

## **Оценка параметров фоновой подложки изображения объекта на цифровых кадрах**

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

В статье рассмотрены вычислительные методы оценки параметров фоновой подложки цифрового изображения небесного объекта. Разработанные методы учитывают условия астрономических наблюдений и особенности формирования цифровых кадров. Особое внимание уделено оценке параметров фоновой подложки при наличии аномальных пикселей. Проведен сравнительный анализ показателей точности оценки положения объектов на цифровых кадрах при использовании различных методов оценки параметров фоновой подложки. Проведенный анализ показал, что учет возможного наличия аномальных пикселей значительно улучшает показатели точности оценки положения объектов на цифровых.

**Ключевые слова:** цифровой кадр, фоновая подложка, небесный объект, астрономические наблюдения, аномальные пиксели, оценка показателей точности.

### **Введение**

В настоящее время основная часть астрометрических наблюдений проводится в автоматическом режиме [1]. Одним из важных составляющих обеспечения их потенциальной точности является оценка положения объектов на кадре [2].

При астрономических наблюдениях на цифровом кадре формируются изображения наблюдаемых объектов. Как правило, изображение небесных объектов расположено на неравномерно распределенном фоне, который можно назвать подложкой [3]. Для обеспечения потенциальной точности оценки положения объекта на цифровом кадре необходим учет фоновой подложки и точная оценка ее параметров.

### **1. Анализ литературных данных**

В работах [4÷8] большое внимание уделено оценке параметров положения объектов на цифровых изображениях. Рассматриваемые методы предполагают предварительное удаление фоновой подложки изображений объектов. Однако в указанных работах исследование методов оценки параметров фоновой подложки изображений объектов проведено не было.

Необходимость оценки параметров фоновой подложки изображения объектов отмечена в работе [3]. Основной целью данной работы является оценка положения астероида на цифровом изображении. Рассматриваемая в ней модель изображения подложки не учитывает возможное наличие пикселей с аномальной яркостью. Так же к недостаткам работы следует отнести использование только одной модели фоновой подложки, отсутствие исследований показателей точности оценок положения объектов в зависимости от используемой модели фоновой подложки.

### **2. Объект, цель и задачи исследования**

Статья посвящена разработке вычислительных методов оценки параметров фоновой подложки цифрового изображения небесного объекта.

Объектом исследования являются методы оценки параметров фоновой подложки.

На исследуемом цифровом кадре все пиксели предполагаемого изображения гипотетического объекта выделены в область  $\Omega_{SIFP}$  внутрикадровой обработки (ОВКО). Количество пикселей, принадлежащих ОВКО считается равным  $N_{SIFP}$ . Множество пикселей ОВКО  $\Omega_{SIFP}$  задается их перечислением. Альтернативно ОВКО может быть задана координатами и размерами соответствующей прямоугольной области.

Изначально решение о наличии изображения гипотетического объекта принимается процедурой оконтуривания. Множество пикселей, принадлежащих выделенному изображению, обозначается как ОВКО  $\Omega_{SIFP(s)}$ , а их количество считается равным  $N_{SIFP(s)}$ .

Считается, что параметры подложки не меняются как в выделенном изображении гипотетического объекта, так и в его окрестности. Для повышения потенциальной точности оценки положения объекта на цифровом кадре в работе предложено оценивать параметры фоновой подложки на множестве ОВКОФ  $\Omega_{SIFP(n)}$ , состоящим из  $N_{SIFP(n)}$  пикселей, находящихся в окрестности выделенного изображения  $\Omega_{SIFP(s)}$ .

Собственно ОВКО  $\Omega_{SIFP}$  включает в себя оба введенных множества пикселей  $\Omega_{SIFP(s)}$  и  $\Omega_{SIFP(n)}$ . При этом  $N_{SIFP} = N_{SIFP(s)} + N_{SIFP(n)}$ . Иными словами, считается, что существует возможность разделения пикселей ОВКО на пиксели, содержащие и не содержащие изображение объекта.

Наблюдаются опытные яркости  $A_{ik}^*$  ( $ik$  – номер пикселя на кадре) всех пикселей кадра, включая пиксели ОВКО  $\Omega_{SIFP}$ . При этом яркости пикселей ОВКОФ  $\Omega_{SIFP(n)}$  обозначаются как  $\tilde{U}_{noise} = (A_{11}^*, A_{ik}^*, \dots, A_{N_{SIFP(n)}}^*)$ .

На основе указанных выше исходных данных необходимо оценить параметры фоновой подложки. Следует учитывать, что среди пикселей ОВКО могут быть аномальные, то есть пиксели, яркость которых не соответствует ни модели изображения небесного объекта, ни модели его фона.

Цель исследования является разработка и анализ вычислительного метода оценки параметров фоновой подложки в окрестности изображения небесного объекта, который учитывает указанные выше условия наблюдения и особенности формирования цифровых кадров.

### 3. Модель фоновой подложки

При астрономических наблюдениях часто имеют место солнечная (при наблюдениях на рассвете), лунная (особенно в полнолуние) засветки, которые приводят к существенной неоднородности уровня фоновой подложки (рис. 1, 2).

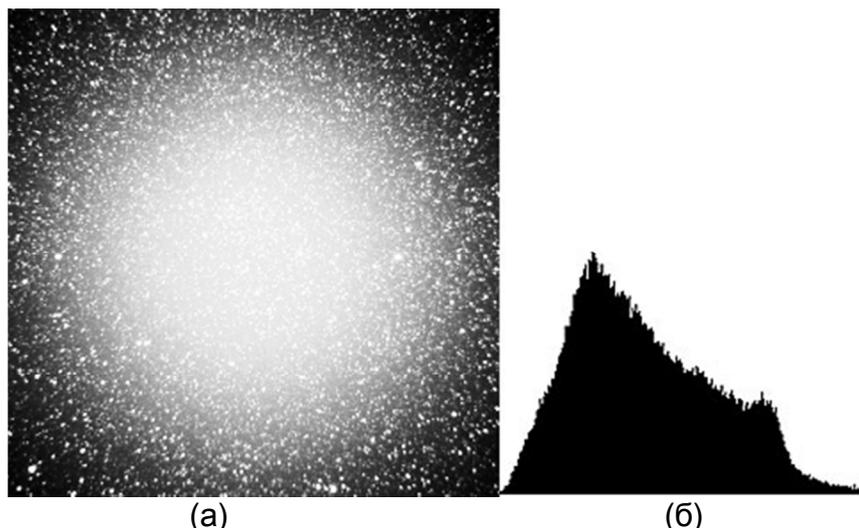


Рис. 1. Цифровой кадр без яркостного выравнивания (а) и его гистограмма (б)

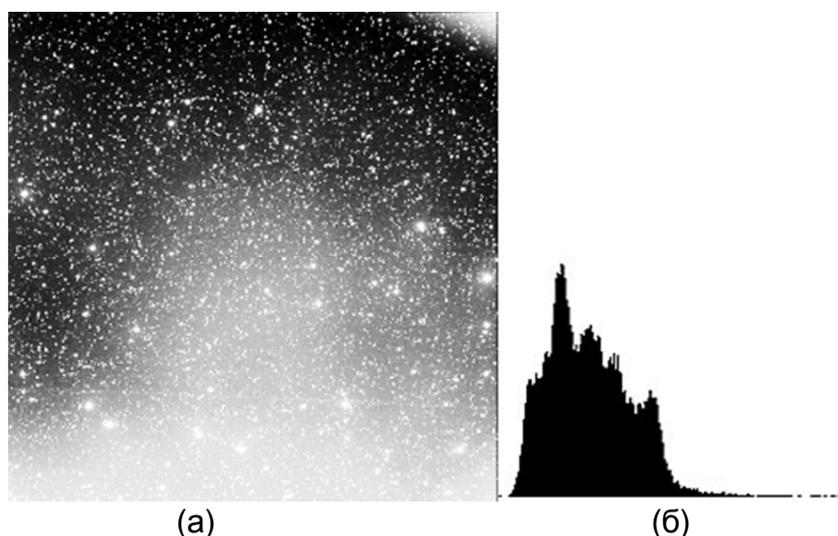


Рис. 2. Цифровой кадр с паразитной засветкой (а) и его гистограмма (б).

Так же при наблюдении звезды со слабым блеском в окрестности яркой звезды остатки изображения последней могут восприниматься как помеха, фон.

При указанных условиях практически адекватной моделью фоновой подложки в локальной окрестности исследуемых изображений гипотетических объектов является плоскость с произвольным наклоном с неизвестными параметрами:

$$\hat{A}_{iknoise}^*(\theta_{noise}) = A_{noise} \cdot x_{ik} + B_{noise} \cdot y_{ik} + C_{noise}, \quad (1)$$

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

$\theta_{noise} = \{A_{noise}, B_{noise}, C_{noise}\}$  – прямое восхождение и склонение  $j_1$ -го измерения кадра и  $j_2$ -го формуляра каталога, входящих в  $i$ -ю отождествленную пару;

$x_{ik}, y_{ik}$  – оценка значения блеска  $j_1$ -го измерения кадра и  $j_2$ -го формуляра каталога, входящих в  $i$ -ю отождествленную пару;

Наблюдения могут производиться в условиях отсутствия солнечной и лунной засветок. Наблюдаемый объект может быть одиночным, то есть иметь изображение, которое не пересекается с изображениями других объектов. Так же к цифровому кадру может быть применена операция яркостного выравнивания (рис. 3).

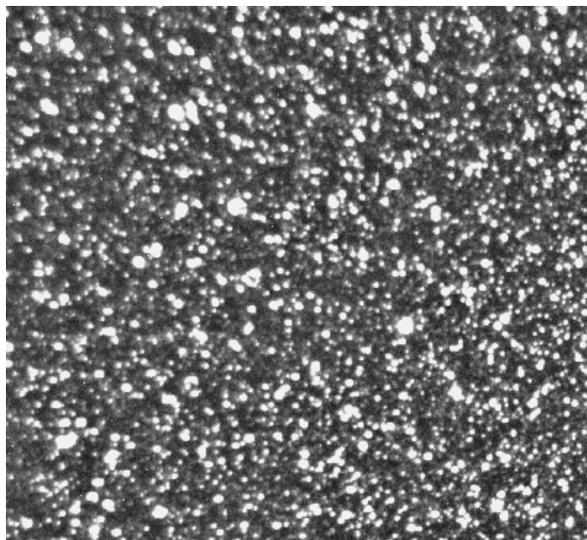


Рис. 3. Результат яркостного выравнивания цифрового кадра.

Во всех указанных условиях, особенно при их совокупности, адекватной моделью подложки достаточно часто может быть постоянный фон:

$$A_{iknoise}^*(\theta_{noise}) = C_{noise} = const, \quad (2)$$

#### 4. Оценка параметров фоновой подложки без учета аномальных пикселей

Для определения параметров  $A_{noise}$ ,  $B_{noise}$ ,  $C_{noise}$  модели наклонной фоновой подложки (1) на основе пикселей ОВКОФ можно использовать их МНК-оценку [9,10]:

$$\hat{\theta}_{noise} = (F^T F)^{-1} F^T \tilde{U}_{noise}, \quad (3)$$

где  $\hat{\theta}_{noise} = (\hat{A}_{noise}, \hat{B}_{noise}, \hat{C}_{noise})$  – оценка параметров фоновой подложки;

$F^T$  – матрица частных производных [9,10], составленная из координат оцениваемых пикселей подложки:  $F^T = \begin{pmatrix} x_1 & \dots & x_i & \dots & x_{N_{IPS(n)}} \\ y_1 & \dots & y_i & \dots & y_{N_{IPS(n)}} \\ 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}$

Для модели постоянной фоновой подложки (2), оценкой уровня яркости неизменного фона  $\hat{A}_{iknoise}^*(\theta_{noise})$  является среднее значение яркости пикселей входящих в ОВКОФ:

$$\hat{C}_{noise} = \sum_{i,k}^{N_{IPS(n)}} A_{iknoise}^* / N_{IPS(n)}; \quad (4)$$

### 5. Оценка параметров фоновой подложки с учетом аномальных пикселей

Во множестве пикселей ОВКОФ присутствуют пиксели, опытная яркость которых значительно отличается от их модельного значения. Такие пиксели можно определить как аномальные (рис. 4). Причинами, вызывающими отклонения яркости аномальных пикселей, служат дефекты в ПЗС-матрице, мелкоструктурные артефакты изображения, нелинейность фоновой подложки.



Рисунок 4 –Аномальные пиксели на цифровом кадре.

Оценка параметров фоновой подложки, в которой учувствовали аномальные пиксели, содержит большие ошибки и не может считаться верной. Удаление фоновой подложки в этом случае приведет к присвоению части пикселей изображения объекта нулевых или отрицательных значений, что сделает невозможным дальнейшую оценку параметров объекта.

Одним из решений вышеописанной проблемы является вычисление параметров вектора  $\hat{\theta}_{noise}$  с учетом возможного наличия аномальных пикселей в ОВКОФ. Для исключения влияния аномальных пикселей применяется многопроходовой МНК [11], в котором на следующий проход используются только пиксели, яркость которых удовлетворяет условию:

$$\Delta_{mi} = m_{j_1(i)} - m_{j_2(i)}, \quad (5)$$

где  $k_{noise}$  – граничный коэффициент отбрасывания пикселей при расчете параметров подложки;

$\sqrt{\sum_{i,k}^{N_{IPS(n)}} (A_{ik}^* - \hat{A}_{ik}^*)^2 / N_{IPS(n)}}$  – оценка среднеквадратического отклонения между опытными и модельными яркостями пикселей предполагаемой фоновой подложки;

$$\hat{A}_{iknoise}^* = \hat{A}_{noise} x_i + \hat{B}_{noise} y_k + \hat{C}_{noise}, \quad (6)$$

– сглаженная оценка яркости  $i$ -го пикселя, входящего в ОВКОФ при модели фоновой подложки (1);

$$\hat{A}_{i,noise}^* = \hat{C}_{noise} \quad (7)$$

– сглаженная оценка яркости  $i$ -го пикселя, входящего в ОВКОФ при модели постоянной фоновой подложки (2).

### 6. Анализ разработанных методов оценки параметров фоновой подложки

Исследования проводились на серии цифровых кадров. Серия сформирована из  $N_{fr}$  кадров. Оценки положений небесных объектов на исследуемых кадрах получены с использованием вычислительных методов оценки положения объектов на цифровом кадре, изложенных в работе [2].

В качестве показателя качества оценки параметров фоновой подложки исследовались показатели точности оценки положения объектов на цифровых изображениях.

Для определения влияния фоновой подложки на показатели точности оценок положения небесных объектов, исследовались следующие методы оценки параметров фоновой подложки изображения объекта на цифровых кадрах:

- метод оценки параметров наклонной фоновой подложки (1);
- метод оценки параметров наклонной фоновой подложки с исключением аномальных пикселей (1), (5)
- метод оценки параметров постоянной фоновой подложки (2);
- метод оценки параметров постоянной фоновой подложки с исключением аномальных пикселей (2), (6);
- метод оценки параметров постоянной фоновой подложки (2) на пикселях фона всего исследуемого кадра.

Исследования показали, что выбор метода оценки параметров фоновой подложки, из числа исследуемых, не влияет на показатели точности оценки положения ни опорных звезд (опорные звезды привязывались к звездному каталогу UCAC-4) ни вообще звезд отождествленных со звездами каталога UCAC-4. Связано, это с тем, что при проницающей кадров, превышающей 19 зв. в. изображения звезд UCAC-4 имеют значительное отношение сигнал/шум (ОСШ). В свою очередь, вновь открываемые астероиды имеют ОСШ на грани предельно допустимых значений. Именно на изображения таких объектов существенное влияние оказывает используемый метод оценки параметров фоновой подложки через деформацию изображения, вызванную вычитанием модельной подложки.

В этой связи для исследования были выбраны объекты внутреннего каталога (ВК) объектов, неподвижных на серии кадров [12]. Кроме того, среди объектов ВК были выбраны только объекты, у которых после вычитания модельной подложки хотя бы один пиксель изображения имел нулевую или отрицательную яркость.

Большинство объектов внутреннего каталога не являются отождествленными со звездами используемых звездных каталогов. Поэтому отсутствует внешний эталон положения объектов. В этой связи исследуемыми в работе показателями точности оценок положения объектов являлись [13]: среднеквадратическое отклонение и квантили модулей отклонений оценок склонения и прямого восхождения исследуемых объектов, полученных на рассматриваемых сериях кадров.

Среднее значение оценок склонения и прямого восхождения измерений  $j$ -го объекта на кадрах исследуемой серии определялось выражением:

$$\bar{\alpha}_j = \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \alpha_{jn} / N_{fr}; \quad (8)$$

$$\bar{\delta}_j = \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \delta_{jn} / N_{fr}, \quad (9)$$

где  $\alpha_{jn}$ ,  $\delta_{jn}$  измерение  $j$ -го объекта на  $n_{fr}$ -ом кадре, включающее оценки экваториальных координат (склонения и прямого восхождения).

Отклонения между оценками  $(\alpha_{jn}, \delta_{jn})$  экваториальных координат  $j$ -го объекта и средним их значением  $(\bar{\alpha}_j, \bar{\delta}_j)$  определяются выражением [14, 15]:

$$\Delta_{\alpha_{jn}} = (\alpha_{jn} - \bar{\alpha}_j) \cdot \cos \delta_{jn}; \quad (10)$$

$$\Delta_{\delta_{jn}} = \delta_{jn} - \bar{\delta}_j, \quad (11)$$

Полное отклонение между оценками  $(\alpha_{jn}, \delta_{jn})$  экваториальных координат  $j$ -го объекта и средним их значением  $(\bar{\alpha}_j, \bar{\delta}_j)$  соответствующее центральному углу, определялось следующим образом [15]:

$$\Delta_{\alpha\delta_{jn}} = \arccos(\sin \alpha_{jn} \cdot \sin \bar{\alpha}_j + \cos \alpha_{jn} \cdot \cos \bar{\alpha}_j \cdot \cos \Delta_{\delta_{jn}}). \quad (12)$$

Оценка среднего отклонения оценок экваториальных координат объектов определялась согласно выражениям:

$$\hat{\Delta}_{\alpha} = \sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \Delta_{\alpha_{jn}} / (N_{obj} \cdot N_{fr}); \quad (13)$$

$$\hat{\Delta}_{\delta} = \sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \Delta_{\delta_{jn}} / (N_{obj} \cdot N_{fr}), \quad (14)$$

Оценка среднего полного отклонения оценок экваториальных координат объектов определялась выражением:

$$\hat{\Delta}_{\alpha\delta} = \sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} \Delta_{\alpha\delta_{jn}} / (N_{obj} \cdot N_{fr}), \quad (15)$$

где  $N_{obj}$  – количество исследуемых объектов.

Оценка среднеквадратичного отклонения оценок прямого восхождения и склонения вычислялась следующим образом:

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} (\Delta_{\alpha_{jn}} - \hat{\Delta}_{\alpha})^2 / (N_{obj} \cdot N_{fr})}; \quad (16)$$

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\sum_{j=1}^{N_{obj}} \sum_{n_{fr}=1}^{N_{fr}} (\Delta_{\delta_{jn}} - \hat{\Delta}_{\delta})^2 / (N_{obj} \cdot N_{fr})}. \quad (17)$$

Исследования проводились с использованием ПО CoLiTec [2, 16], а их результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

Результаты анализа методов оценки параметров фоновой подложки изображения объекта на цифровом кадре

Параметр	Модель наклонной фоновой подложки (1)	Модель постоянной в ОВКО фоновой подложки (2)	Модель наклонной фоновой подложки с исключением аномальных пикселей (1), (5)	Модель постоянной на кадре фоновой подложки (2)	Модель постоянной в ОВКО фоновой подложки с исключением аномальных пикселей (2), (5)
$N_{obj}$	47	46	46	46	46
$\bar{\Delta}_{\alpha\delta} < 1$ , угл. сек.	8	40	40	40	40
$\bar{\Delta}_{\alpha}$ , угл. сек.	-0.01	0.05	0.05	0.05	0.05
$\bar{\Delta}_{\delta}$ , угл. сек.	-0.03	0.07	0.07	0.07	0.07
$\sigma_{\alpha}$ , угл.сек.	1.15	0.56	0.56	0.56	0.56
$\sigma_{\delta}$ , угл.сек.	1.35	0.51	0.51	0.51	0.51
Квантиль 0.8 модуля отклонений по $\alpha$ , угл. сек.	1.548	0.626	0.616	0.619	0.626
Квантиль 0.8 модуля отклонений по $\delta$ , угл. сек.	1.720	0.627	0.637	0.624	0.627
Квантиль 0.9 модуля отклонений по $\alpha$ , угл. сек.	1.793	0.846	0.846	0.846	0.846
Квантиль 0.9 модуля отклонений по $\delta$ , угл. сек.	1.885	0.926	0.928	0.925	0.927

### Выводы

В статье разработаны вычислительные методы оценки параметров фоновой подложки изображения объекта на цифровых кадрах. Данные методы основаны на использовании в качестве модели фоновой подложки изображения объекта как наклонной плоскости так и постоянного значения. Методы могут не учитывать и учитывать возможность наличия пикселей, опытная яркость которых

значительно отличается от их модельного значения. Для компенсации влияния аномальных пикселей используется многопроходовой МНК (5). Так же исследуется использование среднего значения яркости фона на кадре в качестве оценки значения яркости постоянного фона исследуемого изображения объекта.

При использовании любого из исследуемых методов оценка параметров фоновой подложки изображения объекта проводится на основе значений яркостей пикселей, находящихся в области ОВКОФ, являющейся в окрестностью исследуемого изображения в соответствующей области внутрикадровой обработки.

Анализ результатов применения разработанных методов оценки параметров фоновой подложки проведен на выборке изображений объектов, значение отношения сигнал-шум которых является предельно допустимым. Именно на определение положения таких объектов существенное влияние оказывает используемый метод оценки параметров фоновой подложки.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что операция отбраковки аномальных пикселей значительно улучшает показатели точности оценки положения объектов с изображением, обладающим малым отношением сигнал/шум. Так, использование методов с отбраковкой аномальных пикселей заметно уменьшили среднеквадратическое отклонение оценок прямого восхождения и склонения ( $\sigma_\alpha = 0.56, \sigma_\delta = 0.51$  против  $\sigma_\alpha = 1.15, \sigma_\delta = 1.35$ ). Заметно уменьшились и значения квантилей модулей отклонений по экваториальным координатам на уровне 0.9. Для метода оценки параметров наклонной фоновой подложки значения составили 1.793 и 1.885 по склонению и прямому восхождению соответственно. Использование же методов с отбраковкой аномальных пикселей уменьшили их до 0.846 и 0.926 соответственно.

Дальнейшие исследования целесообразно сконцентрировать на исследовании влияния аномальных пикселей изображений объектов на показатели точности их положения.

### Список литературы

1. Hogg D. W., Automated Astrometry / D. W. Hogg, M. Blanton, D. Lang et al. // Astronomical Data Analysis Software and Systems XVII, R. W. Argyle, P. S. Bunclark, and J. R. Lewis, eds., ASP Conference Series 394, – 2008 p. 27–34.
- 2 Savanevych, V. E A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates [Текст] / V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskyi, N. S. Sokovikova, M. M. Bezкровny, I. B. Vavilova, Yu. M. Ivashchenko, L. V. Elenin, S. V. Khlamov, Ia. S. Movsesian, A. M. Dashkova, A. V. Pogorelov // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Т. 451 (3). – С. 3287-3298.
- 3.Саваневич В. Е. Оценка координат астероида на дискретном изображении/ В. Е. Саваневич, А. Б. Брюховецкий, А. М. Кожухов, Е. Н. Диков// Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2010. Вып. 162. – С. 78 – 86.
4. Sokovikova N. S. The estimation of the object position on the digital CCD frame using the pixel model of the object image [Текст] / N. S. Sokovikova, V. E. Savanevych, M. M. Bezкровny, A. V. Pogorelov, S. V. Khlamov// Scholars Journal of Engineering and Technology. – 2015. – Т. 3(2a). – С. 153-165.
5. Безкровный М.М. Исследование точности оценки местоположения небесных объектов на ПЗС-кадрах / М.М. Безкровный В.Е. Саваневич,

Н.С. Соковикова, Я.С. Мовсесян, А.В. Погорелов, А.Н. Дашкова, Н.Ю. Дихтярь, А.Б. Брюховецкий, Л.О. Михайлова // Восточно-Европейского журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 4/2(70). – С. 16 – 22.

6. Соковикова Н.С. Оценка координат близких астероидов на ПЗС-изображении [Текст] / Н.С. Соковикова, В.Е. Саваневич, М.М. Безкровный, С.В. Хламов // Восточно-Европейского журнала передовых технологий. – 2013. – Т. 4/4(64). – С. 41 – 45.

7. Соковикова Н.С. Подпиксельный метод оценки местоположения близких астероидов на дискретном изображении [Текст] / Н.С. Соковикова, В.Е. Саваневич, М.М. Безкровный, С.В. Хламов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2013. – №. 3(62). – С. 32 – 38.

8. Безкровный М.М. Подпиксельный метод оценки местоположения объектов с изображением, смазанным собственным движением [Текст] / М.М. Безкровный, С.В. Хламов, В.Е. Саваневич, Н.С. Соковикова // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – №. 3(12). – С. 128 – 131.

9. Björck A. Numerical Methods for Least Squares Problems / Björck A – Society for Industrial and Applied Mathematics, 1996. – P.408.

10. Charles L.L. Solving Least Squares Problems / L.L. Charles, J.H. Richard.– Series: Classics in Applied Mathematics, 1995. – P. 351

11. Gupta R. Automated Data Analysis in Astronomy / R. Gupta, H.P. Singh, A.L. Coryn – Narosa, 2002. – P. 364.

12. Саваневич В.Е. Метод формирования внутреннего каталога объектов, неподвижных на серии кадров / В.Е. Саваневич, Я.С. Мовсесян, Н.Ю.

13. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

14. Киселев А.А. Теоретические основания фотографической астрометрии / Киселев А.А. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит, 1989. – 264 с.

15. Дихтярь Н.Ю. Аналитические выражения отклонений между оценками положений небесных объектов в задаче отождествления CCD-кадра [Текст] / Н.Ю. Дихтярь, Я.С. Мовсесян, С.В. Хламов, В.Е. Саваневич // Вісник НТУ «ХПІ» – 2015 – Т. 14(1123) – С. 21-28.

16. Savanevych, V. E. Comparative analysis of the positional accuracy of CCD measurements of small bodies in the solar system software CoLiTec and Astrometrica [Текст] / V. E. Savanevych, A. B. Briukhovetskyi, Yu. N. Ivashchenko, I. B. Vavilova, M. M. Bezkrivnyi, E. N. Dikov, V. P. Vlasenko, N. S. Sokovikova, Ia. S. Movsesian, N. Yu. Dikhtyar, L. V. Elenin, A. V. Pohorelov, S. V. Khlamov // Kinematics and Physics of Celestial Bodies – 2015. – Т. 31 (6). – P. 302-313.

Поступила в редакцию 20.05.2016

## **Оценка параметров фоновой подложки изображения объекта на цифровых кадрах**

Розглянуто обчислювальні методи оцінки параметрів фонові підкладки цифрового зображення небесного об'єкта. Розроблені методи враховують умови астрономічних спостережень і особливості формування цифрових кадрів. Особливу увагу приділено оцінці параметрів фонові підкладки при наявності

аномальных пікселей. Проведено порівняльний аналіз показників точності оцінки стану об'єктів на цифрових кадрах при використанні різних методів оцінки параметрів фонові підкладки. Проведений аналіз показав, що урахування можливої наявності аномальних пікселей значно покращує показники точності оцінки стану об'єктів на цифрових.

**Ключові слова:** цифровий кадр, фонові підкладка, небесний об'єкт, астрономічні спостереження, аномальні пікселі, оцінка показників точності.

## **Assessment of Parameters of the Object's Digital Image Plate on the Digital Frames**

Computational methods for assessment parameters of the object's digital image plate are described. Developed methods take into account astronomical observation conditions and peculiarities of digital frame formation. Particular attention is paid to the assessment of the plates parameters when anomalous pixels are present. A comparative analysis of the accuracy metrics of the object's position on digital frames was carried out. The analysis was performed using different methods of assessing plate parameters. Results showed that taking into account possible presence of anomalous pixels leads to significant improvement of celestial object position accuracy metrics.

**Keywords:** digital frame, plate, celestial object, astronomical observations, anomalous pixels, assessment of accuracy metrics

### **Сведения об авторах:**

**Погорелов Артем Витальевич** – аспирант каф. электронных вычислительных машин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

**Саваневич Вадим Евгеньевич** – д-р техн. наук, проф., проф. каф. электронных вычислительных машин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

**Удовенко Сергей Григорьевич** – д-р техн. наук, проф., проф. каф. электронных вычислительных машин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.