

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дисертація присвячена дослідженню зв'язку між оптичною (ICRF) та радіо (ICRF) системами координат, та поширенню високоточного каталогу HIPPARCOS (HC) на слабкі зорі (до 20 зоряної величини) у вибраних ділянках небесної сфери. Для цього використовувались наземні телескопи, оснащені ПЗЗ-приймачами випромінювання.

Актуальність теми. З 1 січня 1998 року в астрономії введена нова опорна система координат (International Celestial Reference System – ICRS). В якості первинної реалізації на небесній сфері, відповідно до рекомендації IAU, виступає каталог ICRF, що складається з 608 позагалактичних радіоджерел (ПРД), які масово спостерігались методами радіоінтерферометрії із наддовгими базами (VLBI) із точністю не гірше 1 mas [19]. Поширенням цієї системи на оптичний діапазон спектра є каталог HIPPARCOS, отриманий у результаті космічного проекту HIPPARCOS у 1989-1993 роках. Каталог HC містить оптичні положення, власні рухи й паралакси 118218 зір, 80% яких є яскравішими за 9 зоряну величину, а щільність зір складає 3 зорі на 1 квадратний градус. Точність положень у цьому каталозі на епоху спостереження (1991.25) складає 0.77 і 0.64 mas відповідно по прямому сходженню і схиленню для зорь яскравіше 9 зоряної величини [21]. Зв'язок каталогу HIPPARCOS з каталогом ICRF було встановлено на рівні $\pm 0".6$ mas по положеннях і $0".25$ mas/year по обертанню на середню епоху спостереження каталогу HIPPARCOS непрямыми методами наземних спостережень [22]. Установлення прямого зв'язку між цими двома каталогами неможливо, оскільки вони мають всього один загальний об'єкт (квазар 3C 273B). Точність системи HIPPARCOS погіршується зі швидкістю близько 1 mas у рік унаслідок обмеженої точності так званих "миттєвих" власних рухів зір HIPPARCOS, що приводить у свою чергу до невизначеності зв'язку між двома системами. Крім того, ПЗЗ-матриці, які одержали широке поширення в сучасній астрономії, мають малі поля зору, що приводить до неможливості прямого використання каталогу HIPPARCOS для обробки спостережень. Отже підтримка високоточного зв'язку між оптичною і радіо системами небесних координат розширення системи каталогу HIPPARCOS на слабкі зорі залишається однією з найактуальніших задач наземної астрометрії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана за плановою тематикою науково-дослідних робіт НДІ "Миколаївська астрономічна обсерваторія" (МАО) і в рамках міжнародних програм уточнення зв'язку між системами координат та поширення системи каталогу HIPPARCOS на слабкі зорі у вибраних площадках.

Дисертаційна робота є складовою частиною наступних науково-дослідних робіт НДІ “Миколаївська астрономічна обсерваторія”, затверджених Міністерством освіти й науки України:

Теми “**БЕТА**” – “Вдосконалення зоряної системи координат із спостережень на меридіанних інструментах із сучасними системами реєстрації та контролю”, з 1997 по 1999 рік;

Теми “**Зв'язок**” – “Зв'язок радіоінтерферометричної й оптичної небесної системи координат”, з 1998 по 1999 рік;

Теми “**Сфера**” – “Поширення оптичної опорної системи координат HCRF на слабкі зорі у вибраних площадках і уточнення її зв'язку з радіо системою координат ICRF”, № держ. реєстрації 0101U000218, з 2000 по 2003 рік.

Автор брав участь у виконанні всіх вищезгаданих тем як відповідальний виконавець.

Спостереження позагалактичних джерел виконувалися відповідно з договорами про співробітництво та спільними проектами:

- “Визначення точних положень 44 позагалактичних радіоджерел за спостереженнями на 1.5 метровому телескопі Шанхайської астрономічної обсерваторії в системі опорних зір Аксіального меридіанного круга Миколаївської астрономічної обсерваторії”, згідно Протоколу №1 сесії китайсько-української комісії по науково-технічному співробітництву від 02.06.1997 р. у м. Пекін (Китай), згідно Наказу Міннауки України №114 від 14.04.98 р.
- “Уточнення кутів зв'язку радіо й оптичної опорних систем координат на підставі ПЗЗ-спостережень розширеного списку позагалактичних радіоджерел Миколаївською та Шанхайською астрономічними обсерваторіями”, М/267-2003.
- Спільний проект про міжнародне співробітництво (Міжнародна конференція “Extension and Connection of Reference Frames Using Ground Based CCD Technique”, MAO, 2001 р.).

Мета, задачі і методи дослідження. Основною метою даної роботи є отримання параметрів зв'язку оптичної опорної системи координат (HCRF) із радіо системою координат (ICRF) на основі ПЗЗ-спостережень оптичних компонент позагалактичних радіоджерел списку ICRF та поширення системи HCRF на слабкі зоряні величини у вибраних ділянках небесної сфери.

З цією метою вирішувалися такі задачі:

- вибір оптимального списку для спостережень,
- отримання спостережень оптичних компонент вибраних позагалактичних радіоджерел, що входять до списку ICRF,

- побудова алгоритму поетапного опрацювання даних спостережень, розробка програмного забезпечення обробки даних спостережень, вибір та дослідження каталогу зоряних положень для редукції спостережень, що були отримані,
- визначення астрометричних положень оптичних компонент позагалактичних радіо-джерел (ERS) та зір, що містяться в площадках навколо їх,
- створення каталогу положень оптичних компонент вибраних радіоджерел та диференціального каталогу зір у площадках навколо радіоджерел для поширення каталогу НС на слабкі зорі (до 15-19 зоряної величини),
- отримання та аналіз різниць визначених оптичних положень та положень, отриманих радіоінтерферометричним методом спостережень (оптика - радіо) і параметрів зв'язку між двома системами.

Об'єкт дослідження: вибрані позагалактичні джерела списку ICRF, зорі в площадках навколо позагалактичних радіоджерел 14- 20 зоряної величини.

Предмет дослідження: параметри зв'язку між радіо та оптичною системами, астрометричні координати оптичних компонент вибраних позагалактичних радіоджерел та зір у площадках навколо них.

Методи дослідження: метод ПЗЗ-реєстрації випромінювання; метод фотографічної астрометрії та математичний апарат методу найменших квадратів (МНК); методи теорії ймовірності та математичного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. Під час виконання роботи вперше отримані такі результати:

- Каталог оптичних положень 213 позагалактичних радіоджерел у системі ICRS з використанням координат опорних зір із каталогів UCAC2 (142 радіоджерела) і USNOB1.0. Середня внутрішня похибка положень складає 37 mas.
- Нові значення кутів зв'язку оптичної і радіо опорних систем координат у зоні схилень від -40 до $+80$ градусів: $\omega_x = -4.1 \pm 6.1$, $\omega_y = 1.9 \pm 5.8$, $\omega_z = 12.4 \pm 4.9$ mas.
- Каталог близько 10167 зір $12^m - 20^m$ зоряної величини поблизу радіоджерел. Внутрішня точність визначення положень перебуває в межах від 20 до 100 mas в залежності від зоряної величини.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи визначається:

- великою кількістю оригінальних астрометричних та фотометричних даних для оптичних компонент позагалактичних радіоджерел списку ICRF;
- можливістю використання одержаних даних при постановці нових наукових задач і при плануванні космічних місій ;
- параметри зв'язку оптичної та радіо систем координат, що отримані, можуть бути використані для уточнення положення екватора оптичної системи координат та дослідження її систематичних помилок ;
- отримані астрометричні положення зір у площадках навколо радіоджерел можуть використовуватися для поточних та майбутніх ПЗЗ-спостережень;
- отримані астрометричні положення оптичних компонент позагалактичних радіоджерел можуть бути використані для уточнення, зміни і розширення основного списку об'єктів, що закріплюють ICRS на небесній сфері;
- під час виконання роботи було створено ряд обчислювальних програм, необхідних для роботи з найбільш широко вживаними астрометричними каталогами.

Особистий внесок здобувача. Здобувач брала участь в одержанні всіх результатів, що приведені в дисертації: планування роботи та програм спостережень, в спостереженнях на меридіанному крузі (МКТ MAO), в створенні програмного забезпечення для роботи з астрометричними каталогами та створенні баз даних положень радіоджерел та зір.

Редукція вимірів, одержання положень оптичних компонент радіоджерел та зір у площадках навколо них були проведені автором самостійно.

Здобувачем опубліковано 18 праць у співавторстві. У роботі [1, 7, 9] здобувач виконала астрометричну редукцію даних спостережень. У роботах [2,4,5,16] здобувач виконала роботу з вибору й аналізу площадок з каталогу АМС 1В для зведеного каталогу. У роботах [6,8,13] здобувачу належить на 70% попередня й астрометрична редукція даних, що спостерігались. У роботах [3,17,18] здобувачеві належать на 70% попередня й астрометрична редукція даних, що спостерігались, систематизація даних результатів обробки, одержання параметрів зв'язку оптичної і радіо систем, аналіз різниць і оцінка випадкових і систематичних помилок каталогів UCAC2 і USNO B1.0. У роботі [10,12,14] здобувачем виконана на 70% попередня й астрометрична редукція даних, що спостерігались, отримані попередні параметри зв'язку двох систем з використанням каталогу USNO A2.0, у роботі [10] здобувачем зроблено порівняльний аналіз матеріалу, що спостерігався на різних телескопах. У роботі [11] здобувач виконала аналіз площадок

каталогу AMC 1B на предмет наявності в них опорних зір для обробки кадрів розміром 6"х 6".

Апробація результатів дисертації. Результати, що включені до дисертації, доповідалися на наукових семінарах і засіданнях НДІ “Миколаївська обсерваторія” та були представлені на конференціях в Україні та за кордоном :

- міжнародній конференції “Astronomy in Ukraine 2000 and Beyond”, Україна, Київ, 5- 8 червня, 2000 р.;
- Всеросійській астрономічній конференції, Росія, Санкт-Петербург, 6-12 серпня 2001 р.;
- міжнародній конференції “Extension and Connection of Reference Frames Using Ground Based CCD Technique”, Україна, Миколаїв, 10-13 жовтня, 2001 р.;
- Journess-2002, Romania, Bucharest, 25 - 28 September, 2002;
- Journess-2003, Russia, S-Petersburg, 22-25 September, 2003;
- XXVth General Assembly of the IAU, Australia, Sydney, 13-26 July 2003;
- Workshop “Optical and Radio Sources – Location and Connection”, Ukraine, Nikolaev, 2003;
- Міжнародна конференція “Astronomy in Ukraine - Past, Present and Future”, Україна, Київ, 15-17 липня 2004 р.;
- Всеросійська астрономічна конференція “Горизонты Вселенной”, Росія, Москва, 3-10 червня, 2004 р.;
- “Dynamics and Physics of Solar System”, Україна, Київ, 22-26 травня 2005 р.;
- Third meeting of the Sub-regional European Astronomical Committee, Romania, Bucharest, September, 16-18, 2005.

Публікації. Результати, які викладені в дисертації, опубліковані в 18 наукових статтях у фахових журналах, у тому числі 5 [1-5] – у провідних журналах – Кінематика та фізика небесних тіл і Romanian Astronomical Journal.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку цитованої літератури та трьох додатків. Список використаних джерел нараховує 105 посилань. Загальний обсяг дисертації складає 116 сторінок. Дисертація містить 10 рисунків і 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У Вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульована її мета, стисло подано відомості про сучасний стан досліджень у цьому напрямку, показано зв'язок роботи з науковими програмами і темами, сформульовані основні цілі, задачі й методи досліджень. Описано особистий внесок автора у роботах, виконаних у співавторстві, і наведено список наукових конференцій, де проходила апробація одержаних результатів. Приводяться дані стосовно публікацій, структури та обсягу дисертації. Указана наукова новизна отриманих результатів, та наведені інші відомості про дисертаційну роботу згідно інструкції ВАК України.

Розділ 1. Опорні системи відліку та їх узгодження в астрономії. У першому розділі описані загальні принципи побудови і завдання небесних опорних систем, сформульовані основні вимоги, що пред'являються до сучасних систем відліку, особлива увага приділена розмежуванню двох базових понять астрометрії – система відліку й система координат (Reference System і Reference Frame). Приведено історію розвитку небесних систем координат від стародавніх часів до сучасності. Особлива увага приділяється серії каталогів FK, які більше як 100 років задавали опорну систему на небесній сфері.

У другій частині розділу дається опис радіо й оптичної систем відліку, які є реалізацією нової опорної системи координат ICRS, прийнятої XXIII Генеральною асамблеєю МАС в астрономії в якості основної з 1 січня 1998 року. Нова система відліку ґрунтується на кінематичному принципі: вважається, що осі системи лишаються нерухомими відносно віддалених позагалактичних об'єктів. В якості первинної реалізації на небесній сфері відповідно до рекомендації МАС виступає каталог ICRF. Для забезпечення неперервності змін систем відліку вибір основної площини ICRF був зроблений таким чином, щоб її орієнтація в просторі в межах похибок оптичних наземних спостережень, співпала б з положенням „динамічного екватора” каталога FK5 на епоху спостережень J2000.0. Каталог ICRF містить положення 608 позагалактичних радіоджерел, визначених методами РНДБ із точністю ~ 1 mas [19], умовно розділені на три групи : 212 “визначальних” (define) джерел, положення яких визначаються з похибками менш 0.6 mas; 294 “кандидата” (candidate) у визначальні з менш точними координатами внаслідок коротшої історії спостережень ; 102 “інших” (other) джерела, що мають вказівки на змінність і складну структуру, але в основному оптично більш яскраві і тому більш придатні для рішення проблеми прямого зв'язку ICRF з іншими системами [20].

Космічний каталог HIPPARCOS репрезентує ICRS на небесній сфері в оптичному діапазоні. У каталог включені положення 118218 зір до 12 зоряної величини із середньою щільністю 3 зорі на квадратний градус.

Особлива увага приділена проблемі рішення задачі прив'язки даних HIPPARCOS до системи ICRS, що була успішно вирішена об'єднаними зусиллями декількох наукових груп. Параметри зв'язку на середню епоху спостереження HIPPARCOS (1991.25) склали 0.6 mas по положеннях і 0.25 mas/рік по обертанню [22]. Відзначено причини, які обумовлюють необхідність контролю та підтримки зв'язку між оптичною і радіо системами і визначають актуальність цієї проблеми на сьогоднішній день.

Розділ 2. Спостереження: програма та апаратура. У другому розділі дається опис спостережень, основний обсяг яких був отриманий в період з 2000 по 2003 рік. Спостереження виконувались у рамках міжнародного проекту (Joint Project) по уточненню параметрів зв'язку оптичної і радіо систем координат. У проекті брали участь обсерваторії України (НДІ МАО), Росії (Казанський державний університет), Туреччини (Національна обсерваторія Туреччини) та Китаю (Шанхайська астрономічна обсерваторія). В розділі представлені характеристики апаратури та телескопів, які використовувались для спостережень: спільний російсько-турецький телескоп RTT150, 1.0 м телескоп Юнаньської обсерваторії та зонний астрограф НДІ МАО для спостережень яскравих ERS. Усі телескопи оснащені ПЗЗ-приймачами. В розділі описані етапи розробки програми спостережень з урахуванням можливостей телескопів, що співпрацюють та розташування радіоджерел на небесній сфері, наведено статистику спостережень. За три роки було отримано банк ПЗЗ-спостережень, що складає близько 300 полів навколо ERS у зоні схилень -40° до $+78^\circ$, середнє число спостережень кожного об'єкта складає 7.2 рази. В таблиці 1 наведені деякі характеристики телескопів та ПЗЗ-матриць, а також кількість отриманих і оброблених зображень із радіоджерелами. Крім зазначених в таблиці, були отримані спостереження 8 полів довкола радіоджерел з матрицею AP-47p (листопад 2002р.) на телескопі RTT150 та 6 полів на 2 - м телескопі Пекінської обсерваторії.

Таблиця 1

Характеристики телескопів та ПЗЗ- приймачів.

Телескоп	RTT150 (Анталія, TUG Туреччина),		1.0m телескоп АО Юнань (Китай)	ЗА, (Миколаїв АО, Україна)
φ, широта	+36 ⁰		+31 ⁰	+47 ⁰
Тип	Рефлектор		Рефлектор	Рефрактор
D(mm)	1500	1500	1000	160
F(mm)	11700	11700	13000	2044
ПЗЗ,тип,	ST-8	Andor DW436,	TI	ISD017A
ПЗЗ,розмір	1530x1020	2048x2048	1024x1024	1040x1160
Розмір пікселя	18x18 mkm	13.5x13.5 mkm	24x24 mkm	16x16 mkm
Масштаб, "/пікс	0."16	0."24	0."37	1."62
Поле зору	4' x3'	8' x8'	6.5' x 6.5'	28' x 31'
Діапазон зор. величин	17 ^m ÷ 21 ^m	16 ^m ÷ 23 ^m	15 ^m ÷ 19 ^m	12 ^m ÷ 15 ^m
Кількість зобр.	131	63	116	10
Період спостер.	2000-2002	2003	2000-2003	1999-2003

Розділ 3. Редукція спостережень. Третій розділ присвячено детальному опису редукції спостережень, що були отримані. У першій частині розділу описано стандартну редукцію отриманих кадрів. Описані етапи калібровки ПЗЗ-кадрів: урахування кадрів електронного зміщення (bias), темного струму (dark) і плоского поля (flat). Наведено обґрунтування вибраної схеми обробки. Врахування електронного зміщення виконано простим вирахуванням постійної величини (для кожної матриці) з кадрів із зображеннями. Шум темного струму – результат генерації пікселями термоелектронів. Кількість цих “паразитних” електронів залежить від двох основних параметрів: тривалості експозиції і температури матриці. Цей ефект може бути легко усунутий вирахуванням темного кадру. Темнової кадр – знімок, експонований при тих же самих умовах, що і нормальний знімок, але при закритому затворі. Просте вирахування темного кадру дуже поліпшує якість зображення, однак це збільшує рівень сумарного шуму в зображенні. Для того, щоб уникнути цього одержувався середній темновий кадр, усереднюючий результат декількох експозицій темнових кадрів. Проведено порівняння різних варіантів обліку темного кадру, що показало, що рівень темного струму на кадрах, отриманих з матрицею AndorDW436 і матрицею TI на 1m телескопі настільки малий, що може не враховуватися при обробці. Для масиву спостережень, отриманого з матрицею ST8E, доведено, що кращий результат обліку темного кадру виходить у випадку застосування темного кадру, отриманого в результаті усереднення великої кількості темнових кадрів або з кадром, отриманим усередненням по медіані. Вид залежності середньоквадратичної помилки положення зорі від зоряної величини з

різними варіантами обліку кадру темного току приведений на рисунку 1. Врахування зміни чутливості окремих пікселів вздовж кадру (облік кадру плоского поля) проводився з використанням середнього кадру плоского поля, отриманого по 2-3 кадрам. Цей етап важливий для одержання фотометричної інформації, однак істотного впливу на положення центрів зображень зір не вносить.

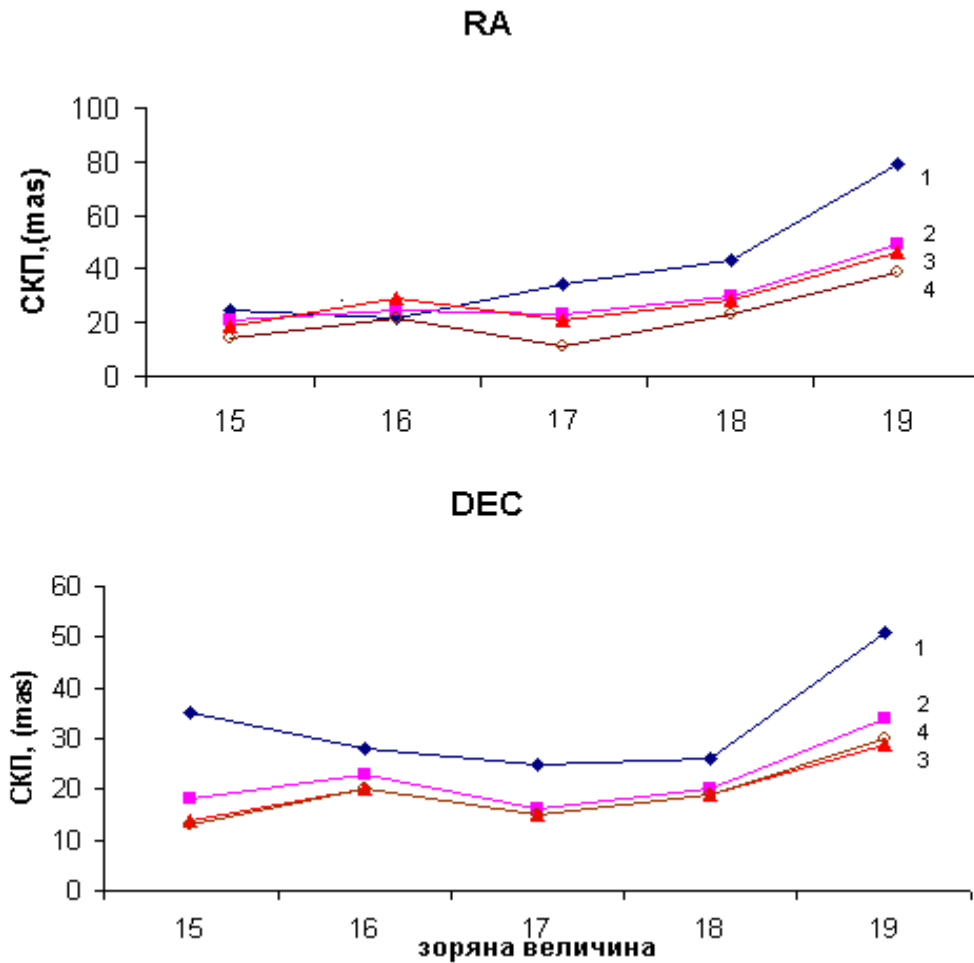


Рис.1 Залежність похибки визначення положення зорі від зоряної величини. Дані для ряду 1 отримані у випадку, коли корекція темного кадру не виконувалась, ряд 2 – виконувалась корекція кадру з використанням темного кадру, який був отриманий за тих же умов, що і вихідний кадр, ряд 3 – виконувалась корекція кадру з використанням середнього темного кадру, отриманого в результаті усереднення серії темних кадрів (100 кадрів, експозиція $t = 60$ секунд), ряд 4 – віднімався кадр, який був отриманий в результаті усереднення по медіані (5 кадрів).

Друга частина розділу присвячена опису методів астрометричних вимірювань та редукції. Координати центрів зображень на кадрах

обраховувались за допомогою програмного пакета “Астрометрика“ (<http://www.astrometrica.at>). Для апроксимації зіркоподібного зображення використовувалася двовимірна сферична функція Гауса. В розділі приведено аналіз точності визначення центра зір та відповідності зображень функції Гауса, ґрунтуючись на реальних оцінках відношення S/N та розміру пікселя конкретної матриці.

У третій частині розділу дано аналіз моделей зв’язку тангенціальних та екваторіальних координат об’єктів, розглянуто каталоги, які могли б бути вибрані в якості опорних при астрометричних редукаціях. Після аналізу всіх доступних каталогів, що існують на сьогодні, стало зрозуміло, що наявність точних положень опорних зір у малих площадках розміром від $3' \times 4'$ до $8' \times 8'$ можуть забезпечити лише каталоги UCAC2 [26] і USNO B1.0 [28], а також каталоги КМАС1 [29] та ХС1 [30], які містять зорі у площадках навколо радіоджерел. Астрометричні редукації всього масиву спостережень були виконані двічі з застосуванням каталогів USNO B1.0 та UCAC2 у якості опорних. 12 джерел, зі схиленням у діапазоні від +50 до +75 (ця зона відсутня у UCAC2), оброблені з використанням зір каталогу ХС1. 15 джерел, у полях навколо яких відсутні зорі з каталогу UCAC2, вдалось обробити з каталогом КМАС1. Внутрішні середньоквадратичні похибки визначення одного положення радіоджерела склали $\sigma_{ra} = 38 \text{ mas}$ і $\sigma_{dec} = 37 \text{ mas}$. Кількісний розподіл помилок приведений на рис. 2.

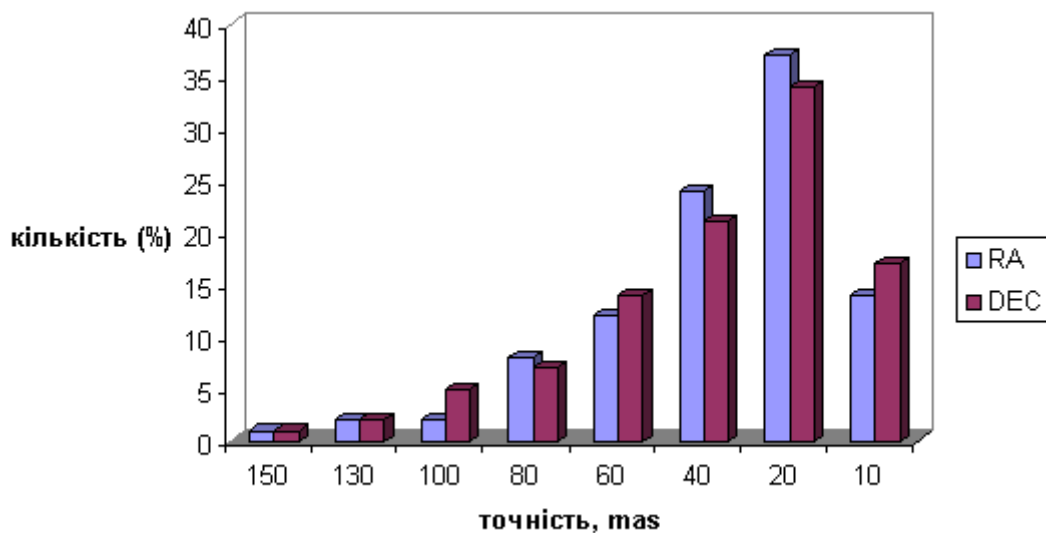


Рис.2 Гістограма розподілу внутрішніх помилок положень радіоджерел.

В розділі приведені результати порівняння оптичних координат позагалактичних об’єктів з даними каталога ICRF. Середні значення систематичних різниць екваторіальних координат в сенсі (USNO B1.0 – ICRF) для масиву з 194 радіоджерел складають: $\Delta\alpha\cos\delta = -44 \pm 9 \text{ mas}$ і $\Delta\delta = 175 \pm 8 \text{ mas}$ (з початкового масиву, який охоплював 198 положень

виключені 5 різниць, що перебільшують 500 mas). На рис.3 представлені систематичні різниці координат (USNO B1.0 – ICRF) в залежності від схилення та прямого сходження.

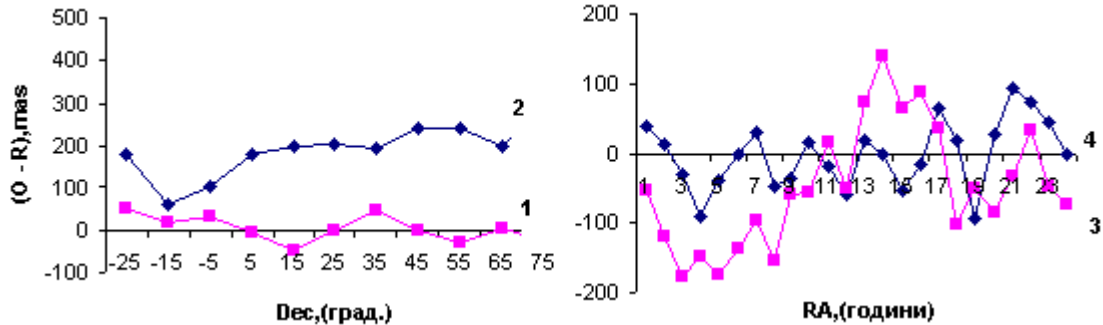


Рис.3 Середні значення систематичних різниць $\Delta\alpha\cos\delta_\delta$ (1), $\Delta\delta_\delta$ (2), $\Delta\alpha\cos\delta_\alpha$ (3) и $\Delta\delta_\alpha$ (4) (в сенсі (USNO B1.0 – ICRF)) в залежності від схилення та прямого сходження.

Як видно з графіків хід різниць $\Delta\alpha\cos\delta_\delta$ (1) не вказує на значні систематичні розходження в межах отриманої точності положень, в той час як різниці $\Delta\delta_\delta$ (2) показують наявність значного зміщення в системі схилень двох систем.

Аналогічне порівняння оптичних координат радіоджерел, отриманих в системі каталога UCAC2, з їх радіоположеннями із каталога ICRF представлено на рис.4. Середні значення систематичних різниць екваторіальних координат в сенсі (UCAC2 – ICRF) по масиву, що охоплює 142 радіоджерела, склали: $\Delta\alpha\cos\delta = -10 \pm 69$ mas и $\Delta\delta = 17 \pm 58$ mas.

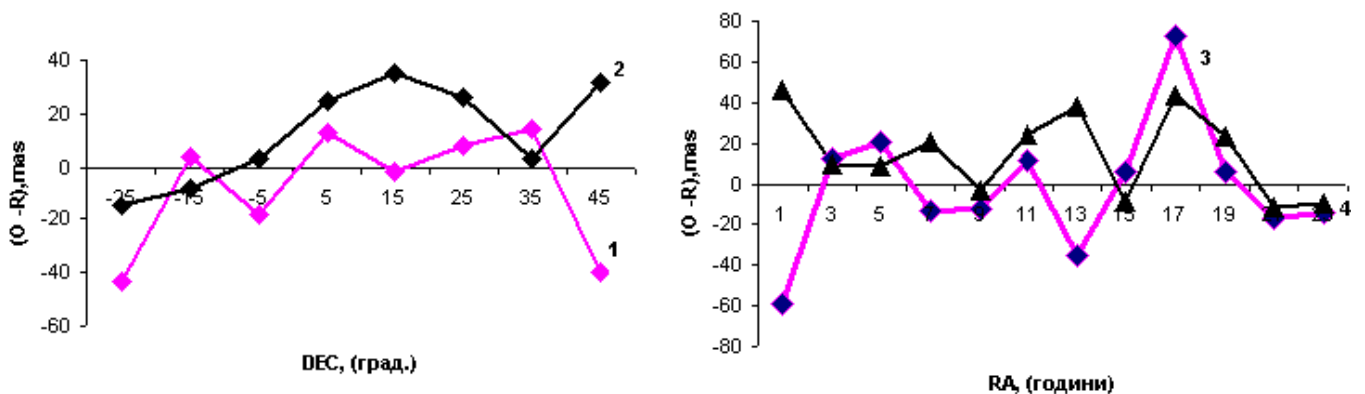


Рис.4 Середні значення систематичних різниць $\Delta\alpha\cos\delta_\delta$ (1), $\Delta\delta_\delta$ (2), $\Delta\alpha\cos\delta_\alpha$ (3) и $\Delta\delta_\alpha$ (4) (в сенсі (UCAC2 – ICRF)) в залежності від схилення та прямого сходження.

Дані рисунка 4 вказують на відсутність систематичних різниць в системі каталога UCAC2 на рівні задекларованої точності.

Повний каталог оптичних положень 213 радіоджерел приведений у додатку 1, де інформація організована у вигляді представленому Таблицею 2.

Таблиця 2.

Зразок представлення даних (додаток А)

Name	Mag	α_R (J 2000.0) h, m, s	δ_R (J 2000.0) °, ', "	$\Delta\alpha\cos\delta$ (mas)	$\Delta\delta$ (mas)	ϵ_α $\cos\delta$	ϵ_δ	Cat
1. 0735+178	16.2	07 38 07.413	17 42 19.324	-43	2	7	3	UCAC2

В таблиці приведено ім'я – name – порядковий і каталожний номер позагалактичного радіоджерела; mag – зоряна величина ПРД в оптичному діапазоні; α_R, δ_R - пряме сходження і схилення ПРД; $\Delta\alpha\cos\delta, \Delta\delta$ - значення різниць положень ПРД в оптичному (спостережені) і радіо (з каталогу ПРД) діапазонах для прямого сходження - α та схилення - δ відповідно; $\sigma_\alpha, \sigma_\delta$ - середньоквадратичні похибки величин $\Delta\alpha\cos\delta$ та $\Delta\delta$ для α та δ відповідно; Catalogue – опорний каталог, який був використаний для обрахування положення радіоджерела.

Розділ 4. Параметри орієнтації оптичної та радіо систем координат.

Розділ присвячено визначенню параметрів взаємної орієнтації оптичної та радіо систем координат. Для цього використовувався масив різниць оптичних та радіоположень $((O-R)_{ra,dec})$, отриманий з каталогом UCAC2. Різниці $(O-R)_{ra,dec}$ були проаналізовані на наявність аномальних значень, використовуючи процентні точки t-розподілу Стюдента. Кількість аномальних значень складає не більш 5%. Недостатньо гарна якість зображень оптичних компонентів радіоджерел усього лише одна з причин великих різниць. Проведено аналіз великих значень різниць $(O-R)_{ra,dec}$ у кожному конкретному випадку. Можна припустити, що до інших чинників, які можуть спричиняти великі різниці $(O-R)_{ra,dec}$ належать труднощі ототожнення джерел у щільних полях та некомпактність самих радіоджерел.

Статистичний аналіз різниць $(O-R)_{ra,dec}$ показав, що їх розподіл відповідає нормальному закону розподілу випадкової величини за критерієм χ^2 . Обчислені значення ексцесів і показників асиметрії також підтверджують відповідність отриманих даних нормальному закону розподілу.

Щоб визначити кути взаємної орієнтації двох систем відліку, необхідно вирішити систему рівнянь:

$$\Delta\alpha_{O-R}\cos\delta = \omega_x\sin\delta \cos\alpha + \omega_y\sin\delta \sin\alpha - \omega_z\cos\delta, \quad (1)$$

$$\Delta\delta_{O-R} = -\omega_x \sin\alpha + \omega_y \cos\alpha + \Delta\delta_0,$$

де: $\Delta\alpha_{O-R} = \alpha_O - \alpha_R$ і $\Delta\delta_{O-R} = \delta_O - \delta_R$ різниці координат ПРД в оптичній і радіо системах координат; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – кути повороту відносно осей x, y, z відповідно. Поправка $\Delta\delta_0$ характеризує постійне систематичне зміщення системи схилень каталогу і не пов'язана з кутами орієнтації.

Для визначення невідомих параметрів система рівнянь (1) вирішувалась методом зважених найменших квадратів. Кожному рівнянню системи (1) була призначена вага зворотно пропорційна похибці визначення різниць $(O - R)_{ra,dec}$. В таблиці 2 приведені отримані значення параметрів зв'язку з використанням різних варіантів рішення.

Таблиця 3

Кути повороту між оптичною і радіо системами координат

Варіант рішення	ω_x (mas)	ω_y (mas)	ω_z (mas)	$\Delta\delta_0$	σ_1 (mas)
140 ERS, (UCAC2)	$-4,1 \pm 6,1$	$1,9 \pm 5,8$	$12.4 \pm 4,9$	$12 \pm 4,9$	46
234 ERS ¹ , (UCAC2)	-1.7 ± 4.4	5.2 ± 3.8	9.1 ± 3.3	1.7 ± 3	39
198 ERS, (USNOB1.0)	18 ± 13	7 ± 12	47 ± 11	175 ± 10	121

¹ - зведений масив, [27,29];

Дані таблиці 3 показують достатньо велике значення кута ω_z повороту навколо вісі z , яке у всіх випадках позитивне. Це може вказувати на недостатньо точне визначення нуля-пункта (неузгодженість оптичних і радіо координат квазара 3C 273 B). При рішенні системи (1) з масивом різниць, що обчислені за каталогом USNO B1.0, отримано значиме значення величини $\Delta\delta_0$. Це вказує на наявність зсуву екватора каталогу USNOB1.0 по відношенню до екватору каталогу ICRF. Результат, що був отриманий після прорахунку із зведеним масивом, говорить про те, що збільшення об'єму та точності оптичних положень дозволяє збільшити точність параметрів зв'язку, при цьому похибка рішення системи визначається точністю опорного оптичного каталогу.

Розділ 5. Каталог зір 15-20^m у площадках навколо позагалактичних радіоджерел. У розділі приведена методика отримання каталогу положень зір навколо радіоджерел. Наведено загальну характеристику матеріалу. Вхідними даними для каталогу є результати

обробки ПЗЗ-кадрів з полями довкола радіоджерел. На рис. 5 приведено розподіл зір у площадках навколо радіоджерел. Дані рис. 5 показують, що більше 70% матеріалу складається з зір, що мають зоряні величини слабше 17 зоряної величини і відсутні у точних астрометричних каталогах типу UCAC2, SMC13 та інших. Вони можуть бути використані для розширення системи каталогу HIPPARCOS в область слабких зоряних величин для проведення астрометричних редуцій у малих полях.

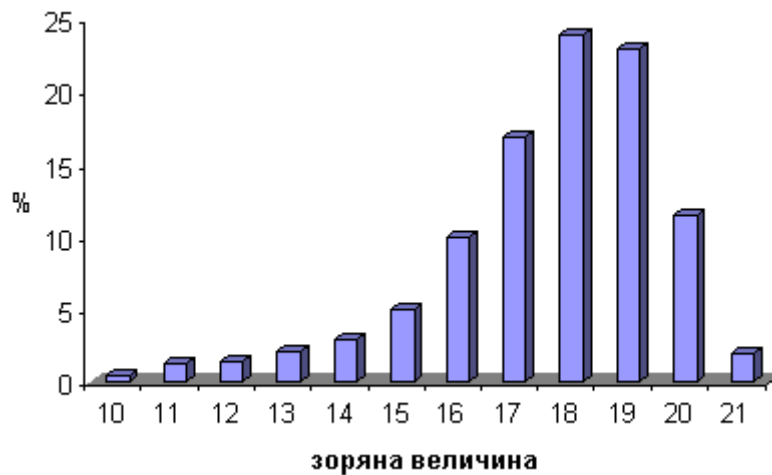


Рис.5 Розподіл зір каталога по зоряним величинам.

У якості опорного каталогу використовувався каталог UCAC2, що містить в середньому 6 зір на кадрі, що є достатнім для проведення астрометричних редуцій з огляду на мале поле ПЗЗ-матриці. В розділі описана структура каталогу, наведені оцінки внутрішньої та зовнішньої точності каталогу в відношенні випадкових помилок. Внутрішня точність положень зір перебуває в межах від 20 до 100 mas в залежності від зоряної величини.

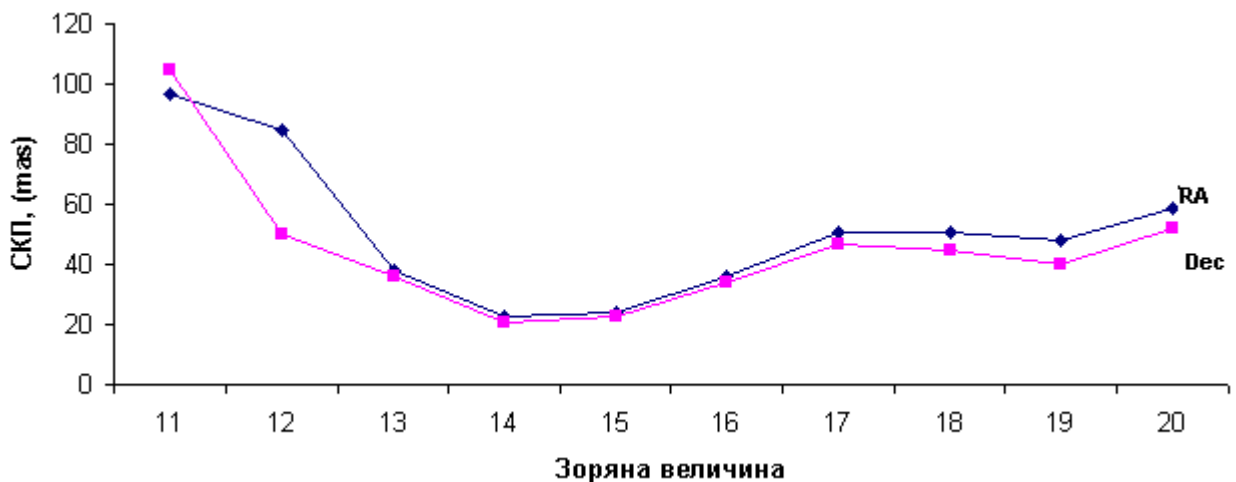


Рис.6 Залежність середньоквадратичних похибок положень від зоряної величини.

ВИСНОВКИ

З 1 січня 1998 року, згідно рішення 23 Генеральної Асамблеї МАС, в астрономії введено нову опорну систему координат – ICRS (International Celestial Reference System). В якості її первинної реалізації на небесній сфері прийнято каталог ICRF, який містить високоточні координати 608 позагалактичних радіоджерел, які спостерігались методами РНДБ. Для практичного використання ICRF маємо її відображення в оптичному діапазоні з такою ж точністю – це каталог HIPPARCOS. Оскільки система HIPPARCOS має постійне залишкове обертання встановлення надійного зв'язку між оптичною і радіо системами координат стає одною з найважливіших та найактуальніших задач сьогодення. Протягом 2000-2003рр. в рамках Міжнародного проекту по уточненню зв'язку системи координат в оптичному діапазоні (HCRF) із системою координат, побудованої методами РНДБ (ICRF), отримано ПЗЗ-спостереження близько 300 полів довкола оптичних компонентів позагалактичних радіоджерел списку ICRF.

Основні результати роботи такі:

- Отриманий каталог положень 213 позагалактичних радіоджерел з середньою внутрішньою точністю 37 mas із ПЗЗ-спостережень. Цей каталог є основою для уточнення кутів взаємної орієнтації оптичної і радіо опорних систем координат, а також має самостійне значення для підвищення точності координат оптичних компонентів позагалактичних радіоджерел, на яких базується опорна система ICRF.
- Отримані нові значення кутів орієнтації оптичної і радіо опорних систем координат у зоні схилень від -40 до $+80$ градусів: $\omega_x = -4.1 \pm 6.1$, $\omega_y = 1.9 \pm 5.8$, $\omega_z = 12.4 \pm 4.9$ mas. Аналіз отриманих результатів знайде застосування при подальшому контролі й створенні високоточних систем.
- Отримано каталог 10167 зір $14-20^m$ у площадках навколо радіоджерел, який може бути використаний для поширення системи каталогу HIPPARCOS на слабкі об'єкти.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ОПУБЛІКОВАНІ В РОБОТАХ

В реферованих журналах:

1. Pinigin G., Shulga A., Maigurova N.V., Protsyuk Yu., Velichko F., Fedorov P. Jin W., Tang Zh., Wang Sh., Gumerov R.I., Bikmaev I. F. Refinement of linking optical/radio reference frames on the basis of positional

observations conducted in Ukraine, China and Russia // Kinematics and Physics of Celestial Bodies Suppl. Ser. – 2003. – № 3. – P. 59–63.

2. Babenko Yu., Danil'tsev A., Vertypolokh A., Maigurova N., Pinigin G., Protsyuk Yu., Shulga A., Dementyeva A., Ryl'kov V., Bocsa G., Popescu P. Reduction of compiled catalogue in the selected

Extragalactic radio source fields. Preliminary Estimation // Romanian Astronomical Journal – 2003. – V.13. – № 1. – P. 77–81.

3. Aslan Z., Gumerov R., Jin W., Khamitov I., Maigurova N., Pinigin G., Protsyuk Yu., Shulga A., Tang Z., Wang S. Results of Joint project on linking optical–radio reference frames // Kinematics and Physics of Celestial Bodies Suppl. Ser.– 2005. – № 5. – P. 333–337.

4. Ryl'kov V., Dement'eva A., Narizhnaya N., Pinigin G., Maigurova N., Protsyuk Yu., Kleschenok V., Bocsa G., Popescu P. Reference stars compiled catalogue around extragalactic radio sources. Reduction techniques and the first results // Kinematics and Physics of Celestial Bodies Suppl. Ser.– 2005. – № 5. – P. 328–332.

5. Ryl'kov V., Dement'eva A., Narizhnaya N., Maigurova N., Pinigin G., Protsyuk Yu., Bocsa G., Popescu P. Compiled Catalogue of Reference Stars around 43 Extragalactic Radio Sources // Romanian Astronomical Journal. Suppl. – 2005. – V. 15. – № 1. – P. 131–137.

Матеріали конференцій:

6. Tang Z.H., Jin W.J., Wang S.H., Pinigin G., Protsyuk Yu., Maigurova N., Shulga A. Determination of optical positions for extragalactic radio sources under the collaboration between SHAO and MAO // Proc.IAU Colloquium N180 “Towards Models and Constants for Sub–Microarcsecond Astrometry”. – Washington (USA). – 2000. – P.57– 60.

7. Майгурова Н.В., Пинигин Г.И., Шульга А.В., Величко Ф.П., Федоров П.Н., Гумеров Р.И., Бикмаев И.Ф., Жин В., Ван Ш.: “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: материалы международной конференции (19–23 июня 2000 г.), С–Петербург, 2000. – С. 133–134.

8. Tang Z.H., Jin W.J., Wang S.H., Pinigin G., Protsyuk Yu., Maigurova N., Shulga A. Preliminary Results of the Optical Positions of Extragalactic Radio Sources // XXIVth General Assembly of the IAU 7–18 August 2000. – Manchester, England. – 2000. – Abstract Book. – P. 145.

9. Пинигин Г.И., Шульга А.В., Майгурова Н.В., Процюк Ю.И., Jin W, Tang Zh., Wang Sh., Величко Ф.П., Федоров П.Н., Гумеров Р.И., Бикмаев И.Ф., Aslan Z. О состоянии совместного проекта по улучшению связи между оптической и радио опорными системами координат // Всероссийская астрономическая конференция: Тезисы

докладов. (С–Петербург, 6–12 августа 2001 г.) СПб.: НИИХ СПбГУ. – 2001. – С. 144.

10. Maigurova N., Pinigin G., Protsyuk Yu., Shulga A., Jin W., Tang Z., Wang Sh., Aslan Z., Khamitov I., Gumerov R., Development of Joint Project on Improvement of Link between Optical and Radio Reference Coordinate Systems // Extension and Connection of Reference Frames Using Ground Based Technique (October 10–13, 2001). – Nikolaev: ATOL, 2001. – P. 58–66.

11. Tang Z., Wang S., Jin W., Maigurova N., Protsyuk Yu., Pinigin G., Shulga A., Kovalchuk A. Determination of optical positions for 38 extragalactical radio sources // Extension and Connection of Reference Frames Using Ground Based Technique (October 10–13, 2001). – Nikolaev: ATOL, 2001.– P. 66–72.

12. Pinigin G., Shulga A., Maigurova N., Protsyuk Yu., Jin W., Tang Zh., Wang Sh., Velichko F., Fedorov P., Filonenko F., Aslan Z., Khamitov I., Gumerov R. Refinement of Linking optical\radio reference Frames // Astronomy and Geodesy in New Millenium: – September, 24–29, AstroKazan–2001, P. 272–273.

13. Maigurova N., Pinigin G., Protsyuk Yu., Shulga A., Jin W., Tang Z., Wang S., Aslan Z., Khamitov I., Gumerov R., Refinement of Linking Optical–Radio Reference Frames on the Base of Collaborative Observatories in the International Joint Project // Second Latin America Meeting on Astrometry and Third Brazilian Meeting on Fundamental Astronomy (2–5 Sept., 2002, Araraquara–Sao Paulo, Brazil). – Abstract Series. – 2002. – P. 37.

14. Aslan Z., Gumerov R., Hamitov E., Jin W., Maigurova N., Pinigin G., Protsyuk Yu., Shulga A., Tang Z., Wang S. Refinement of Linking optical–radio reference Frames on the Basis of the international Joint Project between collaborative Observatories // Journees 2002. Systemes de Reference Spatio–Temporels. – Sept. 25 –28.– Bucharest. – 2002. – P. 27–30.

15. Майгурова Н., Пинигин Г., Шульга А., Процюк Ю., Jin Wenjing , Tang Zhenhong, Wang Shuhe, Гумеров Р, Aslan Z. О состоянии совместного проекта по улучшению связи между оптической и радио опорными системами координат //Proceedings of the International Workshop “Optical and Radio Sources – Location and Connection.– Nikolaev. – 2003. – P. 15–16.

16. Клещенок В., Бабенко Ю., Данильцев О., Вертиполох А., Майгурова Н., Процюк Ю., Пинигин Г., Шульга А., Дементьева А., Рыльков В., Vocsa G., Popescu P. Создание сводного каталога в полях с внегалактическими радиоисточниками. Предварительные результаты // Proceedings of the International Workshop “Optical and Radio Sources – Location and Connection”. – Nikolaev. – 2003. – P. 17

17. Aslan Z., Gumerov R., Jin W., Khamitov I., Maigurova N., Pinigin G., Protsyuk Yu., Shulga A., Tang Z., Wang S. About Progress on Linking

Optical–Radio Reference Frame Using CCD Ground–Based Telescopes // Journess–2003. Astrometry, Geodynamics and Solar system Dynamis: from Milliarcseconds to Microarcseconds. –Book of Abstracts. – S–Petersburg. – 2003. – P.4.

18. Майгурова Н., Пинигин Г., Процюк Ю., Шульга А., Tang Z., Wang S., Jin W., Aslan Z., Hamitov E., Гумеров Р. Итоги международного сотрудничества по уточнению связи оптической и радио опорных систем координат // Тезисы докладов на Всероссийской астрономической конф. ВАК–2004 “Горизонты Вселенной“. – Москва. – 2004. – С.213.

СПИСОК ЦИТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

19. Ma C., Arias E.F., Eubanks T.M., Fey A.L. The International celestial reference frame realized by VLBI // Definition and Realization of the International Celestial Reference System by VLBI Astrometry of Extragalactic Objects. – IERS Technical Note 23.– 1997. – P. II –3 – II–40.

20. Ковалевский Ж. “Современная астрометрия”, Фрязино, 2004.

21. Mignard F. Astrometric properties of the HIPPARCOS catalogue // // Proc. of the ESA Symp. "Hipparcos–Venice "97" (13–16 May, 1997, Venice, Italy, ESA SP–402). – 1997. – P. 5–10.

22. Lindegren L., Kovalevsky J. Linking the HIPPARCOS Catalogue to the extragalactic reference frame // Astronomy and Astrophysics. – 1995. –Vol. 304, No. 1. – P. 189–201.

23. Stone R.C. CCD observations linking the radio and optical references frames // Astronomical Journal – 1994.–V. 108. – P. 313–325.

24. Assafin M., Vierra Martins R., Andrei A.H., Vieira C.H. Astrometric CCD positions for extragalactic radiosources // Astronomical Journal – 1997.–V. 113.– P. 2329–2337.

25. Zacharias N., Zacharias M.I., Hall D. M., Johnston K.J. Accurate optical positions of extragalactic radio reference frame sources // Astronomical Journal – 1999. – V. 118. – P. 2511–2525.

26. Zacharias N., Urban S.E., Zacharias M.I., Wycoff G.L. The second US Naval Observatory CCD astrograph catalog (UCAC2) // Astronomical Journal – 2004. – V. 127. – P. 3043–3059.

27. Assafin M., Zacharias N., Rafferty T.J., Zacharias M.I. Optical positions of ICRF sources using UCAC reference stars // Astronomical Journal – 2003.–V. 125. – P. 2728–2739.

28. Monet D.G., Levine S.E., Ables H.D. et al. The USNO–B catalog // Astronomical Journal – 2003. – V. 125. – P. 984–993.

29. Assafin M., Monken Gomes P.T., da Silva Neto D. N., Andrei A.H. Astrometry of International Celestial Reference Frame Sources using the second

АНОТАЦІЯ

Майгурова Н.В. “Уточнення зв'язку радіо та оптичної систем координат за ПЗЗ- спостереженнями вибраних позагалактичних радіоджерел в оптичному діапазоні”. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.01 – Астрометрія і небесна механіка. – Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, 2006.

Дисертація присвячена проблемі уточнення зв'язку оптичної опорної системи координат (HCRF) з системою ICRF, положення об'єктів у якій визначені методами РНДБ. З цією метою були використані ПЗЗ-спостереження оптичних компонент позагалактичних об'єктів списку ICRF. Отримано оптичні положення 213 позагалактичних радіоджерел у зоні схилень $-30^\circ < \delta < +75^\circ$ з точністю близько 40 mas по обох координатах. Астрометричні редуції були виконані в основному з використанням зір каталогів UCAC2 і USNO B1.0 у якості опорних. Цей каталог є основою для уточнення кутів взаємної орієнтації оптичної та радіо опорних систем координат, а також має самостійне значення для підвищення точності координат оптичних компонентів позагалактичних радіоджерел, на яких базується опорна система ICRF.

Виконано порівняння середніх оптичних положень радіоджерел з їх радіоположеннями, що дозволило одержати кути взаємної орієнтації радіо й оптичної систем координат на рівні точності 5 mas.

З метою розширення системи каталогу HIPPARCOS отримано каталог положень 10167 зір 14–19 зоряної величини, що знаходяться в полях навколо радіоджерел. Точність положень зір у каталозі перебуває в межах від 20 до 100 mas в залежності від зоряної величини.

Ключові слова: позиційна астрономія, астрометрія, опорна система відліку, опорна система координат, ICRF, ICRS, каталог HIPPARCOS, позагалактичні радіоджерела, ПЗЗ-астрономія.

АННОТАЦИЯ

Майгурова Н. В. Уточнение связи оптической и радио систем координат по ПЗС наблюдениям избранных внегалактических радиисточников в оптическом диапазоне– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.01 – Астрометрия и небесная механика. – Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев, 2006.

Диссертация посвящена проблеме уточнения связи оптической опорной системы (HCRF) с системой ICRF, которая базируется на высокоточных положениях внегалактических радиоисточников, полученных методами РСДБ. Несмотря на достигнутую высокую точность связи систем HCRF и ICRF на момент средней эпохи наблюдения каталога Hipparcos, эта задача остается актуальной, так как точность связи падает со временем вследствие того, что звезды каталога Hipparcos имеют так называемые “мгновенные” собственные движения. Кроме того ПЗС-матрицы, которые приобрели широкое распространение при наблюдениях в оптическом диапазоне, имеют малые поля зрения, что приводит к необходимости использования для редукиций промежуточных систем координат, которые реализованы на каталогах содержащих достаточное количество опорных звезд в поле зрения, но с точностью существенно ниже первичной реализации системы HCRF.

Одним из способов установления связи между системами является наблюдения одних и тех же объектов в обеих системах. Для этого были использованы наземные телескопы, оснащенные ПЗС-приемниками излучения. Основной массив наблюдений оптических компонент радиоисточников был получен на телескопе RTT150 (Турция) и 1м телескопе Юнаньской обсерватории. Приведено исследование методики обработки ПЗС-изображений с целью получения точных положений объектов в системе матрицы и их редукиций на небесную сферу. В результате обработки полученного массива наблюдений определены оптические положения 213 внегалактических радиоисточников в зоне склонений $-30^\circ < \delta < +75^\circ$ с точностью около 40 mas по обеим координатам. Астрометрические редукиции были выполнены, в основном, с использованием опорных звезд каталогов UCAC2 и USNOB1.0. Для полей, в которых отсутствуют звезды UCAC2 использовались каталоги KAMC1 и XC1. Полученный каталог оптических положений внегалактических радиоисточников является основой для уточнения углов взаимной ориентации оптической и радио систем координат, а также имеет самостоятельное значение для повышения точности определения координат оптических компонент внегалактических радиоисточников, которые составляют каталог ICRF.

Выполнено сравнение полученных оптических положений с их радиоположениями из каталога ICRF. Исследование хода систематических разностей экваториальных координат в смысле (USNOB1.0 – ICRF) показало наличие значительного систематического смещения ~ 170 mas в системе склонений этого каталога. Аналогичное сравнение оптических и

радио координат в смысле (UCAC2 – ICRF) показало отсутствие систематических ошибок в системе каталога UCAC2 на уровне декларируемой точности. Полученный массив разностей экваториальных координат (UCAC2 – ICRF) (142 источника) использовался для определения углов взаимной ориентации оптической и радио систем координат. Всего получены следующие значения : $\omega_x = -4.1 \pm 6.1 \text{ mas}$, $\omega_y = 1.9 \pm 5.8 \text{ mas}$, $\omega_z = 12.4 \pm 4.9 \text{ mas}$. Достаточно большое значение угла ω_z может указывать на недостаточно точное определение нуля-пункта (несогласованность оптических и радио координат квазара 3C 273B). Показано, что полученный уровень точности 6 mas может быть улучшен увеличением объема и точности оптических положений радиоисточников, при этом ошибка решения системы определяется точностью опорного оптического каталога. Для вычисления углов связи двух систем были привлечены данные других авторов. Использование массива разностей координат 234 радиоисточников позволило улучшить точность получения параметров связи до 4 mas.

С целью расширения системы каталога HIPPARCOS на слабые звезды определены положения 10167 звезд до 20 звездной величины, которые содержатся в полях вокруг радиоисточников. Материалом для создания каталога послужили наблюдения, выполненные в рамках проекта по определению параметров связи оптической и радио систем координат. Анализ распределения звезд по звездным величинам показал, что 70 % звезд имеют звездные величины слабее 17^m и не содержатся в точных астрометрических каталогах. Выполнено исследование внутренней и внешней точности положений звезд. Среднее количество наблюдений звезды составляет 5.2 раза. Точность полученного каталога находится в пределах 20 – 100 mas в зависимости от звездной величины.

Ключевые слова: позиционная астрономия, астрометрия, опорная система отсчета, опорная система координат, внегалактические радиоисточники, ICRF, ICRS, каталог HIPPARCOS, ПЗС-приемники.

ABSTRACT

Maigurova N. V. *Refinement of Linkage between the Radio and Optical Coordinate Systems by using CCD Observations of Selected Extragalactic Radio Sources in Optical Band* - Manuscript.

Thesis for PhD in Physics and Mathematics on speciality 01.03.01 – Astrometry and Celestial Mechanics. The Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2005.

The dissertation is devoted to the problem of linkage between the HIPPARCOS Celestial Reference Frame (HCRF) and ICRF. Positions of extragalactic radio sources (ERS) in ICRF were determined with VLBI methods. CCD observations of optical counterparts of the ERS were used. The optical positions of 213 selected ERS in declination zone of $-30^\circ < \delta <$

+75° were obtained with accuracy at the level of 40 mas. The astrometric reductions were mainly made by using reference stars from the UCAC2 and the USNOB1.0 catalogues. The obtained catalogue is the basement to refine mutual orientation angles between the optical and radio systems as well it may be used to increase the accuracy of the optical coordinates of the radio sources which have been used to determine ICRF.

Comparison between mean optical and radio positions of the ERS were made. This comparison allowed us to obtain orientation angles between radio and optical coordinate systems at accuracy level of 5 mas.

Catalogue of positions includes 10167 stars of 14–19 magnitude around the ERS. It was obtained in order to spread the HIPPARCOS catalogue over more faint stars. Positional accuracy of stars in the catalogue is between 20 to 100 mas in dependence on stellar magnitude.

Key words: positional astronomy, astrometry, reference coordinate frame, reference coordinate system, ICRF, ICRS, HIPPARCOS catalogue, extragalactic radio sources, CCD astronomy.