

ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ТА ПЕРІОДИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК ЗОРЯНИХ КАТАЛОГІВ ДЛЯ ГЕОСТАЦІОНАРНОЇ ЗОНИ

А.М.Мацо, О.Є.Стародубцева, Т.В.Ужва

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

Приводиться точність $(O-C)_{\alpha,\delta}$ для зірок, отриманих на камері SBG і обчислених в системі каталогу PPM. На основі 587 зірок в геостаціонарній зоні каталогів SAO і PPM визначаються постійні і періодичні складові систематичних похибок.

Вступ

Сучасна стандартна система астрономічних координат (International Celestial Reference System, ICRS) в оптичному діапазоні представлена каталогом Hipparcos [1]. Але цей каталог не розв'язує задачі координатного забезпечення астрономічних досліджень. Він містить, в основному, яскраві зірки (до $9,5^m$). Причому, в полі розміром 1° знаходиться в середньому не більше 3 зірок каталогу Hipparcos, що недостатньо для точного визначення координат.

Каталог PPM [2] забезпечує прив'язку спостережень до стандартної системи координат і значно перевищує по об'єму каталог Hipparcos. Цей каталог має значні систематичні похибки, особливо, у власних рухах зір. Положення і власні рухи зір в каталозі PPM віднесені до системи FK5, яка не є стандартною [1, 2].

З 1997 року астрономічна обробка геостаціонарних об'єктів (ГСО) в лабораторії космічних досліджень (ЛКД) УжНУ проводиться в системі каталогу PPM. Раніше користувались каталогом SAO [3]. Точність каталогу SAO (випадкові похибки) на середню епоху 1963 р. і на епоху 1975.0 в координатах становить $\pm 0,5''$, а середня квадратична похибка власного руху – $\pm 1,0''$. В першому наближенні можна вважати, що каталог SAO є фундаментальною системою FK4, але розходження нуля-пункту каталогу FK4 і динамічної системи

координат $\Delta\alpha = +0,20'' \pm 0,08''$, $\Delta\delta = +0,02'' \pm 0,08''$ [4].

Перехід від системи каталогу SAO до PPM при визначенні координат геостаціонарних об'єктів в ЛКД потребує знання систематичної різниці цих каталогів.

Систематичні похибки і систематичні різниці каталогів SAO і PPM.

Основною характеристикою каталогу є якість системи координат, яку задає каталог на небесній сфері. Координати зірок в каталогах із-за недосконалості інструментів спостережень, похибок процесу спостережень мають випадкові і систематичні похибки [5, 6]. Систематична похибка спотворює однаково координати всіх зірок на деяких ділянках небесної сфери. Вона змінюється плавно від ділянки до ділянки, є функцією від α , δ і має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\alpha &= \Delta\alpha_0 + \Delta\alpha_\alpha + \Delta\alpha_\delta + \Delta\alpha_m + |\Delta\alpha_{sp}| \\ \Delta\delta &= |\Delta\delta_0| + \Delta\delta_\alpha + \Delta\delta_\delta + |\Delta\delta_m| + |\Delta\delta_{sp}| \end{aligned} \right\} (1)$$

Індекс означає аргумент, від якого залежить складова систематичної похибки. Систематичні похибки виду $\Delta\alpha_\alpha$, $\Delta\delta_\delta$, $\Delta\alpha_\delta$, $\Delta\delta_\alpha$ спотворюють координатну сітку: похибки $\Delta\alpha_\delta$ спотворюють круги схилень, $\Delta\alpha_\alpha$ – порушують їх рівномірність. Похибки $\Delta\delta_\alpha$, $\Delta\delta_\delta$ відповідно впливають на добові паралелі. Величина $\Delta\alpha_0$ – поправка рівнодення, яка викликає поворот координатної сітки

навколо осі світу, $\Delta\delta_0$ – поправка екватора.

Найбільш значними систематичними похибками є $\Delta\alpha_\delta$, $\Delta\delta_\delta$. Вони спричинені неврахованими інструментальними похибками. Похибки $\Delta\alpha_\alpha$, $\Delta\delta_\alpha$ – значно менші. Їх причина: зміна зовнішніх умов спостережень; вони змінюються від сезону до сезону, від вечора до ранку. Особливо на них впливає зміна температури. Тому ці похибки можна апроксимувати синусоїдою з річним періодом.

Систематичні похибки $\Delta\alpha_m$ залежать від зоряної величини. Фотографічним каталогам властиві ще похибки $\Delta\alpha_{sp}$, $\Delta\delta_{sp}$, що залежать від спектрального класу зірок.

Власні рухи зірок по прямому сходженню і схиленню μ_α , μ_δ також мають свої систематичні похибки, які залежать від α і δ :

$$\left. \begin{aligned} \Delta\mu_\alpha &= (\Delta\mu_\alpha)_\alpha + (\Delta\mu_\alpha)_\delta \\ \Delta\mu_\delta &= (\Delta\mu_\delta)_\alpha + (\Delta\mu_\delta)_\delta \end{aligned} \right\}$$

(2)

Похибки власних рухів малі, але вони накопичуються з часом. Тому вони є основною причиною того, що навіть досконала фундаментальна система з малими систематичними похибками поступово втрачає точність в систематичному відношенні.

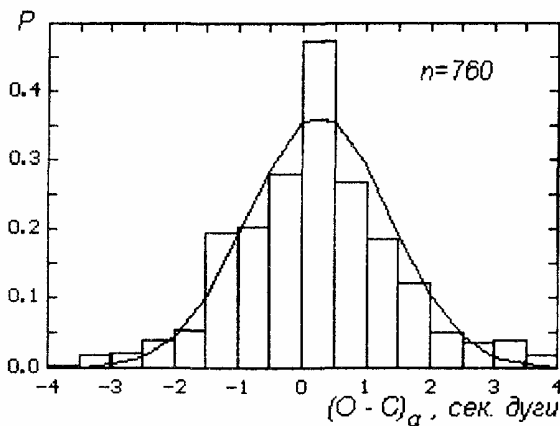


Рис. 1. Розподіл нев'язок $(O - C)_\alpha$ контрольних зірок при астрономічній обробці за 2000 рр.

Систематичні похибки каталогу безпосередньо неможливо визначити, оскільки невідомі абсолютно точні координати зір, які містяться в ньому, а також невідома абсолютно система небесних координат.

Метод отримання систематичних похибок полягає в порівнянні двох каталогів: досліджуються систематичні різниці двох каталогів. Систематичні різниці положень і власних рухів надалі будемо вважати систематичними похибками. Якби був абсолютний каталог, то порівняння з ним дало б абсолютні значення похибок. А так мова може йти про відносні похибки. Для порівняння двох каталогів необхідно попередньо привести їх до однієї епохи. Для цього до координат зірок додаються редуції за прецесію і за власні рухи. Приведені координати тих самих зірок двох каталогів будуть відрізнятися із-за випадкових і систематичних похибок кожного каталогу.

Експериментальні дослідження.

Зображення геостационарних об'єктів отримують на фотопластинках з полем зору $6^\circ \times 8^\circ$ так, щоб об'єкт розміщувався в центрі пластинки, хоча для багатьох робіт (зокрема, для пошуку об'єктів) використовується все поле пластинки.

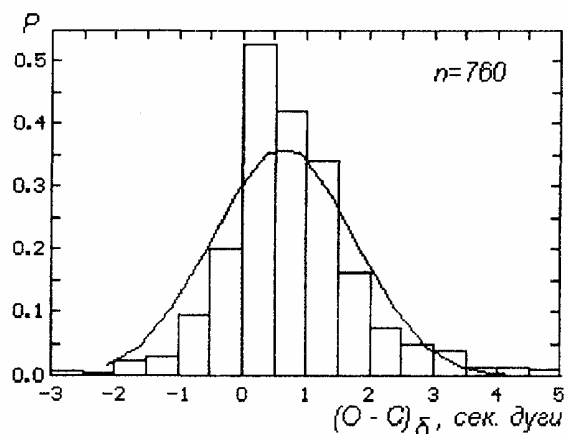


Рис.2. Розподіл нев'язок $(O - C)_\delta$ контрольних зірок при астрономічній обробці за 2000 рр.

Для 760 контрольних зірок, отриманих на таких пластинках, обчислені їх положення та зроблені порівняння з каталожними (PPM) значеннями. На рис.1, 2 приведені гістограми розподілу нев'язок $(0-C)_{\alpha, \delta}$ контрольних зірок по всьому полі пластинки. По вертикалі відкладена частота, приведена до одиничного інтервалу нев'язок. Розподіли

нев'язок (по α і δ) близькі до нормального з параметром $\sigma = 1,10''$, але величина $(0-C)_{\delta}$ – має додатну ексцесію. Для порівняння на гістограми накладені відповідні криві густини нормального розподілу, одержані методом найменших квадратів. Отже, в центрі пластинки положення об'єкта на епоху можна отримати з похибкою меншою $1''$.

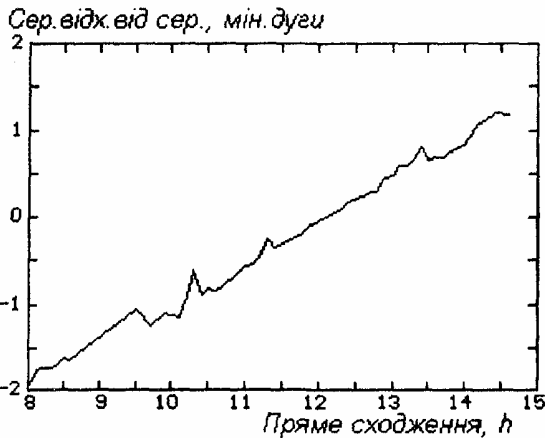


Рис.3. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\alpha_{\alpha}$ каталогів SAO і PPM.

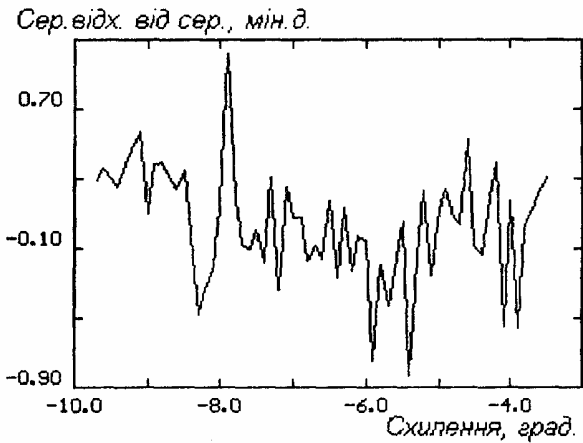


Рис.4. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\alpha_{\delta}$ каталогів SAO і PPM.

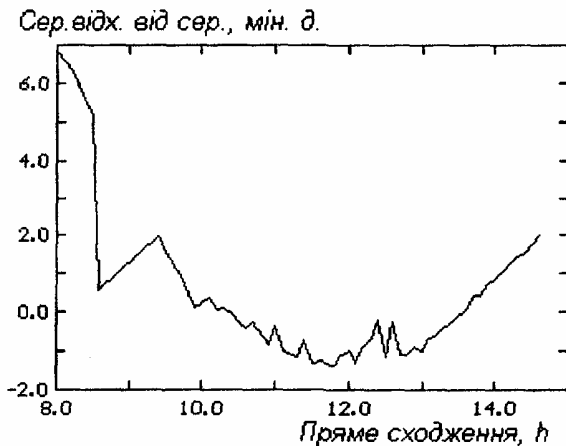


Рис.5. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\delta_{\alpha}$ каталогів SAO і PPM.

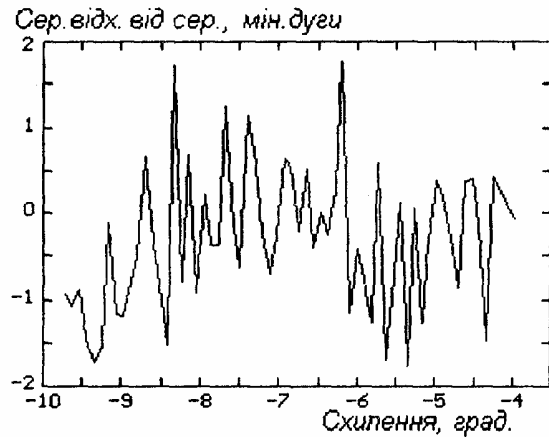


Рис.6. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\delta_{\delta}$ каталогів SAO і PPM.

Для дослідження похибок каталогів вибрали 587 зірок, які містяться в каталозі SAO на епоху 1950.0 і в каталозі PPM на епоху 2000.0. Якщо положення зірок не приводити до однієї епохи, то середнє значення різниць по α і δ відповідно складає $-38,469'$ та $15,362'$. На рис.3 – 6 приведені значення систематичних

різниць $\Delta\alpha_{\alpha}$, $\Delta\alpha_{\delta}$, $\Delta\delta_{\alpha}$, $\Delta\delta_{\delta}$. По вісі ординат на рис. – значення $\Delta\alpha_i$, $\Delta\delta_i$ відняті від їх середніх значень.

Щоб порівняти два каталоги $K1$ (PPM) і $K2$ (SAO), приведемо їх до однієї епохи (до епохи 2000.0), тобто введемо прецесію і власний рух зірок. В формулі (1) визначимо тільки різниці прямих

сходжень $\Delta\alpha_0$, $\Delta\alpha_\alpha$, $\Delta\alpha_\delta$ і схилень $\Delta\delta_0$, $\Delta\delta_\alpha$, $\Delta\delta_\delta$, і не будемо визначати похибки за рахунок зоряних величин і спектрального класу. Знайдемо такі ж різниці $\Delta\alpha_i = (\alpha_1 - \alpha_2)_i$, де α_2 – координати зірок каталогу SAO, приведені на епоху 2000.0.

Систематична різниця нуль-пунктів $\Delta\alpha_0$ може бути визначена як середнє арифметичне $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i \cos\delta_i$. Оскільки ми розглядаємо тільки екваторіальну зону (зону геостационарних об'єктів), то $\Delta\alpha_0 = 1,56''$. Цю величину необхідно виключати

із різниць $\Delta\alpha_i$, оскільки вона вносить постійний зсув $\Delta\alpha_\delta$.

На мал. 7, 8 приведені різниці $\Delta\alpha_\alpha$, $\Delta\alpha_\delta$ двох каталогів, приведених на епоху 2000,0. Середнє значення суми цих величин складає $-0,029''$ з середньою квадратичною похибкою $0,92''$.

Систематична різниця нуль-пунктів $\Delta\delta_0$ складає $0,06''$. На мал. 9, 10 приведені різниці $\Delta\delta_\alpha$, $\Delta\delta_\delta$ двох каталогів, приведених на епоху 2000,0. Величина $\Delta\delta_0$ виключена з середніх значень $\Delta\delta$. Середнє значення суми $\Delta\delta_\alpha + \Delta\delta_\delta$ складає $0,108''$ з середньою квадратичною похибкою $0,80''$.

Сер. відх. від сер., мін. д.

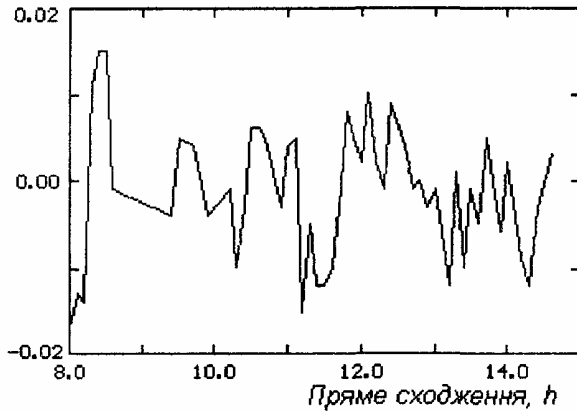


Рис. 7. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\alpha_\alpha$ каталогів SAO (приведеного на епоху 2000,0 з врахуванням прецесії і власного руху зірок) і каталогу PPM.

Сер. відх. від сер., мін. д.

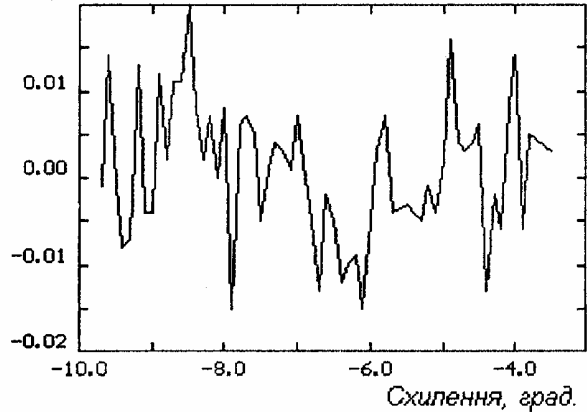


Рис. 8. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\alpha_\delta$ каталогів SAO (приведеного на епоху 2000,0 з врахуванням прецесії і власного руху зірок) і каталогу PPM.

Сер. відх. від сер., мін. д.

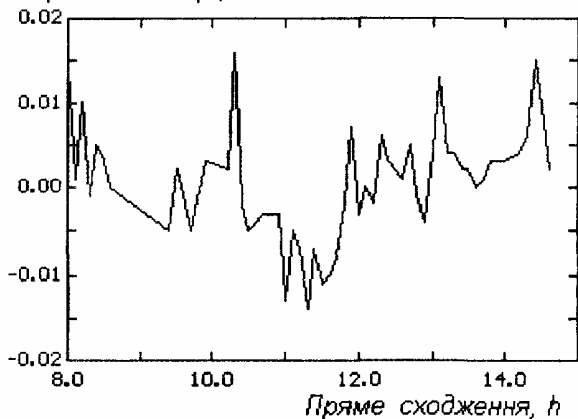


Рис. 9. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\delta_\alpha$ каталогів SAO (приведеного на епоху 2000,0 з врахуванням прецесії і власного руху зірок) і каталогу PPM.

Сер. відх. від сер., мін. д.

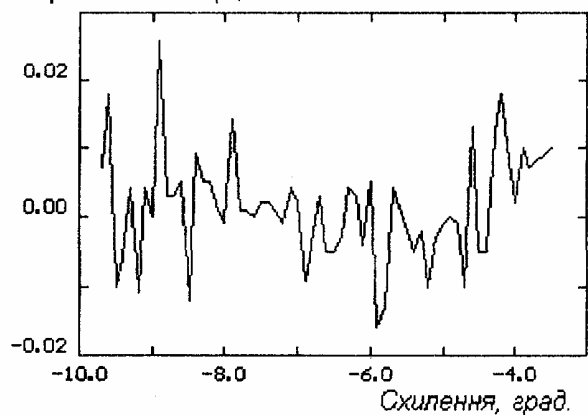


Рис. 10. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\delta_\delta$ каталогів SAO (приведеного на епоху 2000,0 з врахуванням прецесії і власного руху зірок) і каталогу PPM.

Залишкові різниці

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{ \Delta\alpha_i - (\Delta\alpha_0 + \Delta\alpha_\alpha + \Delta\alpha_\delta)_i \}$$

розподіляються по зоряних величинах для визначення $\Delta\alpha_m$. Середнє значення цієї залишкової різниці складає 0,0008".

Систематична різниця власних рухів зірок двох каталогів отримується аналогічним методом. На рис. 11 – 14 приведені графіки залежності $\Delta\mu_\alpha^{(\alpha)}$,

$\Delta\mu_\delta^{(\alpha)}$ від прямого сходження і залежності $\Delta\mu_\alpha^{(\delta)}$, $\Delta\mu_\delta^{(\delta)}$ від схилення в геостационарній області.

За формулами (2) знайдені систематичні різниці власних рухів зірок з врахуванням середніх значень:

$$\Delta\mu_\alpha = 0,00009'' \pm 0,0158'';$$

$$\Delta\mu_\delta = 0,00229'' \pm 0,0216''.$$

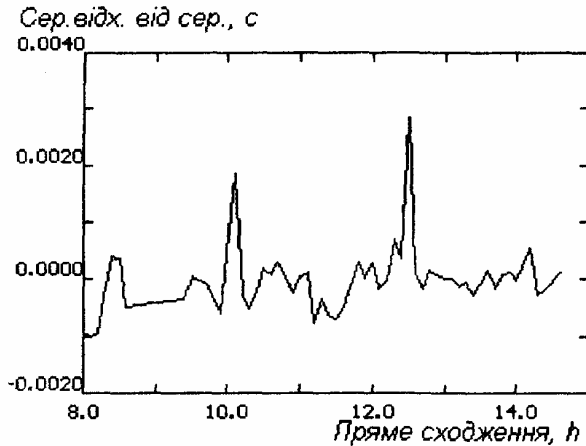


Рис.11. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\mu_\alpha^{(\alpha)}$ каталогів SAO і PPM.

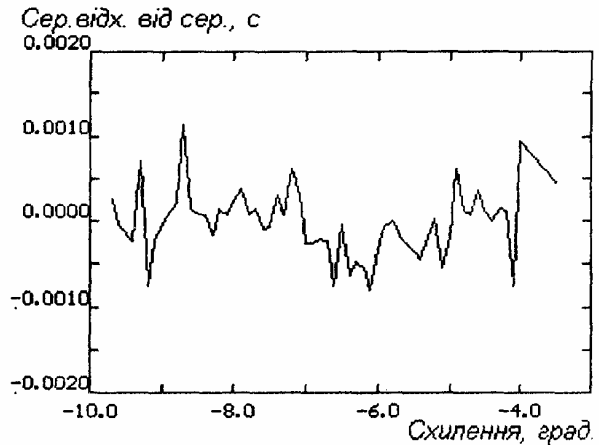


Рис.12. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\mu_\alpha^{(\delta)}$ каталогів SAO і PPM.

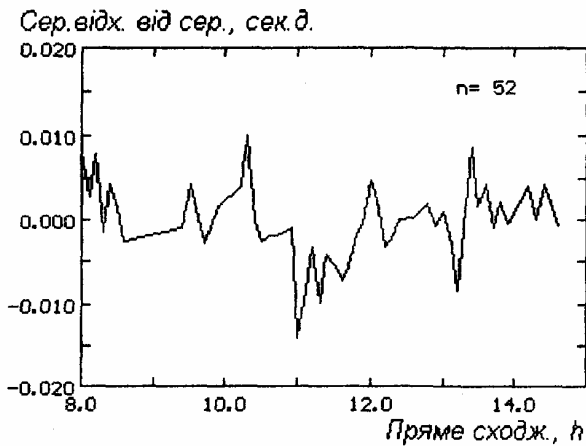


Рис.13. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\mu_\delta^{(\alpha)}$ каталогів SAO і PPM.

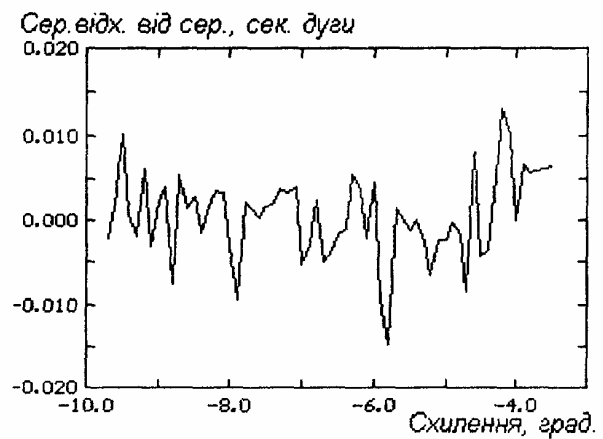


Рис.14. Експериментальні залежності систематичних різниць $\Delta\mu_\delta^{(\delta)}$ каталогів SAO і PPM.

Висновки

З експериментальних досліджень встановлено, що крім приведення координат одного каталогу до другого з врахуванням епох необхідні знання

поправки рівнодення $\Delta\alpha_0$ і поправки екватора $\Delta\delta_0$. Величина повороту осі світу від епохи 1950.0 до епохи 2000.0 складає 1,56". Вона одержана для дуги прямого сходження 8^h – 14^h; в цій зоні найбільше

ведуться спостереження геостационарних об'єктів в Ужгороді. Абсолютна величина поправки екватора становить 0,06". Зона схилень від -4° до -10° . Систематичні похибки

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_\alpha + \Delta\alpha_\delta = -0,029'' \pm 0,92'';$$

$$\Delta\delta = \Delta\delta_\alpha + \Delta\delta_\delta = 0,108'' \pm 0,80'';$$

$$\Delta\mu_\alpha = 0,00009'' \pm 0,1585'';$$

$$\Delta\mu_\delta = 0,00229'' \pm 0,0216''.$$

Порівнюючи отримані дані з іншими авторами [7], приходимо до висновку, що для визначення нуль-пункту каталогу PPM потрібні дослідження в більш широких межах α і δ .

Автори вдячні ст.н.сп.Кириченко А.Г. за постановку задачі і н.сп.Клімику В.У. за допомогу в математичній обробці.

1. Куимов К.В. : Автореф. дис. на соиск. учен. ст. докт. физ.-мат. наук. – М., 1998. – 22с.

2. Bastian U., Roeser S. Positions and Proper Motions of 197179 stars south of -2.5 degrees declination for equinox and epoch J2000.0. Heidelberg-Berlin-New York, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 1993, v.3-4.

3. Smithsonian astrophysical observatory Star Catalog. Washington, D.C., 1966, v.I-IV.

4. Яцків Я.С. Вибрані праці з астрометрії та геодинаміки. – Київ, НАНУ, ГАО, 2000. – С.342-345.

5. Подобед В.В. Фундаментальная астрометрия. – М.: Гос.издат. физ.-мат. лит., 1962. – С.283-291.

6. Бакулин П.И. Фундаментальные каталоги звезд. – М.: «Наука», 1980. – С.16-32.

7. Астрометрия, геодинамика и небесная механика: Труды ИПА РАН. – Вып.4, – С.-Петербург.: ИПА РАН, 1999. – С.95-97.

THE DEFINITION OF A CONSTANT AND PERIODIC COMPONENT OF THE SYSTEMATIC ERRORS OF STAR'S CATALOGUES FOR GEOSTATIONARY ZONE

G.M.Matso, O.E.Starodubtseva, T.V.Uzhva

Uzhgorod National University, 88000, Uzhgorod, Voloshin, 54

The accuracy $(O-C)_{\alpha,\delta}$ adduced for control stars, which were obtained on SBG camera and were calculated in PPM-catalogue system. Constant and periodic components of systematic errors are determined in geostationary zone of SAO and PPM-catalogues basing on 587 basic stars.



Ганна Михайлівна Мацо - молодший науковий співробітник відділу космічних досліджень ПНДЛ ФЕ УжНУ. Рік народження 1952, в 1975 році закінчила фізичний факультет УжДУ.



Ольга Стародубцева - молодший науковий співробітник відділу космічних досліджень ПНДЛ ФЕ УжНУ. Рік народження 1957, в 1979 році закінчила МШГАІК.



Євгенівна Ужва - молодший науковий співробітник відділу космічних досліджень ПНДЛ ФЕ УжНУ. Рік народження 1957, в 1979 році закінчила фізичний факультет УжДУ.