

## **Метод исследования показателей точности оценок положения опорных звезд CCD-кадров**

*Харьковский национальный университет радиозлектроники  
Запорожский институт экономики и информационных технологий*

Предложен метод исследования показателей точности оценок положения опорных звезд на CCD –кадрах. В качестве источников данных используются CCD- измерения положений опорных звезд, а также астрометрический UCAC 4.0 и фотометрический USNO B1.0 каталоги. Разработанный метод позволяет проводить анализ расширенного множества показателей точности оценок положения опорных звезд на расширенном множестве анализируемых подвыборок измерений и кадров.

**Ключевые слова:** CCD-измерения, оценка показателей точности.

### **1. Введение**

Требования к точности астрономических наблюдений продолжают повышаться, особенно в области астероидных наблюдений [1].

Исследование показателей точности оценок положений опорных звезд на CCD-кадрах может быть весьма полезным для модернизации используемых обсерваториями программного обеспечения (ПО) и повышения за счет этого точности наблюдений небесных объектов.

Актуальными являются разработка методов анализа показателей точности измерений положений опорных звезд с расширенным множеством формируемых показателей точности, а также создание научно-исследовательского программного инструмента, с помощью которого проводят детальный анализ показателей точности измерений положений опорных звезд на расширенном множестве анализируемых подвыборок измерений и кадров.

### **2. Анализ литературных данных**

Точность астрономических наблюдений настолько высока, что использование абсолютного метода определения положения объекта на кадре уже давно ушло в прошлое. Для вычисления экваториальных координат как астероидов, так и других звезд с помощью относительного метода [2, 3] используются опорные звезды. Точность определения положения тех и других небесных объектов существенно зависит от точности определения положения самих опорных звезд. Это объясняет актуальность отдельного, самостоятельного исследования точности оценок положения опорных звезд.

Такие исследования достаточно широко проводятся при решении задачи отождествления кадров с используемым звездным каталогом [4, 5]. Кроме того, невозможны исследования, лежащие в основе построения новых и модернизации старых звездных каталогов [6, 7, 8, 9].

Однако научно обоснованного, доступного широкому мировому сообществу метода автоматического формирования показателей точности оценок положения опорных звезд CCD-кадров и программного продукта, его реализующего, на сегодняшний день не существует.

### 3. Объект, цель и задачи исследования

Статья посвящена исследованиям показателей точности оценок положения опорных звезд на заданной совокупности CCD.

Объектом исследования являются методы автоматического формирования показателей точности измерений положения опорных звезд.

Изучение небесных объектов в основном проводят с использованием средств пассивного оптического наблюдения – телескопов, оснащенных CCD матрицей. Получаемые CCD-кадры обрабатываются специальными программами, которые формируют совокупность измерений. Эти измерения содержат погрешности, которые получаются вследствие неблагоприятных погодных условий, сбоев в работе аппаратуры, несовершенства инструментов наблюдений и программных средств обработки CCD-кадров.

Цель исследования – разработка метода автоматического формирования показателей точности оценок положения опорных звезд CCD-кадров, анализ расширенного списка показателей точности оценок положения и блеска объектов.

### 4. Источники эталонных данных

Для расчета отклонений измерений необходимо получить эталонные значения координат используемых опорных звезд. В качестве эталонных значений положений опорных звезд приняты данные из астрометрического каталога UCAC 4.0 [10]. Его средняя плотность составляет более 2000 звезд на квадратный градус. Каталог содержит данные о более чем 113 миллионов звезд и покрывает небо по блеску до 16 зв. вел. Ошибка положения любого объект не превышает 20 угловых миллисекунд. Ошибка собственного движения объекта составляет от 2 до 8 угловых миллисекунд в год.

В качестве эталонных значений блеска объекта использованы данные фотометрического каталога USNO B1.0 [11]. Каталог содержит оценки положений и блеска более одного миллиарда объектов, которые были сформированы на основе 3,6 миллиарда отдельных измерений [11].

### 5. Показатели точности оценок положения и блеска опорных звезд кадра

Исследованы такие показатели точности измерений опорных звезд: оценки среднего отклонения оценок экваториальных координат между каталожными и измеренными значениями  $\bar{\Delta}_\alpha$ ,  $\bar{\Delta}_\delta$ ; среднеквадратического отклонения (СКО)  $\sigma_\alpha$ ,  $\sigma_\delta$ ,  $\sigma_m$  и оценки среднего отклонения оценки блеска между каталожным и измеренным значениями  $\bar{\Delta}_m$ . Кроме того, определены оценки коэффициентов асимметрии и эксцесса измерений экваториальных координат используемых опорных звезд.

Отклонения между измерениями и каталожными значениями оценок экваториальных координат (прямого восхождения и склонения) и блеска используемых опорных звезд представляются соответственно выражениями

$$\Delta_{\alpha i} = \left( \alpha_{j_1(i)} - \alpha_{j_2(i)} \right) * \cos \delta_{j_1(i)}; \quad (1)$$

$$\Delta_{\delta i} = \delta_{j_1(i)} - \delta_{j_2(i)}; \quad (2)$$

$$\Delta_{mi} = m_{j_1(i)} - m_{j_2(i)}, \quad (3)$$

где  $i$  – номер рассматриваемой пары измерение кадра – формуляр каталога;

$\alpha_{j_1(i)}$ ,  $\alpha_{j_2(i)}$ ,  $\delta_{j_1(i)}$ ,  $\delta_{j_2(i)}$  – прямое восхождение и склонение  $j_1$ -го измерения кадра и  $j_2$ -го формуляра каталога, входящих в  $i$ -ю отождествленную пару;

$m_{j_1(i)}$ ,  $m_{j_2(i)}$ ,  $m_{j_{NF}(i)}$  – оценка значения блеска  $j_1$ -го измерения кадра и  $j_2$ -го формуляра каталога, входящих в  $i$ -ю отождествленную пару;

$j_1$  – номер измерения, сформированного на исследуемом кадре во внутренней нумерации измерений на кадре;

$j_2$  – номер формуляра используемого каталога во внутренней нумерации формуляров каталога.

Отклонения между измерениями и каталожными значениями оценок  $X$  и  $Y$  координат используемых опорных звезд в системе координат CCD-кадра (прямоугольная система координат CCD-кадра с центром в левом верхнем углу CCD-кадра) вычисляются согласно формулам:

$$\Delta_{Xi} = X_{j_1(i)} - X_{j_2(i)}; \quad (4)$$

$$\Delta_{Yi} = Y_{j_1(i)} - Y_{j_2(i)}, \quad (5)$$

где  $X_{j_1(i)}$ ,  $X_{j_2(i)}$ ,  $Y_{j_1(i)}$ ,  $Y_{j_2(i)}$  – координаты  $X$  и  $Y$   $j_1$ -го измерения кадра и  $j_2$ -го формуляра каталога, входящих в  $i$ -ю отождествленную пару.

Оценку среднего отклонения (математического ожидания отклонений) оценок экваториальных координат и блеска используемых опорных звезд определяли согласно выражениям [12]:

$$\bar{\Delta}_{\alpha} = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{\alpha i} / N_{meas}; \quad (6)$$

$$\bar{\Delta}_{\delta} = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{\delta i} / N_{meas}; \quad (7)$$

$$\bar{\Delta}_m = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{mi} / N_{meas}, \quad (8)$$

где  $N_{meas}$  – количество измерений, используемых для анализа точности оценок положения объектов.

Оценку среднего отклонения (математического ожидания отклонений) оценок положения объекта по координатам  $X$  и  $Y$  используемых опорных звезд определяли по следующим формулам [12]:

$$\bar{\Delta}_X = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{Xi} / N_{meas}; \quad (9)$$

$$\bar{\Delta}_Y = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{Yi} / N_{meas}. \quad (10)$$

Оценку среднеквадратического отклонения отклонений оценок координат по

прямому восхождению и склонению, а также блеску используемых опорных звезд вычисляли как [12]

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\alpha i} - \bar{\Delta}_{\alpha})^2 / (N_{meas} - 1)}; \quad (11)$$

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_{\delta})^2 / (N_{meas} - 1)}; \quad (12)$$

$$\sigma_m = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{mi} - \bar{\Delta}_m)^2 / (N_{meas} - 1)}. \quad (13)$$

Оценку среднеквадратического отклонения отклонений оценок координат X и Y используемых опорных звезд вычисляли аналогично [12]:

$$\sigma_X = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{Xi} - \bar{\Delta}_X)^2 / (N_{meas} - 1)}; \quad (14)$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{Yi} - \bar{\Delta}_Y)^2 / (N_{meas} - 1)}. \quad (15)$$

При исследовании показателей точности оценок положения объектов рассчитывали оценки коэффициентов асимметрии  $\gamma_1$  экваториальных координат используемых опорных звезд [13]:

$$\gamma_{\alpha 1} = \frac{\sqrt{N_{meas}(N_{meas} - 1)}}{N_{meas} - 2} \frac{\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\alpha i} - \bar{\Delta}_{\alpha})^3}{\left(\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\alpha i} - \bar{\Delta}_{\alpha})^2\right)^{3/2}}; \quad (16)$$

$$\gamma_{\delta 1} = \frac{\sqrt{N_{meas}(N_{meas} - 1)}}{N_{meas} - 2} \frac{\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_{\delta})^3}{\left(\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_{\delta})^2\right)^{3/2}}. \quad (17)$$

Выражения для оценок коэффициентов эксцесса  $\gamma_2$  [13] по прямому восхождению и склонению оценок координат опорных звезд имеют вид:

$$\gamma_{\alpha 2} = \frac{N_{meas}^2 - 1}{(N_{meas} - 2)(N_{meas} - 3)} \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\alpha i} - \bar{\Delta}_{\alpha})^4}{\left(\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\alpha i} - \bar{\Delta}_{\alpha})^2\right)^2} - 3 + \frac{6}{N_{meas} + 1} \right); \quad (18)$$

$$\gamma_{\delta 2} = \frac{N_{meas}^2 - 1}{(N_{meas} - 2)(N_{meas} - 3)} \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_{\delta})^4}{\left( \sum_{i=1}^{N_{meas}} (\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_{\delta})^2 \right)^2} - 3 + \frac{6}{N_{meas} + 1} \right). \quad (19)$$

Среднеквадратическое отклонение оценки коэффициентов асимметрии и эксцесса оценок экваториальных координат используемых опорных звезд вычисляли согласно выражениям [14]:

$$\sigma_{\gamma_1} = \sqrt{\frac{6(N_{meas} - 2)}{(N_{meas} + 1)(N_{meas} + 3)}}; \quad (20)$$

$$\sigma_{\gamma_2} = \sqrt{\frac{24N_{meas}(N_{meas} - 2)(N_{meas} - 3)}{(N_{meas} + 1)^2(N_{meas} + 3)(N_{meas} + 5)}}. \quad (21)$$

Кроме того, исследовали свойства оценок экваториальных координат (прямого восхождения и склонения) как системы случайных величин [22, 25]. Исследованию подлежали главные дисперсии, оценки ковариации и коэффициента корреляции отклонений оценок экваториальных координат используемых опорных звезд, а также угол между главной осью эллипса рассеивания и осью абсцисс.

Оценку ковариации отклонений оценок экваториальных координат объекта вычисляли следующим образом [12]:

$$K_{\alpha\delta} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta_{\alpha i} \Delta_{\delta i}) / N_{meas} - \bar{\Delta}_{\alpha} \bar{\Delta}_{\delta}}{N_{meas} - 1} \right] \frac{N_{meas}}{N_{meas} - 1}. \quad (22)$$

Оценка коэффициента корреляции отклонений оценок экваториальных координат используемых опорных звезд определялась выражением [12]

$$r_{\alpha\delta} = K_{\alpha\delta} / \sqrt{\sigma_{\alpha} \sigma_{\delta}}. \quad (23)$$

Угол между главной осью эллипса рассеивания и осью абсцисс экваториальной СК находили по [12]

$$\operatorname{tg} 2\psi = 2r_{\alpha\delta} \sigma_{\alpha} \sigma_{\delta} / (\sigma_{\alpha}^2 - \sigma_{\delta}^2). \quad (24)$$

Главные дисперсии отклонений оценок координат по прямому восхождению и склонению используемых опорных звезд [12] определялись следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} (D'_{\alpha})^2 &= \sigma_{\alpha}^2 \cos^2 \psi + r_{\alpha\delta} \sigma_{\alpha} \sigma_{\delta} \sin 2\psi + \sigma_{\delta}^2 \sin^2 \psi \\ (D'_{\delta})^2 &= \sigma_{\alpha}^2 \cos^2 \psi - r_{\alpha\delta} \sigma_{\alpha} \sigma_{\delta} \sin 2\psi + \sigma_{\delta}^2 \sin^2 \psi \end{aligned} \right\}. \quad (25)$$

**Использование подвыборок измерений по различным значениям параметров.** В разных областях кадра измерения положения объектов могут иметь различные показатели точности. Это может быть вызвано ошибками астрометрии, неточностями изготовления оптической системы или особенностями конкретного кадра (например, возможны виньетирование, засветка или затемнения по краям кадра). В таких случаях для исследований можно использовать подвыборки измерений по различным значениям параметров. Включение измерений в выбранную

исследователем подвыборку может проводиться по таким параметрам, как расстояние центра изображения объектов от центра кадра и значение видимого блеска.

При включении измерений в исследуемую подвыборку по значению видимого блеска используемых опорных звезд указывается диапазон видимого блеска объекта от минимального до максимального. Из всех измерений выбирают те, которые соответствуют заданному диапазону.

## 6. Метод исследования точности оценок положения опорных звезд

**Исходные данные для исследования показателей точности оценок положения опорных звезд.** В качестве исходных данных для исследования применяют совокупность измеренных положений (оценки положений) опорных звезд, полученных в ходе обработки группы кадров (при использовании ПО CoLiTec измеренные координаты опорных звезд находятся в файлах «UsedAstro1\_Under\_1.txt». Файлы находятся в каталоге tmp обработанной зоны. По каждому кадру формируется один файл данного типа).

Измеренные положения (оценки положений) выбранных опорных звезд идентифицируются с каталожными (из выбранного астрометрического каталога, например, UCAC 4.0 [15]) значениями положений соответствующих звезд (звезд каталога, отождествленных с опорными).

**Метод автоматического формирования показателей точности оценок положения опорных звезд CCD-кадров.** С учетом описанных выше особенностей метод исследований представляет собой такую последовательность действий (рис. 1):

1. При исследовании показателей точности оценок положения опорных звезд применяют следующие переменные (при использовании ПО CoLiTec данные переменные извлекаются из указанного выше файла):

– оценки  $X$  и  $Y$  положения опорной звезды на кадре (формируются при внутрикадровой обработке);

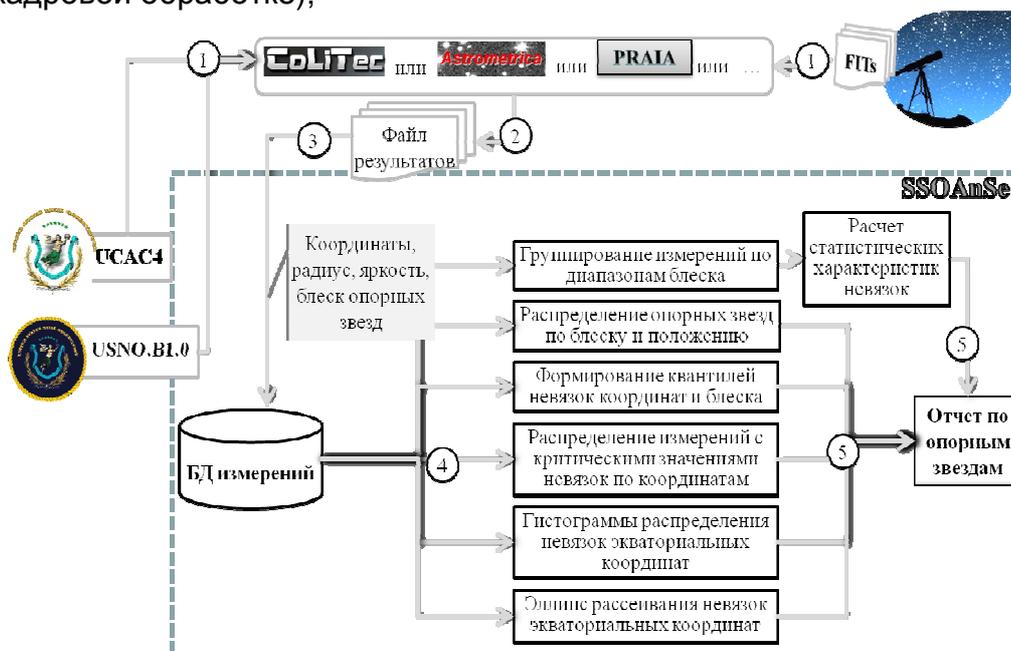


Рис. 1. Поток данных при исследовании показателей точности оценок положения опорных звезд

- эталонные координаты положения опорной звезды на кадре X и Y (из каталога UCAC 4.0);
- оценки экваториальных координат (RA, DE) опорной звезды (полученные, например, с помощью ПО CoLiTec);
- эталонные координаты опорной звезды (из каталога UCAC 4.0);
- значение блеска опорной звезды (из каталога UCAC 4.0);
- оценка яркости опорной звезды (получена при оценке параметров опорной звезды при внутрикадровой обработке);
- сумма яркостей пикселей изображения опорной звезды с вычитенной подложкой.

2. Построение гистограмм распределений опорных звезд по значениям их блеска и координат X и Y.

3. Группирование измерений по диапазонам значений видимого блеска и определение показателей точности оценок для каждого диапазона и всей совокупности измерений положений опорных звезд в целом. Свойства оценок для указанных диапазонов и в целом исследуются без отбраковки значений с отбраковкой по модулю вектора отклонений 5 и 10% измерений. Для каждой группы измерений проводят следующие операции (блоки 3.1–3.4):

3.1. Определение отклонений между измеренными и каталожными значениями оценок экваториальных координат (RA и DE) опорных звезд (1), (2) и значениями оценок (X и Y) координат опорных звезд в прямоугольной СК CCD-кадра (4), (5).

3.2. Определение для полученных отклонений оценки среднего смещения (математического ожидания отклонений) оценок положения опорных звезд по координатам RA и DE (6), (7), а также X и Y опорных звезд (9), (10).

3.3. Определение оценок среднеквадратических отклонений невязок оценок координат по RA и DE (11), (12), X и Y (14), (15).

3.4. Определение оценок коэффициентов асимметрии (16), (17) и эксцесса (18), (19) экваториальных координат опорных звезд.

4. Формирование квантилей отклонений оценок координат RA, DE и блеска опорных звезд.

5. Определение количества отклонений, превысивших критические значения, и процента этих отклонений от общего количества опорных звезд.

6. Построение гистограмм распределения отклонений экваториальных координат опорных звезд от блеска и координат объектов в прямоугольной СК CCD-кадра (рис. 2).

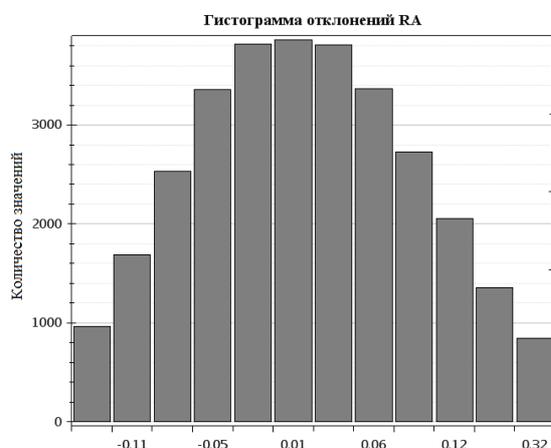


Рис. 2. Пример гистограммы распределения отклонений прямого восхождения измерений опорных звезд

Таблица 1

Основные параметры отклонений положений опорных звезд

Все измерения			
Обработано измерений	30391	28872	27352
Процент отбраковки худших измерений	0%	5%	10%
Среднее отклонений RA, угл. с.	0,00	0,00	0,00
Среднее отклонений DE, угл. с.	0,00	0,00	0,00
Среднее измерений полуширины, угл.с.	3,18	3,18	3,17
Среднее отклонений блеск, зв.вел.	0,03	0,03	0,03
Максимальный модуль отклонения RA, угл. с.	0,32	0,15	0,13
Максимальный модуль отклонения DE, угл. с.	0,33	0,14	0,12
Минимальный модуль отклонения блеска, зв.вел.	0,00	0,00	0,00
Максимальный модуль отклонения блеска, зв.вел.	3,51	0,51	0,36
СКО отклонений по RA, угл. с.	0,08	0,08	0,07
СКО отклонений по DE, угл. с.	0,07	0,07	0,06
СКО отклонений по блеску, зв.вел.	0,38	0,38	0,37
СКО полуширины, угл.с.	0,27	0,26	0,26

7. Построение зависимости отклонений экваториальных координат от положения опорных звезд на кадре, а также построение зависимости отклонений экваториальных координат от оценки блеска объектов (рис. 3, 4).

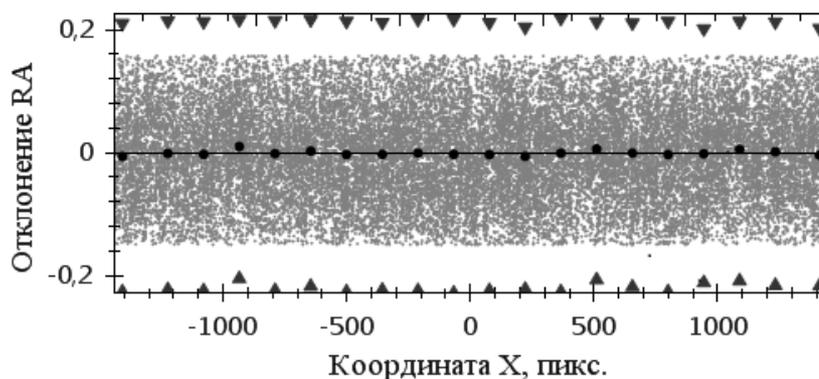


Рис. 3. Зависимость отклонений оценок прямого восхождения от положения опорных звезд на кадре

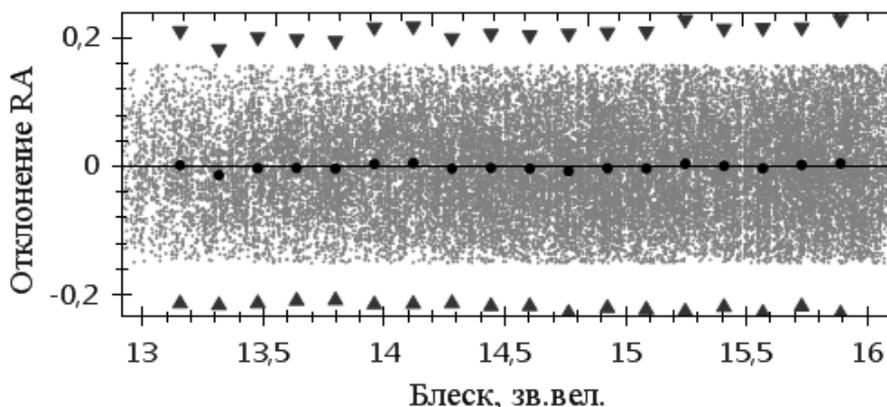


Рис. 4. Зависимость отклонений оценок прямого восхождения от блеска объектов

8. Построение графика эллипса рассеивания отклонений экваториальных координат (RA и DE) опорных звезд по всем измерениям.

9. Составление отчета с результатами исследований точности оценок положения опорных звезд.

Разработанный метод автоматического формирования показателей точности оценок положения опорных звезд CCD-кадров реализован в научно-исследовательском программном инструменте SSOAnSe. В качестве измеренных значений SSOAnSe может принимать серии кадров, обработанных с помощью программ обработки кадров астероидных обзоров, а также различных сервисов.

В настоящее время научно-исследовательский программный инструмент используется для оценки характеристик работы ПО CoLiTec [15].

### Выводы

В статье разработан метод автоматического формирования показателей точности оценок положения опорных звезд CCD-кадров. В качестве источников данных в методе используются CCD-измерения положений опорных звезд, а также астрометрический каталог UCAC 4.0 и фотометрический каталог USNO B1.0. Разработанный метод позволяет проводить анализ расширенного множества показателей точности оценок положения опорных звезд на расширенном множестве анализируемых подвыборок измерений и кадров. В качестве измеренных значений может использоваться серия кадров, обработанная с помощью ПО CoLiTec [15] или других программных продуктов обработки CCD-кадров астероидных обзоров.

Применение разработанного метода автоматического формирования показателей точности оценок положения опорных звезд CCD-кадров позволяет находить зависимости отклонений оценок положений опорных звезд от положения на кадре, а также создавать подвыборки по другим параметрам.

Разработанный метод дает возможность провести анализ таких показателей точности измерений, как оценки среднеквадратического отклонения  $\sigma_\alpha$  (11),  $\sigma_\delta$  (12),  $\sigma_m$  (13) и среднее отклонение  $\bar{\Delta}_\alpha$  (6),  $\bar{\Delta}_\delta$  (7), и  $\bar{\Delta}_m$  (8) между каталожными и измеренными значениями экваториальных координат, а также определить оценки коэффициентов асимметрии (16), (17) и эксцесса (18), (19) экваториальных координат объектов.

Разработанный метод автоматического формирования показателей точности оценок положения опорных звезд CCD-кадров реализован авторами статьи в научно-исследовательском программном инструменте SSOAnSe, который является первым инструментом с подобными функциями.

Научная новизна разработанного метода заключается в расширении множества формируемых и анализируемых на расширенном множестве подвыборок показателей точности измерений.

Практическая полезность работы заключается в создании научно-исследовательского программного инструмента SSOAnSe, реализующего разработанный метод и позволяющего проводить анализ, включая оперативный, расширенного множества показателей точности оценок положений опорных звезд на расширенном множестве анализируемых подвыборок измерений и кадров.

В перспективе предполагается использование разработанного метода и научно-исследовательского программного инструмента SSOAnSe для исследования методов астрометрической редукции при проведении астероидных обзоров.

### Список литературы

1. Ericson, J. (2003) Asteroids, comets, and meteorites. Cosmic Invaders of the Earth. New York: Facton File.
2. Kallenberg, O. Foundations of Modern Probability // [Текст] / Kallenberg O. – Springer – 1997 г. – ISBN 0387949577. – 535 с.
3. JPL/Horizons Execution Control VARLIST Checker // [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/ssd/%20horizons\\_batch\\_example.lon0067](ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/ssd/%20horizons_batch_example.lon0067)
4. Valdes, F. G., Campusano, L. E., Velasquez, J. D., & Stetson, P. B., (1995) FOCAS Automatic Catalog Matching Algorithms, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 107 1119–1128.
5. Barron, J. T., Stumm, C., Hogg, D. W., Lang, D., & Roweis, S., 2008, Cleaning the USNO-B Catalog through automatic detection of optical artifacts // *The Astronomical Journal* 135 414–422.
6. Zacharias, N.; Finch, C. T. et al (2013). The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4) // *The Astronomical Journal*, 145(2), id. 44, 14.
7. Zacharias N. The fourth U.S. Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4) // Norbert Zacharias for the UCAC team, USNO, Washington DC. – July 2012 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [http://ad.usno.navy.mil/ucac/readme\\_u4v5](http://ad.usno.navy.mil/ucac/readme_u4v5)
8. Fedorov P. N., Akhmetov V. S., Bobylev V. V., Gontcharov G. A. (2011) The XPM catalogue as a realization of the ICRS in optical and near-infrared ranges of wavelengths. *MNRAS*, 415, 665
9. Fedorov P.N., Akhmetov V.S., Shulga V.M. (2009) The XPM Catalogue: absolute proper motions of 280 million stars. *MNRAS*, 393, 133.
10. Пизанский университет [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.unipi.it/>
11. Error statistics of asteroid optical astrometric observations [Текст] /Carpino, Mario; Milani, Andrea; Chesley, Steven R. – *Icarus*, Volume 166, Issue 2, p. 248-270. – 2003.
12. Вентцель, Е.С. Теория вероятности и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 480 с.
13. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Под ред. Ю.В.Прохорова. – М.: Большая российская энциклопедия, 2003 – 912 с.
14. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / Кобзарь А. И. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
15. Саваневич, В.Е. Программа CoLiTeс автоматизированного обнаружения небесных тел со слабым блеском / В. Е. Саваневич, А. Б. Брюховецкий, А. М. Ко- жухов и др. // *Космічна наука і технологія*. – 2012. – Т.18. – №1. – С. 39 – 46.

Поступила в редакцию 02.09.2015

## **Метод дослідження показників точності оцінок положення опорних зірок CCD-кадрів**

Запропоновано метод дослідження показників точності оцінок положення опорних зірок на CCD -Кадр. В якості джерел даних використовуються CCD- вимірювання положень опорних зірок, а також астрометричні UCAC 4.0 і фотометричний USNO B1.0 каталоги. Розроблений метод дозволяє проводити аналіз розширеної множини показників точності оцінок положення опорних зірок на розширеному безлічі аналізованих підвибірок вимірювань і кадрів.

**Ключові слова:** CCD-вимірювання, оцінка показників точності.

## **The method of research indicators accuracy of assessments position reference stars CCD-frames**

A method for the study of indicators of accuracy assessments of reference stars on CCD-frames. As data sources are used CCD- measuring positions of reference stars, and astrometric and photometric catalogs UCAC 4.0 and USNO B1.0 . The developed method allows the analysis of expanded set of indicators of accuracy assessments of reference stars on the extended set of analyzed subsamples measurements and frames.

**Keywords:** CCD-measurement, indicators assessment of accuracy