

## АСТРОМЕТРІЯ ПЛАТІВОК ПША, ОЦИФРОВАНІХ СКАНЕРОМ MICROTEK SCANMAKER 9800XL TMA

В. Головня, В. Андрук, А. Яценко

*Головна астрономічна обсерваторія, Національної академії наук України  
03680, Київ-127, Заболотного, 27, Україна*

(Отримано 3 січня 2009 р. в остаточному вигляді — 5 січня 2010 р.)

Робота виконана, щоб визначити можливість використовувати для астрометричних робіт сканер Microtek ScanMaker 9800XL TMA, за допомогою якого можна оцифровувати платівки великих розмірів (наприклад,  $300 \times 300$  мм). За порівнянням результатів обробки файлів оцифрування з різними градаціями сірого (16 та 8 розрядів) оцінено точність розробленого методу визначення прямокутних координат та фотометрії в пакеті MIDAS/ROMAFOT. Випадкові похибки в інструментальній системі становлять:  $\pm 0.0035$  пкл для координат та  $\pm 0.011^m$  для зоряних величин відповідно. Для оцінки повторюваності астрометричних та фотометричних похибок сканера оброблено чотири послідовні скани однієї платівки з просторовою роздільною здатністю 1200 dpi. Одержано такі оцінки похибок:  $\pm 0.034 \div 0.059$  пкл і  $\pm 0.012 \div 0.014^m$  для прямокутних координат та інструментальних зоряних величин. На наведені результати стосуються до зір з  $B \leq 13$  зоряної величини. За результатами обробки масиву платівок телескопа ПША в системі каталогу Tycho-2 для середньоквадратичної похибки одного виміру одержано:  $\pm 0.25''$  і  $\pm 0.35''$  для екваторіальних координат  $\alpha$  і  $\delta$  та  $\pm 0.20^m$  для зоряних  $B$ -величин.

**Ключові слова:** астронегатив, сканування, бази даних скляних архівів

PACS number(s): 95.75.-z, 95.75.De, 95.75.Mn, 95.75.Tv, 95.80.+p

### I. ВСТУП

Ідея використовувати планшетні сканери, обладнані слайд-модулем великого формату (A3), для сканування астронегативів не нова [1, 2]. Такі скани передбачали застосовувати для визначення попередніх оцінок координат та блиску об'єктів і розміщення цих даних у загальнодоступних (через Інтернет) базах й архівах. Проте відомостей про точність визначення положень та блиску зір із використанням сканів астронегативів на планшетних сканерах у літературі дуже мало.

Для визначення положень і фотометрії зір у відділі астрометрії ГАО розроблена програма обробки (з візуалізацією всіх процесів) сканів оцифрованих платівок розміром до 300 мм (програмне середовище LINUX/MIDAS/ROMAFOT) [3]. Сканували платівки, одержані на 40-см подвійному ширококутному астрографі ГАО НАН України (ПША, поле —  $8^\circ \times 8^\circ$ , масштаб —  $103''/\text{мм}$ , емульсія ORWO ZU — 21), за допомогою сканера Microtek ScanMaker 9800XL TMA, обладнаного слайд-модулем із технічними характеристиками: розмір вікна сканування платівок —  $406 \times 305$  мм, роздільна здатність до  $1600 \times 3200$  dpi, кількість градацій сірого — 16 біт. Особливе зацікавлення викликають питання про повторюваність результатів, одержаних за послідовно зробленими сканами однієї й тієї ж платівки, про величини інструментальних систематичних похибок і можливості та способи їх урахування (виключення), оцінки точності одержаних результатів при вибраних параметрах сканування і т.п. У цій статті ми зробили спробу дати відповідь на поставлені питання.

Для успішної обробки сканів одержане зі сканера зображення проходить ряд перетворень. Оскільки поле знімка значне, середні значення почорніння від центру до краю різняться в кілька разів. Крім того, можливі флуктуації почорніння на кадрі, які зумовлені неправильними умовами зберігання платівок до експонування чи після, на емульсії часто бувають подряпини чи темні плями. Також фон платівки міняється залежно від області фотографування, зокрема знімки Молочного Шляху мають досить неоднорідний фон. Підсумковий файл повинен мати близький до однорідного середній фон, для чого будемо детальну огинаючу поверхню для всього фону платівки, яку потім враховуємо.

Самі зображення зір на платівці неоднорідні, що пов'язано, насамперед, з великим діапазоном яскравості об'єктів зоряного неба. Значна частина яскравих зір має фотометричний розріз із плоскою вершиною (перетримані зображення), а розподіл почорніння зображень слабших зір можна описати кривою більш чи менш близькою до двовимірного розподілу Гаусса. Тому програма обробки містить частину "відновлення вигляду" перетриманих зображень. Це дає змогу коректно й однаково визначати зоряні величини та положення зображень зір на всьому діапазоні експонованих об'єктів.

Астрометричну редукцію знайдених прямокутних координат об'єктів на платівках ПША ми проводимо в три етапи, використовуючи Tycho-2 як опорний каталог:

— Ретельно ідетифікуємо зображення об'єктів на платівці й у каталозі та відбираємо як опорні, по зможі, всі зіри Tycho-2. Ототожнення проводимо вручну

або за допомогою автоматичної програми, яка базується на пошуку подібних трикутників у конфігураціях зір на платівці та вибраних із каталогу даних для відповідної ділянки неба.

– Для відібраних зір знаходимо параметри редукції виміряних координат до ідеальних, використовуючи лінійні, квадратичні та кубічні залежності від виміряних координат, а також члени, що враховують рівняння блиску та коми. За обчисленими нев'язками розв'язку рівнянь редукції знаходимо у вузьких інтервалах виміряних координат  $X$ ,  $Y$  середні значення нев'язок, які розглядаємо як інструментальні похибки сканера.

– Після врахування інструментальних похибок сканера проводимо повторну редукцію виміряних координат та обчислюємо екваторіальні координати всіх виявлених на платівці об'єктів. Інструментальні зоряні величини, одержані програмою обробки скану, також приводяться до зоряних величин опорного ка-

талогу після отримання за опорними зорями параметрів характеристичної кривої.

## II. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ СКАНІВ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ MIDAS/ROMAFOT

Файли оцифрування платівок отримані на планшетному сканері Microtek ScanMaker 9800XL TMA в форматі file.tiff з 16 біт градаціями (кольорами) сірого. Для їх обробки в пакеті MIDAS/ROMAFOT потрібно, щоб оцифровані кадри були у форматі file.fit, причому кількість градацій кольорів може бути довільною. Залежно від кількості градацій сірого кольору (16 чи 8 розрядів) розміри файлів оцифрування різняться вдвічі. Це впливає як на кількість необхідного часу для обробки відповідних файлів, так і на об'єм дискового простору для їх зберігання.

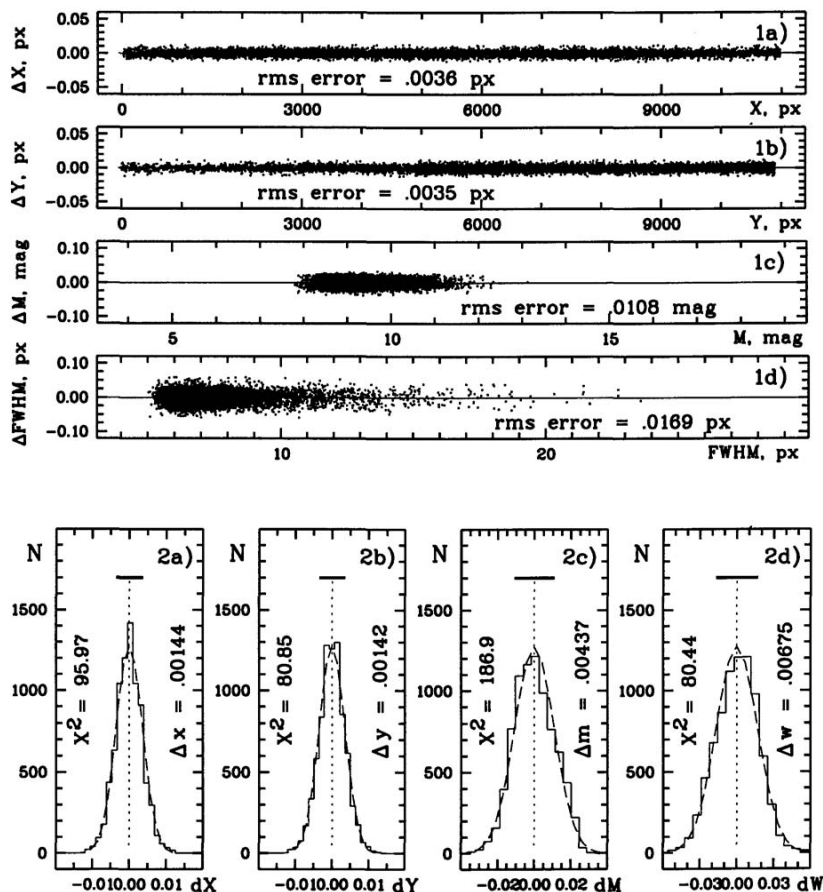


Рис. 1. У верхній частині рисунка показано хід різниць між обчисленими значеннями з глибиною кольору 8 та 16 біт для астрометричних — 1a), 1b) та фотометричних — 1c), 1d) характеристик зірок стосовно до прямокутних координат платівки  $X$ ,  $Y$  та інструментальних величин  $M$ ,  $FWHM$  відповідно. Указано значення с. к. п. однієї різниці між двома способами оцифровки сканів. У нижній частині рисунка — ці різниці подано у вигляді реальних (неперервні лінії) та теоретичних (штрихові лінії) функцій розподілу по відповідних інтервалах. Указано значення довжини інтервалів та отримано значення  $\chi^2$  (справа та зліва відповідно). Наведені дані отримано для зірок, яскравіших за  $B \leq 13^m$ , і яскравіших від проникної здатності телескопа ПША.

Щоб оцінити можливі втрати точності обчислення координат і фотометрії зірок при переході від файли з 16-бітним представленням до 8-бітних, порівняли результати їх обробки. Назвемо кадр із 16 біт ґрадаціями сірого, отриманий після перетворення формату file.tiff у формат file.fit, кадром А, а кадр із 8 біт кольорами сірого, що отриманий за допомогою програми GIMP (LINUX), кадром Б. Такі два кадри з просторовою роздільною здатністю 1000 dpi отримані для платівки №219 ( $\alpha = 23^h 27^m$ ,  $\delta = 60^\circ$ ) програми ФОН [4]. На ній зареєстровані об'єкти з двома експозиціями (довга та коротка експозиції — 16 хв і 40 сек відповідно). Після обробки сканів обох кадрів (300 × 300 мм або 11001 × 10937 пкл) для порівняння були відібрані зображення довгої експозиції (різниця в зоряних величинах у системі В між експозиціями  $\Delta m = 3.2$  mag, відстань між зображеннями  $\Delta x = \Delta y = 26$  пкл, кіль-

кість об'єктів  $N_1 = 8289$ ).

Результати у вигляді різниць обрахованих значень прямокутних координат, інструментальних зоряних величин та діаметрів об'єктів подано на рис. 1. У верхній частині рис. 1 показано хід різниць для кадрів А і Б між обчисленими (програмними модулями ROMAFOT) значеннями з глибиною кольору 8 та 16 біт для астрометричних — 1a), 1b) та фотометричних — 1c), 1d) характеристик зірок щодо прямокутних координат платівки  $X, Y$  та інструментальних величин  $M$ , аналогів діаметрів FWHM (повна ширина на половині максимальної інтенсивності) відповідно. Більші значення інструментальних зоряних величин  $M$  та діаметрів FWHM відповідають яскравішим зіркам. Указано значення середньоквадратичної похибки (с. к. п.) однієї різниці між двома способами оцифровки сканів.

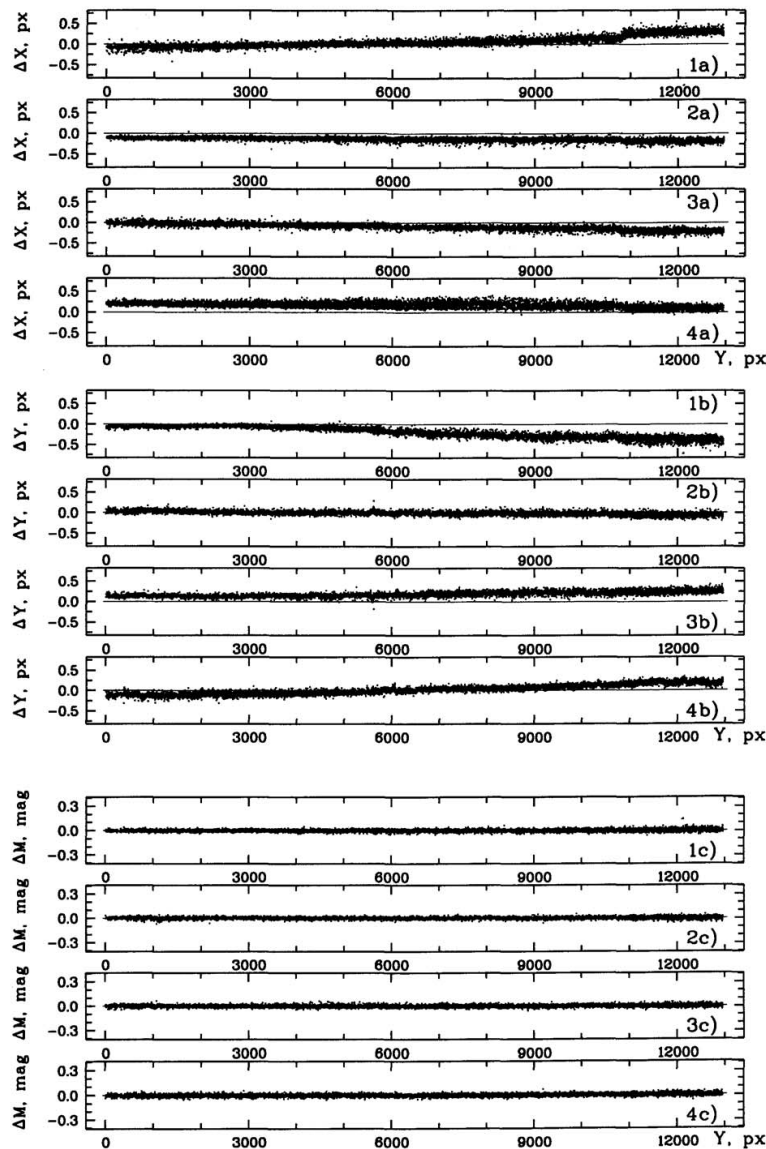


Рис. 2. Хід різниць чотирьох послідовних сканів стосовно до середнього скана для координат  $X$  — 1a), 2a), 3a), 4a),  $Y$  — 1b), 2b), 3b), 4b) — та інструментальних зоряних величин  $M$  — 1c), 2c), 3c), 4c) — відносно координати  $Y$ .

У нижній частині рисунка — 2a), 2b), 2c), 2d) ці різниці подано у вигляді реальних (неперервні лінії) та теоретичних (штрихові лінії) функцій розподілу за відповідними інтервалами. Справа та зліва відповідно вказано значення довжини інтервалів (відповідають 0.4 значення стандартних відхилень) та отримані значення  $\chi^2$  [5]. Вище приведені дані отримано для зірок, яскравіших за  $B < 13^m$  (принагідно вкажемо, що проникна здатність телескопа ПША становить близько  $17^m$ ). Оскільки с. к. п. різниць прямокутних координат та зоряних величин мають значення менші ніж 0.004 пкл та близько 0.01 інструментальної зоряної величини (об'єкти високої, помірної та малої яскравості), можна зробити висновок про практичну можливість і доцільність обробки оцифрованих астронегативів з 8 біт градаціями сірого, що значно зменшує затрати обчислювального часу та вимоги до необхідної потужності обчислювальної техніки. Відзначимо також, що для гранично слабких об'єктів ( $B \approx 16^m \div 17^m$ ) проведені дослідження показали гірший результат у 2 та 3 рази для координат та зоряних величин відповідно.

### III. ПОВТОРЮВАННІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ СКАНУВАННЯ ТА ВНУТРІШНЯ АСТРОМЕТРИЧНА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

Для оцінки астрометричних і фотометричних похибок сканера оброблено чотири послідовні скани платівки №219 програми ФОН. Сканування виконано з просторовою роздільною здатністю 1200 dpi. Розрахунки для всіх зареєстрованих на платівці об'єктів (понад 116 000) зроблено так. Отримано усереднені за чотирма сканами характеристиками об'єктів: прямокутні координати  $X$ ,  $Y$  та інструментальні зоряні величини  $M$ . У цій статті розглянуто та продемонстровано хід окремих різниць щодо середнього значення цих характеристик для компонентів довгої експозиції об'єктів, яскравіших за  $B = 13^m$ . Кількість спільних об'єктів  $N_2 = 7212$ . На рис. 2 подано хід різниць чотирьох послідовних сканів стосовно середнього скана для координат  $X$  — 1a), 2a), 3a), 4a), координат  $Y$  — 1b), 2b), 3b), 4b) та інструментальних зоряних величин  $M$  — 1c), 2c), 3c), 4c) щодо координати  $Y$ .

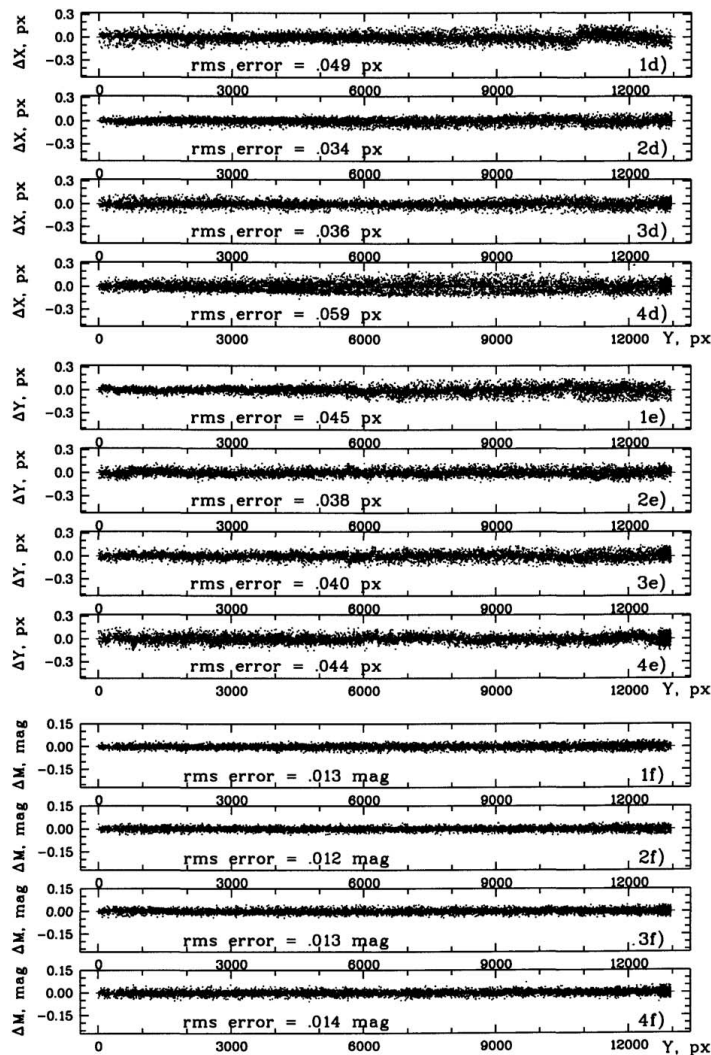


Рис. 3. Хід випадкових різниць чотирьох послідовних сканів стосовно середнього скана для координат  $X$  — 1d), 2d), 3d), 4d),  $Y$  — 1e), 2e), 3e), 4e) та інструментальних зоряних величин  $M$  — 1f), 2f), 3f), 4f) щодо координати  $Y$ .

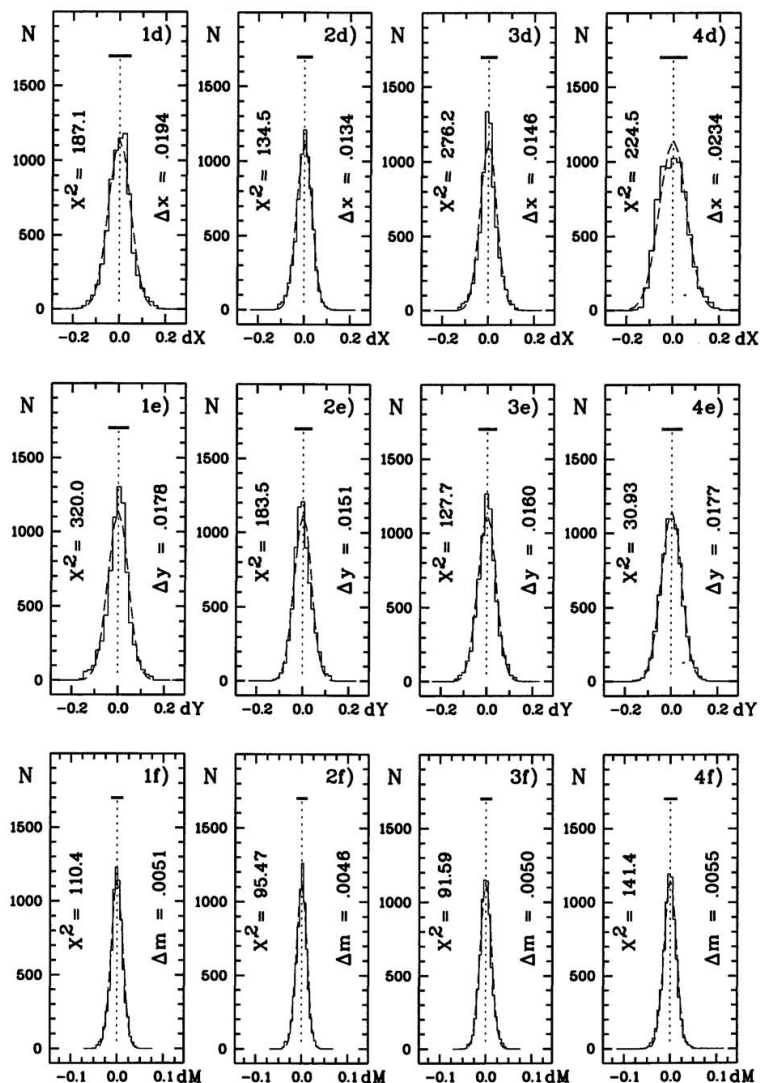


Рис. 4. Частотний розподіл випадкових різниць чотирьох послідовних сканів стосовно середнього скана для координат  $X$  — 1d), 2d), 3d), 4d),  $Y$  — 1e), 2e), 3e), 4e) — та інструментальних зоряних величин  $M$  — 1f), 2f), 3f), 4f). Різниці подано у вигляді реальних (неперервні лінії) та теоретичних (штрихові лінії) функцій розподілу по відповідних інтервалах. Указано значення довжини інтервалів та отримано значення  $\chi^2$  (справа та зліва відповідно). Дані, наведені на рис. 2–4, отримано для зірок, яскравіших за  $B \leq 13^m$ .

Після корекції даних кожного скана стосовно середніх значень за систематичні похибки маємо результати, що демонструються на рис. 3. На ньому показано хід випадкових різниць чотирьох послідовних сканів щодо середнього скана для координат  $X$  — 1d), 2d), 3d), 4d),  $Y$  — 1e), 2e), 3e), 4e) та інструментальних зоряних величин  $M$  — 1f), 2f), 3f), 4f) стосовно координати  $Y$ . На рис. 3 для всіх чотирьох сканів також вказано значення с. к. п. однієї різниці для прямокутних координат та інструментальних зоряних величин.

На рис. 4 показано частотний розподіл випадкових різниць чотирьох послідовних сканів щодо середнього скана для координат  $X$  — 1d), 2d), 3d), 4d),  $Y$  — 1e), 2e), 3e), 4e) та інструментальних зоряних величин  $M$  — 1f), 2f), 3f), 4f). Різниці подано у вигляді реальних (неперервні лінії) та теоретичних (штрихові лінії) функцій розподілу по відповідних інтервалах. Указа-

но значення довжини інтервалів та отримані значення  $\chi^2$  (справа та зліва відповідно). Дані, наведені на рис. 2–4, отримано для зірок, яскравіших за  $B \leq 13^m$ . Як бачимо, для прямокутних координат похибки одного визначення становлять  $0.034 \div 0.059$  пкл, похибки визначення інструментальних зоряних величин не перевищують  $0.015$  зоряної величини. Якщо врахувати масштабний множник (який близький до 2 через масштаб та технічні характеристики сканування для астрометрії і контрастності астронегативів для фотометрії) переходу від прямокутних координат до екваторіальних координат і від інструментальних зоряних величин до фотометричної шкали зоряних величин, то відразу можемо зробити такий висновок. Планшетний сканер Microtek ScanMaker 9800XL ТМА разом із розробленим у ГАО НАНУ програмним забезпеченням дає змогу оцифровувати та обробляти платівки

й отримувати характеристики об'єктів (високої, помірної та малої яскравості) з внутрішньою точністю не гірше  $\pm 0.1$  секунди дуги і  $\pm 0.03$  зоряної величини. Для гранично слабких об'єктів ( $B \approx 15^m \div 17^m$ ) наші дослідження показали гірший результат — у 1.5 та 2.5 разу для координат та зоряних величин відповідно. Цей висновок стосується режимів сканування 1000 або 1200 dpi і поширюється на астронегативи розміром до  $300 \times 300$  мм.

#### IV. АСТРОМЕТРИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ СКАНІВ

На сьогодні практика обробки масиву оцифрованих астронегативів телескопа ПША за програмою ФОН у системі каталогу Tycho-2 дала такі результати: середня с.к.п. одного визначення екваторіальних координат  $\alpha$  та  $\delta$  (RA та DEC) для всього поля платівки розміром  $8^\circ \times 8^\circ$  відповідно становить  $\pm 0.25''$  та  $\pm 0.30''$ . У цій статті точність визначення екваторіальних координат ми продемонструємо на платівці №100 ( $\alpha = 16^h 14^m 49^s$ ,  $\delta = 20^\circ 17'$ ), експонованій 3 квітня 1976 року року за програмою визначення точних положень тіл Сонячної системи фотографічним методом. Візуально платівка характеризується як дуже темна, на ній зроблено три експозиції по 10 хвилин (зі зміщенням 31 пкл) ділянки неба з малою планетою 1301 Yvonne ( $V = 15.9^m$ ). Кількість ототожнених об'єктів, що мають усі три експозиції, становить

$N_3 = 13298$ , загальна ж кількість зареєстрованих об'єктів сягає 69904, тобто (за умови, що реальні об'єкти справді мають три експозиції) близько 40 відсотків отриманих даних — це дефекти фотоемульсії та різного типу бруд на поверхні платівки, тощо. В полі платівки №100 кількість зірок каталогу Tycho-2 становить близько 1000. Редукція прямокутних координат у систему виміряних екваторіальних координат здійснена за допомогою повного кубічного полінома з додатковими незмішаними членами вищих порядків [6].

На рис. 5 показано хід різниць  $\Delta DEC$  між виміряними та каталожними координатами для схилень зірок каталогу Tycho-2 до внесення корекції за інструментальні похибки. Різниці подано стосовно до координат  $X$  та  $Y$  сканера — а) та — б) і зоряних величин  $B$  каталогу Tycho-2 — д). На цьому ж рисунку в третьому ряду — с) показано значення усереднених різниць по інтервалах шириною 20 пкл. Ці значення використовувалися для корекції прямокутних координат зірок по схиленню, аналогічна корекція зроблена і для прямих сходжень зірок. На рис. 6 наведено результати редукції після корекції виміряних координат за інструментальні похибки. Різниці  $\Delta RA$  та  $\Delta DEC$  подано стосовно прямокутних координат сканера — а), б), е), ф), зоряних величин  $B$  — с), г) і кольорів зірок  $B-V$  — д), г) каталогу Tycho-2. Видно, що скореговані лише за координатні похибки сканера залишкові різниці  $\Delta RA$  та  $\Delta DEC$  мають значення с.к.п. одного виміру в межах  $0.3''$  і не мають систематичного ходу з фотометричною величиною чи кольором зірок.

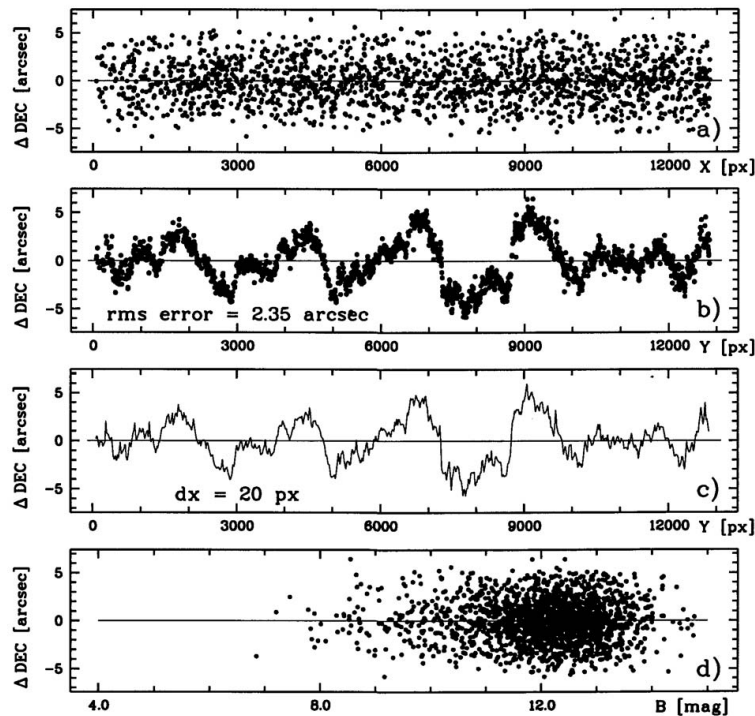


Рис. 5. Хід різниць між виміряними та каталожними координатами для схилень зірок каталогу Tycho-2 до внесення корекції за інструментальні похибки для координати  $Y$  сканера Microtek ScanMaker 9800XL TMA.

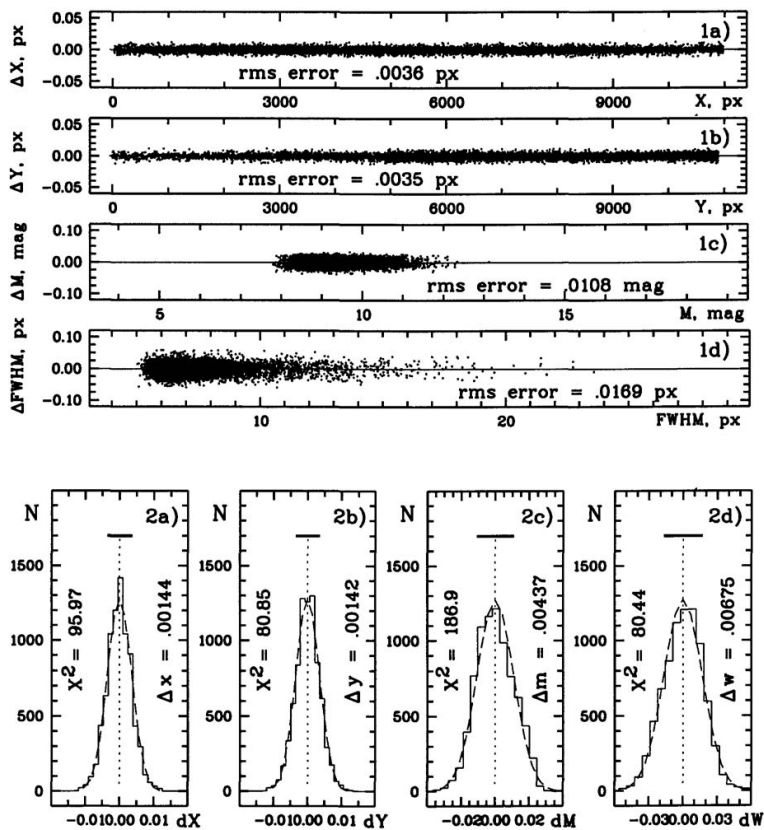


Рис. 6. Хід різниць між коригованими виміряними та каталожними координатами зірок каталогу Tycho-2 після внесення корекції за інструментальні похибки. У верхній — а), б), в), г) і нижній — е), ф), г), ж) частинах рисунка показано відповідно різниці для прямих сходжень і схилень щодо прямокутних координат X, Y, зоряних величин B та показників кольору B–V системи каталогу Tycho-2.

### V. ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи ми зробили такі висновки. У загальноприйнятих межах точності для фотографічних платівок сканер Microtek ScanMaker 9800XL ТМА є придатним для виконання астрометричних та фотометричних робіт у наземній астрономії. Похибка одного виміру становить  $\pm 0.2''$ ,  $\pm 0.3''$  для екваторіальних координат та менше  $\pm 0.2^m$  для зоряних величин. Важливим результатом також є тотожність точності вихідних результатів обробки

оцифрованих сканів астронегативів із 8 біт чи 16 біт градаціями кольору. Третій висновок — внутрішня точність астрометричних та фотометричних похибок сканера менша від похибок фотографічної астрометрії, і вона однакова на всьому полю платівки аж до розмірів  $8^\circ \times 8^\circ$ . Отримані результати значною мірою стали можливими завдяки розробленим і реалізованим у ГАО НАНУ методам обробки оцифрованих астронегативів. Програмне забезпечення реалізовано в пакеті MIDAS, на заключному етапі обробки оцифрованих платівок використано оператори фотометричного програмного пакета ROMAFOT.

[1] А. В. Сергеев, *Міжнародна конференція "Роль наземної астрометрії в "PostHIPPARCOS" період"* (Миколаїв, 1996) с. 34.  
 [2] М. К. Tsvetkov *et al.*, IAU Working Group "Sky Surveys" Newsletter **10**, 10 (1998).  
 [3] MIDAS User Guide. European Southern Observatory — Image Processing Group (Garching, ESO, 1994).  
 [4] В. С. Кислюк *и др.*, Кинем. физ. небес. тел **16**, №6, 483 (2000).  
 [5] Дж. Бендат, А. Пирсол, *Прикладной анализ случайных величин* (Мир, Москва, 1989).  
 [6] В. Андрук, Л. Пакуляк, Журн. фіз. досл. **3**, 1 (2007).

В. ГОЛОВНЯ, В. АНДРУК, А. ЯЦЕНКО

**ASTROMETRY OF THE PLATES OF THE DWA DIGITIZED WITH THE MICROTEK  
SCANMAKER 9800XL TMA SCANNER**

V. Golovnya, V. Andruk, A. Yatsenko  
*Main Astronomical Observatory, NAS of Ukraine*  
*27, Zabolotnogo St., Kyiv, UA-03680, Ukraine*  
*e-mail: andruk@mao.kiev.ua*

A detailed testing of the Microtek ScanMaker 9800XL TMA scanner aimed at large-scale plates (300 × 300 mm and larger) digitization has been undertaken. The evaluation of the accuracy of star image centering and darkening determined from the newly developed method in MIDAS/ROMAFOT environment has been carried out from the comparison of digitized images of different greyscale depth (16 and 8 bits). The random instrumental errors have been found to reach  $\pm 0.0035$  px and  $\pm 0.011^m$  for position and magnitude accordingly. The estimations of repeatability of positional and photometric errors of the scanner have been received from four consecutive scans of the same plate obtained with 1200 dpi. The positional errors are  $\pm 0.034 \div 0.059$  px and photometric ones are  $\pm 0.012 \div 0.014^m$  for stars down to  $13^m$ . For the plates of DWA telescope positional rms errors are  $\pm 0.25''$  and  $\pm 0.35''$  for RA and DEC accordingly, photometric errors are  $\pm 0.20^m$  with the Tycho-2 catalogue as reference.