

*Бушин Игорь Николаевич, кандидат фізико-математичних наук, доцент, кафедра інтелектуальних систем прийняття рішень, Черкаський національний університет ім. Богдана Хмельницького, Україна, e-mail: shvaika@yandex.ua.*

*Шмалюк Інна Юрьевна, кафедра інтелектуальних систем прийняття рішень, Черкаський національний університет ім. Богдана Хмельницького, Україна.*

*Бушин Игорь Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра интеллектуальных систем принятия решений, Черкасский национальный университет им. Богдана Хмельницкого, Украина.*

*Shmalyuk Inna, Cherkasy National University named after Bogdan Khmelnytsky, Ukraine, e-mail: inna\_shmalyuk@mail.ua.*

*Bushin Igor, Cherkasy National University named after Bogdan Khmelnytsky, Ukraine, e-mail: shvaika@yandex.ua*

УДК 519.23:004.932

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.40820

**Безкровный М. М.,  
Дашкова А. Н.,  
Соковикова Н. С.,  
Саваневич В. Е.,  
Брюховецкий А. Б.**

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ССD-ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛОЖЕНИЙ И БЛЕСКА ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

*Предложена совокупность методов оценки статистических свойств ССD-измерений Солнечной системы. В качестве источников данных используются обработанные серии ССD-кадров астероидных обзоров, а так же Интернет-сервисы. Разработанные методы позволяют проводить анализ, включая оперативный, расширенного множества показателей точности измерения и качества обнаружения астероидов на расширенном множестве анализируемых подвыборок измерений и кадров.*

**Ключевые слова:** ССD-измерения, MPC, Minor Planet Checker, NASA HORIZONS, оценка показателей точности.

### 1. Введение

Изучение астероидов и комет представляет большой интерес с разных точек зрения, в том числе из-за проблемы астероидно-кометной опасности. Число астероидов, размером не меньше километра на близких к Земле орбитах, по данным сайта «NEO Program» [1], составляет 866 (март 2015 года). Считается, что уже обнаружено около 90 % астероидов размерами более одного километра. При этом выдвигаются достаточно высокие требования к точности таких астрономических наблюдений. Исследование статистических характеристик ССD-измерений объектов (астероиды и кометы) Солнечной системы может быть весьма эффективным для повышения точности наблюдений обсерваторий и модернизации используемого ими программного обеспечения (ПО). Большинство систем сбора статистики возвращает анализ отклонений с накоплением за год или месяц. Это снижает оперативность исследования результатов проведенных модернизаций, как оборудования, так и программного обеспечения.

Актуальным является разработка методов с расширенным множеством формируемых и анализируемых статистических характеристик. А также создание научно-исследовательского программного инструмента, который будет включать разработанные методы, и позволять проводить оперативный, детальный анализ показателей точности измерения и качества обнаружения астероидов на расширенном множестве анализируемых подвыборок измерений и кадров.

### 2. Анализ литературных данных

Для анализа статистических характеристик измерений (оценок положения и блеска небесных объектов) мировым научным сообществом апробированы и чаще всего используются такие научно-исследовательские программные инструменты как ЭПОС [2–5], AstDyS [6–8], Fitsblink [9], а так же статистика Центра малых планет (MPC) [10, 11] отклонений малых планет по каждой обсерватории.

Центр малых планет (Minor Planet Center (MPC), Гарвардский Университет, Смитсоновская астрофизическая обсерватория) предоставляет статистические характеристики отклонений измерений нумерованных [11] и нумерованных [10] астероидов и комет отдельно по каждому году наблюдений каждой обсерватории. Сервис статистических характеристик отклонений измерений MPC предоставляет следующие данные: количество измерений за один год, распределение измерений по диапазонам значений отклонений, средние значение отклонений и оценки среднеквадратического отклонения оценок положения (прямое восхождение и склонение) объектов во второй экваториальной системе координат (СК) [12, 13].

ЭПОС (Эфемеридная Программа для Объектов Солнечной системы) [2, 14] является программным инструментом для астрометрических исследований объектов Солнечной системы. ЭПОС позволяет сравнить измеренные координаты объектов с каталожными, на момент привязки измерения. Прогнозирование положения

объектов, программа производит самостоятельно с использованием БД элементов орбиты астероидов, например, БД MPCOrb [15].

AstDyS — научно-исследовательский программный инструмент [16], предоставляющий данные динамики астероидов, содержащий параметры нумерованных и не-нумерованных астероидов, а так же оценку точности измерений положения и блеска астероидов обсерваториями [6]. AstDyS представляет такие данные по каждой обсерватории (по каждому году работы обсерватории отдельно): год статистического анализа измерений, количество измерений за год анализа, количество отбракованных измерений (по разным критериям), процент отбраковки измерений, оценку среднеквадратического отклонения (СКО) неотбракованных измерений и оценку СКО всех измерений.

AstDyS использует собственную базу данных объектов, которые обновляются с помощью сервисов, предоставляемых MPC [17]. Орбиты объектов вычисляются с помощью ПО OrbFit [18].

Fitsblink — программный инструмент для анализа астрономических изображений, содержит в себе модуль для расчета статистических характеристик измерений астероидов (расчет отклонений экваториальных координат) [9]. Параметры (дата измерения, экваториальные координаты, блеск) объектов берутся из сервиса MPCOrb [15], а их эфемериды вычисляются с помощью ПО OrbFit [18]. Сервис предоставляет распределение значений отклонений положения объектов по диапазонам, среднее значение отклонений по прямому восхождению и склонению, а так же оценки СКО оценок положения объектов в экваториальной СК.

Fitsblink [9] предоставляет информацию в виде графиков и гистограмм. Все остальные научно-исследовательские инструменты предоставляют статистические характеристики измерений только по экваториальным координатам в текстовом виде. После чего полученные данные необходимо обрабатывать сторонними статистическими пакетами, что снижает оперативность предоставления результатов и повышает затраты по анализу статистических характеристик CCD-измерений положения и блеска небесных объектов. Описанные исследовательские программные инструменты не производят анализ зависимости отклонений оценок экваториальных координат от координат объектов в СК CCD-кадра. Таким образом, нельзя определить зависимость статистических свойств ошибок оценок координат и блеска объектов от положения их изображений на CCD-кадре.

### 3. Объект, цель и задачи исследования

*Объектом исследования* в данной статье являются — измерения объектов Солнечной системы (ССО).

Изучение ССО в основном проводится с использованием средств пассивного оптического наблюдения — телескопов с CCD матрицей. Получаемые CCD-кадры обрабатываются программами обработки кадров астероидных обзоров. В результате этого получается совокупность измерений ССО. В процессе проведения наблюдений имеют место погрешности в измерениях исследуемых объектов. Данные погрешности получаются вследствие неблагоприятных погодных условий, сбоев в работе аппаратуры, несовершенства инструментов наблюдений и программных средств обработки CCD-кадров.

*Цель исследования* — анализ расширенного списка статистических свойств оценок положения и блеска ССО, а так же показателей качества их обнаружения.

В качестве измерений объектов используются выходные данные программ по наблюдению и регистрации объектов ССО.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать методы оценки показателей точности и качества обнаружения программ обработки кадров астероидных обзоров. Методы должны предоставлять исследования:

- показателей точности оценок положения и блеска нумерованных астероидов, хранящихся в архиве MPC или содержащихся в измерениях, соответствующих исследуемым кадрам;
- точности оценок положения и блеска нумерованных объектов с изображениями, смазанными собственным движением;
- показателей качества обнаружения ССО.

### 4. Описание источников эталонных данных

Для расчета отклонений измерений необходимо получить эталонные значения координат ССО.

MPC предоставляет архивы по нумерованным и не-нумерованным астероидам, кометам [19]. Архив нумерованных астероидов содержит такие данные: MPC-код обсерватории, номер астероида, дату и время измерения, экваториальные координаты, а так же оценку блеска астероида.

В качестве эталонных значений координат ССО, используются прогнозные значения эфемерид, предоставляемые службами астрономических центров. Наиболее популярными источниками координат ССО являются Minor Planet Center (MPC) [17], Jet Propulsion Laboratory (JPL) [19] и Institut de Mecanique Celeste et de Calcul des Ephemerides (IMCCE) [20].

Лаборатория Реактивного Движения (Jet Propulsion Laboratory, JPL) — научно-исследовательский центр НАСА, предоставляющий сервис NASA HORIZONS, содержащий эфемериды ССО [19].

В результате проведенного исследования, для анализа точности оценки положения астероидов используется сравнение оценок, сформированных программой обработки результатов наблюдений, со значениями, предоставленными сервисом NASA HORIZONS.

Главным достоинством системы HORIZONS является возможность получения эфемерид нумерованных астероидов через e-mail [19]. Данный тип доступа позволяет в одном запросе отправить до 200 измерений объектов.

Количество получаемых писем на запрос зависит от числа запрашиваемых ССО. Каждый ответ содержит данные об эфемеридах по требуемому ССО [19]. Анализ способов получения данных от NASA HORIZONS представлен в табл. 1.

Почтовый способ доступа к NASA HORIZONS позволяет собрать несколько запросов в один пакет, что дает возможность за одно обращение получить более одного ответа. В отличие от Telnet, почтовый метод не создает нагрузки на серверы NASA HORIZONS, обрабатывая запросы постепенно, а так же не требует постоянного соединения. Доступ с помощью e-mail не требует дополнительных затрат на запросы или построение графического интерфейса.

Письмо с запросом отправляется на почтовый адрес horizons@ssd.jpl.nasa.gov [19].

Таблица 1

Анализ способов доступа к системе NASA HORIZONS

Способы доступа к NASA HORIZONS	Web-интерфейс	E-mail	Telnet
Количество получаемых объектов за обращение	1	До 200	1
Обработка запросов	Мгновенная	Пакетная	Мгновенная
Постоянное соединение	Нет	Нет	Да

Табл. 2 показывает сравнения методов доступа и точности координат объектов различных сервисов. Сервисы IMCCE и NASA HORIZONS предоставляют данные с наибольшей точностью. Во всех трех службах недостатком web-интерфейса является получение за единицу времени данных только об одном объекте (табл 2).

Таблица 2

Сравнительная таблица точности значений предоставляемых координат объектов и методов доступа к сервисам

Служба	IMCCE	NASA HORIZONS	MPC
Доступ с помощью web-интерфейса	Да	Да	Да
Доступ с помощью telnet	Нет	Да	Нет
Доступ с помощью e-mail	Нет	Да	Нет
Доступ с помощью скриптов	Нет	Нет	Да
Точность значений координат объектов в угловых секундах (число знаков после запятой)	3	4	1

Исходя из указанных выше сведений и в результате проведенного исследования, для анализа точности оценки местоположения астероидов используется сравнение оценок, сформированных программой обработки результатов наблюдений, со значениями, предоставленными сервисом NASA HORIZONS.

Для получения эталонной оценки количества, положений и блеска астероидов используется сервис Minor Planet Checker [21]. Minor Planet Checker – сервис, предоставляющий координаты и блеск совокупности известных астероидов, расположенных на искомое время в пределах заданного участка небесной сферы.

### 5. Статистические свойства оценок положения и блеска астероидов, содержащихся в измерениях

Статья посвящена исследованиям статистических свойств оценок положения и блеска астероидов, содержащихся в измерениях, полученных на заданной совокупности CCD-кадров или из архива MPC.

Исследовались такие статистические характеристики (показатели точности) измерений объектов: 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 оценка среднего отклонения оценки блеска между каталожным и измеренным значениями  $\bar{\Delta}_m$ . Также определялись оценки коэффициентов асимметрии и эксцесса измерений экваториальных координат объектов.

Отклонения между измерениями и каталожными значениями оценок экваториальных координат (прямого восхождения и склонения) и блеска объектов представляются соответственно выражениям:

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

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

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

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, составляющих 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 объектов в системе координат CCD-кадра (прямоугольная система координат CCD-кадра с центром в левом верхнем углу CCD-кадра) вычисляются согласно формулам:

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

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

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, составляющих в  $i$ -ю отождествленную пару.

Оценка среднего отклонения (математического ожидания отклонений) оценок экваториальных координат и блеска объектов определялось согласно выражениям [22]:

$$\hat{\Delta}_\alpha = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{\alpha i} / N_{meas}; \tag{6}$$

$$\hat{\Delta}_\delta = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{\delta i} / N_{meas}; \tag{7}$$

$$\hat{\Delta}_m = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{mi} / N_{meas}, \tag{8}$$

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

Оценка среднего отклонения (математического ожидания отклонений) оценок положения объекта по координатам  $X$  и  $Y$  объектов определялось по следующим формулам [22]:

$$\hat{\Delta}_X = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{Xi} / N_{meas}; \tag{9}$$

$$\hat{\Delta}_Y = \sum_{i=1}^{N_{meas}} \Delta_{Yi} / N_{meas}. \tag{10}$$

Оценка среднеквадратичного отклонения отклонений оценок координат по прямому восхождению и склонению, а также блеску объектов вычислялось следующим образом [22]:

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

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

$$\hat{\sigma}_m = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{\text{meas}}} (\Delta_{m i} - \hat{\Delta}_m)^2 / (N_{\text{meas}} - 1)}. \quad (13)$$

Оценка среднеквадратичного отклонения отклонений оценок координат X и Y объектов вычислялось аналогично [22]:

$$\hat{\sigma}_X = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{\text{meas}}} (\Delta_{X i} - \hat{\Delta}_X)^2 / (N_{\text{meas}} - 1)}; \quad (14)$$

$$\hat{\sigma}_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{\text{meas}}} (\Delta_{Y i} - \hat{\Delta}_Y)^2 / (N_{\text{meas}} - 1)}. \quad (15)$$

При исследовании статистических свойств оценок положения объектов рассчитывались оценки коэффициентов асимметрии  $\hat{\gamma}_1$  экваториальных координат объектов [23]:

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

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

Выражения для оценок коэффициентов эксцесса  $\hat{\gamma}_2$  [24] по прямому восхождению и склонению оценок координат объектов имеют вид:

$$\hat{\gamma}_{\alpha 2} = \frac{N_{\text{meas}}^2 - 1}{(N_{\text{meas}} - 2)(N_{\text{meas}} - 3)} \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{meas}}} (\Delta_{\alpha i} - \hat{\Delta}_\alpha)^4}{\left( \sum_{i=1}^{N_{\text{meas}}} (\Delta_{\alpha i} - \hat{\Delta}_\alpha)^2 \right)^2} - 3 + \frac{6}{N_{\text{meas}} + 1} \right]; \quad (18)$$

$$\hat{\gamma}_{\delta 2} = \frac{N_{\text{meas}}^2 - 1}{(N_{\text{meas}} - 2)(N_{\text{meas}} - 3)} \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{meas}}} (\Delta_{\delta i} - \hat{\Delta}_\delta)^4}{\left( \sum_{i=1}^{N_{\text{meas}}} (\Delta_{\delta i} - \hat{\Delta}_\delta)^2 \right)^2} - 3 + \frac{6}{N_{\text{meas}} + 1} \right]. \quad (19)$$

Среднеквадратическое отклонение оценки коэффициентов асимметрии и эксцесса оценок экваториальных координат объектов вычислялись согласно выражениям [24]:

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

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

В статье также исследовались 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 объектов, а также угол между главной осью эллипса рассеивания и осью абсцисс.

Оценка ковариации отклонений оценок экваториальных координат объекта вычислялась следующим образом [22]:

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

Оценка коэффициента корреляции отклонений оценок экваториальных координат объекта определялась следующим образом [22]:

$$\hat{r}_{\alpha\delta} = \hat{K}_{\alpha\delta} / \sqrt{\hat{\sigma}_\alpha \hat{\sigma}_\delta}. \quad (23)$$

Угол между главной осью эллипса рассеивания и осью абсцисс экваториальной СК, определяется выражением [22]:

$$\text{tg } 2\hat{\psi} = 2\hat{r}_{\alpha\delta} \hat{\sigma}_\alpha \hat{\sigma}_\delta / (\hat{\sigma}_\alpha^2 - \hat{\sigma}_\delta^2). \quad (24)$$

Главные дисперсии отклонений оценок координат по прямому восхождению и склонению объекта [22] определялись следующим образом:

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

**5.1. Используемые частные методики вычислений.**

**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 производиться по таким параметрам: расстояние центра изображения объектов от центра кадра, скорость видимого движения объектов, значения блеска и наличие близких объектов, соответствующее пересечению их изображений.

В случае включения измерений в исследуемую подвыборку по значению скорости видимого движения объектов, указывается диапазон от минимальной до максимальной скорости. Из всех измерений выбираются только соответствующие заданному диапазону.

Ближние объекты обычно имеют существенно худшие оценки своих параметров. Это связано с тем, что изображения объектов в компактной группе пересекаются и, в этом смысле, объекты являются статистически зависимыми друг от друга. Поэтому часто имеет смысл рассматривать статистические характеристики отклонений таких объектов отдельно. В подвыборку близких объектов включаются астероиды (соответствующие измерения), в заданной окрестности которых расположены другие объекты (астероиды или звезды):

$$\sqrt{(X_{obj} - X_j)^2 + (Y_{obj} - Y_j)^2} < 3(\sigma_{obj} + \sigma_j), \tag{26}$$

где  $\sigma_{obj}$  — параметр формы изображения анализируемого астероида;  $\sigma_j$  — параметр формы изображения  $j$ -го объекта, находящегося в окрестности исследуемого астероида;  $X_{obj}$ ,  $Y_{obj}$  — координаты изображения анализируемого астероида;  $X_j$ ,  $Y_j$  — координаты  $j$ -го измерения объекта в окрестностях анализируемого астероида.

**Определение скорости астероидов.** Процесс определения угловой скорости объекта можно разделить на операцию определения центрального угла между двумя положениями объекта на небесной сфере в близкие моменты времени и операцию определения разницы времени между прохождением объекта этих положений.

Положение  $i$ -го объекта в любой момент времени задается экваториальными координатами  $\alpha_{it}$ ,  $\delta_{it}$ . Декартовы координаты  $x_{it}$ ,  $y_{it}$ ,  $z_{it}$  точки (начало системы координат находится в центре небесной сферы) с экваториальными координатами  $\alpha_{it}$ ,  $\delta_{it}$  на сфере единичного радиуса определяются выражением (27):

$$X_{it} = \begin{pmatrix} x_{it} \\ y_{it} \\ z_{it} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \alpha_{it} \cos \delta_{it} \\ \cos \alpha_{it} \cos \delta_{it} \\ \sin \delta_{it} \end{pmatrix}. \tag{27}$$

Угол между положениями объекта  $X_{i1}$  и  $X_{i2}$  в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , соответственно, определяется выражением (28):

$$\cos(X_{i1}, X_{i2}) = \frac{x_{i1}x_{i2} + y_{i1}y_{i2} + z_{i1}z_{i2}}{\sqrt{x_{i1}^2 + y_{i1}^2 + z_{i1}^2} \sqrt{x_{i2}^2 + y_{i2}^2 + z_{i2}^2}}. \tag{28}$$

Так как исследуемые точки лежат на сфере единичного радиуса, то знаменатель выражения (28) равен 1 по определению. Тем самым значение искомого центрального угла (угла с вершиной в центре небесной сферы) между двумя положениями объекта, в близкие моменты времени, определяется выражением:

$$\Delta_{i2} = \arccos(x_{i1}x_{i2} + y_{i1}y_{i2} + z_{i1}z_{i2}). \tag{29}$$

Способ определения разницы времени, между прохождением объектом этих положений, очевиден и трудностей не вызывает.

**Пересчет каталожных значений блеска объектов.** Сервисы NASA HORIZONS, MPC возвращают значение блеска известных ССО в фильтре V (визуальный блеск). С другой стороны, камеры, обычно используемые в астероидных обзорах, измеряют фотографический блеск звезды (нефильтрованный блеск). При этом значение оценок блеска одного объекта на основе кадров, сформированных различными CCD-камерами, может отличаться. Данное отличие связано разной светочувствительностью CCD-матриц и возможностью их оснащения различными фильтрами.

Для пересчета значений блеска объектов, полученных в результате наблюдений, в значения, предоставляемые сервисом NASA HORIZONS, используются измерения астероидов, координаты которых находятся от центра кадра не далее наперед заданной константы вычислительного метода. Данная константа определяется экспериментально (в ПО CoLiТес составляет 0,16 меньшей стороны кадра). Предварительные исследования показали, что для адекватного пересчета достаточно использование одной из двух моделей:

$$m_{NF_i} = m_{F_i} + a_{01}, \tag{30}$$

$$m_{NF_i} = a_1 \cdot m_{F_i} + a_{02}, \tag{31}$$

где  $m_{NF_i}$  — значение нефильтрованного блеска  $i$ -го астероида, получаемого из значений фильтрованного блеска ( $m_{F_i}$ ) в соответствии с первой или второй моделями пересчета;  $m_{F_i}$  — значение (получено по запросу от сервиса NASA HORIZONS) (эталонное значение блеска объекта) блеска  $i$ -го астероида, в фильтре V (визуальный блеск);  $a_{01}$ ,  $a_1$ ,  $a_{02}$  — коэффициенты модели, подлежащие МНК-оценке.

**6. Методы оценки показателей точности и качества обнаружения программ обработки кадров астероидных обзоров**

**6.1. Метод исследования показателей точности оценок положения и блеска нумерованных астероидов, хранящихся в архиве MPC или содержащихся в измерениях, соответствующих исследуемым кадрам.** С учетом описанных выше особенностей, метод исследований представляет собой следующую последовательность действий.

1. Для подготовки исходных данных производятся следующие действия.

1.1. Для выполнения исследования точности оценок положения и блеска нумерованных астероидов на совокупности исследуемых кадров производятся действия пунктов 1.1.1–1.1.2 (рис. 1).

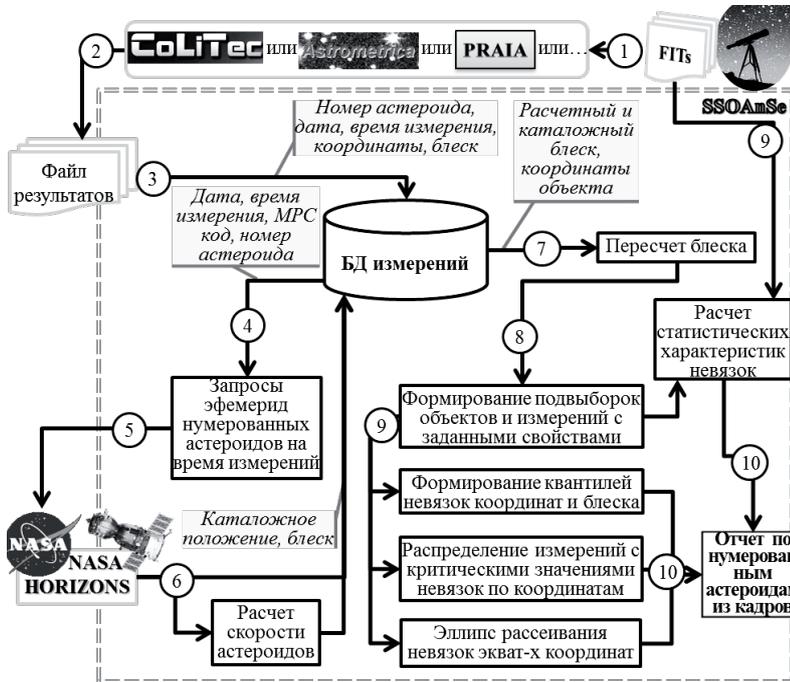


Рис. 1. Поток данных при исследовании точности оценок положения и блеска нумерованных астероидов на совокупности исследуемых кадров

1.1.1. Выбор из совокупности сформированных измерений (при использовании ПО CoLiTec данные извлекаются из файла Exit\_CLT.kam) параметров отождествленных нумерованных астероидов. К ним относятся: номер астероида, дата и время измерения, оценка экваториальных координат (RA и DE) объекта, значение оценки блеска объекта, а так же оценка координат объекта в прямоугольной СК CCD-кадра.

1.1.2. Создание, согласно инструкции [26], запросов к сервису NASA HORIZONS об эфемеридах заданных нумерованных астероидов на указанные моменты времени. Запросы содержат номера астероидов, дату и время измерений, а так же MPC-код обсерватории. В запросах нумерованные астероиды группируются по времени. Эти группы помещаются в письма (в одном письме можно отправлять не больше 200 значений). Для определения скорости астероида запрашиваются эфемериды с шагом 10 минут (2 значения координат). Запросы отсылаются автоматически по электронной почте.

1.2. Для проведения исследования точности оценок положения и блеска нумерованных астероидов, содержащихся в измерениях заданного временного интервала, хранимых в архиве MPC, выполняются действия, описанные в пунктах 1.2.1–1.2.5 (рис. 2).

1.2.1. Выборка всех значений измерений по заданной обсерватории на заданный вре-

менной интервал из архива MPC и заполнение таких позиций внутренней базы данных как: номер астероида, дата и время измерения, значения прямого восхождения и склонения объекта, значение блеска объекта, MPC код обсерватории (при использовании ПО CoLiTec заполняется таблица «base\_mps» БД «CLTIDB»).

1.2.2. Создание запросов к сервису NASA HORIZONS по выбранным датам, которые содержат номера астероидов, дату и время измерений, а так же MPC код обсерватории (аналогично пункту 1.1.2).

1.2.3. С целью предотвращения дублирования запросов к сервису, полученные ответы сохраняются во внутренней БД.

1.2.4. Получение постоянных пластинок кадров, соответствующих измерениям из архива MPC. Для этого производится сопоставление даты и времени измерений с датой и временем сформированных кадров. Последние содержатся в соответствующей базе данных CCD\_кадров обсерватории (при использовании ПО CoLiTec постоянные пластинок хранятся в таблице «fits» БД «CLTEDB»). В дальнейшем постоянные пластинок извлекаются из соответствующей записи данной БД.

1.2.5. Пересчет оценок экваториальных координат объекта в прямоугольную СК CCD-кадра с помощью постоянных пластинок кадра.

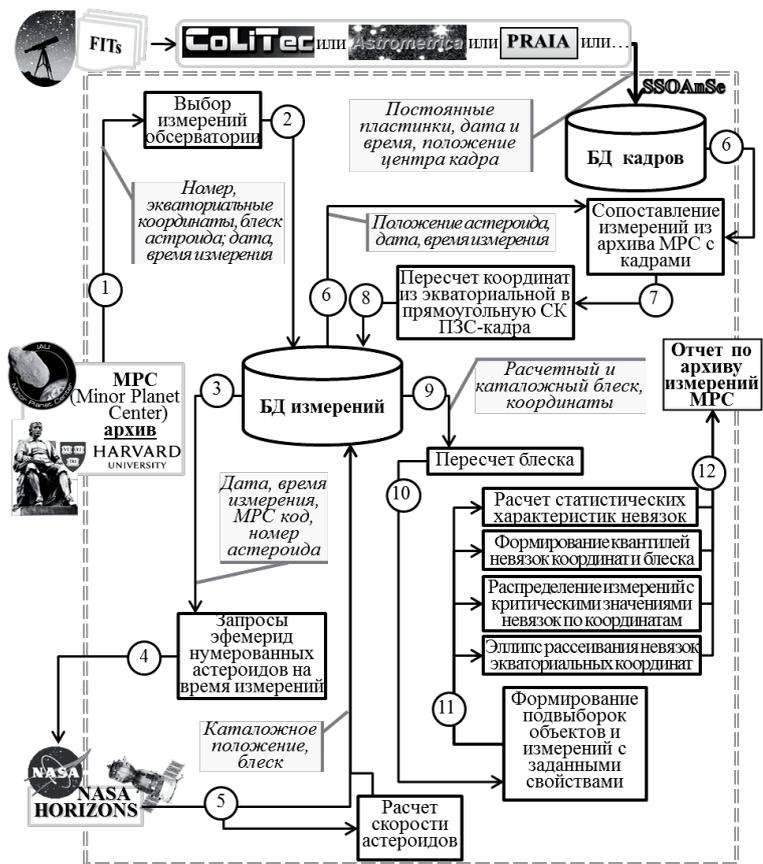


Рис. 2. Поток данных при исследовании точности оценок положения и блеска нумерованных астероидов, содержащихся в архиве MPC

2. Пересчет согласно формул (30), (31) значений блеска астероидов в фильтре V (визуальный блеск), полученных по запросу от сервиса NASA HORIZONS, в нефильтрованный блеск.

3. Определение значений скорости астероидов классическим методом с помощью координат, полученных от сервиса NASA HORIZONS в п. 1.1.2, 1.2.2.

4. Построение гистограмм распределения объектов по блеску, положению и скорости (рис. 3).

5. Группирование измерений по диапазонам каталожных значений видимого блеска и определение статических свойств оценок для каждого диапазона и всей совокупности измерений в целом (табл. 3).

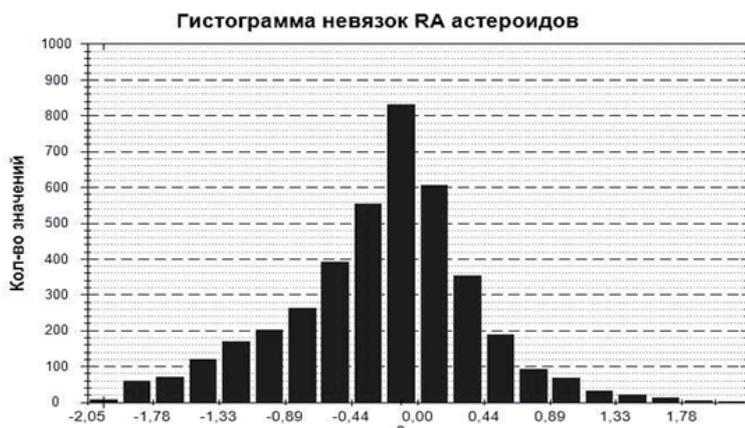


Рис. 3. Пример гистограммы распределения отклонений прямого восхождения измерений астероидов

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 производятся следующие операции (блоки 5.1–5.4).

Таблица 3

Основные параметры отклонений измерений по нумерованным астероидам

Все измерения			
Обработано измерений	247	235	223
Процент отбраковки худших измерений, по модулю вектора отклонений	0 %	5 %	10 %
Среднее отклонений RA, угл. сек.	-0,06	-0,09	-0,08
Среднее отклонений DE, угл. сек.	0,08	0,06	0,04
Среднее отклонений блеск, зв. вел.	-0,13	-0,09	-0,07
Мин. модуль отклонения RA, угл. сек.	0,00	0,00	0,00
Макс. модуль отклонения RA, угл. сек.	2,37	1,28	0,98
Мин. модуль отклонения DE, угл. сек.	0,00	0,00	0,00
Макс. модуль отклонения DE, угл. сек.	3,31	1,17	0,92
Мин. модуль отклонения блеска, зв. вел.	0,00	0,00	0,00

Окончание табл. 3

Все измерения			
Макс. модуль отклонения блеска, зв.вел.	1,13	0,71	0,60
СКО откл. по RA, угл. сек.	0,58	0,43	0,36
СКО откл. по DE, угл. сек.	0,55	0,38	0,31
СКО откл. по блеску, зв.вел.	0,33	0,28	0,25
Асимметрия откл. по RA	0,92	1,07	4,89
Асимметрия откл. по DE	-0,29	-0,28	-0,21
Экссесс откл. по RA	4,68	5,07	4,89
Экссесс откл. по DE	9,35	9,56	9,42

5.1. Определение отклонений между измеренными и каталожными значениями оценок экваториальных координат (RA и DE) объектов (1), (2), оценок (X и Y) координат объектов в прямоугольной системе координат CCD-кадра (4), (5), а так же оценок блеска объектов (3).

5.2. Вычисление оценок среднего отклонения (математического ожидания отклонений) оценок положения объектов по координатам RA и DE (6), (7), X и Y объектов (9), (10), а так же блеска (8).

5.3. Определение оценок среднеквадратического отклонения отклонений оценок координат RA и DE (11), (12), X и Y (14), (15), а также блеску объекта (13).

5.4. Вычисление оценок коэффициентов асимметрии (16), (17) и эксцесса (18), (19) экваториальных координат объектов.

6. Построение зависимости отклонений координат от оценки блеска объектов (рис. 4, 5).

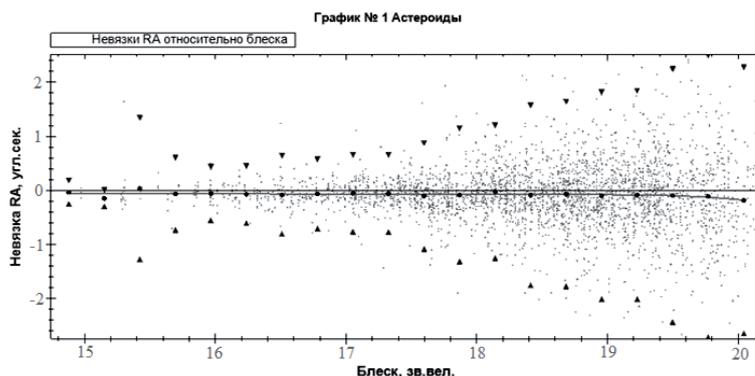


Рис. 4. Зависимость отклонений по прямому восхождению от оценки блеска (HORIZONT)

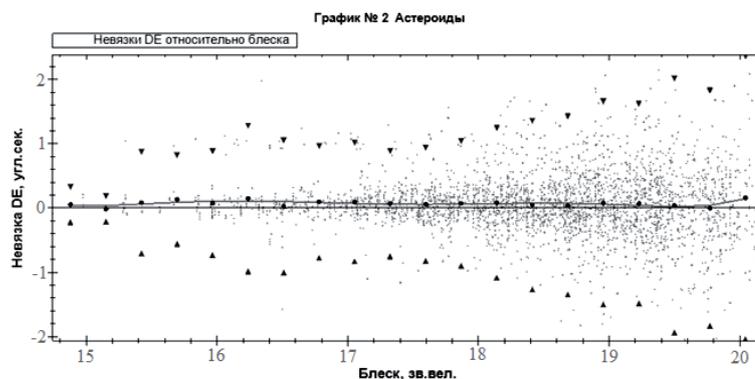


Рис. 5. Зависимость отклонений по склонению от оценки блеска (HORIZONT)

7. Формирование квантилей отклонений оценок экваториальных координат (RA, DE) и блеска объектов.

8. Определение количества отклонений превысивших критические значения и процент этих отклонений от общего количества объектов (табл. 4).

Таблица 4

Пример распределения измерений с критическими значениями отклонений по RA

Отклонение по:	Общее количество	Отклонения <1"	Отклонения <2"	Отклонения <3"	Отклонения <4"	Отклонения >=4"
% RA	100	85,7	10,0	4,0	0,3	0,0
Количество измерений	321	275	32	13	1	0

9. Построение графика эллипса рассеивания отклонений экваториальных координат астероидов по всем измерениям (рис. 6).

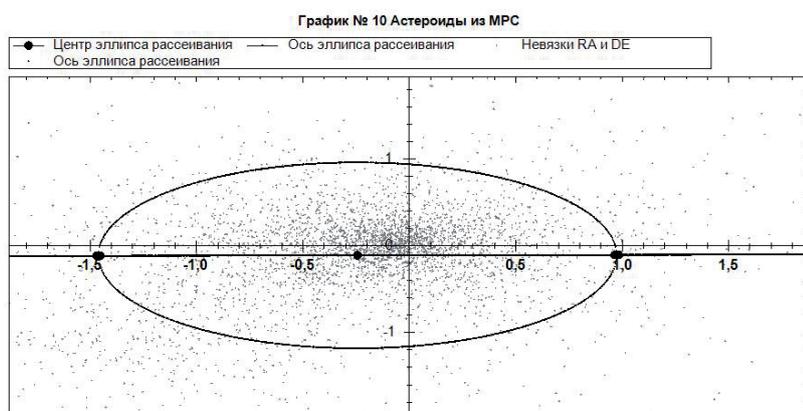


Рис. 6. Пример графика эллипса рассеивания отклонений экваториальных координат астероидов

10. Составление отчета с результатами исследований точности оценок положения и блеска нумерованных астероидов.

**6.2. Особенности метода исследования точности оценок положения и блеска астероидов с изображениями, смазанными собственным движением.** При исследовании объектов с изображениями, смазанными собственным движением, дополнительными параметрами оценивания являются: скорости  $j$ -го объекта  $V_{xijt}$ ,  $V_{yijt}$ ; угол наклона  $\omega_j$  между траекторией видимого движения  $j$ -го объекта и осью абсцисс. Для исследования измерений указанных объектов следует использовать подвыборку измерений по значению скорости видимого движения объектов. Процесс определения угловой скорости объекта описан выше (формулы (27–29)). Для определения угловой длины пути (в пикселях), пройденного  $j$ -м объектом за время экспозиции (также является длиной изображения  $j$ -го объекта) необходимо знать координаты положения этого объекта на время начала и конца экспозиции.

Исследование статистических свойств измерений астероидов с изображениями, смазанными собственным движением, проходит аналогично описанному выше методу исследования нумерованных астероидов. Отличием от указанного метода является количество обращений к сервису HORIZONT. Таким образом, в пункте 1.1.2

для определения скорости астероида эфемериды будут запрашиваться дважды: в начале, и в конце экспозиции (2 значения координат).

**6.3. Метод исследований показателей качества обнаружения ССО.** Обнаружение небесного объекта является процессом и результатом принятия решения о наличии объекта в заданной области небесной сферы. С одной стороны, он характеризуется показателями качества принятия данного решения. С другой стороны, — показателями точности оценок положения и блеска обнаруженного объекта. Обнаружение есть бинарное решение (есть объект — нет объекта). Показателями качества обнаружения принято считать условную вероятность ошибок первого (условная вероятность ложной тревоги, УВЛТ) и второго (пропуск объекта) рода. В работе вместо последней вероятности будет использоваться условная вероятность правильного обнаружения (УВПО), дополняющая до единицы условную вероятность ошибки второго рода.

Так как обнаружение производится на серии кадров, то УВПО и УВЛТ являются характеристиками показателей качества обнаружения на серии кадров, а не на кадре.

Обычно строится зависимость УВПО от отношения сигнал/шум (ОСШ) при заданной УВЛТ. Данная зависимость называется рабочей характеристикой метода/процедуры обнаружения. Указанную зависимость построить не всегда возможно. Чаще можно построить только зависимость УВПО от видимого блеска объекта для заданного телескопа, заданного диапазона условий его работы (степень ветра, проникающая). Целесообразно иметь возможность исследовать рабочие характеристики обнаружения для разных участков кадров (например, в центре и на краях кадра).

По анализу результатов наблюдений возможно найти оценки УВПО и УВЛТ.

Таковыми являются частоты соответствующих событий. Оценкой УВПО является частота обнаружения известных объектов (отношение количества обнаружений к числу объектов на исследуемой совокупности кадров). Оценкой УВЛТ является частота появления непривязанных (неотождествленных ни с одним из известных) объектов на исследуемой совокупности кадров. Целесообразно проводить оценки УВПО и УВЛТ через несколько недель после формирования кадров. Этого запаса времени будет достаточно, чтобы данные о наблюдениях объектов исследуемого участка небесной сферы различными обсерваториями попали в MPC, были обработаны и в последующем отражены в БД MPC, используемой для исследования в данной статье.

Обнаружение небесных объектов производится на фоне звездного неба, плотно заселенного звездами. В этой связи показатели качества обнаружения астероидов на серии ССД-кадров зависят не только от ОСШ, но и от близости астероидов от звезд. Часты случаи, когда изображения астероидов практически сливаются с изображениями «соседних» звезд. Такие случаи называются покрытиями астероидами звезд и достаточно плодотворно исследуются астрофизиками. Однако для данных астрофизических исследований необходимо предварительно знать о самом факте такого события.

В обзорных наблюдениях найти астероид, полностью покрывший звезду не возможно. При наличии частичного покрытия (пересечения изображений астероида и звезды) обнаружение астероида возможно, однако его показатели качества будут ниже показателей качества обнаружения «одиночного астероида». Таким образом, необходимо провести исследования зависимости показателей качества обнаружения астероидов от их расстояния до ближайших звезд. Для чего нужно использовать данные астрометрических и фотометрических каталогов.

Для получения эталонной оценки количества, положений и блеска астероидов используется сервис Minor Planet Checker [21]. Minor Planet Checker – сервис определения параметров (координаты, блеск) совокупности известных астероидов, расположенных на искомое время в пределах заданного участка небесной сферы. Для получения данных в запросе задаются экваториальные координаты центра наблюдаемого участка неба, радиус поиска объектов и время наблюдения. Ответ сервиса содержит все известные объекты, находящиеся в данной области на заданный момент времени.

Аналогичная оценка количества, положений и блеска астероидов соответствующего участка небесной сферы, полученная в результате обработки серии кадров (например, с помощью ПО CoLiTec [27, 28]) содержится в совокупности сформированных измерений (при использовании ПО CoLiTec – в файле Exit\_CLT.kam).

Метод исследований показателей качества автоматизированного обнаружения программой обработки кадров астероидных обзоров включает следующую совокупность действий (рис. 7).

#### 1. Подготовка исходных данных.

1.1. Выбор совокупности измерений, сформированных на исследуемом ряде кадров (при использовании ПО CoLiTec данные извлекаются из файла Exit\_CLT.kam). В качестве параметров измерений используются: номер объекта, значение блеска, время и дата измерения. Другие параметры измерений при исследовании показателей качества обнаружения объектов не используются.

1.2. Использование параметров соответствующих кадров (при использовании ПО CoLiTec из БД «CLTEDB»). К таким параметрам относятся: прямое восхождение и склонение центра кадра, размеры кадра, время экспозиции, проникающая телескопа, определяемая как значение блеска самого тусклого объекта, обнаруженного при наблюдениях.

2. Формирование и отправка запросов в Minor Planet Checker для получения параметров известных ССО. В запросах указываются координаты центров и размеры наблюдаемых участков неба, дата и время наблюдений.

3. Полученные данные от сервиса Minor Planet Checker идентифицируются с совокупностью сформированных измерений по номеру объекта, дате и времени измерения.

4. Из множества объектов, которые, согласно Minor Planet Checker, находятся в исследуемой области небес-

ной сферы исключаются те, которые не присутствуют на всей серии кадров, а так же те, у которых значение блеска превышает предельный.

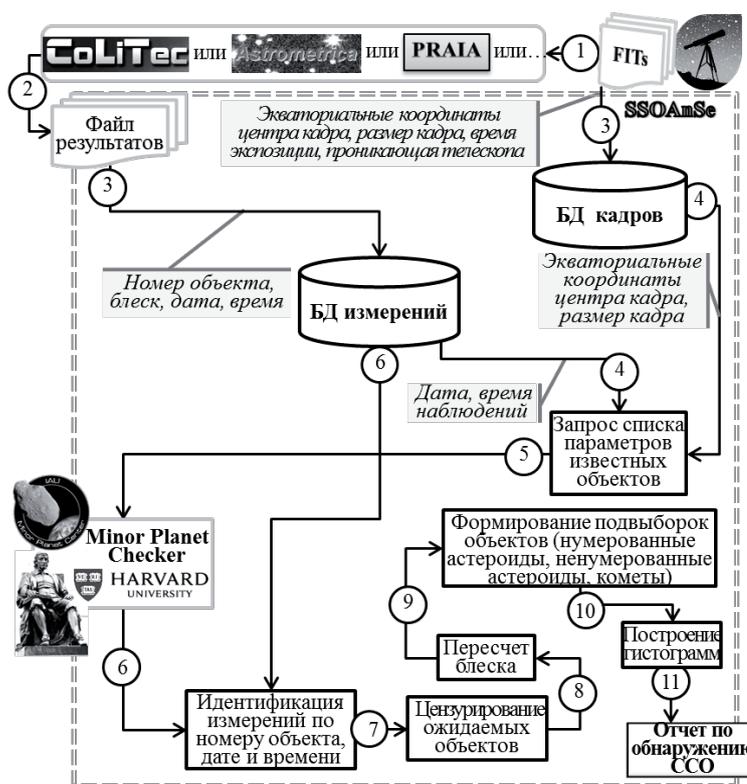


Рис. 7. Поток данных при исследовании показателей качества обнаружения ССО

5. Пересчет значений блеска астероидов, полученного от сервиса Minor Planet Checker, в визуальный блеск) в нефильтрированный блеск согласно по формулам (30), (31).

6. Совокупность объектов разбивается на группы: нумерованные астероиды, нумерованные астероиды, кометы.

7. Построение для каждого класса объектов (нумерованных, нумерованных, непривязанных) гистограмм распределения с группированием измерений по диапазонам значений видимого блеска обнаруженных объектов. Для каждой группы каждого класса объектов определяется частота (оценка вероятности) обнаружения объектов на исследуемой серии кадров (табл. 5).

8. Составление отчета с результатами исследований показателей качества обнаружения ССО.

Разработанные выше методы оценки показателей точности и качества обнаружения программ обработки кадров астероидных обзоров реализованы в научно-исследовательском программном инструменте SSOAnSe. В качестве измеренных значений SSOAnSe может принимать серии кадров, обработанных с помощью программ обработки кадров астероидных обзоров, а так же различных сервисов (рис. 8).

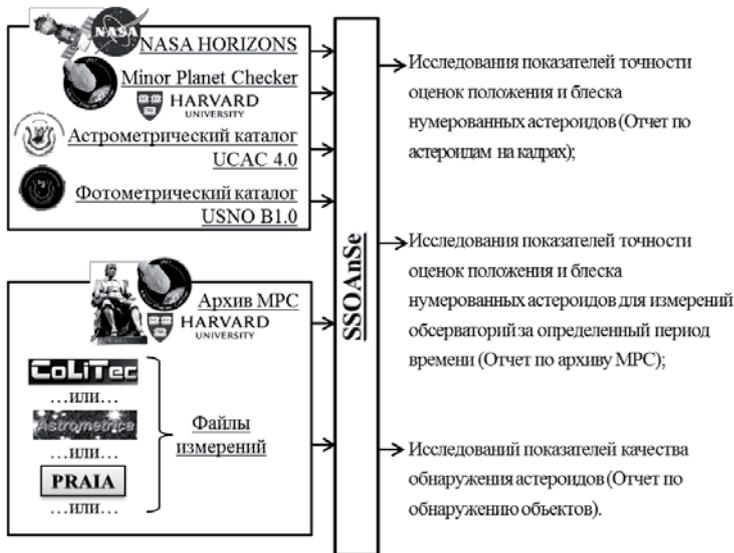
В настоящее время научно-исследовательский программный инструмент используется для оценки характеристик работы ПО CoLiTec [27].

Таблица 5

Пример гистограммы распределения по блеску нумерованных астероидов

[Интервал блеска]:	Данные от MPC. Кол-во измерений (объектов)	% измерений от общего кол-ва	Кол-во измерений в интервале (объектов)	% измерений от общего кол-ва	Частота обнаружения	Номер обнаруженного астероида
[13,7 .. 13,7]	4 (1)	3,3	4(1)	7,8	1,0	—
[16,3 .. 17,0]	4 (1)	3,4	4(1)	7,9	1,0	—
[17,0 .. 17,7]	12 (3)	10,0	8(2)	15,7	0,7	23306
[17,7 .. 18,3]	4 (1)	3,3	4(1)	7,8	1,0	—
[18,3 .. 19,0]	12 (3)	10,0	3(1)	5,9	0,3	E4492 B5224
[19,0 .. 19,6]	32 (8)	26,7	21(6)	41,2	0,7	f0052 B2672
[19,6 .. 20,3]	52 (13)	43,3	7(2)	13,7	0,1	X0797 W4569 F9826 V1194 P5656 a5595 D1311 W5732 A7263 L8768 J8734
Итого:	120 (30)	100,0	51 (14)	100,0	0,4	

Эталонные значения



Измеренные значения

Рис. 8. Использование различных источников эталонных и измеренных значений параметров объектов

7. Выводы

Разработаны методы оценки показателей точности измерения и качества обнаружения программ обработки кадров астероидных обзоров:

1) метод исследования точности оценок положения и блеска нумерованных астероидов, хранящихся в архиве MPC или содержащихся в измерениях, соответствующих исследуемым кадрам;

2) метод исследования точности оценок положения и блеска объектов с изображениями, смазанными собственным движением;

3) метод исследования показателей качества обнаружения объектов Солнечной системы.

В качестве измеренных значений может использоваться серия кадров, обработанная с помощью ПО CoLiTec [27] или других программных продуктов обработки CCD-кадров астероидных обзоров. Разработанные методы так же позволяют исследовать измерения архива MPC [29], и обеспечивают возможность анализа показателей точности измерения и качества обнаружения объектов Солнечной системы обсерваторий за любой период времени.

В качестве эталонных значений положения и блеска астероидов, используются данные от сервиса NASA HORIZONS [19], предоставляющего каталожные эфемериды объектов Солнечной системы. Оценка показателей качества обнаружения астероидов на кадре проводится с помощью сервиса MPCchecker [21, 29]. За счет использования БД, содержащей информацию об исследуемых кадрах (данные берутся из заголовков кадров), использование разработанных методов дает возможность находить зависимости отклонений от положения на кадре, а также создавать подвыборки по другим параметрам.

Разработанные методы позволяют провести анализ таких статистических характеристик измерений как: оценки среднеквадратического отклонения (СКО)  $\sigma_\alpha$  (11),  $\sigma_\delta$  (12),  $\sigma_m$  (13) и среднее отклонение оценок экваториальных координат между каталожными и измеренными значениями  $\Delta_\alpha$  (6),  $\Delta_\delta$  (7), и  $\Delta_m$  (8). Также определить оценки коэффициентов асимметрии (16), (17) и эксцесса (18), (19) экваториальных координат объектов.

Создание подвыборок измерений (по блеску, скорости, положению на кадре, отношению сигнал/шум (ОСШ)) дает возможность проводить углубленный анализ отклонений и выявлять закономерности не различаемые на общей выборке. Например, при повышении показателей качества обнаружения увеличивается количество измерений астероидов с малым ОСШ. Это приводит к формальному ухудшению общих показателей точности оценок координат астероидов и ложным выводам исследователя. Разделение измерений по диапазонам ОСШ увеличивает различимость исследуемых гипотез и позволяет решить, в частности, и эту проблему.

Оперативный (изменение анализируемых показателей за одну ночь или на заданной совокупности кадров) анализ показателей точности измерения и качества обнаружения астероидов позволяет определить результаты проведенной модернизации обсерваторий как по части оборудования, так и по части программного обеспечения, а также оценить наиболее перспективные направления предстоящей модернизации. Обеспечение оперативности проводимого анализа также позволяет наблюдателям оптимизировать настройки используемого в наблюдениях оборудования и программного обеспечения.

На сегодняшний день не существует специализированных автоматических сервисов и программ оперативного формирования и анализа указанных свойств оценок положения и блеска объектов Солнечной системы (ССО). Разработанные методы в рамках проводимых исследований реализованы авторами статьи в научно-исследовательском программном инструменте SSOAnSe, который является первым инструментом с подобными функциями.

Научная новизна разработанных методов заключается в расширении множества формируемых и анализируемых статистических характеристик. Это обеспечивается использованием и анализом дополнительных внешних источников данных и информации, полученной об используемых кадрах.

Практическая новизна работы заключается в создании научно-исследовательского программного инструмента SSOAnSe, реализующем разработанные методы и позволяющим проводить анализ, включая оперативный, расширенного множества показателей точности измерения и качества обнаружения астероидов на расширенном множестве анализируемых подвыборок измерений и кадров.

В настоящее время научно-исследовательский программный инструмент SSOAnSe используется для оценки характеристик работы ПО CoLiTec [27]. В перспективе предполагается расширение множества статистических характеристик и разработка метода исследования точности оценок положения опорных звезд.

#### Литература

1. Chamberlin, A. NEO Discovery Statistics [Electronic resource] / Alan Chamberlin // NASA. — Available at: \www/URL: http://neo.jpl.nasa.gov/stats/
2. Львов, В. Н. Пакет программ ЭПОС [Электронный ресурс] / В. Н. Львов, С. Д. Цекмейстер // Пулковская страница ОСЗ. — Режим доступа: \www/URL: http://www.gao.spb.ru/personal/neo/rus/esupp/main.htm
3. Bykov, O. P. An accuracy estimation of the World CCD asteroid observations in the years 1999–2005 [Text] / O. P. Bykov, V. N. Lvov, I. S. Izmailov, G. R. Kastel // Planetary and Space Science. — 2008. — Vol. 56, № 14. — P. 1847–1850. doi:10.1016/j.pss.2008.02.032
4. Lvov, V. N. EPOS — the program package for the Solar system objects research [Text] / V. N. Lvov, R. I. Smekhacheva, S. D. Tsekmejster // Proceedings of the Conference Near Earth Astronomy in XXI Century. — 2001. — P. 235–240.
5. Izmailov, I. S. Pulkovo Method for an Accuracy Estimation [Electronic resource] / I. S. Izmailov, O. P. Bykov, G. R. Kastel // Accuracy of World positional CCD observations of the minor planets. — Available at: \www/URL: http://accuracy.puldb.ru/METHOD.HTM
6. AstDyS [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://hamilton.dm.unipi.it/astdys/index.php?pc=0. — 15.10.2015.
7. Carpino, M. Error statistics of asteroid optical astrometric observations [Text] / M. Carpino, A. Milani, S. R. Chesley // Icarus. — 2003. — Vol. 166, № 2. — P. 248–270. doi:10.1016/s0019-1035(03)00051-4
8. Chesley, S. R. Treatment of star catalog biases in asteroid astrometric observations [Text] / S. R. Chesley, J. Baer, D. G. Monet // Icarus. — 2010. — Vol. 210, № 1. — P. 158–181. doi:10.1016/j.icarus.2010.06.003
9. Calculation of residuals of asteroid positions [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://www.fitsblink.net/residuals/index.html
10. Statistics on residuals from observations of minor planets, by observatory code [Electronic resource] // MPC Submission Information. — Available at: \www/URL: http://www.minorplanetcenter.net/iau/special/residuals.txt
11. Statistics on residuals from observations of numbered minor planets, by observatory code [Electronic resource] // MPC Submission Information. — Available at: \www/URL: http://www.minorplanetcenter.net/iau/special/residuals2.txt
12. Кононович, Э. В. Общий курс астрономии [Текст]: учебное пособие / Э. В. Кононович, В. И. Мороз; под ред. В. В. Иванова. — 2-е изд., испр. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 544 с.
13. Vallado, D. A. Fundamentals of Astrodynamics and Applications [Text] / David A. Vallado. — El Segundo, CA: Microcosm Press, 2001. — 958 p.
14. Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: http://www.gao.spb.ru/
15. The MPC Orbit (MPCORB) Database [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://www.minorplanetcenter.net/iau/MPCORB.html
16. Пизанский университет. Учеба и научные исследования [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: http://www.unipi.it/images/lang\_pdf/russo.pdf
17. MPC Submission Information [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://www.minorplanetcenter.net/iau/info/TechInfo.html
18. The OrbFit Software Package [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://adams.dm.unipi.it/~orbmain/orbfit/. — 18 February 2012.
19. MPC/MPO/MPS Archive [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://www.minorplanetcenter.net/iau/ECS/MPCArchive/MPCArchive\_TBL.html
20. The Institut de Mecanique Celeste et de Calcul des Ephemerides (IMCCE) [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://www.imcce.fr/
21. MPCChecker: Minor Planet Checker [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://www.minorplanetcenter.net/cgi-bin/checkmp.cgi
22. Вентцель, Е. С. Теория вероятности и ее инженерные приложения [Текст]: учеб. пособие для вузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. — 2-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2000. — 480 с.
23. Прохоров, Ю. В. Вероятность и математическая статистика [Текст]: энциклопедия / под ред. Ю. В. Прохорова. — М.: Большая российская энциклопедия, 2003. — 912 с.
24. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / А. И. Кобзарь. — М.: Физматлит, 2006. — 816 с.
25. Kallenberg, O. Foundations of Modern Probability [Text] / O. Kallenberg. — Springer, 1997. — 535 p. doi:10.1007/b98838
26. JPL/Horizons Execution Control VARLIST Checker [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://ssd.jpl.nasa.gov/pub/ssd/horizons\_batch\_example.lon0067
27. CoLiTec — Collection Light Technology [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://www.neoastrosoft.com/
28. Savanevych, V. E. Program of Automatic Asteroid Search and Detection on Series of CCD-Images [Electronic resource] / V. E. Savanevich, A. M. Kozhukhov, A. B. Bryukhovetskiy, V. P. Vlasenko, E. N. Dikov, Yu. N. Ivashchenko, L. Elenin // 42nd Lunar and Planetary Science Conference. — 2011. — Available at: \www/URL: http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2011/pdf/1140.pdf
29. MPCAT-OBS: Observation Archive: Minor Planet Checker [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://www.minorplanetcenter.net/iau/ECS/MPCAT-OBS/MPCAT-OBS.html

#### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ССД-ВИМІРЮВАНЬ ПОЛОЖЕНЬ І БЛИСКУ ОБ'ЄКТІВ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Запропоновано сукупність методів оцінки статистичних властивостей ССД-вимірів Сонячної системи. В якості джерел даних використовуються оброблені серії ССД-кадрів астероїдних оглядів, а також Інтернет-сервіси. Розроблені методи дозволяють проводити аналіз, включаючи оперативний, розширеної множини показників точності вимірювання та якості виявлення астероїдів на розширеній множині підвбірок вимірювань, що аналізуються, і кадрів.

**Ключові слова:** ССД-вимірювання, MPC, Minor Planet Checker, NASA HORIZONS, оцінка показників точності.

**Безкровний Михайл Михайлович**, старший преподаватель, кафедра компьютерных систем и сетей, Запорожский институт экономики и информационных технологий, Украина, e-mail: bezkrovni@gmail.com.

**Дашкова Анна Николаевна**, преподаватель, кафедра компьютерных систем и сетей, Запорожский институт экономики и информационных технологий, Украина, e-mail: dashkova.an@gmail.com.

**Соковикова Наталья Сергеевна**, аспирант, ассистент, кафедра электронных вычислительных машин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: nataly.sokovikova@gmail.com.

**Саваневич Вадим Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор, кафедра электронных вычислительных машин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: vadyum@savanevych.com.

**Брюховецкий Александр Борисович**, кандидат технических наук, инженер, Харьковское представительство генерального заказчика Государственного космического агентства Украины, Украина, e-mail: izumsasha@gmail.com.

**Безкровний Михайло Михайлович**, старший викладач, кафедра комп'ютерних систем та мереж, Запорізький інститут економіки та інформаційних технологій, Україна.

**Дашкова Анна Миколаївна**, викладач, кафедра комп'ютерних систем та мереж, Запорізький інститут економіки та інформаційних технологій, Україна.

**Соковікова Наталія Сергіївна**, аспірант, асистент, кафедра електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

**Саваневич Вадим Євгенівич**, доктор технічних наук, професор, кафедра електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

**Брюховецький Олександр Борисович**, кандидат технічних наук, інженер, Харківське представництво генерального замовника Державного космічного агентства України, Україна.

**Bezkrovniy Mykhaylo**, Zaporizhzhya Institute of Economics and Information Technology, Ukraine, e-mail: bezkrovni@gmail.com.

**Dashkova Anna**, Zaporizhzhya Institute of Economics and Information Technology, Ukraine, e-mail: dashkova.an@gmail.com.

**Sokovikova Nataliia**, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: nataly.sokovikova@gmail.com.

**Savanevych Vadym**, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: vadyum@savanevych.com.

**Briukhovetskyi Olexsander**, Kharkiv General Customer Representative of the State Space Agency of Ukraine, Ukraine, e-mail: izumsasha@gmail.com

УДК 026:378:004

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.40856

Андрухів А. І.

## ВПРОВАДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ РАНЖУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОШУКУ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ БІБЛІОТЕКИ ВНЗ

У даній статті запропоновано алгоритм представлення результатів пошуку в автоматизованій бібліотечній інформаційній системі. Даний алгоритм проводить ранжування списку літератури, яку шукає користувач бібліотеки. Алгоритм впроваджений у роботу автоматизованої інформаційної системи рекомендації літератури до вивчення академічних дисциплін у Національному університеті «Львівська політехніка».

**Ключові слова:** академічна дисципліна, інформаційна система, бібліотека, навчальний процес, ранжування.

### 1. Вступ

Сучасний розвиток автоматизації бібліотечних процесів у вищих навчальних закладах проходить досить швидкими темпами. Впровадження комп'ютерних та телекомунікаційних технологій в роботу бібліотек є вже не модою, а нагальною вимогою до підвищення продуктивності та якості бібліотечно-інформаційного обслуговування на основі створення, використання та інтеграції електронних ресурсів, а також автоматизації бібліотечних процесів. Створені електронні каталоги та масиви цифрових документів разом із засобами телекомунікацій, необхідні для виконання основного завдання — забезпечення доступу користувачів до різних типів інформаційних ресурсів бібліотек при мінімальних загальних витратах. Комплектування та організаційні процеси ВУЗ-івської бібліотеки відрізняються від бібліотек інших типів за рахунок зв'язку із навчальним процесом. Під час пошуку інформації у великих масивах даних у користувачів постає проблема відбору

даних, які задовольняють їх користувацькі потреби. Для цього використовують методи ранжування. У більшості випадків ці методи ґрунтуються на користувацьких вподобаннях — аналізі попередніх сесій пошуку, аналізі профілю користувача. Бібліотеки України у переважній своїй більшості надають доступ до своїх джерел інформації використовуючи електронний каталог. Інструментарій пошуку залежить від обраного програмного забезпечення, проте характерною їх особливістю є забезпечення анонімного пошуку. В такому випадку провести ранжування результатів пошуку використовуючи класичні алгоритми неможливо. Тому доцільним є використання алгоритмів, що побудовані на основі аналізу користувацьких запитів.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Кожна автоматизована бібліотечна інформаційна система чи її окремі компоненти мають у своєму складі