерами, що служить для забезпечення обміну інформацією між основним та керуючим комп'ютерами.

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. Режими роботи можуть настраюватись як перед спостереженнями у вигляді конфігураційного файлу, так і в процесі спостережень як оператором так і автоматично. Оператор має можливість оперативно міняти спостережні списки та в разі необхідності виключати окремі вузли з процесу спостережень. Оскільки усі вузли телескопу, і особливо зоряний мікромір, протягом одного циклу збирають дуже багато інформації постає питання її досить повного відображення для контролю ходу спостережень та збереження для подальшої обробки. Для цього та для більш точного контролю за інструментом та процесом спостережень в рамках СПК створено інтегроване графічне багатівіконне середовище з відображенням основної інформації, що надходить з телескопу, включаючи зображення зоряного неба з ПЗЗ зоряного мікроміра. Оскільки об'єми інформації досить великі, постає питання їх раціонального збереження для наступної обробки та зменшення інформаційних потоків і необхідного простору на жорстких дисках. Для цього в СПК передбачено часткову обробку вхідної інформації в режимі реального часу для зменшення її об'ємів шляхом виключення надлишкової інформації та застосування алгоритмів пакування. Об'єми та шляхи передачі потоків інформації одного вечора показано на рис. 2.7, де М - це колімаційні відліки, Л - відліки лімба,

П - одержана площадка зоряного неба. З реєструючих пристроїв телескопа через КАМАК та напряду в керуючий комп'ютер поступає близько 1000МБ різноманітної інформації, яка частково обробляється в режимі реального часу і після чого близько 120МБ передається на основний комп'ютер для подальшої обробки.

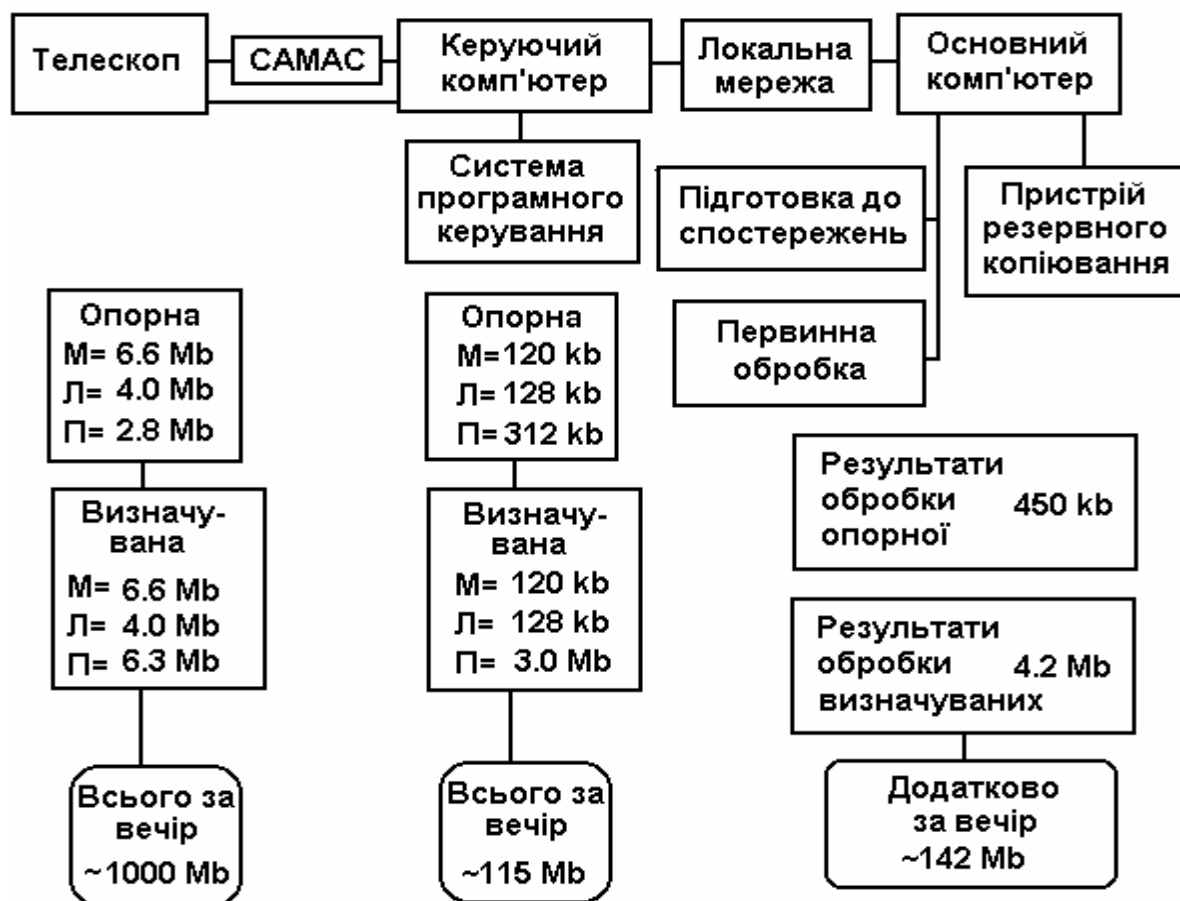


Рис. 2.7. Структура інформаційних потоків СПК АМК.

Програмне забезпечення для спостереження небесних об'єктів має в своєму складі:

- програму інтегрованого графічного середовища спостерігача, яка призначена для гнучкого автоматичного керування усіма вузлами телескопа і процесом спостережень в цілому з можливістю оперативного втручання оператора в разі необхідності. Використовується підготовлений на етапі

2.2.1.a) робочий список об'єктів для спостережень. Кількість спостережуваних об'єктів залежить від тривалості ночі. Діапазон режимів роботи вузлів телескопа задається в конфігураційному файлі. Перелік вузлів, що беруть участь в спостереженнях задається також в конфігураційному файлі (тобто є можливість виключити окремі вузли з процесу спостережень). Зміна режимів роботи вузлів телескопа в залежності від умов спостережень та об'єкту спостережень проводиться автоматично або, в разі необхідності, оператором. Реалізовано можливість зміни спостережуваних списків в процесі спостережень. Вибір об'єктів для спостережень із робочого списку проводиться автоматично. Передбачено можливість вибору об'єктів для спостереження оператором. Відлік автоколімаційних параметрів проводиться автоматично до та після спостереження об'єкту. Реалізовано візуальний контроль усіх відліків та візуальний контроль зображення зоряної смуги, одержуваної ПЗЗ мікрометром, з вирівнюванням поля матриці в режимі реального часу. Також в режимі реального часу в процесі спостережень проводиться первинна обробка та виключення надлишкової інформації з колімаційних відліків та відліків лімба. Передбачено пакування ПЗЗ зображення зоряного неба в по-рядковому режимі. Час відліку параметрів та положення телескопу з первинною обробкою інформації близько 50 сек. Час спостереження смуги з опорною зіркою - 2-4 хв. Час спостереження смуги з визначуваними об'єктами - 5-10 хв. Програмою також проводиться аналіз і відображення зміни положення вісі інструменту та колімаційних міток протягом ночі. По всіх спостережених об'єктах ведеться відображення статистичних даних. В програмі реалізовано звуковий моніторинг усього процесу спостережень, що при унікальних звукових схемах для різних подій дає змогу контролювати хід спостережень та роботу вузлів телескопа на значній відстані, наприклад з іншого павільйону. Для усіх відліків автоколімаційних марок та відліків лімба в процесі первинної обробки проводиться контроль їх якості з автоматичним повтором відліку в разі

необхідності. Наведення на спостережуваний об'єкт проводиться автоматично по відлікам штрихів лімба з контрольного фотоелектричного мікрометра. Точність наведення не гірше 10". Також передбачено автоматичний контроль точності наведення по положенню опорних зірок при подальшому спостереженні з видачею повідомлення оператору в разі значної похибки. В програмі реалізовано регулювання та зміну швидкості обертання телескопа в залежності від зміни погодних умов та стану інструменту. Передбачено автоматичний вибір режимів роботи ПЗЗ зоряного мікрометра для забезпечення оптимальної чутливості та динамічного діапазону залежно від положення об'єктів, їх спектрального класу та зоряної величини. Є також можливість регулювання цих режимів оператором за допомогою клавіатури. Передбачено автоматичне проведення вимірювань напрямку на міру через кожні 1.5-2 години або в разі значної паузи між спостережуваними об'єктами. Необхідна оперативна пам'ять для роботи програми (в залежності від початкової конфігурації та довжини смуги) від 6 до 10 МБ.

2.2.3. Первинна обробка одержаної інформації та ведення статистики по виконаним спостереженням.

ПЗ призначені для автоматичної первинної обробки одержаної інформації, включаючи фільтрування ПЗЗ кадрів та ототожнення присутніх на них об'єктів, ведення статистики по усіх об'єктах, що спостерігались на телескопі.

В склад ПЗ входять: програма фільтрації зображень, отриманих ПЗЗ мікрометрами; програма ототожнення небесних об'єктів на ПЗЗ кадрах; програма визначення координат ототожнених об'єктів в системі координат реєструючого пристрою; програма визначення координат штрихів лімба по їх зображенням; програма збору, накопичення та аналізу статистичної інформації по проведеним спостереженням; програма визначення моментів часу для усіх етапів спостережень.

Для забезпечення первинної обробки одержаного матеріалу створено програмне забезпечення для фільтрації ПЗЗ зображень, що дає змогу покращити відношення сигнал / шум та виділити для обробки достовірну інформацію. Також реалізовано автоматичне ототожнення усіх наявних на зображенні об'єктів до 16 зоряної величини по існуючим в електронному вигляді каталогам. Для забезпечення якнайшвидшої обробки одержаного матеріалу після закінчення спостережень на основному комп'ютері автоматично починається фільтрація ПЗЗ зображень, що є найбільш трудомістким процесом усієї первинної обробки. В процесі проведення спостережень інформація про всі об'єкти, що спостерігались накопичується як у вигляді результатів обробки, так і статистичної інформації, яка в подальшому використовується при підготовці спостережних списків на наступні спостереження.

Програмне забезпечення для первинної обробки одержаної інформації має в своєму складі:

- програму фільтрації зображень, отриманих ПЗЗ мікрометрами, яка призначена для покращення відношення сигнал / шум та виділення достовірної інформації. Вона включає в себе 5 різних алгоритмів фільтрації та забезпечує достовірне виділення зореподібних об'єктів при відношенні сигнал / шум ≥ 1 . Час обробки однієї смуги на iP200 близько 3-4 хв. Необхідна пам'ять для роботи програми фільтрації 12 - 20 МБ в залежності від розміру смуги. Передбачено автоматичний початок фільтрації спостережених кадрів після закінчення спостережень.

- програму ототожнення зореподібних об'єктів, яка призначена для автоматичного ототожнення усіх наявних на зображенні об'єктів до 16 зоряної величини по існуючим в електронному вигляді каталогам. Передбачено врахування рівня сигнал / шум для ототожнених об'єктів та форми їх зображення. Кількість ототожнених об'єктів на кадрі від 3 до 1000. Гранична зоряна величина ототожнених об'єктів залежить від

використовуваних каталогів та якості зображення, але не менше 15^m .
Необхідна пам'ять для роботи програми ототожнення близько 8 МБ.

■ програму визначення координат ототожнених об'єктів, яка призначена для отримання координат спостережених об'єктів в системі координат ПЗЗ матриці. В цій програмі реалізовано 4 методи одержання координат та включено контроль методів на внутрішню точність із спостережень за вечір. Внутрішня точність визначення координат близько 0.01 піксела. Необхідна пам'ять для роботи програми визначення координат 500кБ.

■ програму визначення координат штрихів лімба, яка призначена для одержання координат штрихів лімба, що попадають в поле зору мікрометра. В програмі передбачено 3 методи одержання координат та 16 проміжних дискретних відліків штриха. Внутрішня точність визначення координат - 0.01-0.02 піксела. Необхідна пам'ять для роботи програми - 500кБ.

■ програму збору, накопичення та аналізу статистичної інформації за спостереженнями, яка передбачає автоматичний збір інформації по усіх спостереженнях та щоденне оновлення інформації. Програма створює інформаційний файл для програми підготовки робочих списків. Необхідна пам'ять для роботи програми - 400кБ.

2.2.4. Обробка отриманих за ніч спостережень. Програмні засоби для проведення загальної обробки отриманих за ніч спостережень та визначення параметрів орієнтування телескопа.

ПЗЗ призначенні для визначення поведінки за ніч масштабів ПЗЗ мікрометрів та метеопараметрів, визначення параметрів орієнтування телескопа, обчислення різниць виду (O-C) для опорних зірок по прямому піднесенню та схиленню, визначення функціональної залежності параметрів телескопу (формули 1.5, 1.6).

В склад ПЗ входять: статистика та часові дані по об'єктах, що спостерігались; програма визначення масштабів ПЗЗ камери по спостереженим зіркам, програма обробки нічних спостережень, ототожені об'єкти спостережень.

Визначення масштабів виконується по ототожненим на попередньому етапі обробки зіркам. Для кожної площадки будується система до 32000 рівнянь (залежить від кількості ототожнених зірок) і вирішується за методом найменших квадратів. В процесі визначення масштабу враховується форма та рівень сигналу, зоряна величина зірок та їх розміщення на ПЗЗ кадрі. Це дає змогу отримати масштаб з високою точністю. Крім того є можливість визначити небесні координати одного з об'єктів відносно координат усіх інших зірок на кадрі. Обробка нічних спостережень опорних зірок до (O-C) виконується роздільно по кожній із координат. Сам процес обробки реалізовано в напівавтоматичному режимі: усі основні дії програма виконує автоматично, але рішення про порядок застосування тих чи інших методів та межу похибки, до якої проводиться обробка приймає оператор. Крім того оператор може самостійно виключати деякі зірки з подальшої обробки та оцінювати часові залежності параметрів.

Програмне забезпечення обробки нічних спостережень має в своєму складі:

- програму визначення масштабів ПЗЗ кадрів та визначення небесних координат одного з об'єктів - оперує попередньо визначеними координатами зірок в системі координат ПЗЗ камери та їх каталожними положеннями. Максимальна кількість використовуваних ототожнених об'єктів - до 500, максимальна кількість рівнянь у системі – до 32000. Обробка проводиться в два етапи, на першому використовується приблизний попередній масштаб, у другому використовується масштаб отриманий на першому етапі. Кожен етап в свою чергу включає декілька ітерацій для виключення грубих помилок. Після отримання шуканого масштабу для четвертого в списку

об'єкту знаходяться координати. Час обчислення та необхідна пам'ять залежать від кількості зірок в площадках, в середньому для визначення масштабів для всіх спостережених площадок необхідно 5-10 хвилин;

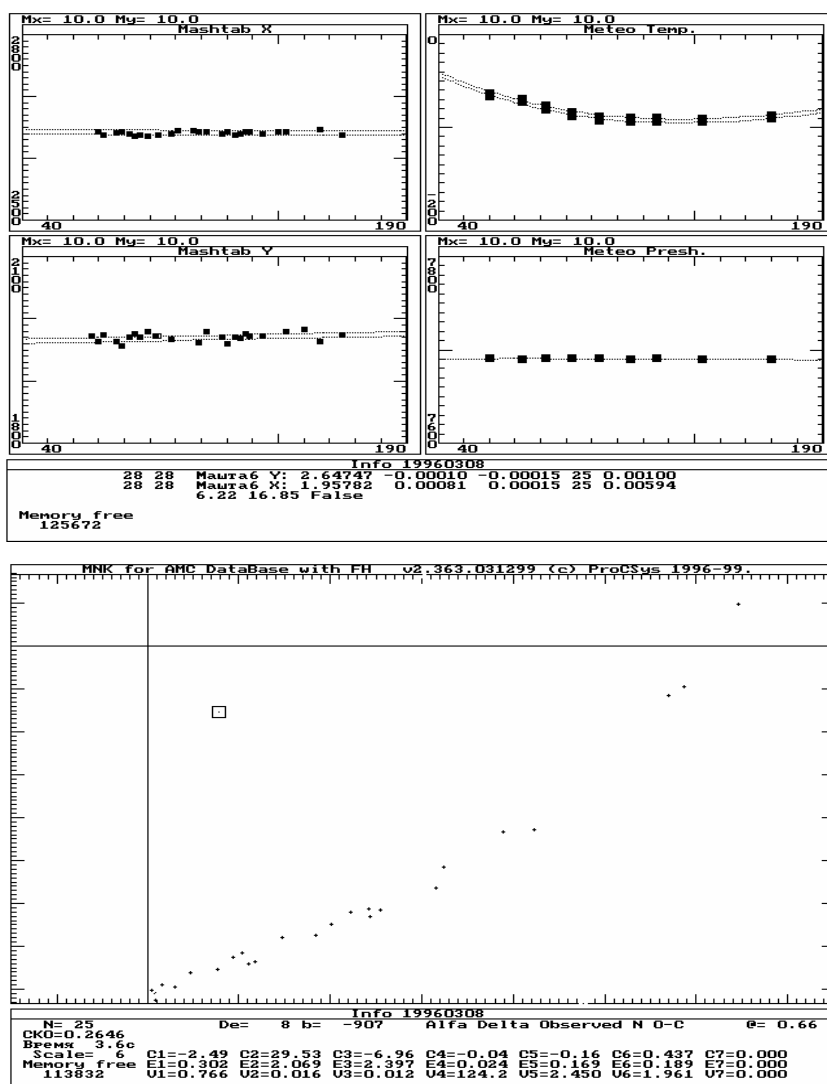


Рис.2.8. Програма обробки нічних спостережень.

Зверху обчислення масштабів ПЗЗ камери та поведінки метеопараметрів, звнизу вигляд основного екрану програми при обчисленні систем виду (O-C)

■ програму визначення поведінки параметрів телескопа з часом та обчислення різниць виду (O-C) для опорних зірок по прямому піднесенню та схиленню. В програмі використовуються формули Бесселя (4.3) та Майера з врахуванням особливостей конструкції АМК для прямого піднесення та

поліноміальна формула (4.4) для схилення. Вся інформація подається у графічному вигляді для можливості оцінки оператором усіх послідовних стадій обробки (рис.2.8). Кількість параметрів у формулах може змінюватись при необхідності від 5 до 9. Передбачено автоматичний вибір масштабу та попереднє врахування можливих грубих похибок в окремих зірок. Час, необхідний для повної обробки нічних спостережень по двом координатам в залежності від якості матеріалу, варіантів обробки та досвіду оператора складає від 5 до 20 хвилин. Оперативна пам'ять, необхідна для роботи програми обробки близько 500кБ.

2.2.5. Обробка довгих рядів спостережень. Програмні засоби для проведення загальної обробки усього циклу спостережень та виводу каталогів.

ПЗ призначені для розрахунку небесних координат визначуваних зірок по знайденим на попередньому етапі по опорним зіркам коефіцієнтам відповідних рівнянь, статистичного аналізу усього матеріалу та виводу каталогів положень опорних та визначуваних зірок.

В склад ПЗ входять: вибрані площадки з каталогів GSC [38] або USNO A2.0 [22], значення масштабів, метеопараметрів, відліків лімба та координат всіх зірок в системі координат ПЗЗ камери за всі вечори спостережень, значення інструментальних параметрів отриманих на етапі обробки нічних спостережень, програма статистичного аналізу спостережених площадок та визначуваних зірок, програма виводу каталога, програма аналізу отриманого каталога.

Визначення небесних координат відбувається з використанням зворотних формул 4.3 і 4.4 та коефіцієнтів, знайдених по опорним зіркам. При цьому всі окремі спостереження вносяться в загальну базу, де накопичуються для подальшого статистичного аналізу. Обробка іде в наступній ієрархічній послідовності: зірка → смуга → ніч в цілому. Тому є

можливість оперативного контролю точності окремої зірки при аналізі нев'язок смуги. Також можна проводити обробку двома шляхами: використовуючи індивідуальні масштаби для кожної смуги та будуючи функцію поведінки масштабу за ніч в залежності від часу та метеопараметрів. Після обробки усіх спостережених за три роки зірок і внесення їх даних у загальну базу починається виведення каталога. Для цього всі спостережені координати переводяться на рівнодення J2000, записи по кожній зірці аналізуються на предмет точності по середньоквадратичній похибці кожної координати та їх відмінності від координат каталога, який використовувався для ототожнення. Підтримується робота з використанням зірок каталогів GSC та USNO двох версій. В разі потреби аналіз проводиться в декілька ітерацій з виключенням зірок з грубими похибками з подальшої обробки. Вся каталожна обробка проводиться повністю автоматично по двом координатам послідовно.

Програмне забезпечення загальної обробки має в своєму складі:

- програму знаходження небесних координат визначуваних зірок по знайденим на попередньому етапі по опорним зіркам коефіцієнтам відповідних рівнянь. В загальній базі програми (на час роботи програми база знаходиться в оперативній пам'яті, після закінчення - зберігається на жорсткому диску) може накопичуватись інформація по 13 окремих спостереженнях для 40000 ототожнених зірок. Максимальна кількість зірок в одній смузі – 350, за ніч – 3000. В базу заносяться координати, епохи спостережень, нев'язки за вечір, величина рефракції та нев'язки усередині смуг, а також величину інтегрального сигналу від зірки на матриці. Час, необхідний для повної обробки всіх спостережень за три роки по двом координатам на комп'ютері з частотою 400МГц близько двох годин. Оперативна пам'ять, необхідна для роботи програми близько 5МБ. Історично так склалось, що робота над цією програмою розпочалась в той час, коли об'єм оперативної пам'яті у комп'ютерів був невеликий по сьогоднішнім

міркам і при реалізації алгоритмів було віддано перевагу економії пам'яті в збиток швидкості хоча в процесі подальшої роботи над програмою вдалося збільшити її швидкість приблизно в два рази.

■ програму статистичного аналізу усього матеріалу та виводу каталога положень визначуваних зірок. Використовує загальну базу попередньої програми, переводить усі координати на рівнодення J2000 та проводить їх аналіз. Параметри по кількості елементів аналогічні попередній програмі. Результатом роботи є два бінарні файли, один з яких є копією вхідного файлу з даними по вибраним площадкам навколо позагалактичних радіоджерел з заміною координат зірок вхідного каталога на координати каталога АМС1В, інший включає в себе виключно зірки каталога АМС1В. Час, необхідний для повної обробки всіх спостережень за три роки по двом координатам та виводу каталога на комп'ютері з частотою 400МГц близько 15 хвилин. Оперативна пам'ять, необхідна для роботи програми близько 200МБ. В процесі роботи над програмою було замінено реалізацію алгоритмів на більш швидкі завдяки відмові від обмеження на об'єм оперативної пам'яті. Це дало збільшення швидкості в 8-10 раз, що при частому використанні програми для перевірки різних методів обробки дало суттєву економію часу.

■ програму аналізу одержаного каталога. Використовує сам каталог та робить його статистичний аналіз по різних параметрам та зонам та аналіз точності каталога з виводом формули функціональної залежності точності від різних параметрів. Результати роботи програми представлено на рис.4.11-4.15. Час, необхідний для статистичної обробки каталога на комп'ютері з частотою 400МГц близько 30 секунд. Оперативна пам'ять, необхідна для роботи програми близько 4МБ.

2.2.6. Ефективність використання програмного забезпечення.

Впровадження повної автоматизації меридіанного телескопа АМК з використанням сучасних реєструючих пристроїв, системи програмного

керування та системи обробки спостережень показали свою доцільність, зручність, надійність та продуктивність при проведенні регулярних спостережень за його допомогою в 1996-1998 роках каталога слабких зірок в площадках навколо вибраних позагалактичних радіоджерел.

Слід відмітити наступні позитивні результати, що характеризують ефективність повної автоматизації з сучасним приймачем випромінювання та використання програмного забезпечення:

- кількість необхідних спостерігачів скоротилась від 3-4-х, що проводили спостереження в процесі наладки телескопу в візуальному режимі до одного, причому при хорошій погоді та закритті доступу до телескопу наявність навіть одного спостерігача була не необхідна – телескоп міг працювати повністю автоматично без втручання людини;
- проникна здатність телескопу збільшилась більш ніж в 100 разів;
- продуктивність спостережень склала до 2500 зірок за ніч;
- спостережний час розподілявся автоматично і більш ефективно;
- отриманий спостережний матеріал є статистично однорідним при фіксованому стані телескопу і не зв'язаний з конкретним спостерігачем;
- підвищилась точність реєстрації;
- реалізовано адаптивний режим проведення спостережень (автоматично та оперативно змінювались режими роботи вузлів телескопа в залежності від стану апаратури та зовнішніх умов);
- в процесі спостережень можна в режимі реального часу контролювати якість самих спостережень;
- підготовка робочих списків для спостережень виконувалась автоматично щоденно без втручання людини з врахуванням результатів попередніх спостережень;

- первинна обробка проводилась автоматично без втручання людини після закінчення спостережень з використанням однакових процедур та підготовкою проміжних результатів до початку робочого дня;
- обробка ночей по опорним зіркам проводилась в напівавтоматичному режимі з повним відображенням необхідної інформації в графічному вигляді для можливості швидкого візуального аналізу людиною усіх параметрів в разі виникнення нестандартної ситуації;
- загальна обробка усіх спостережень проводилась в автоматичному режимі з використанням статистичних методів над усім масивом спостережень одночасно;
- аналіз точності спостережень, каталогів, поведінки системи інструмента одержувався без зусиль під час обробки спостережень та виводу каталогів.

Більшість з цих результатів було б в принципі не можливо отримати без використання програмного забезпечення, інші потребували б для їх отримання в сотні та тисячі разів більшого часу. Все це говорить про те, що на сучасному рівні розвитку астрометрії та вимог до кінцевих результатів вже неможливо обійтись без приділення значної уваги програмному забезпеченню для проведення спостережень та їх обробки.

2.3. Універсальний програмний пакет ПУМА для обробки астрометричних спостережень

У 1996 році були початі регулярні спостереження на Аксиальному меридіанному крузі Миколаївської астрономічної обсерваторії. Для цього телескопа-автомата був створений пакет програм для підготовки до спостережень, їхньому проведенню в автоматичному режимі, а також

обробки отриманих даних від первинної обробки ПЗЗ зображень і відліків інших реєструючих пристроїв, до одержання каталогів спостережених об'єктів [55,71]. У процесі подальшої роботи над пакетом і в зв'язку зі збільшенням кількості астрометричних телескопів оснащених ПЗЗ приймачами і залученню деяких інших телескопів для рішення астрометричних задач [35, 56, 57, 68], стало доцільно виділити з програмного комплексу АМК деяку універсальну частину, що могла б використовуватися при обробці спостережень на інших телескопах. Така робота була проведена і з 1999 року цей універсальний пакет програм ПУМА (Пакет універсальний мультипрограмний астрометричний) почав використовуватися для обробки спостережень, проведених на різних інструментах із ПЗЗ камерами. Правильність та своєчасність такої роботи видно по тому, що й у інших наукових установах починають працювати над проблемою створення універсального ПЗ для обробки спостережень [50]. Пакет програм (ПП) ПУМА дозволяє враховувати темновий сигнал і проводити цифрову фільтрацію ПЗЗ зображень, ототожнювати на отриманих зображеннях зіркоподібні об'єкти (зірки, планети, астероїди й ін.), визначати їхні координати і проводити деякі інші розрахунки. Пакет може використовуватися для обробки астрометричних спостережень отриманих на будь-якому телескопі, оснащеному ПЗЗ камерою працюючою в кадровому режимі чи в режимі синхронного переносу заряду.

2.3.1. Первинна обробка.

При проведенні первинної обробки одержаного матеріалу ПП ПУМА дозволяє враховувати величину фонового сигналу для кадрового режиму роботи ПЗЗ камери. Для цього використовується три різних методи, що дозволяють вибрати найбільш придатний для конкретного телескопа. Програма фільтрації зображень, отриманих ПЗЗ мікрометрами - призначена для поліпшення співвідношення сигнал / шум і виділення достовірної

інформації. Програма працює з ПЗЗ кадрами будь-якого розміру і використовує до 8 різних методів фільтрації включаючи одержання плоского поля, низькочастотні не рекурсивні цифрові фільтри, фільтри на основі Фур'є перетворення. При обробці можливо комбінувати різні фільтри в потрібних послідовностях. Час фільтрації одного кадру розміром 1024x1024 пікселя при використанні усіх фільтрів близько 2-х хвилин. В залежності від режиму роботи програмі потрібно від 5 до 20 МБ пам'яті. Приклад використання програми фільтрації показаний на рис.2.9.

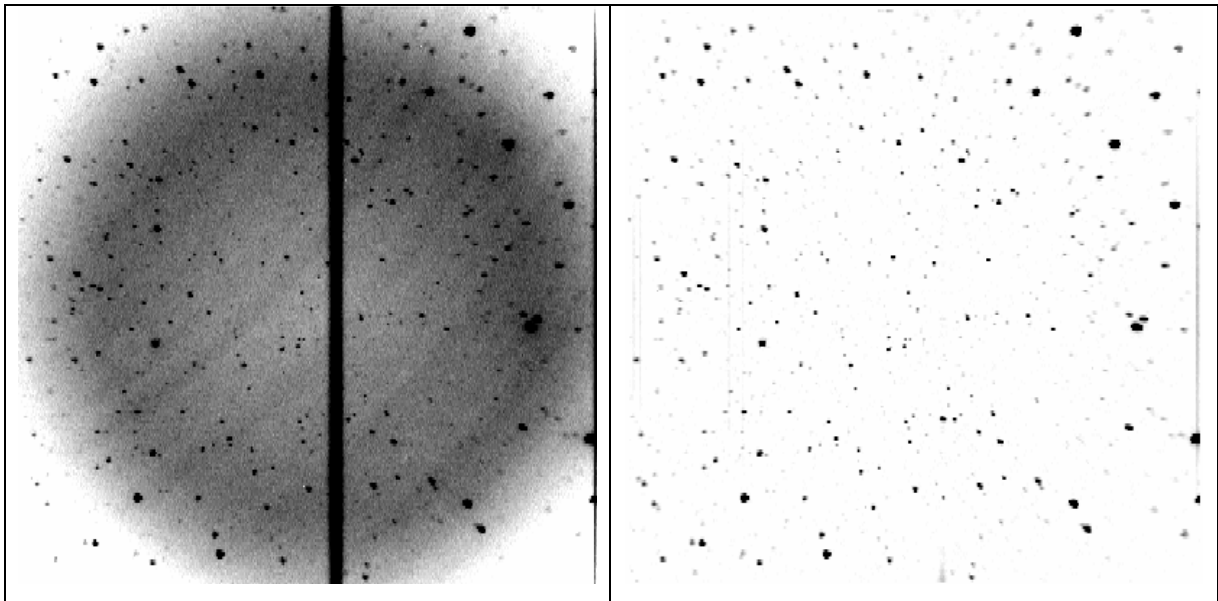


Рис. 2.9. Результат використання програми фільтрації на прикладі зображення, отриманого на 1.56 метровому телескопі Шанхайської обсерваторії (Китай). (зліва первинний кадр – з права відфільтрований)

2.3.2. Обробка отриманої за ніч інформації.

Після проведення первинної обробки можна провести ототожнення об'єктів, що спостерігались та визначити їх координати. Для цього створена програма ототожнення зіркоподібних об'єктів - призначена для ототожнення присутніх на зображенні об'єктів по існуючим в електронному виді каталогам. Передбачено облік рівня сигнал / шум для ототожнених об'єктів і форми їхніх зображень. Кількість ототожнюваних об'єктів на кадрі від 3 до 1000. Підтримуються два режими роботи – для ототожнення кадрів і довгих

смуг. Оператор вибирає мишкою 3 чи більше зірок, подальше ототожнення здійснюється автоматично. Програма працює з ПЗЗ зображеннями будь-якого розміру. Гранична зоряна величина ототожнених об'єктів залежить від використовуваних каталогів, проникної здатності телескопа і якості зображення. Для ототожнення можна використовувати каталоги Guide Stars Catalogue [38], USNO-A1.0 [21] чи USNO-A2.0 [22] який містить 488,006,860 зірок. Час ототожнення одного кадру 1024x1024 пікселя з 500 об'єктами 2-3 хвилини (Рис.2.10-2.11), необхідна пам'ять приблизно дорівнює подвійному обсягу ПЗЗ кадру. Ототоженні об'єкти передаються для подальшого визначення їхніх координат.

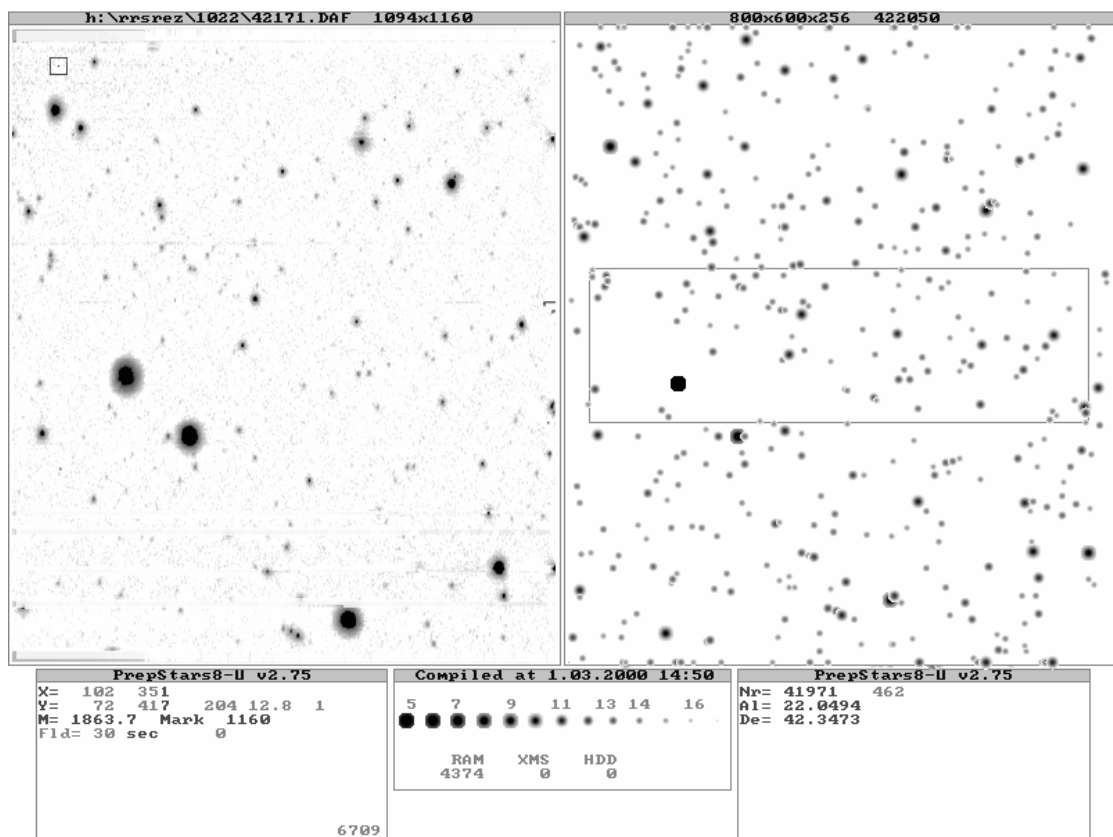


Рис. 2.10 Використання програми ототожнення на прикладі зображення, отриманого на Зонному астрографі Миколаївської обсерваторії.
Початок роботи.

Програма визначення координат ототожнених об'єктів - призначена для одержання координат ототожнених спостережених об'єктів у системі координат ПЗЗ матриці, що використовуються для одержання небесних

женнями близько 0.01-0.02 пікселя. Програма може визначати координати трьома різними методами паралельно. Обробка в залежності від режиму роботи проходить зі швидкістю від 20 до 100 зірок у секунду.

Крім цього в пакет входять програми розрахунку масштабів ПЗЗ матриць у конкретний вечір по спостережених зірках (враховується діапазон зоряних величин, мінімальна і максимальна відстань між зірками, обробка проводиться в кілька етапів, у використовуваних зірок 4-400, швидкість одержання одного масштабу 0.1-20 секунд у залежності від кількості зірок), перегляду і конвертації в різні графічні формати. Для нормальної роботи всього пакета (по швидкості) досить РС сумісного комп'ютера з тактовою частотою 200 МГц і оперативною пам'яттю 32Мб, для більш швидкої обробки (особливо фільтрації) рекомендується комп'ютер з більшою тактовою частотою й оперативною пам'яттю 64 МБ (параметри по часу обробки, зазначені вище, приведені для конфігурації К6-2/400/64МБ). Зазначені конфігурації, що рекомендуються, приведені з розрахунку матриці 1024x1024 пікселя і приблизно 100 одержуваних кадрах за ніч.

2.3.3. Впровадження універсального програмного пакету.

Пакет використовувався і показав гарні результати при обробці спостережень, отриманих на наступних телескопах:

- Аксиальному меридіанному крузі Миколаївської астрономічної обсерваторії – приблизно 3000 смуг розміром 275x1300 пікселів (8'x60') і 5000 смуг розміром 275x300 (8'x8') отриманих при спостереженні каталога опорних зірок навколо позагалактичних радіоджерел у 1996-1998 р.;
- АЗТ-8 астрономічної обсерваторії Харківського університету – близько 100 кадрів 375x241 пікселів (8'x6') отриманих у 1998-1999 р. при спостереженні позагалактичних радіоджерел;

- 1.56м рефлекторі Шанхайської обсерваторії – приблизно 50 кадрів 1024x1020 пікселів (12'x12') отриманих у 1998-1999 р. при спостереженні позагалактичних радіоджерел;
- Зонному астрографі Миколаївської астрономічної обсерваторії – близько 200 кадрів 1190x1094 пікселів (30'x28') отриманих у 1999-2000р. при спостереженні малих планет.

РОЗДІЛ ІІІ.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА АМК КАТАЛОГА ОПОРНИХ ЗІРОК У ПЛОЩАДКАХ НАВКОЛО ПОЗАГАЛАКТИЧНИХ РАДІОДЖЕРЕЛ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ.

Як уже відмічалось вище - протягом 1996-1998 років на АМК проводились регулярні спостереження каталога опорних зірок у площадках навколо позагалактичних радіоджерел із використанням створеного програмного комплексу. Тепер зупинимось на цьому більш детально.

3.1. Підготовка до спостережень

Перший, або початковий, етап процесу спостережень – це підготовка усього програмно-апаратного комплексу. Для цього відкриваємо павільйон та включаємо всі прилади. Перевіряємо стан тиску в вакуумованій системі ПЗЗ мікрометрів та трубі телескопа. Якщо тиск вище допустимого – додатково включаємо компресор для відкачування повітря. Включаємо живлення охолоджувачів ПЗЗ мікрометрів та плавно, протягом 5-10 хвилин, піднімаємо струм до штатного. Паралельно охолодженню реєструючих мікрометрів включаємо керуючий комп'ютер і перевіряємо наявність на диску основного комп'ютера директорії з поточною датою і присутність там файлу з спостережним списком на даний вечір. Запускаємо програми контролю фотоелектричних відліків лімба, пристрою точного часу (ПТЧ) та механічного поворотного приводу телескопа (більш докладно про самі програми контролю та тестування телескопу написано у другому розділі). Переконаємось що все в порядку. Запускаємо програму для визначення і настройки яскравості міри. Необхідно встановити силу струму таким чином, щоб амплітуда сигналу від міри в окулярному ПЗЗ мікрометрі була в межах 70-80 відсотків від макси-

мально можливої при даній розрядності АЦП. Після цього, якщо охолоджувачі працюють при штатному струмі вже не менше 5 хвилин, і температура ПЗЗ матриць знизилась до необхідного рівня, запускаємо програму для керування спостереженнями. При першому запуску програми, і тільки при першому, необхідно натиснути клавішу "M" для відліку напрямку на міру, який використовується для прив'язки положення дзеркала телескопа. На запит програми ввести положення телескопу по даним системи телевізійного контролю лімба в градусах і зробити відлік міри (якщо яскравість міри вибрана правильно, то при відліку її не буде видно на екрані, а тільки дві колімаційні марки приблизно однакової яскравості). Після цього телескоп наведеться на наступну за часом зірку в списку і почнуться власне самі спостереження.

Сам спостережний список готується автоматично кожного дня на основному комп'ютері. Він включає в себе об'єкти з різних каталогів у тій зоні, яка може спостерігатись на телескопі в конкретну ніч із врахуванням реальних швидкісних можливостей інструмента, їх видимі місця та установочні координати для телескопа. Протягом усього трирічного циклу спостережень використовувались списки положень 270 позагалактичних радіоджерел та близько 60 малих планет. Щодо опорних зірок, до тут картина мінялась в процесі спостережень. Так до травня 1996 року в якості опорних використовувались зірки каталога PPM [37], після цього його було замінено на вхідний каталог HIPPARCOS [40], а після опублікування остаточної версії HIPPARCOS [39] у 1997 році всі опорні зірки брались виключно з нього. Причому завдяки повному збереженню усіх результатів спостережень в первинному вигляді стало можливим переобраховувати увесь спостережний матеріал з новими каталогами по мірі їх появи. Для резервних списків яскравих (4^m - 5^m) опорних зірок використовувався каталог FK5 та середніх (6^m - 8^m) - HIPPARCOS, основний же список включав опорні зірки HIPPARCOS 9^m - 11^m . Наявність опорних зірок в такому великому діапазоні зоряних величин в подальшому при спостереженнях давала можливість не зупиняти телескоп і продо-

вжувати спостереження при короткочасних погіршеннях метеорологічних умов.

3.2. Використання програмного комплексу при проведенні спостережень

Використання програмного комплексу при проведенні спостережень проілюструємо описом роботи оператора та спостережної програми версії 2.95 від серпня 1998р. (Рис.3.1) Для розуміння процесу спостережень, в тій мірі, як він реально був реалізований на АМК зробимо опис інформації, що відображається у вікнах системи програмного керування та можливі дії спостерігача в залежності від тієї чи іншої ситуації.

В лівому верхньому куті вказана поточна дата, праворуч вгорі відображається відлік часу, правіше часу в випадку збою комп'ютерної мережі і запису на локальний диск висвічується літера "E".

Поточні зірки: Для кожної зірки відводиться дві стрічки. Більшими і більш яскравими літерами відображається поточна зірка, що спостерігається або має спостерігатись. В першій стрічці виводиться ознака об'єкту (HIC - зірка з каталога HIPPARCOS, RRS - майданчик навколо радіоджерела, QSO - мала або велика планета чи інший зореподібний об'єкт, NGC - скупчення, туманності, галактики, FK5 - зірки з каталога FK5), номер в каталозі, схилення та спектральний клас (або цифрою у випадку монохромного монітору – від 0 для спектрального класу O0 до 69 для M9, або кольором – у випадку кольорового монітору, для планет прийнятий спектральний клас Сонця, для інших об'єктів - 0). В другому рядку відображається момент запуску власне процедури відліку, установочні координати для контролю по системі телевізійного контролю лімба і зоряна величина або, якщо це смуга навколо радіоджерела, кількість зірок до 14^m в цій площадці розміром градус на градус. Вище

цих двох рядків з поточною зіркою відображаються дві попередні зірки, а за ними відображаються 9 наступних об'єктів, що вибрані для спостереження.

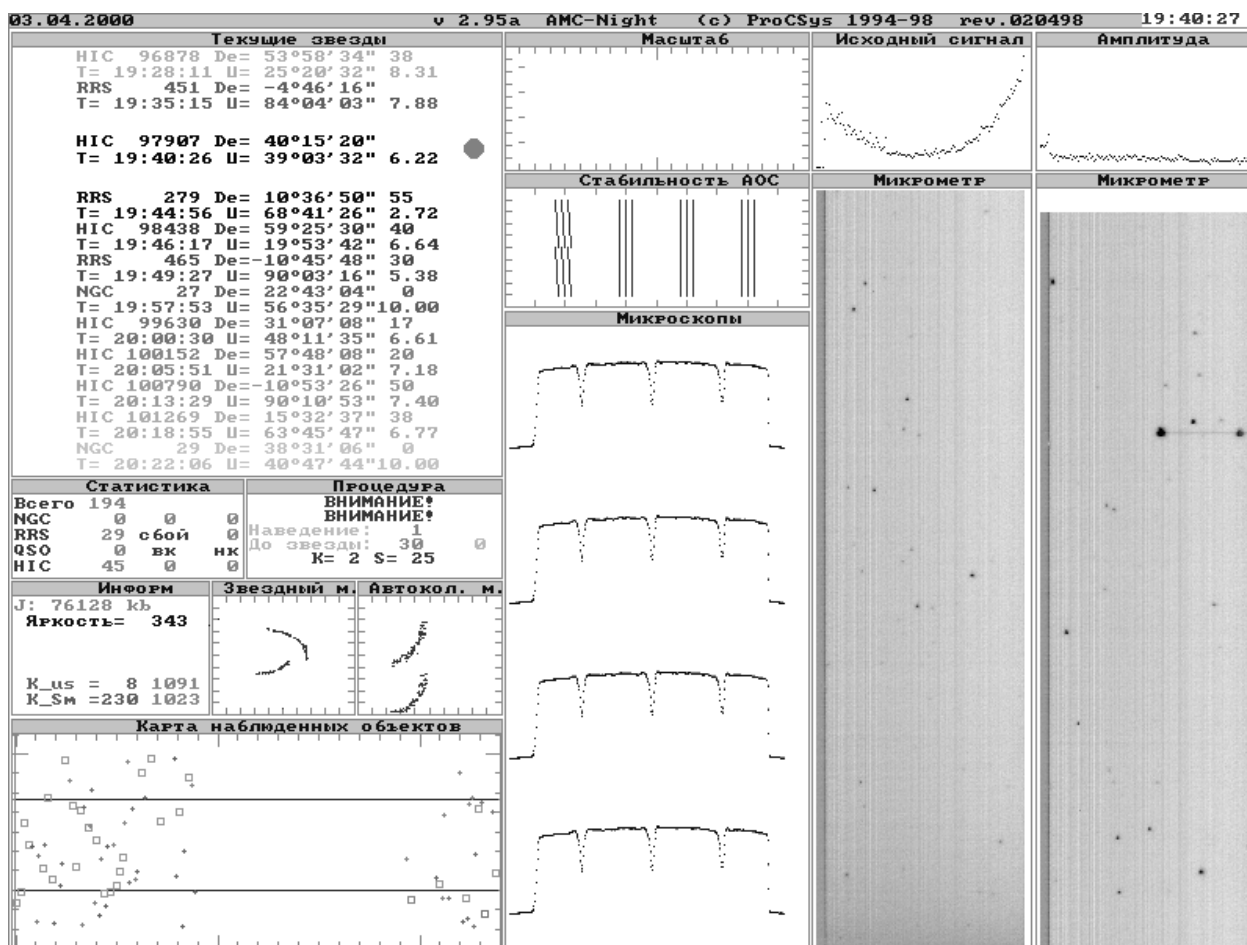


Рис.3.1. Система программного керування АМК під час роботи.

Переміщення по цьому списку для ручного вибору в разі необхідності потрібного об'єкту в період очікування зірки здійснюється клавішею "N" - наступний об'єкт і "P" - попередній об'єкт. Якщо час до спостереження наступної зірки більше 5 хвилин то СПК для більш раціонального використання часу автоматично здійснює наведення на міру і робить відлік, після чого повертається до потрібної зірки. Можливий також перехід до додаткового списку яскравих (6^m - 8^m) зірок каталога HIPPARCOS натиском клавіші "2", до додаткового списку ще більш яскравих (1^m - 4^m) зірок каталога FK5 - кнопка "3" і зворотний перехід до основного списку клавішею "1". Це дає можливість не

припиняти спостереження в разі короткочасного погіршення погодних умов – появі хмарності або туману.

Статистика: Відображається кількість уже спостережених об'єктів по ознакам каталогів та об'єктів. Пункт "Всього" показує кількість об'єктів від початку робочого списку до поточного моменту.

Процедура: Відображається інформація про поточні дії програми з вказівкою щодо процедури яка виконується, зворотним відліком часу до початку спостереження і т.п. При очікуванні зірки можна зробити примусовий відлік міри натиснувши кнопку "M", вийти з програми по кнопці "X", додатково зробити відлік часу в систему з ПТЧ - "T", перейти до наступної зірки - "N", повернутися до попередньої - "P", проініціалізувати блок комутації ABC - "L", визвати допомогу по програмі - "F1" (переміщення по сторінках - PageUp, PageDown), перейти до додаткового списку яскравих зірок каталога HIPPARCOS - "2", перейти до додаткового списку яскравих зірок FK5 - "3", перейти до основного списку - "1", збільшити коефіцієнт підсилення ПЗЗ матриці відносно розрахованого для даного об'єкта (відображається внизу вікна, перша цифра) - стрілка ввєрх, зменшити коефіцієнт підсилення ПЗЗ матриці (для яскравих планет і т.п. об'єктів) - стрілка вниз, збільшити зміщення темного току (відповідає за підтримання оптимального динамічного діапазону матриці для об'єктів різної яскравості) на матриці (відображається внизу вікна, друга цифра, звичайно міняти немає потреби, настройка зміщення відбувається автоматично для кожного об'єкта, але інколи, при спостереженнях під ранок або при хмарному небі, що засвічується Місяцем автомат може не дотягнути до оптимального значення від значення, яке вибирається для даного об'єкту за попередніми розрахунками) - стрілка праворуч, зменшення зміщення темного току - стрілка ліворуч (збільшення зміщення веде до відносного зменшення амплітуди сигналу, зменшення зміщення веде до збільшення амплітуди сигналу). Після початку відліку параметрів телескопу на конкретному об'єкті також діють всі вищевказані клавіші, окрім "M", "N" і

"P", що й зрозуміло, оскільки спостереження об'єкта уже почались. В рядку "До зірки:" перша цифра - це час в секундах на весь процес відліку параметрів телескопа, друга - це час, що залишився до запуску ПЗЗ - зоряного мікрометра і третя (біла) - спізнення до початку відліку параметрів (із-за довгої корекції наведення на зірку або по іншій причині). Допускається спізнення до 10-20 сек., так як в програмі спеціально передбачений деякий запас часу для демпфірування незначних запізнювань та й сама методика спостережень смугами не ставить жорстких вимог до початку процесу спостережень. І в останньому рядку вказані поточні значення коефіцієнтів підсилення і зміщення на зоряному мікрометрі. Для опорних зірок 9-11 зоряної величини коефіцієнт підсилення звичайно рівний двом, а для смуг з визначуваними об'єктами від 5 до 8, в залежності від схилення та погодних умов.

Інформація: Видається контрольна інформація від ПЗЗ мікрометрів телескопа. Для автоколімаційних відліків видається зображення двох марок (якщо зображення відбитих марок немає або вони дуже слабкі, то потрібно провести повторний відлік міри, так як значно змінилися зовнішні умови). Амплітуда найбільш яскравої з них для прямих марок в автоколіматорі та марок в зоряному мікрометрі має оптимальне значення в діапазоні від 60 до 90 відсотків від максимального, для відбитих марок в автоколіматорі - від 30 до 50 відсотків від максимального. У випадку досягнення максимального значення якимось із відліків він автоматично повторюється з зміною режиму роботи ПЗЗ мікрометра для зменшення амплітуди марок. Також видається інформація про стиск (зменшення об'єму) автоколімаційних кадрів та фільтрацію відбитих марок, наявність вільної пам'яті. В лівому нижньому куті відображається стан внутрішнього кешу процесора: "E" - включений, "D" - виключений для забезпечення безперебійної роботи з деякими модулями КА-МАК. Для відліку смуги видається: загальний час відліку, поточний рядок, що зачитується з ПЗЗ матриці. В режимі "WAIT" від рядка мінус 40 до 0 іде автоматична настройка режимів ПЗЗ матриці - зміщення темного току та

коефіцієнту підсилення, в цей момент можна додатково вручну міняти рівень сигналу. Збільшення рівня сигналу - стрілка ввєрх, зменшення рівня сигналу - стрілка вниз. Сам сигнал відображається для контролю в вікні "Амплітуда". В цей час у вікні "Інформація" відображається ім'я файлу для запису (якщо запис проводиться на основний комп'ютер, то перед ім'ям файлу висвічується літера "P", якщо по якійсь причині відбувся збій комп'ютерної мережі або основного комп'ютера і запис проводиться на локальний диск - літера "S"), довжина в рядках смуги, що спостерігається, час проходження зірки через матрицю (час накопичення заряду), номер поточного рядка, встановлені для даного відліку коефіцієнти підсилення і зміщення. В правому стовпчику відображаються X і Y координати (в системі координат матриці) самої яскравої пари пікселів і їхня середня яскравість. Ці дані використовуються для контролю положення і яскравості опорних зірок. Якщо їх яскравість протягом декількох опорних зірок лежить в межах 20-40 відсотків від максимальної, необхідно подивитися на небо, можливо погода зіпсувалася і необхідно збільшити коефіцієнт підсилення на опорних зірок, який використовується по умовчанню, якщо і це не допомагає, потрібно перейти на додатковий список більш яскравих зірок. В першому рядку автоматично видається об'єм вільного простору на жорсткому диску комп'ютера що приймає інформацію в даний момент, натиском на клавішу "D" можна вручну викликати цю процедуру додатково.

Зоряний мікромєтр: Відображаються координати усіх проведених відліків автоколімаційних марок в зоряному мікромєтрі. Використовуються для контролю стабільності марок та телескопу: крива, що будується протягом ночі із окремих крапок для кожного відліку повинна мати вигляд параболи або гіперболи (залежність від схилєння) без видимих відскоків .

Автоколімаційний мікромєтр: Відображаються координати усіх отриманих прямих і відбитих марок в автоколімаційному мікромєтрі. Використовуються для контролю стабільності марок та дзеркала телескопу. Ви-

гляд кривих залежить від температури (пори року). Картина що складається протягом ночі з окремих крапок повинна мати вигляд двох паралельних, злегка параболічних кривих без видимих відскоків. Величина кривизни і розташування на полі матриці залежить від навколишньої температури.

Карта спостережених об'єктів: Відображаються спостережені за вечір об'єкти. Квадратиками відображаються площадки з визначуваними зірками, жирними крапками - опорні зірки. Колір крапок відповідає спектру відповідних зірок. Використовується для візуального контролю розподілу опорних зірок і площадок з визначуваними зірками по схиленню, для можливої ручної корекції ходу спостережень шляхом примусового введення об'єктів в потрібні зони по схиленню. Вісь X на малюнку - пряме піднесення від 0 до 24 годин, кожна поділка відповідає одній годині. Вісь Y - схилення від -30 градусів до 80 градусів. Нижня лінія на малюнку відповідає екватору, верхня лінія відповідає зеніту.

Мікроскопи: Відображається вигляд поділок лімба в чотирьох фотоелектричних мікроскопах (знизу - вверху 1, 2, 4, 5) в процесі двох відліків. Другий відлік накладається на перший і відображається більш яскравим кольором. Ширина вікна 500 точок відліку, максимальна висота амплітуди - біля 1000. Звичайно у кожний мікроскоп повинно бути видно не менше трьох штрихів, без значних завалів по бокам відліку (залежить від стану освітлювачів) і шириною порядку 400 точок відліку. Кожен відлік і побудова зображення ділянки лімба супроводжується характерним звуком, по якому можна, маючи деякий попередній досвід спостережень, контролювати стан кожного з чотирьох мікрометрів.

Стабільність АВС: Відображаються розміри діаметрів між парами протилежних мікроскопів, що отримуються по координатах трьох перших штрихів лімба у кожному мікрометрі. Використовуються для контролю стану відлікової системи та стабільності телескопа під час спостережень. У випадку стабільності телескопу картинка має вигляд прямих ліній для обох діаметрів.

Лінії будуються по даним двох відліків лімба до спостереження об'єкта і двох відліків після спостереження.

Первинний сигнал: У цьому вікні відбувається по - рядкове відображення чистого первинного сигналу, що поступає з ПЗЗ - зоряного мікрометра. Використовується для контролю правильності режимів роботи ПЗЗ матриці та динамічного діапазону сигналу. Під час режиму автоматичної настройки ПЗЗ матриці використовується для візуального контролю автоматичної настройки з можливістю коригування в разі необхідності.

Амплітуда: У цьому вікні відбувається по-рядкове відображення первинного сигналу, що поступає з ПЗЗ-зоряного мікрометра, виправленого за кривизну поля (залежить від температури матриці та зовнішніх умов) та величину фонового сигналу. Використовується для контролю правильності режимів роботи ПЗЗ матриці, динамічного діапазону сигналу та його якості.

Мікрометр: У цьому вікні в режимі реального часу будується повне зображення зоряного поля, що спостерігається. Для побудови зображення використовується первинний сигнал, що поступає з ПЗЗ-зоряного мікрометра, виправлений за кривизну поля та величину фонового сигналу. Розмір зображення зменшено в два рази від реального для зменшення необхідної площі для його виводу. Використовується для контролю правильності наведення телескопа, якості одержуваного зображення та просто для того, щоб оператор мав змогу бачити, що ж спостерігає в даний час його телескоп.

Під час роботи усіх процедур перевіряється стан комп'ютерної мережі і у випадку якихось несправностей мережі проводиться запис усієї інформації на локальному диску керуючого комп'ютера.

Маючи уявлення про можливості СПК представимо коротко сам процес спостережень за його допомогою у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Порядок проведення спостережень на АМК за допомогою СПК на
прикладі спостережень одного об'єкту.

N	Опис процедур
1.	Вибирається наступний об'єкт із спостережного списку
2.	Проводиться наведення телескопа на необхідну зенітну відстань
3.	Робиться пауза для зменшення залишкових деформаційних рухів телескопа
4.	Проводиться відлік колімаційних марок в зоряному (окулярному) мікрометрі, обробка зображення, виділення марок, їх візуалізація, аналіз та збереження на основному комп'ютері
5.	Проводиться відлік прямих колімаційних марок в мікрометрі автоколіматора, обробка зображення, виділення марок, їх візуалізація, аналіз та збереження на основному комп'ютері
6.	Проводиться відлік відбитих колімаційних марок в мікрометрі автоколіматора, обробка зображення, виділення марок, їх візуалізація, аналіз та збереження на основному комп'ютері
7.	Проводиться відлік чотирьох мікроскопів системи відліку лімба, визначаються їх координати, відображення даних, аналіз діаметрів та збереження на основному комп'ютері
8.	Проводиться другий відлік чотирьох мікроскопів системи відліку лімба, визначаються їх координати, відображення даних, аналіз діаметрів та збереження на основному комп'ютері
9.	В розрахований час запускається відлік зоряного мікрометра
10.	Робиться холостий прогін довжиною приблизно 90% довжини поля матриці для вирівнювання вагових характеристик усіх рядків
11.	Робиться автоматична настройка режимів ПЗЗ матриці по реальному зображенню, що спостерігається
12.	Проводиться відлік об'єкта спостережень смугою необхідної довжини
13.	Проводиться стиск зображення та збереження на основному комп'ютері
14.	Проводиться відлік колімаційних марок в зоряному (окулярному) мікрометрі, обробка зображення, виділення марок, їх візуалізація, аналіз та збереження на основному комп'ютері

Продовження таблиці 3.1.

15.	Проводиться відлік прямих колімаційних марок в мікрометрі автоколіматора, обробка зображення, виділення марок, їх візуалізація, аналіз та збереження на основному комп'ютері
16.	Проводиться відлік відбитих колімаційних марок в мікрометрі автоколіматора, обробка зображення, виділення марок, їх візуалізація, аналіз та збереження на основному комп'ютері
17.	Проводиться відлік чотирьох мікроскопів системи відліку лімба, визначаються їх координати, відображення даних, аналіз діаметрів та збереження на основному комп'ютері
18.	Проводиться другий відлік чотирьох мікроскопів системи відліку лімба, визначаються їх координати, відображення даних, аналіз діаметрів та збереження на основному комп'ютері
19.	Вибирається наступний об'єкт із спостережного списку

3.3. Результати спостережень, обробка в реальному часі та збереження даних.

Оскільки усі вузли телескопу, і особливо зоряний мікрометр, протягом одного циклу збирають дуже багато інформації постає питання їх раціонального збереження для наступної обробки та зменшення інформаційних потоків і необхідного простору на жорстких дисках. Для цього в СПК передбачено часткову обробку вхідної інформації в режимі реального часу для зменшення її об'ємів шляхом виключення надлишкової інформації та застосування алгоритмів пакування. Зокрема в отриманих у кожному циклі шести кадрах колімаційних марок проводиться пошук на зображенні самих марок та збереження тільки їх, що дозволяє скоротити об'єм інформації приблизно в 60 разів (рис.2.4). Для відбитих марок крім того проводиться вирівнювання поля матриці та виключення із зображення засвічування від прямих марок.

Для зображення, що надходить із зоряного мікрометра проводиться ущільнення інформації, що скорочує об'єм інформації приблизно в півтора рази.

Уся отримана інформація записується на основний комп'ютер, де в заданий час починається її автоматична первинна обробка. Це дає змогу до початку робочого дня вже мати спостереження, що пройшли первинну обробку і готові для подальшої обробки. Ці проміжні дані використовуються в подальшому, а первинні дані записуються для довгострокового зберігання на магнітній стрічці. Це дає можливість після модернізації програмного забезпечення або появи бажання обробити матеріал по іншій методиці прочитати всі попередньо отримані дані і нові спостереження та переобробити весь масив одноманітними процедурами. Зокрема за час проведення трирічного циклу спостережень на АМК та після його завершення процедура повної переобробки усього спостереженого матеріалу проводилась декілька разів.

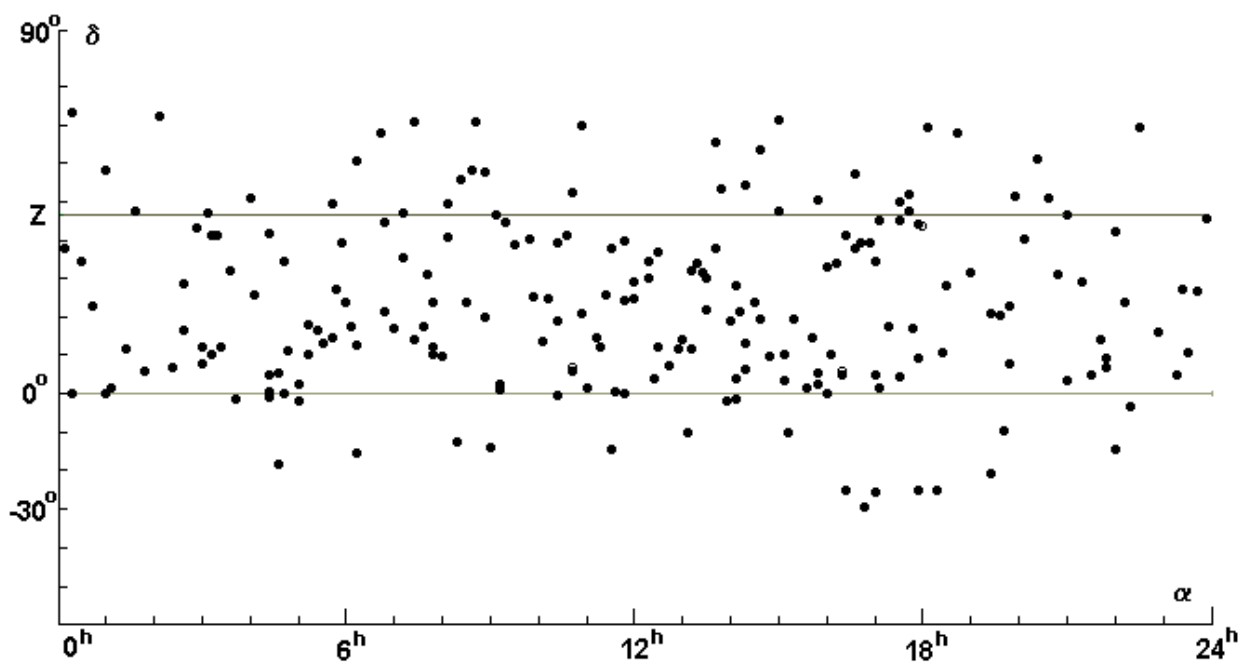


Рис.3.2. Розподіл на небі площадок з позагалактичними радіоджерелами, що спостерігались на АМК протягом 1996-1998 років.

Усього за три роки п'ятьма спостерігачами було проведено 173 ночі спостережень, отримано майже 3000 довгих смуг з зірками в 190 площадках навколо позагалактичних радіоджерел, що розподілились на небу як показано на рис.3.2 та близько 5000 коротких смуг з опорними зірками із каталога HIPPARCOS, що склало більше 5000МБ за об'ємом. З 173 ночей спостережень в обробку увійшло 169, які мали повну інформацію з усіх реєструючих пристроїв. Після обробки ночей по опорним зіркам по критеріям внутрішньої точності (нев'язка вечора не гірше 0.''45) для подальшого обчислення координат визначуваних зірок використовувалися результати 164 ночей по прямому піднесенню і 157 по схиленню. Розподіл спостережень по рокам і спостерігачам представлено відповідно в таблицях 3.2. та 3.3.

Таблиця 3.2

Кількість спостережень площадок по рокам

	1996	1997	1998	Всього
Опорні зірки (короткі смуги)	2184	1586	1276	5046
Визначувані зірки (довгі смуги)	1573	948	421	2942

Таблиця 3.3

Кількість виходів на спостереження по спостерігачам

	1996	1997	1998	Всього виходів	% від загальної кількості ночей
Ковальчук О.М.	45	9	6	60	35
Мажасв О.Е.	34	8	2	44	25
Махов В.О.	14	13	4	31	18
Процюк Ю.І.	34	16	7	57	33
Шульга О.В.	21	14	9	44	25

Різниця в кількості спостережень по роках пов'язана з тим, що програма була розрахована і проводились спостереження тільки до середини 1998 року. Програма була побудована так, щоб провести в ідеалі по 5 спостережень трьох смуг шириною у 8' та довжиною у 60'sec(δ) для кожної вибраної площадки, отримавши таким чином площадки 24'x60'sec(δ). Тому спочатку програма спостережень була більш насиченою, а під кінець спостерігались лише ті площадки, які не мали необхідної кількості спостережень. Суттєва різниця у кількості виходів на спостереження для 1996 року від інших пов'язана з тим, що спочатку спостереження проводили два спостерігача кожної ночі. В подальшому, з накопиченням досвіду та впевненості в надійності роботи усього програмно-апаратного комплексу усі спостереження проводились тільки одним спостерігачем.

РОЗДІЛ ІV.

ВИВЕДЕННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО КАТАЛОГА ПОЛОЖЕНЬ ОПОРНИХ ЗІРОК У ПЛОЩАДКАХ НАВКОЛО ПОЗАГАЛАКТИЧНИХ РАДІОДЖЕРЕЛ АМС1В.

4.1. Обробка отриманих за ніч спостережень.

Усі отримані на АМК за ніч спостережні дані проходили однорідну обробку за такою схемою:

- фільтрація зображень усіх площадок;
- ототожнення зірок на відфільтрованих зображеннях по існуючим в електронному вигляді каталогам;
- визначення координат зірок в системі координат зоряного мікрометра;
- визначення координат усіх автоколімаційних марок в системі координат ПЗЗ мікрометрів;
- визначення координат штрихів на лімбі в системі координат фотоелектричних мікрометрів;
- загальна обробка вечора, визначення параметрів інструменту по спостереженням опорних зірок з каталога HIPPARCOS.

Маючи визначені параметри, можна отримати для визначуваних зірок їх прямі піднесення та схилення.

А тепер більш докладно зупинимось на складових обробки ночі.

I. Програма фільтрації зображень, отриманих ПЗЗ мікрометрами [53] - призначена для покращення відношення сигнал / шум та виділення достовірної інформації. Для зменшення шумів на зображенні ми використовуємо декілька алгоритмів.

- Приведення сигналу з матриці до плоского поля з корекцією геометричних викривлень поля. Використовується для зменшення

низькочастотних викривлень поля, визваних нерівномірністю темнового сигналу, неоднорідністю температури ПЗЗ матриці чи оптичною схемою телескопа (Табл.4.1 пп.0,1,8). У випадку АМК мала місце значна різниця в амплітуді сигналу в центральних стовпцях зображення і бічних, що була пов'язана з особливостями конструкції матриці ФППЗ-13М (паразитне засвічування від двох вихідних транзисторів, що знаходяться на матриці, її величину добре видно на рис.3.1 у вікні "Исходный сигнал" та більш детально на рис.4.1). Також мала місце періодична зміна амплітуди в послідовних рядках, пов'язана з особливостями реалізації переносу заряду на матриці та деяка зміна рівня сигналу з часом, при різких змінах зовнішніх умов.

Таблиця 4.1

Порядок використання методів фільтрації при обробці отриманих на АМК зображень.

Номер методу для вибору	Опис методу
0	По стовпцеве вирівнювання зображення
1	По рядкове вирівнювання зображення
2	Пошук на зображенні зірок та їх маскування
3	По стовпцевий низькочастотний фільтр
4	По рядковий низькочастотний фільтр
5	По рядковий спектральний аналіз
6	По стовпцевий спектральний аналіз
7	Двовимірний низькочастотний фільтр
8	По рядкове остаточне вирівнювання зображення та врахування фону

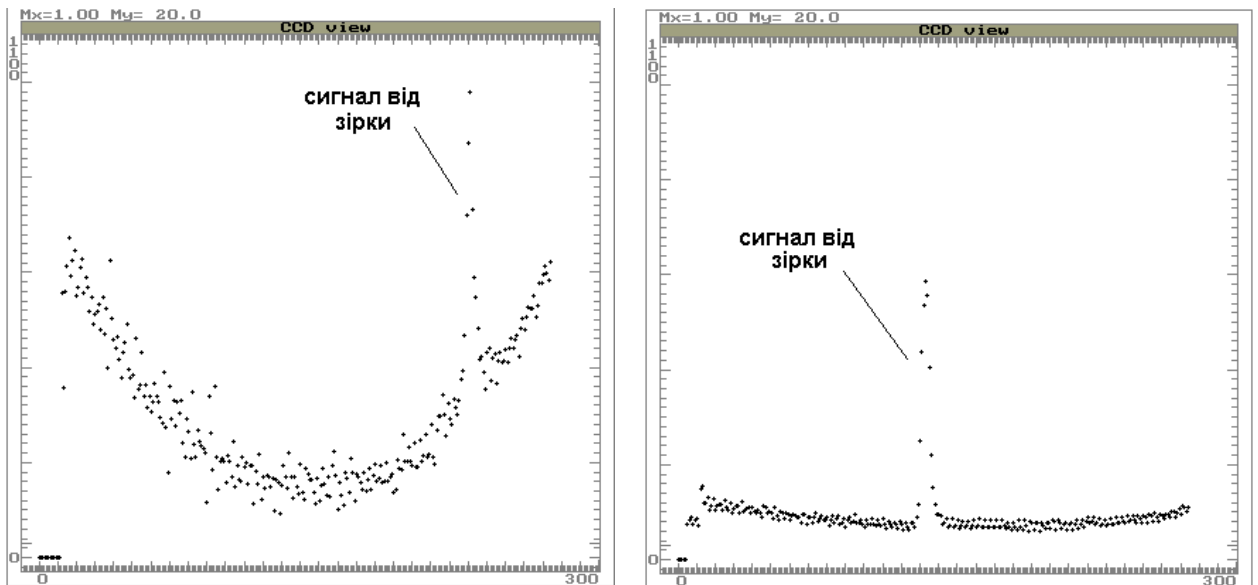


Рис.4.1. Розподіл сигналу в одному рядку при спостереженні довгих смуг (великий коефіцієнт підсилення, зліва) з визначуваними зірками 11^m - $14.^m5$ і коротких (малий коефіцієнт підсилення, з права) з опорними зірками 9^m - 10^m

- Спектральний Фур'є аналіз з елементами wavelet перетворень, котрий використовується для аналізу спектра сигналу з послідуочим придушенням періодичних складових, визваних зовнішніми наведеннями та паразитною генерацією в електронних схемах (Табл.4.1. пп.5,6).
- Цифрова фільтрація сигналу [75], що може бути виконана як за допомогою Фур'є перетворень, так і з використанням нерекурсивних цифрових фільтрів, передаточна функція яких синтезована методом Фур'є - перетворення та з допомогою поліноміальної обробки (Табл.4.1 пп. 3, 4, 7).

$$C_k = \frac{1}{k \cdot \pi} \cdot (\sin(2 \cdot \pi \cdot k \cdot f_b) - \sin(2 \cdot \pi \cdot k \cdot f_a)),$$

формула розрахунку коефіцієнтів, де f_a , f_b - нижня і верхня частоти смуги пропускання .

$$y_n = \sum_{k=-N}^{k=N} C_k \cdot X_{n-k} , \text{ власне сам фільтр}$$

Спільне використання декількох методів приблизно на порядок збільшує відношення сигнал / шум, при цьому практично не змінюючи амплітуду зірок. Приклад використання фільтрації при обробці ПЗЗ зображень, отриманих у Миколаївській обсерваторії на телескопі АМК представлено на рис.4.2. Програма може працювати з ПЗЗ кадрами будь якого розміру, та використовувати в залежності від зображення та необхідного результату до 8 різних методів фільтрації (табл.4.1), які були вибрані після численних досліджень результатів обробки зображень різними методами по критерію найкращого придушення шумів при найменшій зміні форми зображення зірок. Після таких досліджень ми зупинились на застосуванні цих методів і їх послідовності як вказано в табл.4.1. Час фільтрації одного кадру 1024x1024 піксела близько 2-3 хвилин. У випадку АМК використовувались кадри розміром 275x300 та 275x200 для опорних зірок та 275x1300 для площадок із визначуваними зірками та малими планетами. Загальна фільтрація усього масиву спостережень за ніч відбувалась автоматично після закінчення спостережень і займала від двох до трьох годин в залежності від кількості ПЗЗ кадрів.

II. Програма ототожнення зореподібних об'єктів - призначена для автоматичного ототожнення усіх наявних на зображенні об'єктів по існуючим в електронному вигляді каталогам. Передбачено врахування рівня сигнал / шум для ототожнених об'єктів та форми їх зображення. Кількість ототожнених об'єктів на кадрі у випадку АМК від 3 до 200 у перших варіантів програми та від 3 до 500 у останньому. Гранична зоряна величина ототожнених об'єктів залежить від використовуваних каталогів, проникної здатності телескопа та якості зображення. Протягом періоду з початку пробних спостережень у 1995 році і до закінчення спостережень у 1998 році основним каталогом для ототожнення був Guide Star Catalogue [38] з зірками до 14^m - 15^m . В 1999 році весь спостережний матеріал було переототожнено по

каталогу USNO-A2.0 [22] з зірками до 16^m , що дало змогу збільшити кількість ототожнених зірок на 10-15 відсотків в залежності від площадки.

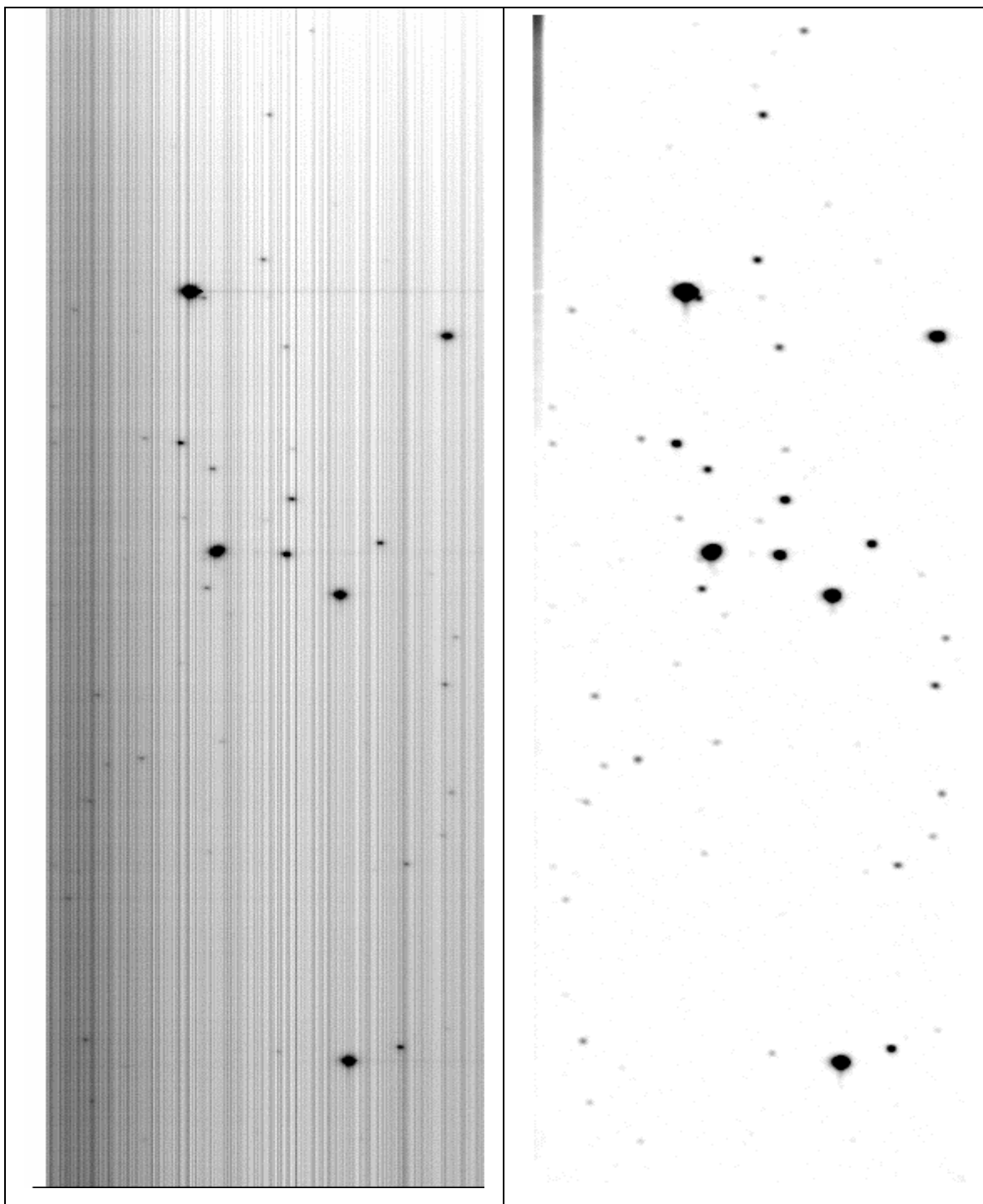


Рис.4.2. Обробка ПЗЗ спостережень. Фільтрація смуги 275x1300. Зліва початкове зображення, з права – відфільтроване.

На сьогодні для ототожнення можна використовувати каталоги Guide Stars Catalogue, USNO-A1.0 чи USNO-A2.0, що знаходяться на компакт-дисках [21, 22, 38]. Також є можливість використання до 500 попередньо підготовлених областей зоряного неба з будь якого каталога. Приклад ототожнення зображення, отриманого на АМК представлено на рис.4.3. Час ототожнення одного кадру 275x1300 піксела з 200 об'єктами близько 2-х хвилин.

Як видно на представленому малюнку інтерфейс програми складається з 2-х великих вікон для представлення ПЗЗ зображення (верхнє) й опорного каталога (нижнє), а також трьох вікон поменше для виведення статистичної і службової інформації. Процес ототожнення полягає у виборі мишкою зірки у вікні з ПЗЗ зображенням, потім виборі аналога у вікні з опорним каталогом. Після вибору не менш 3-х зірок подальше ототожнення виконується автоматично. Більше 3-х зірок вибрати можна, але не більш 30. Четвертий по порядку ототожнення об'єкт зарезервований за об'єктом, якого немає в опорному каталозі і потрібно одержати його координати, наприклад мала планета. По каталогу, що використовується для ототожнення можна переміщатися у всіх напрямках та міняти масштаб, яскравість зірок та граничну зоряну величину. Для ПЗЗ зображення можна міняти яскравість, контраст та динамічний діапазон. Навколо всіх ототожнених об'єктів вибирається частина зображення розміром 25x25 пікселів, яка зберігається для подальшого визначення координат. Більш докладно з режимами роботи програми можна ознайомитись в Додатку А. Принцип автоматичного ототожнення полягає в обрахуванні попереднього масштабу зображення по трьом вибраним зіркам, після чого знаходиться 30 найбільш яскравих зірок на зображенні і їх аналоги шукаються в каталозі. По знайденим зіркам вирішується система 465 рівнянь і знаходиться нове, більш точне значення масштабу. Після цього усі наявні на зображенні об'єкти що відповідають заданим критеріям вибираються і ототожнюються. Після цього усі наявні

об'єкти, як ототоженні по каталогу, так і не ототоженні зберігаються для подальшого визначення їх точних координат.

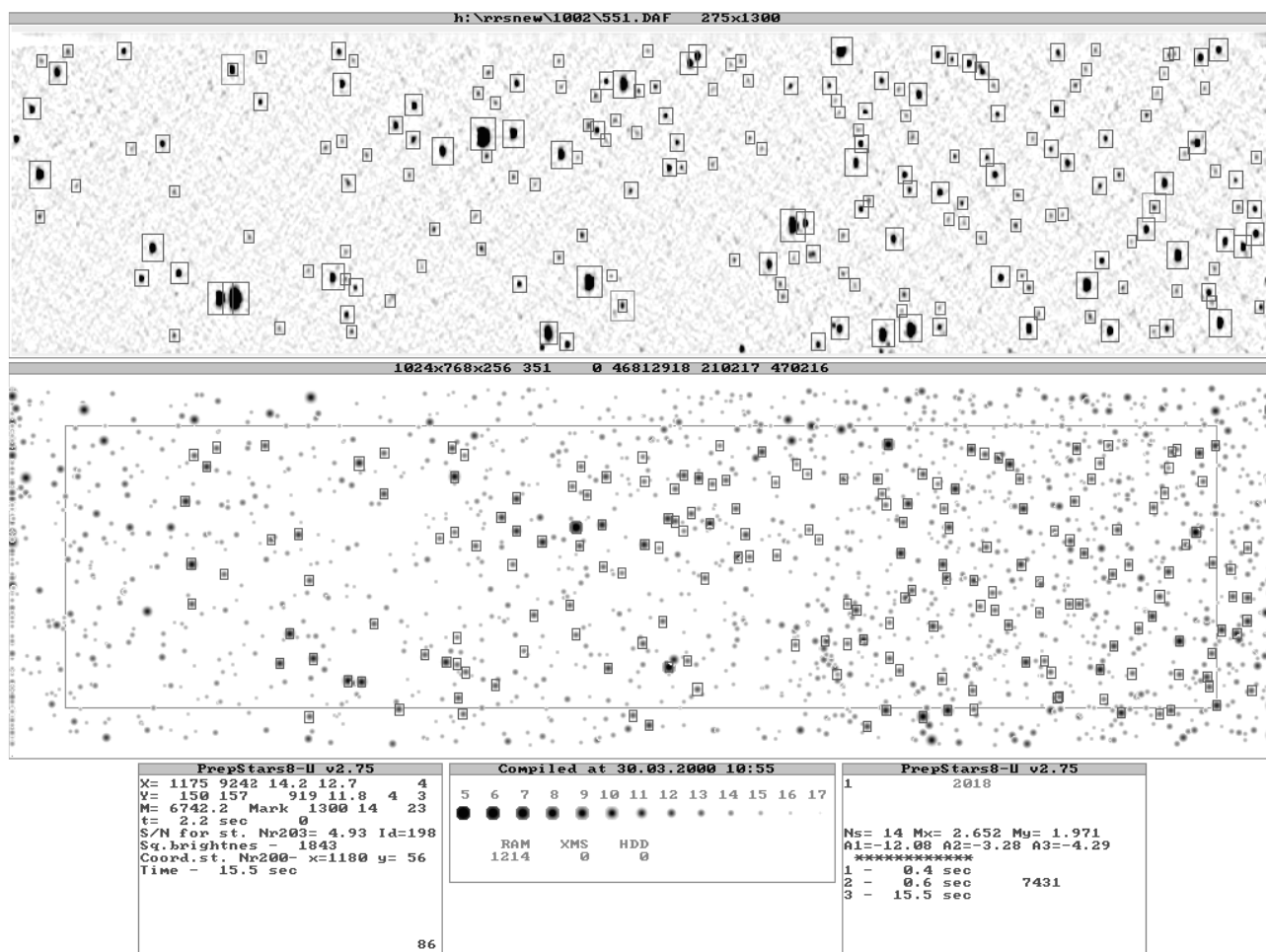


Рис.4.3. Програма ототожнення. Йде ототожнення смуги 275x1300 пікселів.

III. Програма визначення координат ототожнених об'єктів – призначена для подальшої обробки отриманих при ототожненні об'єктів і одержання їхніх координат в системі координат ПЗЗ матриці для подальшого переведення їх у небесні координати. В цій програмі реалізовано декілька методів одержання координат [4] та включено контроль методів на внутрішню точність по спостереженнях за вечір. Внутрішня точність визначення координат по реальним спостереженням близько 0.01-0.02 піксела для зірок середньої яскравості. Для різних ПЗЗ камер ця величина різна і змінюється в межах

0.01-0.04 піксела. Програма може працювати як із відображенням графічної інформації так і, для більшої швидкості, в текстовому режимі. Обробка в залежності від режиму роботи проводиться зі швидкістю від 20 до 100 зірок в секунду на K6-2/300. Необхідна пам'ять для роботи програми визначення координат – близько 500кБ. Програма може працювати в автоматичному або напівавтоматичному режимі, з графічним відображенням інформації чи без нього. Можна проводити обробку по двом координатам або по якійсь одній. Методи, за допомогою яких можна отримувати координати наведено в Табл.4.2.

Таблиця 4.2.

Методи, що використовуються для визначення координат центрів зображення небесних об'єктів.

Номер	Назва методу та порядок визначення координат
1.	Метод ковзаючої медіани, координати X,Y визначаються незалежно
2.	Метод параболи, координати X,Y визначаються незалежно
3.	Метод двовимірної гаусіани, координати X,Y визначаються одночасно
4.	Метод ковзаючої медіани з меншим вікном, координати X,Y визначаються незалежно
5.	Метод площ, координати X,Y визначаються незалежно
6.	Метод сферичної параболи, координати X,Y визначаються одночасно

Контроль методів на внутрішню точність реалізовано для методів 3 та 6, він полягає в знаходженні для кожної зірки нев'язок між фактичним двовимірним розподілом сигналу в її зображенні та побудованою теоретично моделлю (у вигляді системи 625 рівнянь), за якою знаходяться координати.

Тобто для двовимірних методів програма одночасно отримує як координати, так і їх внутрішню точність. З досвіду використання різних методів для обробки трирічного циклу спостережень можна відзначити наступне: найбільшу точність при обробці яскравих об'єктів (опорні зірки і т.п.) показав метод ковзаючої медіани, для більш слабких (визначувані зірки) – найкращі результати дає використання двовимірної несиметричної гаусіани. Це пов'язано з формою зображення (розподілом енергії) та відношенням сигнал/шум для зірок різної яскравості. Для яскравих зірок, це площа близько 50-100 пікселів та співвідношення сигнал/шум більше 10 (опорні зірки), для слабких – площа в діапазоні 4-25 пікселів та співвідношення сигнал/шум в діапазоні 2-5.

Після запуску програми (Рис.4.4.) у лівому верхньому куті екрану відображається частина зображення 25x25 пікселів, обрана програмою ототожнення для цієї зірки. Сама зірка, як правило, повинна бути в центрі зображення. У прилягаючих вікнах будується профіль зображення по X і Y з відображенням координат центра і огинаючих кривих, отриманими різними методами (відображаються різним кольором). Зелена лінія показує рівень сигналу, значення вище якого беруть участь у визначенні координат. У правому верхньому куті для гаусіани і сферичної параболи накопичується статистика по внутрішній точності методу в залежності від яскравості об'єкта. Для ототожнених зірок враховується їх зоряна величина. Унизу праворуч будуються графіки розподілу помилок для гаусіани в залежності від яскравості і зоряної величини об'єктів. У центрі виводиться інформація про обробку поточної зірки трьома методами:

- X_s і Y_s показують координати отримані методом гаусіани, якщо він обраний, чи методом площ в інших випадках. Колір червоний.
- X_2 і Y_2 показують координати отримані методом одномірної чи двовимірної параболи, якщо вони обрані, чи методом площ в інших випадках. Колір зелений.

- X3 і Y3 завжди показують координати отримані методом медіани. Колір синій.

А також яскравість фону, яскравість у центрі й інтегральну яскравість об'єкту та інтегральну яскравість стовпчика та рядка, що проходять через центр зірки.

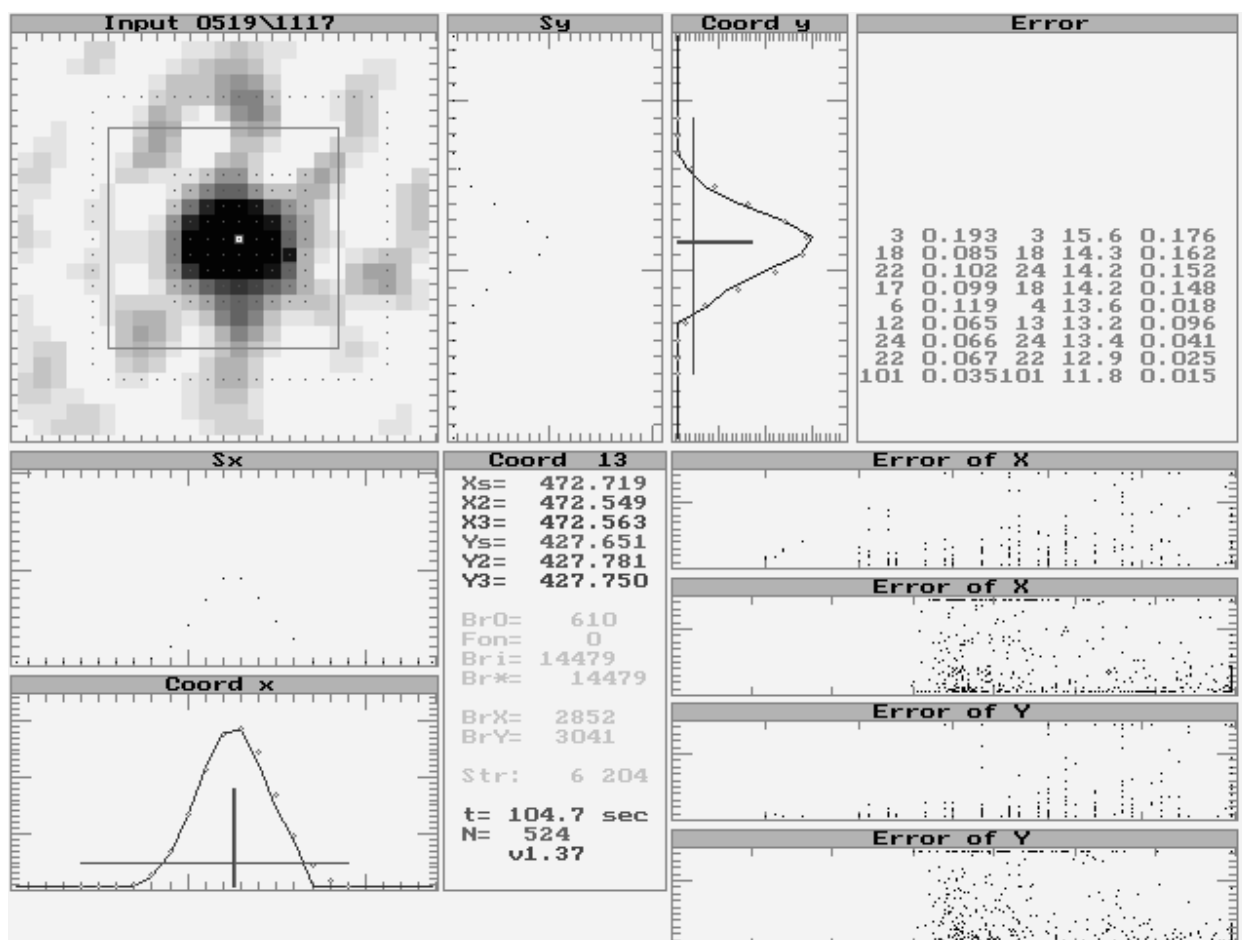


Рис.4.4. Програма визначення координат ототожнених об'єктів.

В результаті роботи програми ми одержуємо файл у вигляді таблиці, значення полів якої наведено у таблиці 4.3. Крім визначення координат центрів зображення небесних об'єктів ця програма також використовується і для обробки відліків автоколімаційних марок отриманих при спостереженнях та відліків лабораторних вимірів для визначення колімації та гнуття

телескопа. Для цього в ній передбачено різні режими роботи. Формати вхідної інформації в усіх випадках однакові, вихідної - дещо відрізняються.

Таблиця 4.3.

Формат видачі результату програмою визначення координат.

№ стовп- чика	Опис інформації, що видається
1	Дата і номер об'єкта (площадки)
2	Коефіцієнт посилення матриці
3	Координата зірки по вісі X у пікселях
4	Координата зірки по вісі Y у пікселях
5	Амплітуда в центрі зірки
6	Величина фону (для фільтрованих зображень звичайно в районі 0)
7	Інтегральна яскравість зірки
8,9	Полярні координати зірки відносно першої обраної
10	Номер зірки в опорному каталозі, складається з двох цифр, для неототожнених об'єктів номер буде 0 0
11	Видима розрахована координата зірки по прямому піднесенню
12	Видима розрахована координата зірки по схиленню
13	Зоряна величина по використуваному каталогу

IV. Програма визначення координат штрихів на поділеному лімбі призначена для визначення координат штрихів, нанесених на лімб, в системі координат фотоелектричних мікрометрів відлікової системи (Рис.4.5.) Програма може працювати як в графічному режимі, так і в текстовому. Для визначення центру штриха використовується метод ковзаючої медіани, який

показав найкращу точність в процесі проведених досліджень. Вхідними даними є 16 фотоелектричних відліків лімба чотирма мікроскопами, по два відліки до та після спостереження об'єкта. Вихідними – номер об'єкта, номер відліку та номер мікроскопа, координати трьох перших штрихів, що присутні на кожному відліку. Перед визначенням координат проводиться врахування можливої нерівномірності руху скануючої решітки, а також може бути проведене вирівнювання зображення, у випадку завалів сигналу на краях поля.

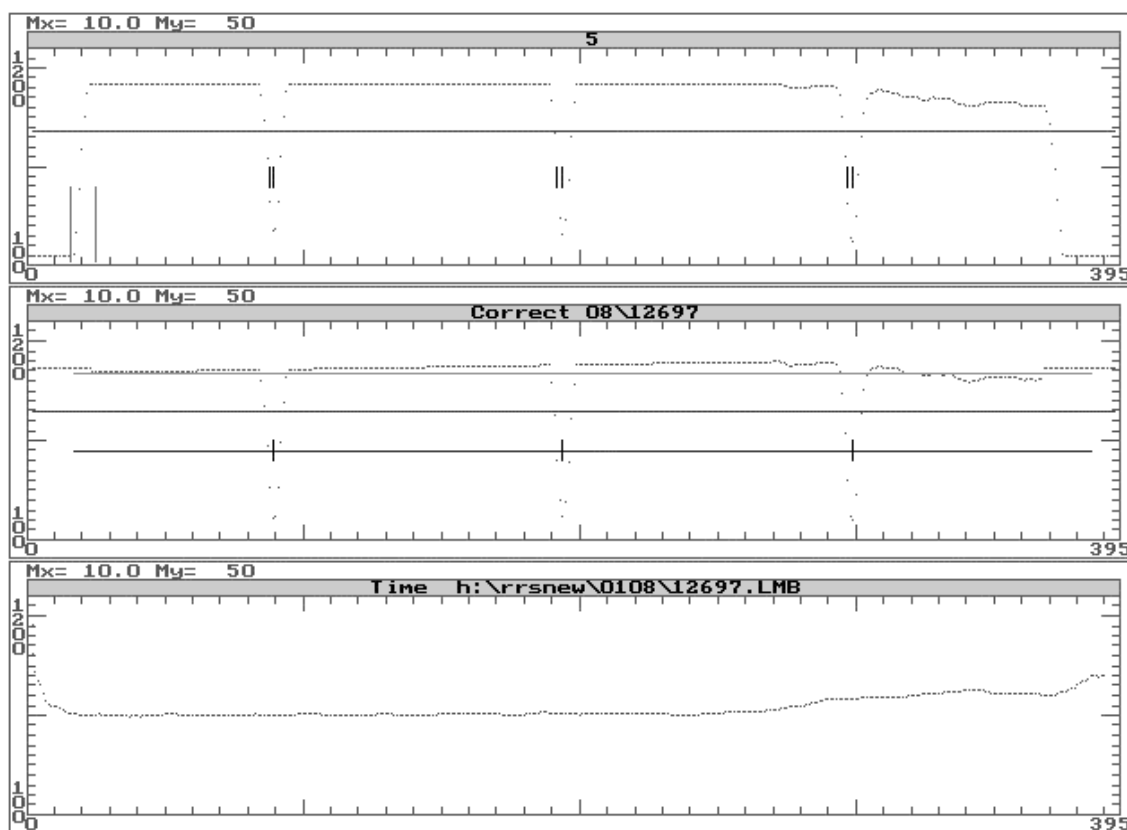


Рис.4.5. Визначення координат штрихів лімба.

Верхній малюнок – первинний сигнал з трьома штрихами, середній – цей же сигнал, але вже виправлений по краях та з врахуванням нерівномірності ходу скануючої решітки. Нижній малюнок – часові відліки усіх сканів, по яких проводиться врахування нерівномірності руху скануючої решітки.

V. Загальна обробка вечора, визначення параметрів інструменту по спостереженням опорних зірок з каталога HIPPARCOS. Перед обробкою всіх нічних спостережень розраховуються масштаби ПЗЗ матриць в конкретний вечір по спостереженим зіркам. Для обробки використовуються попередні дані програми визначення координат, час обробки 10 кадрів із 400 зірками, або 100 кадрів із 100 зірками близько 4-х хвилин на комп'ютері з процесором

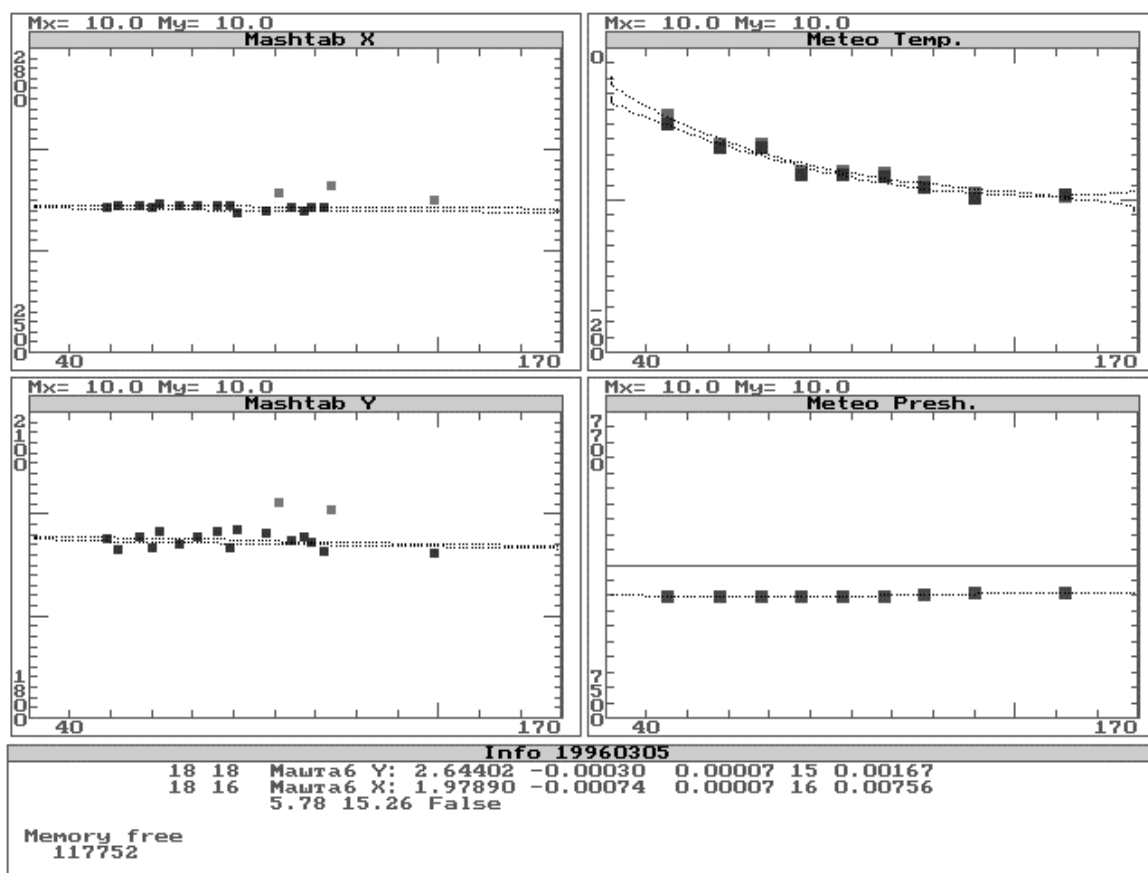


Рис.4.6. Визначення функціональних залежностей масштабів ПЗЗ камери та метеопараметрів за час спостережень однієї ночі.

К6-2/300. По отриманим окремим масштабам знаходиться функція залежності масштабу від часу та метеопараметрів. В подальшому усі координати опорних зірок в системі координат ПЗЗ камери приводяться у відповідність до цієї залежності. Після знаходження масштабів за вечір починається робота програми обробки. На першому етапі вона проводить

аналіз метеопараметрів і знаходить функції їх поведінки від часу (Рис.4.6), які використовуються для інтерполяції метеоданих на момент спостереження. Після цього проводиться додатковий аналіз масштабів по прямому піднесенню, для яких внаслідок специфіки спостережень короткими смугами є можливість отримати абсолютне значення масштабу незалежно від якості та кількості спостережених об'єктів. Для цього використовуються відліки часу початку і закінчення спостережень для коротких смуг з опорними зірками і довгих смуг із визначуваними зірками. Внаслідок неточності масштабу, який ми не можемо знати безпосередньо під час спостережень і беремо його приблизне значення, ми спостерігаємо деяку різницю у часі холостого прогону для цих груп об'єктів (Рис.4.7.), яка накопичується за час сканування 1100 рядків.

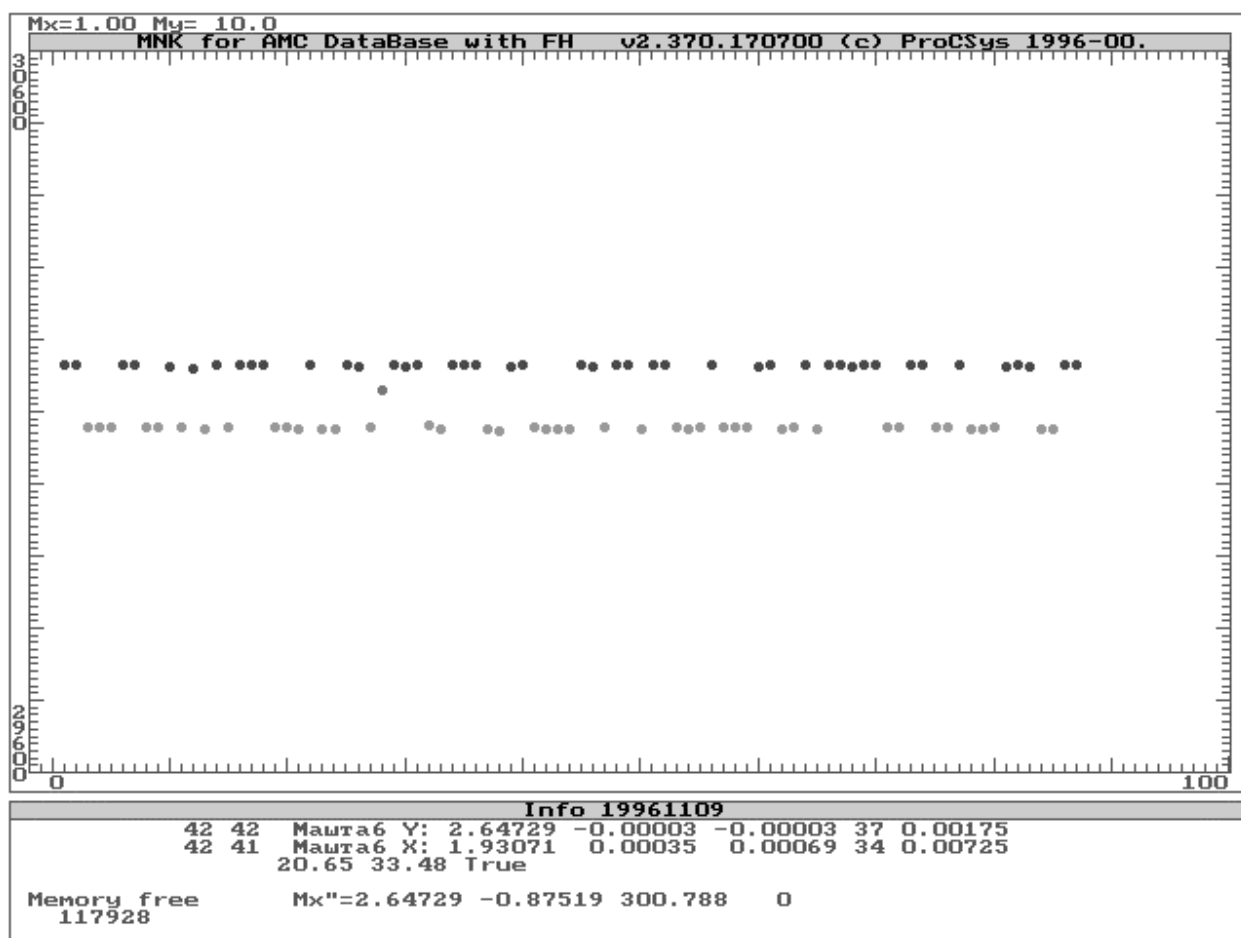


Рис.4.7. Різниця в часі холостого прогону для довгих (верхня серія відліків) та коротких (нижня серія відліків) смуг.

$$Lx + L_o = (t_2 - t_1) / M \quad Lx = (t_2 - t_1) / M - 200 \quad (4.1)$$

$$Lx + L_v = (t'_2 - t'_1) / M \quad Lx = (t'_2 - t'_1) / M - 1300 \quad (4.2)$$

де Lx – кількість рядків холостого прогону,

L_o, L_v – кількість рядків у смугах з опорними та визначуваними зірками,

M – масштаб,

t_1, t_2, t'_1, t'_2 – зареєстрований час початку і кінця спостережень для смуг з опорними та визначуваними зірками.

В Lx входить у вигляді дробової частки час, що пройшов від відліку системи точного часу до реального початку відліку. Значення Lx невідоме і повинно бути однаковим для обох відліків, значення масштабу теж невідоме, тобто вирішивши систему рівнянь 4.1.-4.2. для усіх спостережених об'єктів і отримавши для них однакове значення Lx ми знайдемо значення масштабу.

Після цих підготовчих дій ми переходимо безпосередньо до обробки вечора (Рис.4.8). Для цього в програмі передбачено декілька різних методів знаходження координат, а саме по формулам Майєра та Бесселя [69] для прямого піднесення та поліноміальним формулам для схилення. Після тривалих досліджень та обробок з різними варіантами формул було зроблено вибір на користь формули Бесселя (4.3) для прямого піднесення та поліноміальної формули (4.4) для схилення.

$$\alpha_0 = A_\alpha + T + (u + m) + n \cdot \text{tg}(\delta) + 2 \cdot c \cdot \text{sec}(\delta) + \\ + (u + m)' \cdot t + n' \cdot \text{tg}(\delta) \cdot t + 2 \cdot c' \cdot \text{sec}(\delta) \cdot t \quad (4.3)$$

$$\delta_0 = A_\delta + L - \rho + a_1 + a'_2 \cdot t + a''_3 \cdot t^2 + a_4 \cdot \delta + a'''_5 \cdot t^3 + a'_6 \cdot \delta \cdot t \quad (4.4)$$

де A_α і A_δ - автоколімаційні поправки, L – відлік лімба,

ρ - рефракція, t – час, δ - розраховане видиме схилення зірки,

$T, (u+m), n, c$ та їх похідні з часом – коефіцієнти формули Бесселя,

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ – коефіцієнти поліноміальної формули

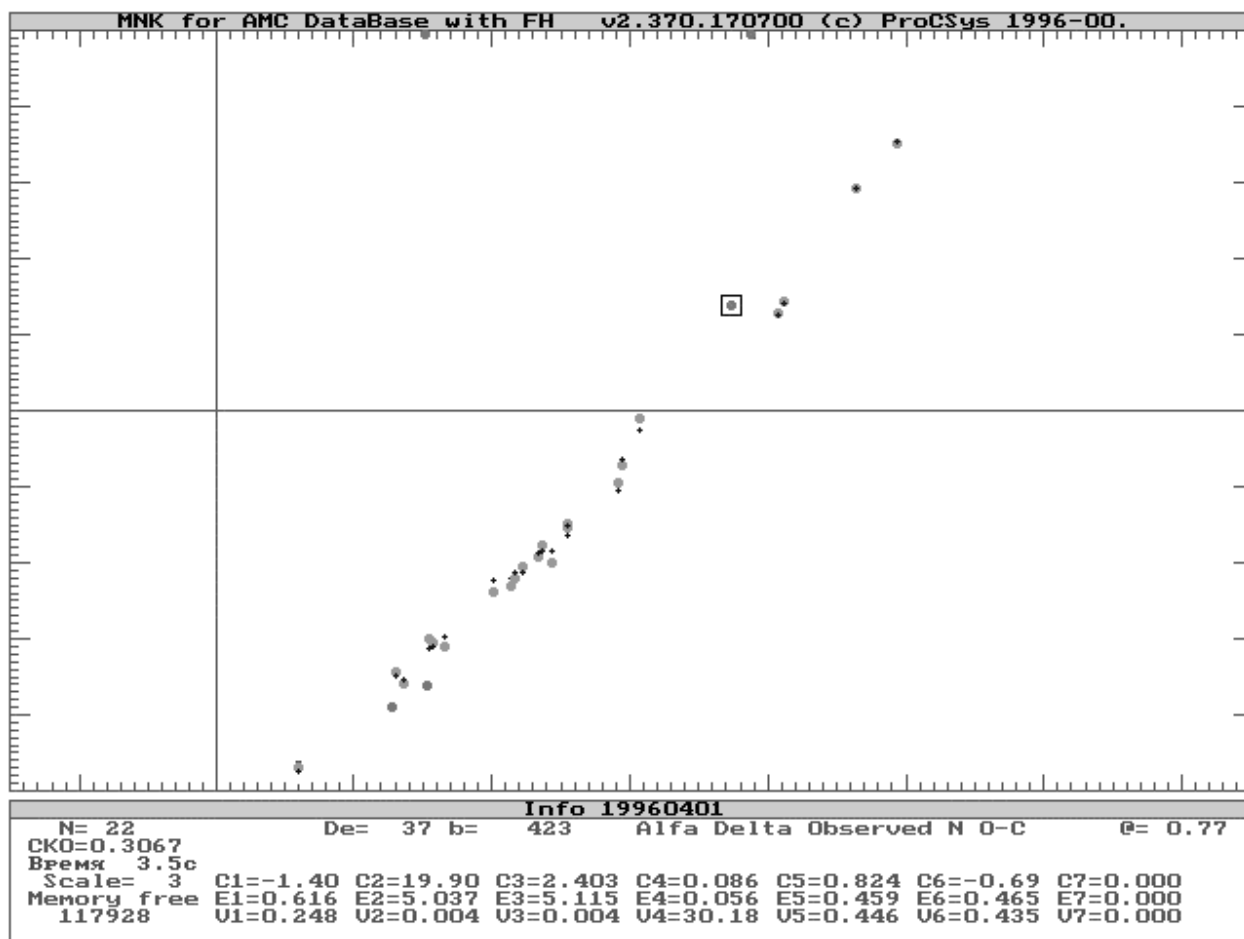


Рис.4.8. Вигляд робочого поля програми визначення параметрів інструмента по опорним зіркам.

Обробка здійснюється в напівавтоматичному режимі, на екрані будується вид різниці (O-C) для всіх опорних зірок. Оператор має можливість мишкою виключити з обробки окремі зірки або включити автоматичне визначення грубих похибок. Після їх виключення проводиться необхідна кількість ітерацій розв'язку системи рівнянь до досягнення необхідного рівня нев'язки за вечір. Для більш точного контролю правильності обробки передбачено побудову графіка розподілу значень (O-C) з врахуванням часових змін. Остаточні значення параметрів інструмента зберігаються в базі результатів для подальшого використання при обрахунку координат визначуваних зірок. Найбільш характерне значення нев'язки за вечір для опорних зірок для всього обробленого циклу спостережень становить в межах від 0."20 до

0."35. Для прикладу дані обробки за 1996 рік представлено в таблиці 4.4 де N_α , N_δ - кількість опорних зірок по прямому піднесенню та схиленню, що ввійшли в остаточний розв'язок системи рівнянь с похибкою менше 0."5, σ_α , σ_δ - нев'язка розв'язку системи рівнянь за вечір по обом координатам в секундах дуги. Обробка одного вечора займає від 5 до 20 хвилин, в залежності від якості спостережень та кількості варіантів обробки, які проводить оператор.

Таблиця 4.4.

Дані обробки нічних спостережень 1996 року

Дата	N_α	σ_α''	N_δ	σ_δ''	Дата	N_α	σ_α''	N_δ	σ_δ''
960113	22	0.2866	22	0.3499	960120	21	0.3290	22	0.2641
960123	12	0.3015	14	0.3336	960201	30	0.3471	29	0.3550
960224	12	0.3196	8	0.3824	960304	18	0.2401	14	0.3260
960305	20	0.2546	18	0.2520	960308	24	0.2124	21	0.2965
960309	15	0.3240	11	0.3035	960316	10	0.2686	9	0.2201
960317	14	0.2334	13	0.2307	960324	23	0.2918	20	0.3410
960326	26	0.2458	20	0.3512	960401	22	0.3060	18	0.3174
960404	20	0.3173	13	0.3239	960405	20	0.2964	13	0.3598
960406	26	0.2763	18	0.2271	960416	28	0.2909	14	0.2860
960417	13	0.1807	10	0.2361	960420	21	0.2786	17	0.2400
960422	10	0.2870	9	0.2541	960424	13	0.2356	13	0.3236
960425	13	0.2799	10	0.2828	960426	21	0.2730	16	0.3225
960428	18	0.2655	16	0.2841	960430	8	0.3331	8	0.0947
960504	15	0.2156	13	0.2374	960506	15	0.3239	13	0.3315
960507	16	0.2842	17	0.3300	960514	8	0.3078	8	0.3759
960515	7	0.0746	10	0.1111	960516	16	0.3919	12	0.2373
960521	21	0.3374	14	0.3119	960525	11	0.3955	9	0.0903
960526	10	0.3430	10	0.3263	960528	17	0.3194	13	0.3962
960529	17	0.2463	13	0.1920	960604	9	0.2803	7	0.0100
960605	19	0.3164	15	0.3515	960606	18	0.2080	14	0.3065
960607	14	0.3376	11	0.3420	960608	9	0.1420	7	0.3261
960609	12	0.3288	11	0.0998	960610	15	0.3422	12	0.1617
960613	12	0.2079	9	0.2847	960619	10	0.1960	12	0.3025
960621	14	0.3067	13	0.2153	960622	14	0.2822	14	0.2605
960623	13	0.2760	12	0.2790	960624	20	0.2860	14	0.2091
960807	15	0.2479	12	0.1628	960811	14	0.2446	13	0.3122
960812	13	0.3166	14	0.2284	960828	13	0.3290	16	0.3077
960829	13	0.3765	17	0.3652	960905	15	0.2181	16	0.2757
961004	26	0.2904	17	0.3024	961005	20	0.3493	13	0.3523
961008	25	0.3224	16	0.2977	961009	30	0.3421	22	0.3615
961010	23	0.2400	15	0.3187	961013	27	0.3192	23	0.2143
961015	26	0.3023	28	0.3845	961016	17	0.3170	14	0.3080
961029	7	0.1949	8	0.2058	961031	24	0.2279	22	0.3584
961105	9	0.2868	10	0.2758	961106	37	0.3523	37	0.3021
961109	35	0.3331	25	0.2656	961110	28	0.2925	23	0.3191
961119	15	0.3196	13	0.3306	961122	18	0.3305	25	0.3690
961126	7	0.2132	8	0.3390	961216	16	0.2672	11	0.3064

4.2. Узагальнена обробка трирічного циклу спостережень.

Після того, як оброблено усі нічні спостереження можна приступати до глобальної обробки усього циклу спостережень для отримання координат визначуваних об'єктів. Ця робота виконувалась в два етапи: на першому по результатам обробки окремих ночей (використовуючи отримані коефіцієнти формули Бесселя та поліноміальної формули) та отриманих масштабних коефіцієнтів знаходяться видимі спостережені координати та значення (О-С) усіх ототожнених визначуваних зірок за три роки. Ці дані заносяться в першу проміжну базу, де інформація для кожної зірки накопичується за всі роки спостережень і включає номер зірки, її координати, зоряну величину та нев'язки за всі роки та другу проміжну базу, де для кожного окремого спостереження дається дата, номер зірки, її координата, зоряна величина, величина інтегрального сигналу на матриці, значення (О-С), значення рефракції на момент спостереження, відносно положення на ПЗЗ кадрі.

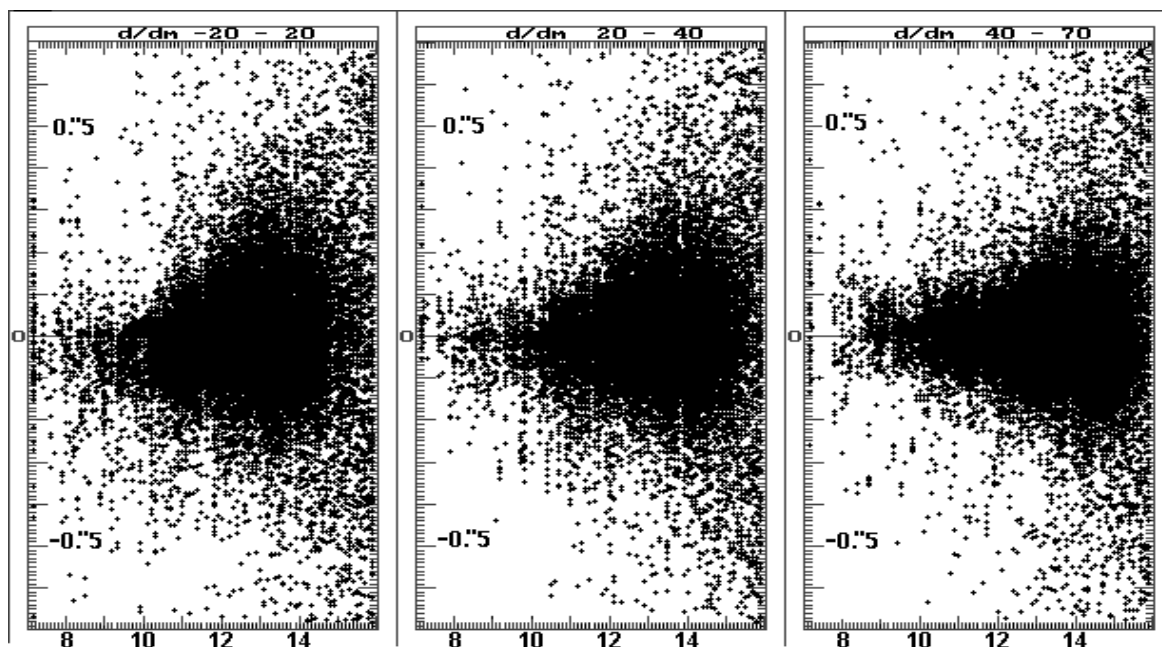


Рис.4.9. Розподіл нев'язок (О-С) визначуваних зірок по прямому піднесенню в залежності від зоряної величини для зон -20° - $+20^{\circ}$, 20° - 40° і 40° - 70°

Крім цього для контролю проводиться аналіз даних на точність по значенням нев'язки (O-C) для одного спостереження в залежності від схилення та зоряної величини (рис.4.9-4.10) та накопичується статистичний матеріал по площадкам в цілому. Обробка здійснюється по двом координатам послідовно, спочатку пряме піднесення – потім схилення. Після цього проводиться робота по складанню каталога, теж послідовно для обох координат. Для цього видимі координати кожного спостереження переводяться на рівнодення J2000.0, а потім для кожної зірки шукається середнє значення координати та її похибка. В разі відхилення координати в окрему дату від середньої більше 3σ така координата виключається з обробки і середнє значення координати шукається вже без неї. В процесі роботи з розгляду виключаються зорі що спостерігались лише один раз. В подальшому в остаточний каталог входять зірки що пройшли обробку з задовільною точністю отримання координати та не мають значного відхилення від координат каталога, за яким проводилось ототожнення.

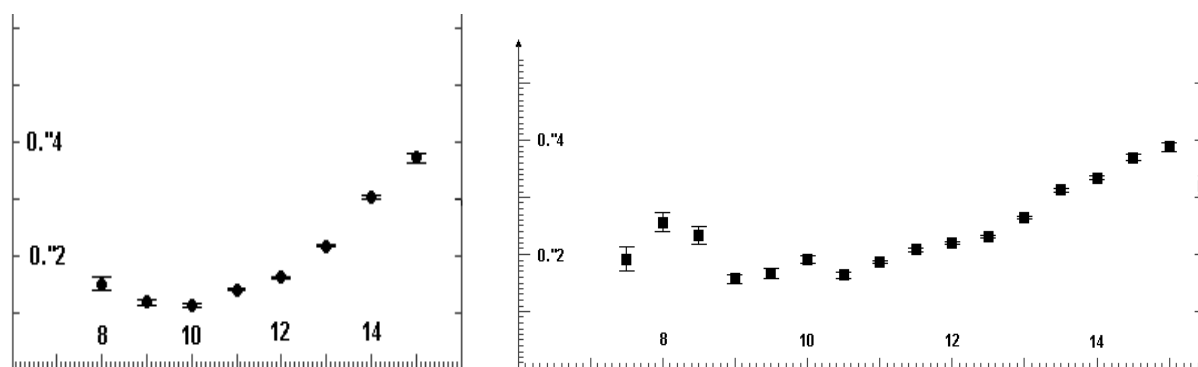


Рис.4.10. Розподіл середнього значення нев'язки (O-C) по RA для усіх спостережених визначуваних зірок в залежності від зоряної величини для зенітної зони 40° - 70° (зліва) та для всіх спостережень в цілому (з права)

На цьому закінчується повний процес отримання першої версії каталога. Але це ще не кінцевий варіант каталога. Далі відбувається ітераційний процес. У нашому випадку він складався з використання отриманої першої версії

каталога для уточненого визначення масштабів ПЗЗ камери в окремі ночі, а по тому повного переобчислення з новими масштабами усіх ночей по опорним зіркам, проведення узагальненої обробки і отримання нової версії каталога. Таким чином ітераційний процес можна продовжувати досить довго, щоразу дещо покращуючи кінцевий результат. Оскільки новий каталог використовується лише на етапі уточнення масштабів ПЗЗ камери можна вважати, що кінцевий каталог отримується кожного разу незалежно від попереднього. Практичне використання даного методу показало, що найбільш значиме відносне покращення результатів відбувається при отриманні другої версії каталога, далі покращення відбувається, але більш повільно. В середньому покращення точності одного спостереження зірки при переході від першої версії до другої складає до 0."05 - 0."07, при переході від другої до третьої від 0."01 до 0."03. Обсяг роботи, проведений під час обробки матеріалу спостережень 1996-1998 років показано в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5.

Обробка трирічного циклу спостережень

Початок - закінчення роботи	Назва етапу	Обсяг роботи	Використання Результатів
08.1998 - 09.1998	Первинна переобробка усього матеріалу останніми версіями ПЗ з використанням каталога GSC	Фільтрація, ототожнення по GSC, визначення координат в системі координат ПЗЗ камери	Для отримання першої версії каталога
10.1998 - 01.1999	Отримання першої версії каталога	Визначення масштабів по GSC, обробка усіх ночей по опорним зіркам, узагальнена обробка, вивід каталогу	Для уточнення масштабів ПЗЗ камери
02.1999 - 05.1999	Отримання другої версії каталога	Визначення масштабів по першій версії, обробка усіх ночей по опорним зіркам, узагальнена обробка, вивід каталога	Передано в Шанхайську обсерваторію для визначення координат ERS

Продовження таблиці 4.5

06.1999 - 08.1999	Первинна переобробка усього матеріалу останніми версіями ПЗ з використанням каталога USNO A2.0	Фільтрація, ототожнення по USNO A2.0, визначення координат в системі координат ПЗЗ камери	Для отримання першої версії каталога
09.1999 - 01.2000	Отримання першої версії каталога AMC1B	Визначення масштабів по USNO A2.0, обробка усіх ночей по опорним зіркам, узагальнена обробка, вивід каталога	Для уточнення масштабів ПЗЗ камери
01.2000 - 03.2000	Отримання другої версії каталога AMC1B	Визначення масштабів по першій версії, обробка усіх ночей по опорним зіркам, узагальнена обробка, вивід каталога	Передано для використання в обсерваторії: Шанхайську (КНР), Харківського університету, покладено на WWW та для уточнення масштабів
06.2000 - 08.2000	Отримання третьої версії каталога AMC1B	Визначення масштабів по другій версії, обробка усіх ночей по опорним зіркам, узагальнена обробка, вивід каталога	Передано для використання в обсерваторії: Шанхайську (КНР), Харківського університету, ім.Енгельгардта (Казань, Росія)

4.3. Одержання й аналіз диференційного каталога AMC1B

Як видно з таблиці 4.5 процес виводу каталога з усіма проміжними версіями зайняв досить великий проміжок часу. Протягом роботи над цими версіями проводилось їх дослідження з метою визначення точності та контролю ітераційного процесу. Крім того в процесі роботи було змінено використовуваний спочатку для ототожнення каталог GSC на каталог USNO A2.0, що збільшило кількість ототожнених зірок на 10-20 відсотків в залежності від площадки та завдяки їх збільшенню дало можливість покращити точність визначення масштабів при отриманні першої версії

каталога. Остаточна версія каталога на базі зірок, ототожнених по USNO A2.0 була отримана після другої ітерації, тобто це третя версія.

Сам каталог AMC1B представлено у додатку Б (на дискеті 3."5 у вигляді файлу AMC1B.DAT). Дані в файлі записані у вигляді таблиці наступного формату:

№ AMC	№ USNO	Mag	α	N_α	ϵ_α	E_{p_α}	δ	N_δ	ϵ_δ	E_{p_δ}
						+1900				+1900

кожній зірці в таблиці відповідає один рядок, положення зірок приведено в екваторіальних координатах на середню епоху спостережень та рівнодення J2000 в системі каталога HIPPARCOS. Номер USNO складається з двох цифр: перша - це порядковий номер зони від 1 до 24 (всього 24 зони від -90° до 90° з кроком в 7.5°), друга – порядковий номер зірки в конкретній зоні. В якості зоряної величини вказано зоряну величину в червоній частині спектру з каталога USNO A2.0 [22]. Значення прямого піднесення (α) та схилення (δ) дано відповідно в годинах та градусах з точністю до 8-го знаку. Вказана середня епоха спостережень в роках від початку століття. Всі зірки каталога подано в порядку зростання прямого піднесення

Розглянемо більш детально останню версію каталога AMC1B та його характеристики. Виведення каталога було зроблено в двох варіантах – перший включає усі зірки, у яких точність по обох координатах має значення не гірше 0."5 (основний), другий варіант включає усі зірки, які не ввійшли в перший варіант та для яких точність хоча б по одній координаті краще 0."5, для іншої координати в такому випадку записується координата з каталога USNO A2.0 та кількість спостережень приймається за 0 (додатковий). Використання додаткового каталога дозволяє збільшити кількість зірок при статистичних дослідженнях каталога та при обробці спостережень що використовують каталог AMC1B як опорний в бідних на зірки площадках.

Всього в основний каталог увійшло 14403 зірки, в додатковий – 3827. Аналіз отриманого каталога представлено на рис.4.11-4.15.

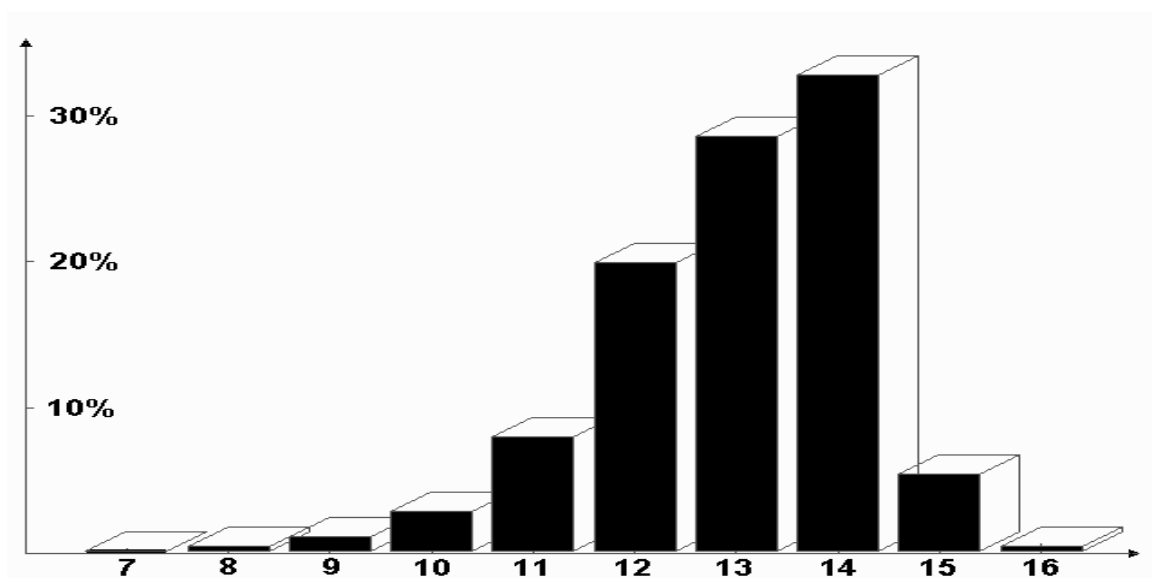


Рис.4.11. Розподіл в процентному відношенні кількості зірок каталога в залежності від зоряної величини .

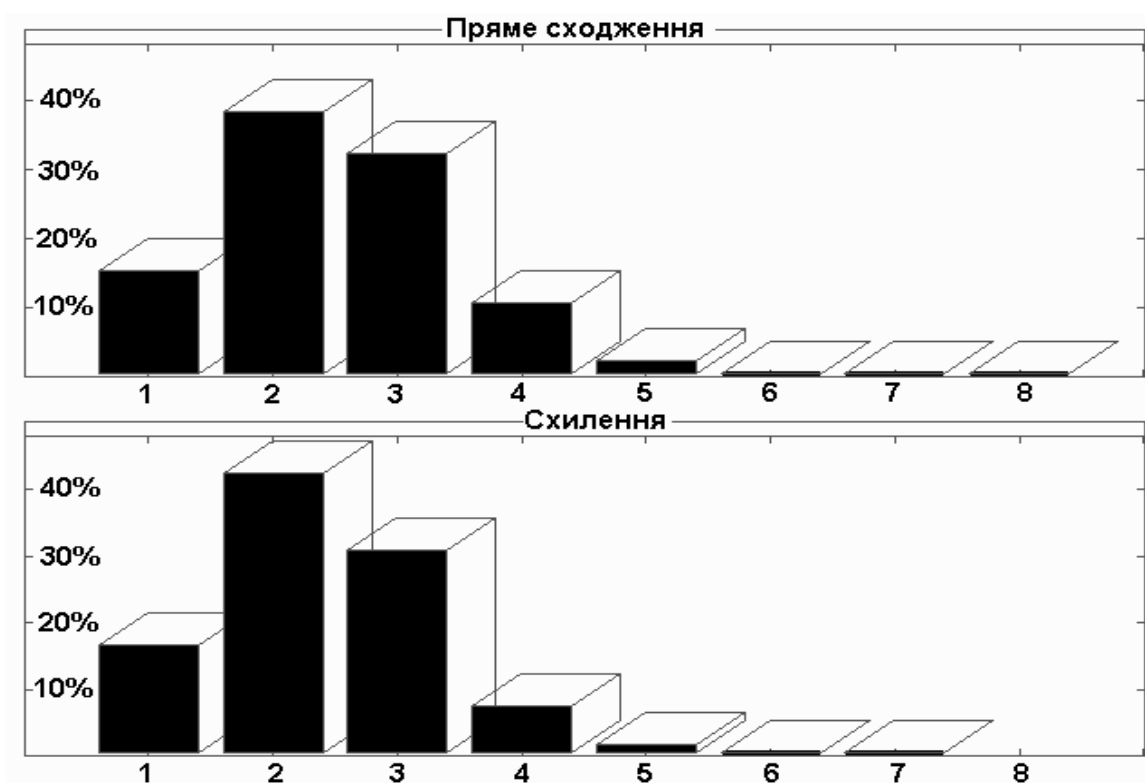


Рис.4.12. Розподіл в процентному відношенні кількості зірок каталога в залежності від кількості спостережень однієї зірки по обох координатах.

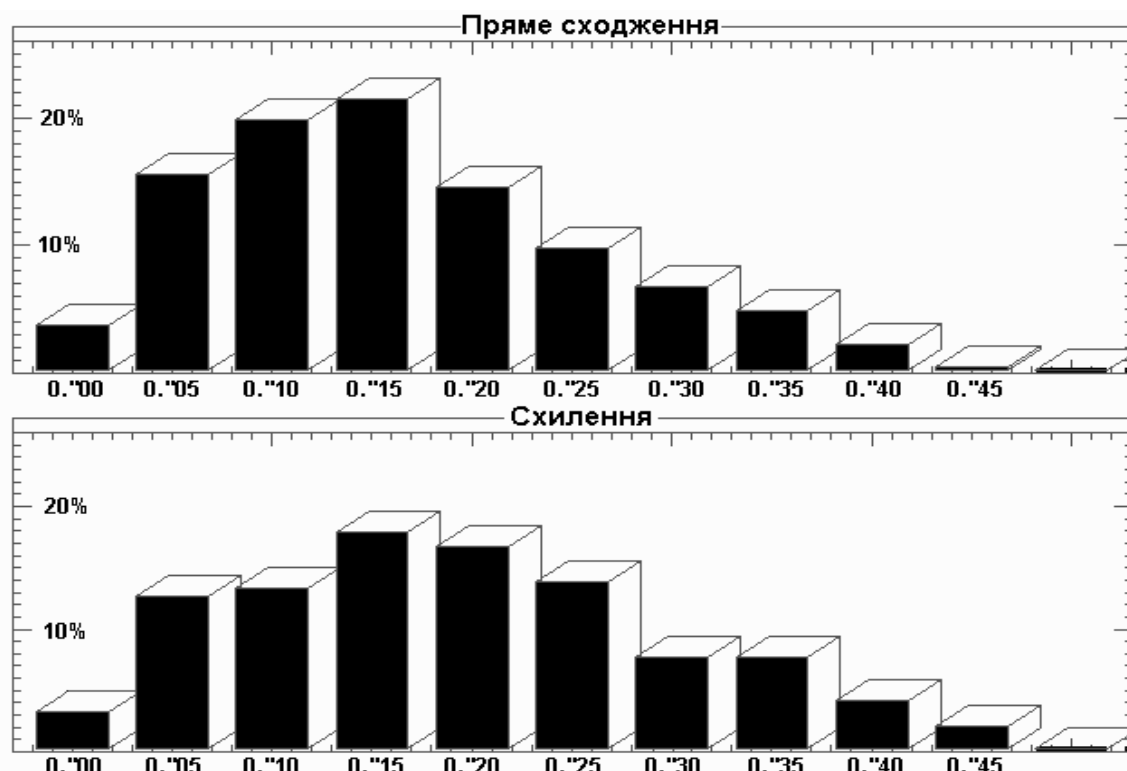


Рис.4.13. Розподіл в процентному відношенні кількості зірок каталога в залежності від точності по двом координатам.

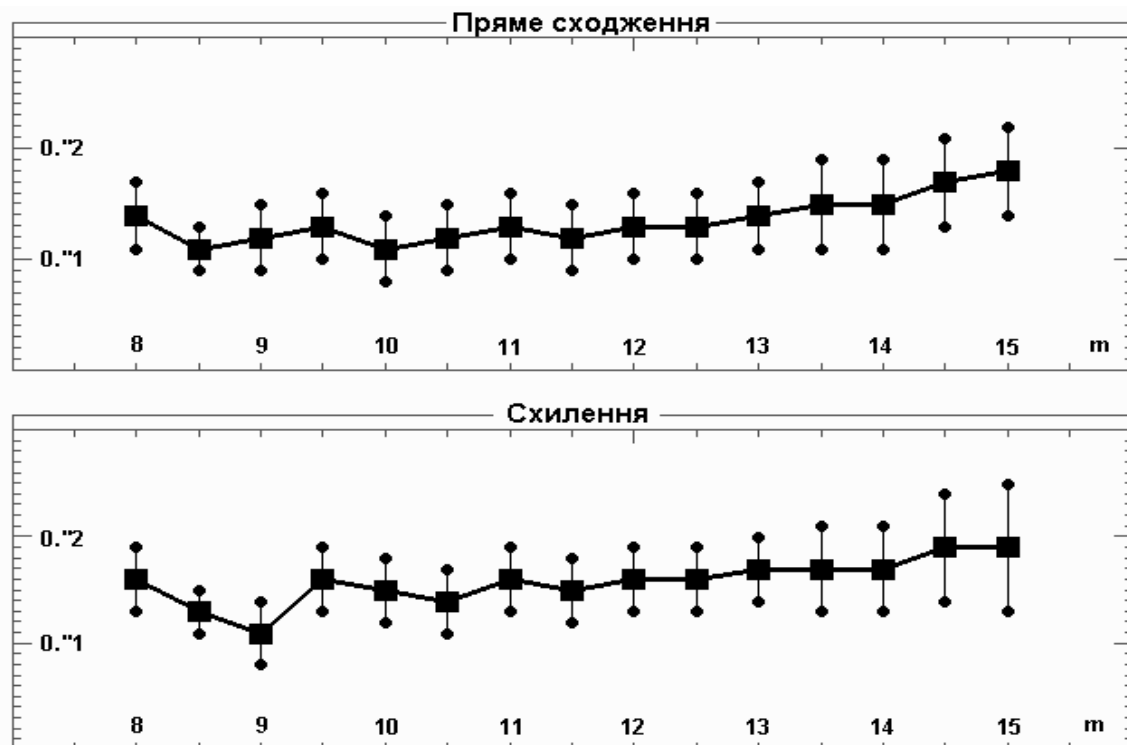


Рис.4.14. Залежність середньої точності зірок каталога від зоряної величини по двом координатам.

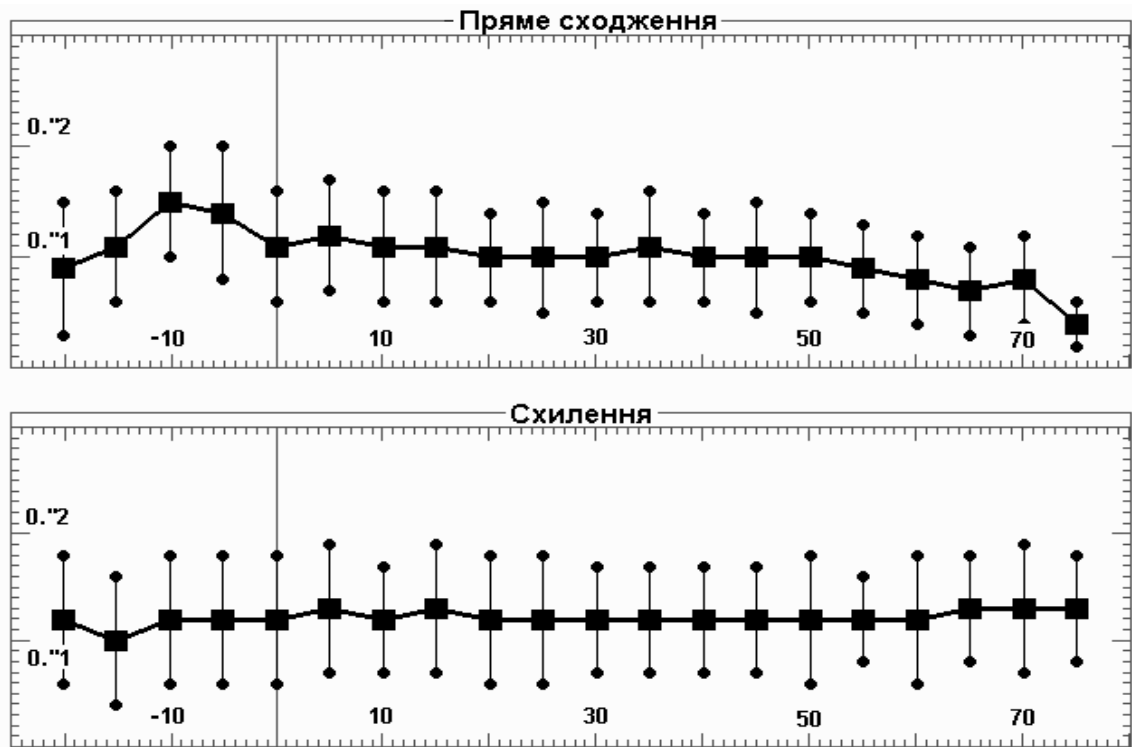


Рис.4.15. Залежність середньої точності зірок каталога від схилення по двом координатам.

На рис.4.11 - 4.12 приведено дані вже після обробки і виводу каталога, ці графіки відносяться виключно до каталога. Якщо проаналізувати розподіл первинного матеріалу то картина буде дещо іншою, для виду 4.11 був би більший процент слабких зірок, для виду 4.12 максимум припадав би в районі 3,4.

Для обчислення точності каталога було проведено аналіз залежності точності від різних параметрів (зокрема $\sec(\delta)$, δ^2 , δ , $\sec(z)$, зоряної величини) в різних комбінаціях та в різній кількості. Найкращий результат із найменшими ваговими похибками коефіцієнтів дало використання секансу зенітної відстані та зоряної величини для опису поведінки точності зірок каталога. Для пошуку необхідних коефіцієнтів використовувались системи рівнянь виду

$$\varepsilon_{\alpha} \cdot \cos(\delta) = A_{\alpha} \cdot \sec(Z)^{X1} \cdot (\text{mag}-7)^{Y1}$$

$$\varepsilon_{\delta} = A_{\delta} \cdot \sec(Z)^{X2} \cdot (\text{mag}-7)^{Y2}$$

які для знаходження коефіцієнтів спочатку логарифмувались до виду

$$\ln(\varepsilon_{\alpha} \cdot \cos(\delta)) = \ln(A_{\alpha}) + X1 \cdot \ln(\sec(Z)) + Y1 \cdot \ln(\text{mag}-7)$$

$$\ln(\varepsilon_{\delta}) = \ln(A_{\delta}) + X2 \cdot \ln(\sec(Z)) + Y2 \cdot \ln(\text{mag}-7)$$

після чого системи, що склалися з 12297 рівнянь для прямого піднесення та 10326 рівнянь для схилення вирішувались за методом найменших квадратів. Для кожної координати проводилось послідовно по три ітерації із поступовим звуженням довірчого інтервалу від 3σ до 2σ . В результаті розв'язку цих систем рівнянь отримано наступне значення точності каталога:

$$\varepsilon_{\alpha} \cdot \cos(\delta) = \pm 0.''079 \cdot \sec(Z)^{0.32} \cdot (\text{mag}-7)^{0.20} \text{ по } 11947 \text{ зіркам}$$

$$\varepsilon_{\delta} = \pm 0.''093 \cdot \sec(Z)^{0.12} \cdot (\text{mag}-7)^{0.18} \text{ по } 9948 \text{ зіркам}$$

Різниця в точності для прямого піднесення та схилення є наслідком специфіки спостережень методом коротких смуг – довжина кадру (по прямому піднесенню) у випадку АМК більша за ширину (по схиленню) у 4.7 рази, тому значення масштабу ПЗЗ камери для прямого піднесення може бути отримане точніше ніж для схилення. При використанні нової ПЗЗ матриці більшого розміру цю диспропорцію можна ліквідувати. Значної залежності від зенітної відстані не виявлено, що може бути наслідком спостережень у центрі міста приблизно на рівні моря і деяким загальним закругленням результатів внаслідок цього. Залежність від зоряної величини можна пояснити пониженням точності реєстрації в області слабких зірок використовуваної під час спостережень ПЗЗ камери на базі матриці ФППЗ-13М (виробництва НВО “Силар” м.С-Петербургу) внаслідок значного падіння чутливості в зоні від 13-14 зоряної величини при тій величині світлового

поток, що забезпечує дзеркало АМК діаметром 180мм. (рис. 4.16) [15]. Вказане значення коефіцієнтів у точності показало добру кореляцію при дослідженні різних версій каталога. Точність же поступово збільшувалась від версії до версії. При аналізі остаточної версії з використанням різної кількості зірок при складанні системи рівнянь було отримано подібні результати.

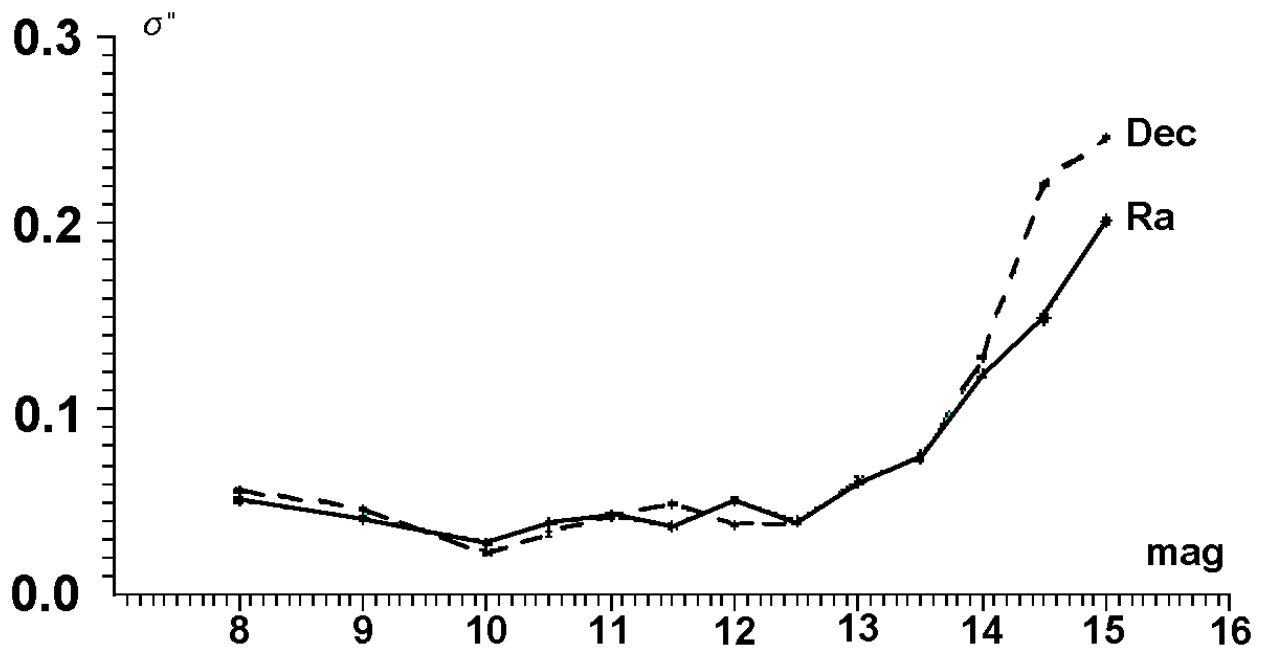


Рис.4.16. Середньо квадратична похибка визначення положень зірок в системі координат матриці.

Також в рамках аналізу каталога зроблено співставлення із спільними зірками (632 зірки) в площадках навколо позагалактичних радіоджерел із каталога Карлзбергського автоматичного меридіанного круга (рис.4.18) ($17^{\circ}53'W$ $28^{\circ}46'N$ висота над рівнем моря 2326м) САМС-9 (спостереження 1984-1995 років обчисленні в системі HIPPARCOS) [2] виду $\Delta\alpha_{\delta}$ та $\Delta\delta_{\delta}$ в значенні (АМС-САМС) (Рис.4.17). Показано хід систематичної різниці між каталогами на рівні $0.''05$ в зенітній області. На краях різниці досягають величин $0.''1-0.''2$. В південній зоні це може бути зв'язано з присутністю

залишкових систематичних інструментальних похибок в самому каталозі САМС та малою кількістю спільних зірок в цій зоні для обох каталогів, в північній зоні має місце однозначний вплив малої кількості спільних зірок в обох каталогах, так як САМС знаходиться майже на 20° південніше АМК. В інших окремих точках – різницею в конструкції обох телескопів (класична для САМС з ваговими деформаціями на рівні $1.''0$ та систематичними похибками на рівні $0.''04$ - $0.''06$ та горизонтальна для АМК з ваговими деформаціями на рівні $0.''04$ та систематичними похибками на рівні $0.''02$ - $0.''03$) та різним впливом інструментальних параметрів, а також в незначній мірі можливою різницею із за неврахування власних рухів так як середні епохи у двох каталогів відрізняються (для спільних зірок середня епоха спостережень 1997.09 для АМС та 1989.39 для САМС).

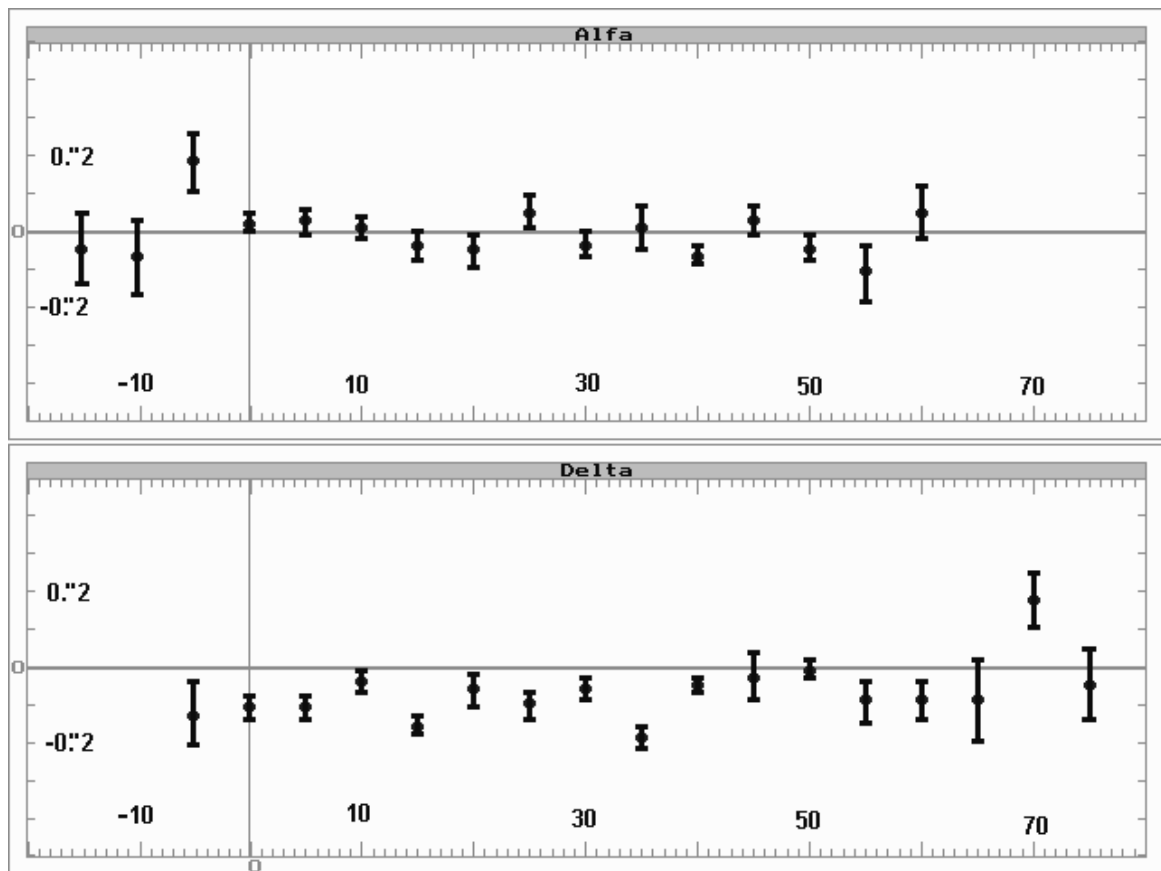


Рис.4.17 Систематична різниця між каталогами АМС1В та САМС-9 виду $\Delta\alpha_\delta$ та $\Delta\delta_\delta$ в значенні (АМС-САМС)

Ще одним критерієм точності каталога може служити точність результатів, при одержанні яких використовується наш каталог. Таких робіт було проведено декілька. Зокрема сама перша – це використання версій каталога для уточнення масштабів ПЗЗ камери показала зменшення похибки масштабу на $0.''0003-0.''0004$, що при обчисленні положень опорних зірок дало покращення точності на $0.''01-0.''02$. Друга – це використання каталога АМС1В як опорного при визначенні положень позагалактичних радіоджерел. Така робота проводилась в Миколаївській астрономічній обсерваторії та Шанхайській обсерваторії (КНР) [35, 57]. Отримані результати показали підвищення точності при використанні АМС1В в порівнянні з USNO A2.0.



Рис.4.18. Зовнішній вигляд Карлзбергського автоматичного меридіанного круга

ВИСНОВКИ.

Основні результати проведеної роботи.

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 14403 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 диференційних 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.

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 каталога слабких зірок в площадках навколо вибраних позагалактичних радіоджерел.

Розроблений комплекс системи програмного керування після незначних змін може бути впроваджений на астрометричних телескопах с ПЗЗ камерами. Зокрема модифікований варіант СПК в 2000 році встановлено на Зонному астрографі Миколаївської обсерваторії.

Розроблено універсальний пакет програм ПУМА для обробки астрометричних позиційних спостережень, що має високі показники та може буди 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 14403 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.

В подальшому при розвитку програмного комплексу необхідно включити в нього підтримку нових більш точних версій каталогів побудованих на основі GSC та Tycho [41, 43, 44]. Розширити можливості глобальної обробки довгих рядів спостережень. Реалізувати врахування поправок пов'язаних з кольором зірок. Модернізувати по можливості всі програми до виконання всіх обчислень та аналізу без втручання оператора, що значно скоротить час необхідний для обробки матеріалу.

Необхідно також сповна використовувати зріслі обчислювальні потужності комп'ютерів для:

- проведення більш точного врахування особливостей конкретних спостережень,

- якнайповнішого контролю усіх параметрів інструмента в режимі реального часу,
- використання більш складних керуючих алгоритмів для реалізації можливості автономної автоматичної роботи без втручання людини в широкому спектрі зовнішніх умов, стану апаратури та можливих нештатних ситуацій,
- забезпечення повністю паралельної роботи усіх реєструючих пристроїв для зменшення часу одного відліку,
- реалізації динамічної побудови спостережної програми в реальному часі при проведенні спостережень в заданих пріоритетних межах,
- створення розподілених автоматичних спостережних систем з організацією доступу через мережу Internet з можливістю одночасної роботи по спільним спостережним програмам,
- використання нових, більш точних алгоритмів обробки (як первинної обробки сигналу, так і глобальної обробки великих масивів спостережень), які раніше ще могли використовуватись через брак обчислювальних ресурсів,
- використання більших за розміром та чутливіших ПЗЗ приймачів, або їх мозаїк,
- можливого встановлення декількох реєструючих пристроїв для зменшення часу, необхідного для проведення одного відліку

Потрібно також впроваджувати набутий практичний досвід роботи на телескопі автоматі та системи програмного забезпечення для керування та обробки на інших однотипних телескопах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Andrei A.H., Penna J.L., Lopes P.A.A., Assafin M., Puliaev S.P., Teixeira R., Benevides-Soares P., Requieme Y., Le Campion J.F. Observation of Radio Stars at Valinhos CCD Meridian Circle. // Proc. of the Journees 1999 "Systemes de Reference Spatio-Temporels". – Dresden (Germany). – 1999. – P. 48.
- 2) Carlsberg Meridian Catalogue №9. Observation of position of stars and planets May 1984 to March 1995. / CD-ROM version – La Palma. – 1997.
- 3) Definition and Realization of the International Celestial Reference System by VLBI Astrometry of Extragalactic Objects. // IERS Technical Note 23. – Paris. – Observatoire de Paris. – 1997. P.1-276.
- 4) Fisher P., Kochanski G.P. Optimal Addition of Images for Detection and Photometry. // Astron.J. – Vol.107, №2. – 1994. – P.802-810
- 5) Genrels.T. Scanning with Charge-Coupled Devices. // Space Science Reviews. – Vol.58. – 1991. – P.347-375.
- 6) IAU Information Bulletin. // – 1995. – No.74, 3.
- 7) Kirian T., Pinigin G. On the Precision of Star Positions Observation Made with the Pulkovo HMC. // Developments in Astrometry and Their Impact on Astrophysics and Geodynamics. – IAU Symp.№156. – Shanghai (China). – 1993. - P.119-123
- 8) Kirian T.R., Naumov K.N., Nikiforov V.V., Pinigin G.I., Bushuev F.I., Protsyuk Yu.I., Sibilev V.P., Gumerov R.I., Aupov F.G. On the Current State of the MAHIS Construction. // Developments in Astrometry and Their Impact on Astrophysics and Geodynamics. – IAU Symp.№156. – Shanghai (China). – 1993. - P.117-118.
- 9) Kovalchuk A., Pinigin G., Protsyuk Yu., Shulga A. Extension of the HIPPARCOS catalogue to the faint stars in the selected fields using the Nikolaev telescope AMC. // Proc. of the Journees 1999 "Systemes de Reference Spatio-Temporels". – Dresden (Germany). – 1999. – P. 146.

- 10) Kovalchuk A., Pinigin G., Protsyuk Yu., Shulga A. Extension of the HIPPARCOS catalogue to the faint stars in the selected fields using the Nikolaev telescope AMC. // Застосування ПЗЗ методів для досліджень Сонячної системи. ”, Миколаїв:МАО. – 1999. – С. 68-76.
- 11) Kovalchuk A.N., Pinigin G.I., Protsyuk Yu.I., Shulga A.V. 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.
- 12) Kovalchuk A.N., Pinigin G.I., Protsyuk Yu.I., Shulga A.V. Mykolayiv AMC: Current Results of Observation and Investigation. // Всеукраїнській астрономічній конференції. – Київ: ГАО НАНУ. – Інф.бюл. УАА. - 1998. - №12. - С.50.
- 13) Kovalchuk A.N., Pinigin G.I., Protsyuk Yu.I., Shulga A.V. 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.
- 14) Kovalchuk A.N., Pinigin G.I., Protsyuk Yu.I., Shulga A.V., Gumerov R.I. 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.
- 15) Kovalchuk A.N., Protsyuk Yu.I. and Shulga A.V. CCD Micrometer of the Mykolayiv Axial Meridian Circle. // Astronomical & Astrophysical Transactions. – 1997. – Vol.13. - P.23-28.
- 16) Kovalevsky J. The HIPPARCOS Extragalactic Link. // Astronomical and Astrophysical Objectives of Sub-Milliarcsecond Optical Astrometry. – IAU Symp. №166. – Hague (Netherlands). – 1995. – P.127-132.
- 17) Kovalevsky J. The Next decades: A New Boost to Astrometry? // Proc. of the Journees 1999 “Systemes de Reference Spatio-Temporels”. – Dresden (Germany). – 1999. – P. 103 - 110.

- 18) Mallamaci C.C., Muiqos J.L., Pirez J.A., Belizsn F., Vallejo M., Gallego M., Marmolejo L.F., Navarro J.L, Sedeqo J.A. The San Fernando Automatic Meridian Circle in Argentina: Present state, FIRST results and future plans. // Proc. of the IX Latin American Regional IAU Meeting, "Focal Points in Latin American Astronomy". – Tonantzintla (Mexico). – 1998.
- 19) Mignard F. Astrometric Properties of the Hipparcos Catalogue. // Proc.of the ESA Symposium «Hipparcos-Venice'97». – Venice (Italy). – ESA SP-402. – 1997. – P.5-10.
- 20) Mignard F. Report of the IAU Working Group on ICRS. // Proc. of IAU Coll. 180 "Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond Astrometry". – USNO, Washington, DC (USA). – 2000. – P.10-19.
- 21) Monet D. et al. USNO-A V1.0 A Catalog of Astrometric Standards. / USNO and Palomar Observatory – 10 CD-ROM version. – 1996.
- 22) Monet D. et al. USNO-A V2.0 A Catalog of Astrometric Standards. / USNO and Palomar Observatory – 11 CD-ROM version. – 1998.
- 23) Pinigin G.I., A.V.Shulga, P.N.Fedorov, A.N.Kovalchuk Axial meridian circle of the Nikolaev astronomical observatory. // Astronomical and Astrophysical Transactions. - IAS (Moscow). - Vol.8, N2. – 1995. – P.161-163
- 24) Pinigin G.I., Ajupov F.G., Gumerov R.I., Kapkov V.B., at al. A new generation of the Pulkovo observatory meridian instruments and the first results of observations. // Astrophysics and Space Science. - Kluwer Acad. Publ. (Dordrecht). - №177. – 1990. – P.219-223
- 25) Pinigin G.I., Gumeriv R.I., Kapkov V.B. Automatic Horizontal Meridian Circle of Pulkovo. // Proc. of the IAU 109th Symp. "Astrometric Techniques". - Reidel,Dordrecht (Holland). – 1986. – P.459-462
- 26) Pinigin G.I., Gumerov R.I., Kapkov V.B., Kirian T.R. Potentialities of the computer controlled Horizontal meridian circle at Pulkovo. // In"Bulletin de l'Observatoire Astronomique de Belgrade". – Yugoslavia. - №137. – 1987. P.30-33

- 27) Pinigin G.I., Shulga A.V., Fedorov P.N., Kovalchuk A.N., Mazhaev A.E., Petrov A.G., Protsyuk Yu.I. 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.
- 28) 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.
- 29) Requieme Y., Le Campion J.F., Montignac G., et al. CCD Meridian Circle Reduction using Tycho Positions as Reference. // *Proc. of the ESA Symposium «Hipparcos-Venice'97»*. – Venice (Italy). – ESA SP-402. – 1997. – P.135-138.
- 30) Seidelman P.K. Astrometry in the Future. // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. – Vol.66. – 1997. P.97-106.
- 31) Souchay J., Gontier A.M., Arias F. The ICRS: Concept, Realization, Accessibility and Maintenance. // *Proc. of the Journees 1999 “Systemes de Reference Spatio-Temporels”*. – Dresden (Germany). – 1999. – P. 3 - 7.
- 32) Stone R.C. and Dahn C.C. CCD Astronomy. // *Astronomical and Astrophysical Objectives of Sub-Milliarcsecond Optical Astrometry*. – IAU Symp. №166. – Hague (Netherlands). – 1995. – P.3-8.
- 33) Stone R.C. Recent Advances with the USNO (Flagstaff) Transit Telescope. // *Developments in Astrometry and Their Impact on Astrophysics and Geodynamics*. – IAU Symp. №156. – Shanghai (China). – 1993. - P.65 - 70.
- 34) Stone R.C. Systematic Errors in the FK5 Catalog as Determined from CCD Observations in the Extragalactic Reference Frame. // *Astron.J.* – Vol.114, №2. – 1997. – P.850-858.
- 35) Tang Z.H., Jin W.J., Wang S.H., Pinigin G., Shulga A., Maigurova N., Protsyuk Yu. 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.
- 36) Teixeira R., Benevides-Soares P., Camargo J.B., Monteiro W. Meridian Observations of Extragalactic Radio Sources at Valinhos Observatory. // Proc. of the IAU Coll. 165. – 1996.
 - 37) The Catalog of Positions and Proper Motions (PPM). / Astronomical Data Center CD-ROM. Vol.1. – 1991.
 - 38) The Guide Star Catalog version 1.1 / Space Telescope Science Institute and Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. – CD-ROM version. – 1992.
 - 39) The Hipparcos and Tycho Catalogues. / ESA-SP1200 – ESA. - CD-ROM version. - 1997.
 - 40) The Hipparcos Input Catalogue / INCA Consortium. – CD-ROM version. – 1994.
 - 41) Urban S.E. and Wycoff. Densifying the Optical Reference Frame: The Tycho-2 Catalog of 2.5 Million Stars. // Proc. of IAU Coll. 180 “Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond Astrometry”. – USNO, Washington, DC (USA). – 2000. – P.75-79.
 - 42) Viateau B., Requieme Y., Le Campion J.F., Benevides-Soares P., Teixeira R., Montignac G., Mazurier J.M., Monteiro W., Bosq F., Chauvet F., Colin J., Daigne G., Desbats J.M., Dominici T.P., Perie J.P., Raffaelli J., Rapaport M. The Bordeaux and Valinhos CCD meridian circles. // Astronomy and Astrophysics Supplement. – 1999. - Vol.134. - P.173-186.
 - 43) Yagudin L.I., Lopez Garcia A. GSC++: New Reduction Of The Guide Star Catalog Plates. / CD-ROM version. – 1999.
 - 44) Yagudin L.I., Lopez Garcia A. Proper Motions for 4.3 Million Stars Over the Sky. // Proc. of the Journees 1999 “Systemes de Reference Spatio-Temporels”. – Dresden (Germany). – 1999. – P. 136 – 138.
 - 45) Yoshizawa M. New Astrometric Instrumentation in Japan. // Astronomical and Astrophysical Objectives of Sub-Milliarcsecond Optical Astrometry. – IAU

- Symp. №166. – Hague (Netherlands). – 1995. – P.31-34.
- 46) Yoshizawa M., Suzuki Sh. The Tokyo PMC Catalog 86: Catalog of Positions of 3974 Stars Observed in 1986 with Tokyo Photoelectric Meridian Circle. // -Publ. of the National Astronomical Observatory of Japan. – Vol.1, N.2. – 1989. – P.127-176.
- 47) Yoshizawa W., Suzuki S., Kuwabara T. and Ishizaki H. Observations of Faint Stars Deep to 16th Magnitude with CCD Meridian Circle. // Developments in Astrometry and Their Impact on Astrophysics and Geodynamics. – IAU Symp.№156. – Shanghai (China). – 1993. - P.71 - 74.
- 48) Zacharias N., Høg E., Urban S.E., Corbin T.E. Comparing the Tycho Catalogue with CCD Astrograph Observations. // Proc.of the ESA Symposium «Hipparcos-Venice'97». – Venice (Italy). – ESA SP-402. – 1997. – P.121-124.
- 49) Гумеров Р.И. Повышение эффективности астрометрических наблюдений на основе программно-управляемого измерительного комплекса. // Дис... канд. физ-мат. наук. – Ленинград. – 1987. – 169 с.
- 50) Девяткин А.В., Грицук А.Н., Горшанов Д.Л., Корнилов Э.В. АПЕКС – программная система для обработки ПЗС-наблюдений в астрометрии. // Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века. – С.Петербург:ИПА РАН (Россия). – 2000. – С.162-163.
- 51) Кирьян Т.Р., Наумов К.Н., Смирнов Б.Н., Никифорова О.Ю., Горшанов Д.Л., Пинигин Г.И., Процюк Ю.И., Капков В.Б., Гумеров Р.И., Аюпов Ф.Г. Результаты дифференциальных определений прямых восхождений и склонений звезд на пулковском Горизонтальном меридианном круге Л.А.Сухарева в 1988-90 гг. // Деп. в ВИНТИ 6.05.92, N 1488-B92.- 59 с.
- 52) Ковальчук А.Н., Пинигин Г.И., Процюк Ю.И., Шульга А.В.. Результаты первых наблюдений на Николаевском АМК с ПЗС микрометром. // Инф.бюл. УАА. - №7. –1995. С.76.
- 53) Ковальчук А.Н. Некоторые аспекты обработки ПЗС-изображений. // Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века. –

- С.Петербург:ИПА РАН (Россия). – 2000. – С.150-151.
- 54) 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.
- 55) Ковальчук О.М., Пинигин Г.И., Процюк Ю.И., Шульга О.В. ПЗС автоматичний АМК МАО. // Застосування ПЗС методів для досліджень Сонячної системи. –Миколаїв: МАО. –1999. -С.20-39.
- 56) Ковальчук О.М., Пинигин Г.И., Процюк Ю.И., Шульга О.В., Гумеров Р.И. Використання миколаївського АМК в узгоджених спостереженнях з телескопом на паралактичному монтуванні.// Кінематика і фізика небесних тіл. – 1999. - №1. - С.79-83.
- 57) Майгурова Н.В., Пинигин Г.И., Шульга А.В. и др. Уточнение связи между оптической и радио системами координат на основе согласованных наблюдений в обсерваториях Украины, России и КНР. // Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века. – С.Петербург:ИПА РАН (Россия). – 2000. – С.133-134.
- 58) Пинигин Г.И. Достижения и проблемы наземной астрометрической техники. // Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века. – С.Петербург:ИПА РАН (Россия). – 2000. – С.30-33.
- 59) Пинигин Г.И. Определение прямых восхождения и склонений звезд посредством автоматического меридианного инструмента горизонтальной конструкции. // Дис... д-ра физ-мат. наук – Николаев. – 1992. – 363 с.
- 60) Пинигин Г.И. Роль автоматических меридианных инструментов в наземной астрометрии на Post-HIPPARCOS период. // Труды конференции «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики». - С.Петербург: ИПА РАН. - 1996. - С. 70-77
- 61) Пинигин Г.И., Аюпов Ф.Г., Гумеров Р.И., Капков В.Б. и др. Двухкоординатный автоматический звездный микрометр пулковского

- горизонтального меридианного круга. // Проблемы астрометрии (22-я астрометрич. Конфер. СССР 1-5 мая 1981г.). - Изд. МГУ, М. –1984. – С.186-190
- 62) Пинигин Г.И., Гумеров Р.И., Капков В.Б. О системе программного управления Пулковским меридианным кругом. // Современная астрометрия (по материалам 23-й всесоюзной астрометр. Конф.). - изд. ГАО АН СССР, Л.. – 1987. – С.66-69
- 63) Пинигин Г.И., Гумеров Р.И., Капков В.Б. Автоматическая установка по зенитному расстоянию пулковского ГМК. // Письма в астрономический журнал. - Наука, М. – Том 9, №11. – 1984. С.699-703
- 64) Пинигин Г.И., Гумеров Р.И., Капков В.Б. Автоматический горизонтальный меридианный круг в Пулкове. // Кинематика и физика небесных тел. - Наукова Думка, К. – Том 1, №4. – 1985. – С.93-98
- 65) Пинигин Г.И., Гумеров Р.И., Капков В.Б., Шорников О.Е. Фотоэлектрическая система отсчета лимбов горизонтального меридианного круга. // Известия ГАО АН СССР. Наука, Л. - №200. – 1982. – С.114-117
- 66) Пинигин Г.И., Наумов К.Н., Кирьян Т.Р., Смирнов Б.Н. Результаты дифференциальных определений прямых восхождений и склонений звезд на Пулковском горизонтальном меридианном круге Л.А.Сухарева в 1988-1990гг. // Известия ГАО РАН. - Наука, С.-П. – 1994. – С.107-123
- 67) Пинигин Г.И., Шорников О.Е. Аксиальный меридианный круг. Астрометрия и астрофизика. - Наукова Думка, К. – 1983. – в.49
- 68) Пинигин Г.И., Шульга А.В., Гумеров Р.И. Автоматический меридианный комплекс для решения задач наземной астрометрии в Post-HIPPARCOS период. // Труды конференции «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики». - ИПА РАН: С.Петербург. – 1996. - С. 84-90.
- 69) Подобед В.В.. Фундаментальная астрометрия. - М.: Наука, 1968. - 452 с.
- 70) Процюк Ю.И. Универсальный пакет программ обработки

- астрометрических наблюдений на инструментах с ПЗС-камерами. // Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века. – С.Петербург: ИПА РАН. – 2000. – С.171-172.
- 71) Процюк Ю.И., Ковальчук А.Н., Шульга А.В Система программного управления и обработки информации автоматического АМК НАО. // Труды конференции «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики». - С.Петербург: ИПА РАН. - 1996. - С. 97-101.
- 72) Процюк Ю.І. Програмний комплекс автоматичного меридіанного круга для визначень положень небесних світил // Кінематика і фізика небесних тіл. – 1999. - №1. - С.93-97.
- 73) Процюк Ю.І. Система програмного керування для автоматичного меридіанного круга з ПЗЗ реєструючими пристроями. // Застосування ПЗЗ методів для досліджень Сонячної системи. – Миколаїв:МАО. – 1999. - С.40-55.
- 74) Система програмного керування для автоматичних меридіанних інструментів: Свідоцтво про держ. реєстрацію прав автора, Україна, / Ю.І.Процюк. - ПА №1863 ; Зареєстровано 29.03.1999.
- 75) Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. М. Сов. радио, 1980.

ДОДАТКИ

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

Підготовка до спостережень

Дослідження інструменту

Проведення спостережень

Первинна обробка

Обробка вечора

Загальна обробка

Допоміжні програми

У Додатку Б (на дискеті) приведено каталог 14000 зірок до 14.5 зоряної величини із списку USNO-A2.0 (АМС1В), обчислений на основі спостережень отриманих на АМК протягом 1996-1998 років.

Додаток В (на дискеті) містить програми програмного комплексу АМК для проведення спостережень та їх обробки (їх перелік та опис приведено в Додатку А).

Розділ	Сторінки	Малюнки	Таблиці
ДР-0	19	0	1
ДР-1	14	4	0
ДР-2	37	11	1
ДР-3	14	2	3 (1)
ДР-4	32	17	5
Додатки	9	0	0
Всього	125	34	8

Додаток А

Перелік та опис програм, що входять у програмний комплекс
автоматичного Аксіального меридіанного круга

Таблиця А.1.

Програми для визначення параметрів телескопа, дослідження та настройки його вузлів.

№	Назва програми	Призначення	Дата останньої модифікації	Розмір тексту програми в рядках	Використані бібліотеки
1	AN_POLE	Аналіз похибки поля фотоелектричних мікрометрів АВС	25.05.1997	305	Astrogr2
2	AN_SHORT	Аналіз короткоперіодичних похибок розділеного скляного лімба	26.12.1997	231	Astrogr2
3	AMC_UST	Настройка точного положення ПЗЗ камер та автоколімаційних марок та марки міри	11.02.1997	2665	Astrogr2, Signal, Mat, Mnk, Amc_tools
4	TESTLUFT	Аналіз люфту приводу телескопа	31.01.1997	1817	Astrogr2
5	AMC_AOS	Настройка фотоелектричних мікрометрів АВС	01.05.1997	2520	Astrogr2, Amc_tools
6	LIMBTEST	Проведення серій відліків для дослідження полів фотоелектричних мікрометрів АВС та дослідження періодичних похибок розділеного круга	27.05.1997	2845	Astrogr2, Amc_tools Ccd_look, Mat
7	AMC_AK1	Проведення відліків необхідних для визначення колімації телескопа	13.05.1996	2113	Astrogr2
8	AMC_GNU	Проведення відліків необхідних для визначення гнуття телескопа	22.05.1996	2274	Astrogr2, Amc_tools Ccd_look
9	AMK_ALL	Проведення кількодобових серій відліків для визначення колімації та гнуття	02.12.1996	2512	Astrogr2, Amc_tools Ccd_look
10	RUN_GNU2	Визначення гнуття телескопа	27.05.1996	151	
11	RUN_KOL2	Визначення колімації телескопа	21.05.1996	115	

Таблиця А.2.

Програми для підготовки до спостережень та проведення спостережень.

№	Назва програми	Призначення	Дата останньої модифікації	Розмір тексту програми в рядках	Використані бібліотеки
1	MAKE_RRS	Вибір з каталогу GSC зірок в 396 площадках навколо позагалактичних радіоджерел для використання в програмі ототожнення	25.06.1996	102	Mat
2	RRS_CAT2	Перегляд та статистика вибраних областей з зірками	21.10.1997	176	Astrogr2, Mat
3	HIP_INCA	Вибір з вхідного каталогу Hipparcos зірок для використання в якості опорних	06.06.1996	147	Mat
4	HIP_FIN	Вибір з каталогу Hipparcos зірок для використання в якості опорних	19.08.1999	175	Mat, Tls, Astroext
5	USNO2AMC	Вибір з каталогу USNO-A зірок в 396 площадках навколо позагалактичних радіоджерел для використання в програмі ототожнення	15.11.1999	180	Mat, Tls, Astroext
6	HIP_DAY	Підготовка спостережних списків з врахуванням попередніх спостережень та швидкісних параметрів телескопу	23.04.1999	606	Mat, Nut
7	HIP_VID	Обрахування видимих місць та установочних координат для телескопу для зірок із спостережного списку	02.02.1998	222	Mat, Nut
8	LSTMAKE1	Статистичний аналіз проведених спостережень	23.04.1999	279	Mat, Astrogr2
9	AMK_N29	Система програмного керування АМК	18.08.1998	4186	Mat, Astrogr2, Ccd_look, Amc_tools

Таблиця А.3.

Програми для первинної обробки одержаного матеріалу та визначення параметрів орієнтування телескопа по спостереженням за ніч (програми з зірочкою входять в склад пакету програм ПУМА і знаходяться на гнучкому диску разом з детальним описом).

№	Назва програми	Призначення	Дата останньої модифікації	Розмір тексту програми в рядках	Використані бібліотеки
1	PR_ST5B	Фільтрація ПЗЗ кадрів отриманих на АМК з можливістю візуального відображення усіх стадій фільтрації	27.04.1999	2549	Mat, Astrogr2, Mat, Mnk, Viewunit
2	FLTV4C*	Фільтрація ПЗЗ кадрів отриманих на будь якому телескопі	23.05.2000	1522	Tls
3	PR_ST7B	Ототожнення зірок на ПЗЗ кадрах отриманих на АМК по каталогу GSC	16.06.1999	1015	Astrogr2, Mat
4	ANYPLAT4*	Ототожнення зірок на ПЗЗ кадрах отриманих на будь якому телескопі по каталогах GSC, USNO-A1.0, USNO-A2.0	25.10.2000	3423	Astrogr3, Tls, Mat, Astroext, Mnk, Io, Signal, Nut
5	FLT_AVT	Організація автоматичної фільтрації отриманих ПЗЗ кадрів після закінчення спостережень	17.06.1998	83	
6	COORST9 *	Визначення координат спостережених об'єктів в системі координат ПЗЗ матриці різними методами	07.07.2000	1313	Astrogr3, Signal, Mat, Mnk, Tls, Astroext
7	MASHT2 *	Визначення масштабів ПЗЗ матриці по ототожненим зіркам та координат четвертого вибраного об'єкту	19.07.2000	768	Mat, Mnk, Tls
8	AOS_6F	Визначення координат штрихів поділеного скляного лімба АМК	17.11.1998	369	Astrogr2, Mnk, Mat, Signal
9	CCD-DARK *	Врахування темного сигналу для кадрового режиму спостережень з використанням спеціально зроблених кадрів з темним сигналом	26.10.1999	113	
10	MAKE_T6A	Визначення часу проведення усіх процедур під час спостережень	07.06.1996	225	Mat

Продовження таблиці А.3.

11	REST_AK	Додаткова обробка автоколімаційних відліків	05.11.1998	465	Astrogr2 Astroext
12	VECH_MN5	Обробка нічних спостережень по опорним зіркам та визначення коефіцієнтів у формулах приведення	17.07.2000	3577	Mnk, Mat, Nut, Tls, Astrogr2

Таблиця А.4.

Програми для загальної обробки трьохрічного циклу спостережень, виведення та аналізу каталогів.

№	Назва програми	Призначення	Дата останньої модифікації	Розмір програми в рядках	Використані бібліотеки
1	SYS_AMC	Визначення точності спостережень опорних зірок та системи інструменту виду АМК-Ніппаркос	04.09.2000	544	Tls, Mnk, Mat, Astrogr3
2	VECHSTAT	Підготовка статистичної інформації по всіх оброблених вечорах	26.11.1999	111	
3	VIEW_MAS	Аналіз поведінки масштабів ПЗЗ камери за 3 роки	27.09.1999	118	Astrogr3
4	SYS_RRS6	По результатам обробки ночей та отриманих масштабних коефіцієнтів знаходить видимі спостережені координати та значення (О-С) усіх ототожнених визначуваних зірок за три роки	08.10.2000	2082	Astrogr3, Tls, Mnk, Mat, Nut, Astroext
5	CATALOG1	Створення диференційного каталогу у форматі придатному для подальшого використання в інших програмах	09.10.2000	882	Mat, Tls, Nut, Mnk, Astroext
6	ANALIZ	Аналіз нев'язок (О-С) в площадках	24.07.2000	151	Astrogr2, Mnk
7	COMPCAMC	Пошук спільних зірок у каталогах САМС-9 і АМС1В	10.10.2000	151	Mat, Tls, Astroext
8	CAMCGRAF	Аналіз різниці між каталогами АМС1В та САМС-9 виду $\Delta\alpha_\delta$ та $\Delta\delta_\delta$ в значенні (АМС-САМС)	10.10.2000	185	Astrogr3 Mnk
9	CAT_PIC	Аналіз каталогу АМС1В	09.10.2000	552	Mat, Mnk, Astrogr3, Astroext
10	PRINT_CAT	Підготовка каталогу для друку	09.10.2000	189	Mat

Таблиця А.5.

Бібліотеки, що використовуються в інших програмах.

№	Назва програми	Призначення	Дата останньої модифікації	Розмір тексту програми в рядках	Використані бібліотеки
1	ASTROGR2	Реалізація графічного інтерфейсу	21.11.1998	2873	
2	AMC_TOOL	Реалізація алгоритмів обертання телескопа, пошуку на ПЗЗ кадрі марок та інш.	17.02.1998	3062	Astrogr2, Mat
3	CCD_LOOK	Процедури відліку фотоелектричних мікрометрів та ПЗЗ камер	17.02.1998	4020	Astrogr2, Mat, Mnk, Signal, Viewunit, Amc_tools
4	MAT	Реалізація різноманітних математичних функцій	13.01.2000	836	
5	MNK	Реалізація статистичних методів та методу найменших квадратів	12.06.2000	1372	Mat
6	SIGNAL	Реалізація методів одержання координат центрів зображень зірок	07.06.2000	650	Mnk
7	VIEWUNIT	Реалізація процедур пакування та розпакування ПЗЗ зображень та їх виводу на екран	11.12.1999	362	Astrogr2
8	TLS	Реалізація сервісних процедур	07.02.2000	581	
9	NUT	Реалізація процедур знаходження видимих місць зірок та поправок за рефракцію	24.02.2000	747	Mat, Tls
10	ASTROEXT	Реалізація роботи з великими масивами даних з використанням різних видів пам'яті комп'ютера	08.07.2000	1810	
11	ASTROGR3	Реалізація графічного інтерфейсу	03.09.2000	3988	
12	IO	Реалізація процедур для роботи з типізованими текстовими файлами	09.09.1999	325	

Таблиця А.6.

Допоміжні програми (програми з зірочкою входять в склад пакету програм ПУМА і знаходяться на гнучкому диску разом з детальним описом).

№	Назва програми	Призначення	Дата останньої модифікації	Розмір тексту програми в рядках	Використані бібліотеки
1	READ_DN2 *	Для перегляду будь яких ПЗЗ кадрів з можливістю зміни яскравості та динамічного діапазону зображення	17.10.2000	260	Astrogr3, Tls
2	PAK2DAT	Для розпакування ПЗЗ кадрів отриманих на АМС	08.09.1995	57	Viewunit
3	READ_PAK	Для перегляду зжатих ПЗЗ кадрів з АМК	14.06.1998	64	Astrogr2, Viewunit
4	READ_ST *	Для перегляду ПЗЗ кадрів в форматі камер Santa Barbara з можливістю зміни яскравості та динамічного діапазону зображення	16.10.1999	375	Astrogr3, Astroext
5	READFIT2 *	Для перегляду ПЗЗ кадрів в FITS форматі з можливістю зміни яскравості та динамічного діапазону зображення	22.08.2000	278	Astrogr3, Tls
6	READ_AKM	Для перегляду зжатих файлів автоколімаційних відліків	03.11.1998	45	Astrogr2

Всі представлені в додатку програми, що входять у програмний комплекс автоматичного Аксиального меридіанного круга, написано на мові програмування PASCAL, з вставками асемблера i8086 в деяких місцях, для використання в середовищі операційної системи типу MS-DOS 5.0 або вище.