

УДК 520.8

## ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОЙ НЕКООРДИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ О НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТАХ

© А. О. Жуков<sup>1,2</sup>, А. И. Гладышев<sup>3</sup>, М. Е. Прохоров<sup>4</sup>,  
А. А. Заверзаев<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Экспертно-аналитический центр,  
109316, Москва, ул. Талалигина, 33, стр. 4

<sup>2</sup>Институт астрономии РАН,  
119017, Москва, ул. Пятницкая, 48

<sup>3</sup>Секция прикладных проблем при Президиуме РАН,  
119333, Москва, ул. Губкина, 3

<sup>4</sup>Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова,  
119991, Москва, Университетский просп., 13

<sup>5</sup>Акционерное общество «Особое конструкторское бюро  
Московского энергетического института»,  
111250, Москва, Красноказарменная, 14  
E-mail: mike@sai.msu.ru

Рассмотрен метод определения типа наблюдаемых объектов на основе отождествления фотометрического портрета объекта с одним из типовых, имеющихся в базе данных текущих и эталонных фотометрических портретов наблюдаемых объектов. Предложенный подход позволяет выявлять известные типовые объекты независимо от наличия априорной информации о них.

*Ключевые слова:* астрономический каталог, космический объект, опорная звезда, распознавание, спектрофотометрия, фотометрические наблюдения.

DOI: 10.15372/AUT20220310

**Введение.** Решение задачи определения типа наблюдаемых объектов (НО) выполняется не для всех условий, так как при получении и обработке фотометрических наблюдений, полученных в интегральном свете, регистрируется лишь его звёздная величина, которой часто оказывается недостаточно. Это способствует поиску дополнительных признаков объектов, учёт которых позволил бы существенно расширить возможности оптических средств наблюдения, повысив возможности их распознавания.

В результате проведённой модернизации оптических средств наблюдения появилась возможность получения нового вида оптической некоординатной информации (НКИ) — спектрофотометрической, позволяющей по показателям цвета отличать объекты друг от друга вне зависимости от регистрируемого блеска и удалённости от местоположения пункта наблюдения.

**Постановка задачи.** Анализ существующего научно-методического аппарата обработки информации показал, что, несмотря на всю информационную значимость спектрофотометрической информации, в настоящее время отсутствуют единые подходы к её обработке в целях получения признаков для решения задачи распознавания НО [1]. В результате спектрофотометрические измерения проводятся время от времени и не перешли на уровень регулярных. Поэтому необходима разработка математического аппарата совместной обработки фотометрической и спектрофотометрической информации, направленного на повышение возможности определения типа наблюдаемого объекта.



Рис. 1. Процесс распознавания наблюдаемых объектов

Процесс распознавания НО может быть реализован в автоматизированном режиме, так как во всех случаях окончательное принятие решения о его принадлежности к тому или другому типу остаётся за человеком. В его арсенале помимо интуитивных соображений имеется достаточно большой объём неформализованных сведений, полученных в результате обработки координатной и некоординатной информации, которые могут характеризовать отдельные свойства или признаки конкретного типа объектов [2]. Схема распознавания НО представлена на рис. 1.

Кроме того, в процессе анализа получаемых сигналов вмешательство оператора необходимо для изоляции ложных объектов (шумов) наблюдения и сокращения времени обработки данных.

**Совместная обработка некоординатной информации о наблюдаемых объектах.** Процесс распознавания включает в себя разработку фотометрического портрета, характеризующего каждый объект с учётом его состояния и включающего в себя только те признаки, относительно которых может быть получена априорная информация. На основе представленного процесса распознавания НО (см. рис. 1) разработан способ определения его типа при совместной обработке фотометрической и спектрофотометрической информации.

1. С помощью оптических средств осуществляется оперативное получение угловых координат НО на фоне опорных звёзд. Затем проводится измерение блеска объекта и калибровка по звёздам в интегральном свете (рис. 2), а также регистрация блеска ( $m_B$ ,  $m_V$ ,  $m_R$ ) и калибровка результатов измерений в выбранных спектральных диапазонах (рис. 3) по закону Погсона:

$$m_{\text{НО}} = m_0 - 2,5 \lg(E_{\text{НО}}/E_0),$$

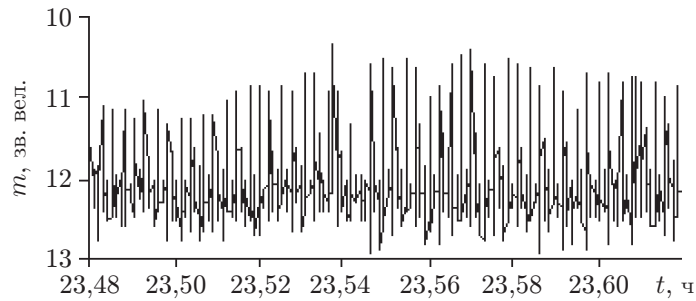


Рис. 2. Фотометрическая кривая блеска наблюдаемого объекта

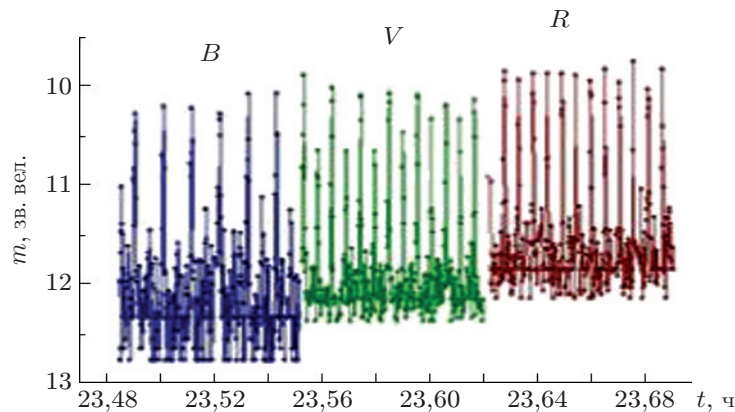


Рис. 3. Кривая блеска наблюдаемого объекта в светофильтрах для полос  $B$ ,  $V$  и  $R$

где  $m_{\text{НО}}$ ,  $E_{\text{НО}}$  — звёздная величина НО и освещённость, создаваемая им в апертурной плоскости телескопа;  $m_0$ ,  $E_0$  — соответственно звёздная величина и освещённость, создаваемая звездой-стандартом, выбранной в качестве нуля-пункта.

Вся информация поступает в блок Формирования текущих координатных и некоординатных измерений объекта. Для повышения точности оценки звёздных величин проводится пересчёт спектрального блеска опорных звёзд рабочего каталога в полосу спектральной чувствительности используемого фотоприёмного устройства.

2. Обработка текущих измерений координатной и фотометрической информации позволяет предварительно определить тип стабилизации НО, а также рассчитать период его вращения в соответствующем блоке. Для этого анализируется фотометрическая кривая блеска (ФКБ) объекта, измеренная в интегральном свете. Анализ результатов фотометрирования НО проводился стандартным способом. Рассмотрим основные параметры:

- а) азимут и угол места Солнца в момент наблюдения объекта;
- б) азимут НО, его угол места и фазовый угол объекта в момент наблюдения;
- в) в начальный момент времени ФКБ характеризуется следующими параметрами:
  - средний блеск в звёздных величинах  $m_{\text{НО}}$ ,
  - минимальная и максимальная величины блеска НО в звёздных величинах соответственно  $m_{\text{min}}$  и  $m_{\text{max}}$ ,
  - момент времени начала и окончания проведения наблюдений,
  - длительность сеанса фотометрирования НО,
  - частота фотометрирования,
  - длительность накопления сигнала от НО,

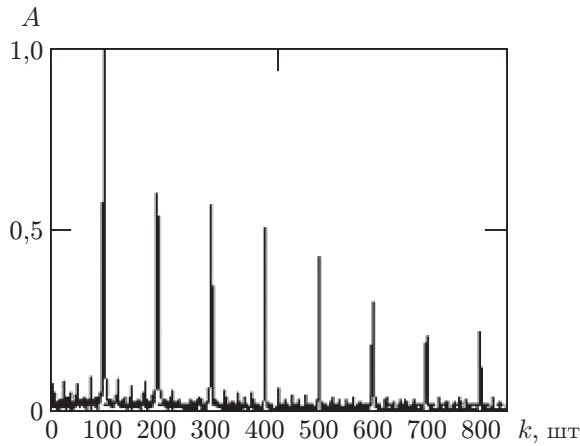


Рис. 4

Рис. 4. Восстановленный фурье-спектр наблюдаемого объекта

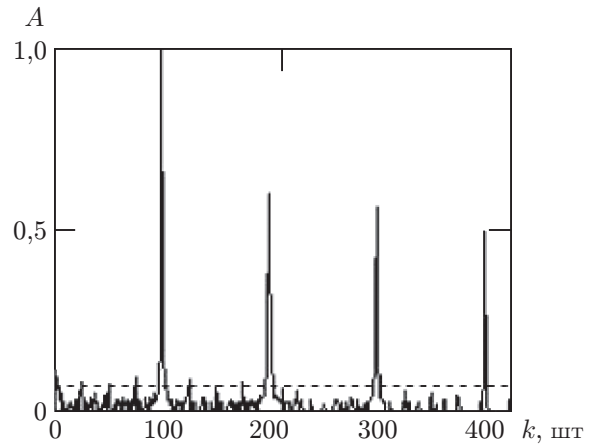


Рис. 5

Рис. 5. Сглаженный фурье-спектр наблюдаемого объекта

г) вектор элементов орбиты НО в начальный момент времени характеризуется кеплеровыми параметрами:

- большая полуось орбиты  $a$ ,
- эксцентриситет орбиты  $e$ ,
- наклонение орбиты  $i$ ,
- долгота восходящего узла  $\Omega$ ,
- аргумент перигея  $\omega$ ,
- аргумент широты  $u$ .

Обработка начальной ФКБ объекта, определение величины фона в нормированном фурье-спектре на уровне  $p = 0,02$ , построение восстановленного фурье-спектра начальной интенсивности (рис. 4), а также получение сглаженного фурье-спектра после учёта фона (рис. 5) позволили найти величину первых восьми амплитуд фурье-спектра, значения которых превысили установленный пороговый уровень  $p_0 = 0,071$ :  $U_{01} = 0,082$ ;  $U_{02} = 0,078$ ;  $U_{03} = 0,095$ ;  $U_{04} = 1$ ;  $U_{05} = 0,086$ ;  $U_{06} = 0,078$ ;  $U_{07} = 0,6$ ;  $U_{08} = 0,56$ . В результате максимальное значение амплитуды в восстановленном фурье-спектре после учёта уровня фона составило  $U_m = 1$ .

Дальнейший анализ восстановленной и сглаженной кривых блеска (рис. 6) позволил определить значения периодических составляющих фурье-спектра  $T_1 - T_8$ , соответствующих выявленным ранее амплитудам  $U_{01} - U_{08}$ :  $T_1 = 10$ ,  $T_2 = 5,01$ ,  $T_3 = 3,33$ ,  $T_4 = 2,5$ ,

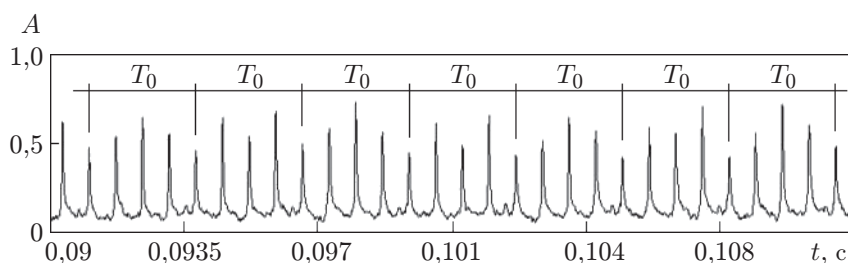


Рис. 6. Выделенный участок восстановленной и сглаженной кривых блеска наблюдаемого объекта

$T_5 = 2$ ,  $T_6 = 1,43$ ,  $T_7 = 1,25$ ,  $T_8 = 0,84$ . Значение периода, соответствующее максимуму амплитуды  $U_m$ , равно  $T_m = 2,5$  с. Основной период изменения интенсивности блеска НО составил  $T = 10$  с. В результате, проводя накопление сигнала от НО в течение времени  $T$  с заданным интервалом единичного отсчёта  $\tau$ , их продолжительность может варьироваться в широких диапазонах:  $T$  — от 30 с до 20 мин,  $\tau$  — от 0,001 до 30 с. Данные значения зависят от выполняемых задач и требований, предъявляемых к точности определяемого блеска и величине периодов его изменений.

Малое время накопления сигнала не позволяет оперировать при оценке возможностей оптического средства предельными характеристиками используемых приёмников излучения, которые позволяют при больших временах экспозиции обнаруживать объекты с яркостью, сопоставимой с фоном неба [3]. При наблюдениях объектов, стабилизированных по трём осям, допустимо время интегрирования фотометрического сигнала продолжительностью до 2 мин без потери значимой информации, так как за это время флуктуации интенсивности потока от объектов усредняются. При фотометрировании нестабилизированных или стабилизированных вращением НО необходимо надёжно фиксировать изменения интенсивности за времена, лежащие в диапазоне 0,1–2 с [4]. Принятая форма регистрации блеска позволяет провести интегрирование фотометрического сигнала за необходимое время накопления. После потери стабилизации НО начинает раскручиваться, постепенно изменяя период вращения, что может привести к ошибочным выводам при проведении анализа единственной ФКБ. Поэтому окончательное значение периода принимается при условии совпадения его величин, определённых по достаточно большому количеству кривых блеска (не менее 15), а также по характеру поведения показателей цвета НО.

3. Определение периода вращения НО важно для проведения анализа спектрофотометрических измерений, которые являются произведением функции спектрального распределения энергии Солнца и функции спектрального коэффициента отражения поверхности НО. Вычисление показателей цвета в выбранных спектральных диапазонах осуществляется в соответствующем блоке с помощью выражения [5]

$$m_B - m_V = -2,5 \lg (E_B/E_V) + \text{const},$$

где  $m_B$  и  $m_V$  — звёздные величины в полосах  $B$  и  $V$  соответственно;  $E_B$  и  $E_V$  — освещённость в полосах  $B$  и  $V$  соответственно; const — константа, вводимая для приведения измерений к нуль-пункту.

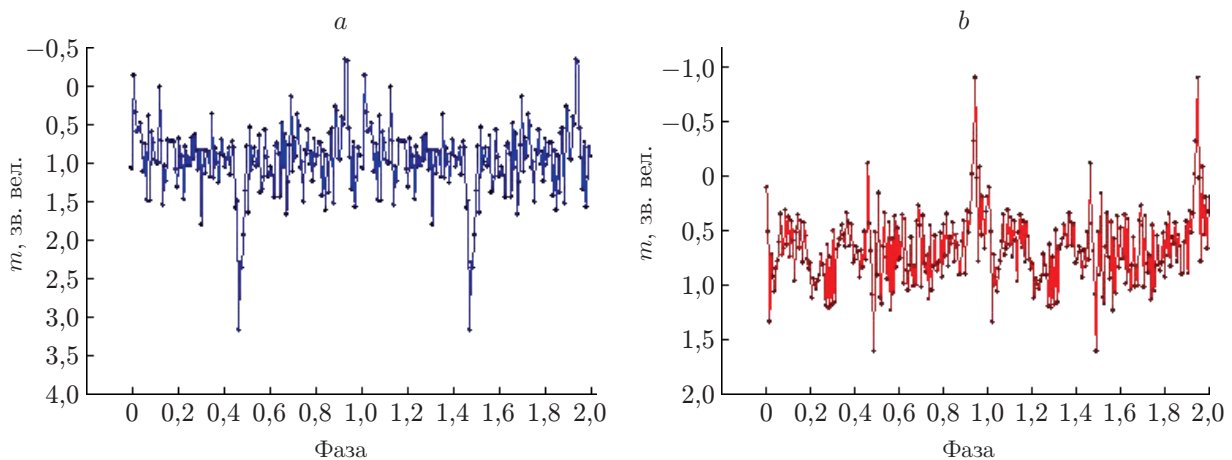


Рис. 7. Фазовая кривая наблюдаемого объекта:  $a$  — для показателя цвета  $B-V$ ,  
 $b$  — для показателя цвета  $V-R$

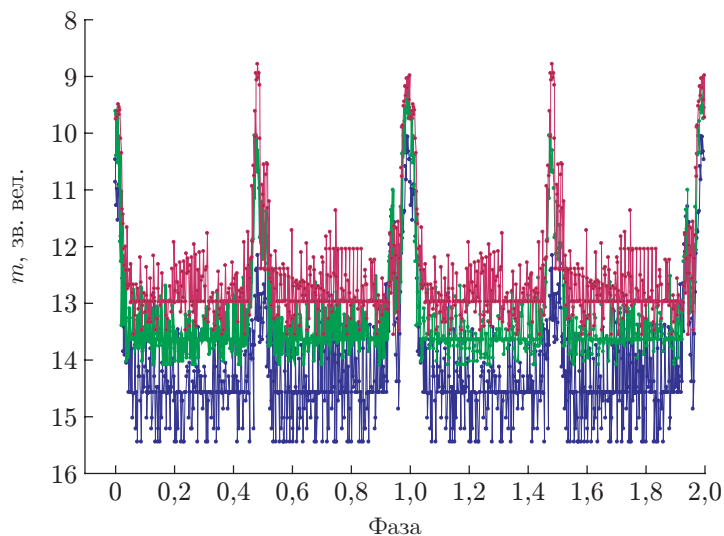


Рис. 8. Фазовая кривая НО для светофильтров полос  $B$ ,  $V$ ,  $R$

4. На рис. 7 представлена фазовая кривая блеска для полос  $B$ ,  $V$ ,  $R$ . Особенности построения фазовой кривой блеска будут рассмотрены далее.

5. Для объектов, стабилизированных по трём осям, формирование фотометрического портрета проводится следующим образом:

- вычисляются усреднённые показатели цвета НО,

- осуществляется его отнесение к наиболее вероятному типу объектов по материалу, вносящему наибольший вклад в спектральный состав отражённого солнечного излучения.

При этом используются База данных спектральных характеристик материалов и усреднённые показатели цвета наблюдаемых ранее объектов.

6. Для вращающихся объектов (стабилизированных вращением или кувыркающихся объектов) фотометрический портрет формируется следующим образом:

- по результатам проведения наблюдений в различных светофильтрах измерения блеска в выбранных спектральных диапазонах ( $m_B$ ,  $m_V$ ,  $m_R$ ) и вычисления периода вращения НО строится фазовая кривая блеска (рис. 8);

- на фазовой кривой блеска НО определяются характерные участки (рис. 9);

- вычисляются истинные значения (с учётом фоновой составляющей) спектральных характеристик (показателей цвета) выделенных характерных участков ФКБ;

- полученные спектральные характеристики характерных участков сопоставляются с наиболее вероятными типами материалов при использовании Базы данных спектральных характеристик материалов на основе двухцветных диаграмм [1].

Получаемая в процессе наблюдений информация позволяет оперативно выявлять переменность блеска вращающихся объектов и определять период изменения блеска, что необходимо для корректировки интервалов  $T$  и  $\tau$ . Независимо от характера поведения ФКБ сопровождаемого объекта процесс его наблюдений сводится к последовательному получению рядов информации в светофильтрах для полос  $B$ ,  $V$ ,  $R$ . С помощью персональной электронно-вычислительной машины осуществляется первичный контроль переменности блеска на этапе его регистрации от НО [6]. По зарегистрированному ряду интенсивностей  $l_i$

за время накопления  $\tau$  определяется среднее значение  $l = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i$ , что даёт возможность

проверить статистическую гипотезу на основе правила «трёх сигм». Если соответству-

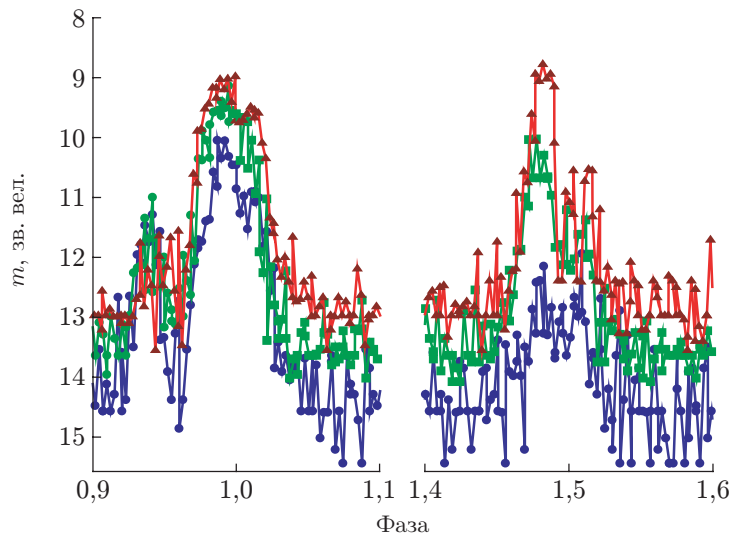


Рис. 9. Фазовая кривая выбранных характерных участков

ющее соотношение будет нарушено, можно утверждать, что произошло статистически значимое изменение интенсивности, связанное с ошибками гидрирования, или квалифицировать его как начало изменения уровня блеска (увеличения) вращающегося объекта.

Проводя с помощью персональной электронно-вычислительной машины несколько испытаний в ограниченном интервале, включающем найденную величину периода изменения блеска НО, вычисляются фазы всех точек массива измерений. Полученные фазы располагаются в порядке их возрастания, затем для звёздных величин, соответствующих упорядоченным фазам, определяются значения параметра  $Q$  в соответствии с выражением

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i - m_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^N (m_i - \bar{M})^2},$$

где  $N$  — число точек в массиве при  $M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i$ .

Параметр  $Q$  зависит от степени рассеяния точек относительно средней кривой изменения блеска и достигает максимального значения при хаотическом положении точек в фазовой плоскости. Следует отметить, что процедура уточнения величины периода начинается с максимального значения, а при уточнении меньших значений учитывается результат предыдущей обработки. Построение фазовой кривой блеска НО осуществлялось с помощью вычисления периода изменения его блеска и использования процедуры свёртки с ним временного ряда измерений. На рис. 8 представлена фазовая кривая НО в светофильтрах для полос  $B$ ,  $V$ ,  $R$ , «свёрнутая» с периодом  $T = 10$  с.

Определение периода изменения блеска на фазовой кривой осуществляется с помощью метода исследования амплитудно-частотных характеристик флуктуации яркости. Как уже было заявлено выше, пусть  $N$  и  $\tau$  — число отсчётов и время накопления сигнала соответственно;  $l$  — среднее значение отсчёта за время  $\tau$ , определяемое статистикой Пуассона. Для обработки массива значений  $i = 1, \dots, l$  используется алгоритм преобразования Фу-

рье. Рассмотрим амплитудно-частотный спектр отсчётов  $l_i$  при

$$A_i = \sum_{i=0}^{N-1} l_i \cos\left(\frac{2\pi k_i}{N}\right) \quad \text{и} \quad B_i = \sum_{i=0}^{N-1} l_i \sin\left(\frac{2\pi k_i}{N}\right)$$

как компонент вектора  $R_i = (A_i^2 + B_i^2)^{1/2}$ , имеющего стандартное отклонение  $\sigma = \sqrt{(4 - \pi)/2}$ . Если в потоке излучения есть неизвестный периодический сигнал, то векторы  $A_i$  и  $B_i$  будут содержать слагаемые  $bp \cos \Theta$  и  $bp \sin \Theta$ . Здесь  $p$  — период переменного сигнала,  $b$  — количество отсчётов за период сигнала,  $\Theta$  — фазовый угол переменного источника относительно начала временной выборки.

Разложив вектор  $\mathbf{R}_i = \mathbf{R} + \mathbf{p}$  в бинарный ряд, можно получить частотный спектр имеющейся выборки. Хотя предлагаемый способ и не предусматривает применения быстрого преобразования Фурье, но при количестве отсчётов  $N \leq 2000$  он оказывается достаточно эффективным.

Для оценки достоверности наличия вспышек в спектре мощности  $Y(\omega)$ , указывающих на наличие в массиве значений функции  $\{y_i\}$  при  $i = 1, \dots, l$  той или иной периодической составляющей, используется критерий Уокера. Он гласит, что если исходная последовательность  $\{y_i\}$  представляет собой некоррелированный (белый) шум, распределённый по нормальному закону (нулевая гипотеза), то значения спектра мощности  $\{y_k\} = \{y(\omega_k)\}$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , соответствуют закону  $\chi^2$  с двумя степенями свободы, для которого плотность вероятности определяется выражением  $e^{-x}$ .

В рассматриваемом случае  $x = y_k/y$ . В результате с учётом некоррелированности значений  $\{y_k\}$  следует, что выражение

$$p_k = [1 - e^{-y_k/y}]^{l/2} \cdot 100 \%$$

даёт вероятность того, что рассматриваемая вспышка в выборке  $\{y_i\}$  не является случайной, т. е. периодическая составляющая, действительно, присутствует в исходной последовательности измерений. Важно отметить, что формула для вычисления вероятности, как и сам критерий Уокера, фактически не опирается на сформулированную выше нулевую гипотезу. Достаточно, чтобы последовательность  $\{y_i\}$  подчинялась закону  $\chi^2$  с двумя степенями свободы, что на практике выполняется в подавляющем большинстве случаев.

**Анализ некоординатной информации о наблюдаемых объектах.** Построение фазовой кривой блеска выделенных характерных участков по усреднённым данным позволило выявить две вспышки (см. рис. 9): практически равные по величине амплитуды в интегральном свете, но различающиеся по регистрируемому потоку в светофильтрах. Главная вспышка (фаза 0,937–0,035) соответствует первому характерному участку фазовой кривой блеска НО, вторая вспышка (фаза 0,455–0,532) — второму характерному участку фазовой кривой блеска. Визуальный анализ даёт возможность считать, что показатели цвета этих характерных участков различны, а вторичная вспышка имеет сложную структуру — она двухкомпонентна (дополнительный пик в правой части графика на рис. 9).

Для вычисления истинных спектральных характеристик рассматриваемого участка фазовой кривой блеска необходимо определить показатели цвета минимального уровня диффузной составляющей блеска, которая является фоновым излучением и регистрируется от всей поверхности наблюдаемого объекта. Указанный уровень блеска практически по всей фазовой кривой блеска НО постоянен. Для рассматриваемой фазовой кривой блеска вычисленные показатели цвета минимального уровня равны  $(B-V) = 0^m,707$  и  $(V-R) = 0^m,671$ . Показатели цвета характерных участков фазовой кривой блеска без учёта фонового минимального уровня равны  $(B-V) = 0^m,79$ ,  $(V-R) = 0^m,45$  для первого характерно-



го участка и  $(B-V) = 1^m,844$ ,  $(V-R) = 1^m,029$  для второго характерного участка. Истинная величина спектральных характеристик главной вспышки  $(B-V) = 0^m,794$  и  $(V-R) = 0^m,434$ , а вторичной вспышки  $(B-V) = 2^m,17$  и  $(V-R) = 1^m,07$ .

7. Все полученные результаты текущих измерений поступают в блок Формирования текущего фотометрического портрета наблюдаемого объекта; на их основе создаётся фотометрический портрет НО  $I(X)$ .

На фазовой кривой НО выделялись характерные участки с приблизительно постоянным уровнем блеска в каждой фотометрической полосе. Для каждого характерного участка определялись: средние значения показателей цвета НО  $(B-V)$  и  $(V-R)$ , среднеквадратичные отклонения показателей цвета  $\sigma_{B-V}$  и  $\sigma_{V-R}$  на характерном участке и фазовая протяжённость характерного участка  $\Delta\varphi$  ( $0,2 < \Delta\varphi < 0,8$ ).

Обратим внимание, что между характерными участками почти постоянного блеска существуют переходные области, в которых блеск и показатели цвета существенно меняются. Из-за этого сумма фазовых протяжённостей всех выделенных характерных участков меньше единицы:

$$\sum \Delta\varphi_i < 1.$$

Характерные участки упорядочивались по фазе. Нулевой фазой считался момент максимального блеска НО в фотометрической полосе  $V$ . Если нулевая фаза попадает внутрь одного из характерных участков, этот участок получает номер «1». Если нулевая фаза не попадает внутрь ни одного из характерных участков, то номер «1» получает участок с наименьшими значениями фазы.

Компьютерное представление фотометрических портретов НО  $I(X)$  имеет следующую структуру:

$$N, (B-V)_1, (V-R)_1, \sigma_{B-V,1}, \sigma_{V-R,1}, \Delta\varphi_1, \dots, (B-V)_i, (V-R)_i, \sigma_{B-V,i}, \sigma_{V-R,i}, \Delta\varphi_i, \dots, \\ \dots, (B-V)_N, (V-R)_N, \sigma_{B-V,N}, \sigma_{V-R,N}, \Delta\varphi_N,$$

здесь  $N$  — число характерных участков фазовой кривой НО,  $i$  — последовательный номер характерного участка ( $1 \leq i \leq N$ ).

Фотометрические портреты двух НО  $I(X^{(1)})$  и  $I(X^{(2)})$  считаются близкими при условиях:

- 1)  $N^{(1)} = N^{(2)}$  (точное совпадение);
- 2)  $|(B-V)_i^{(1)} - (B-V)_i^{(2)}| < 2(\sigma_{B-V,i}^{(1)} + \sigma_{B-V,i}^{(2)})$  и  $|(V-R)_i^{(1)} - (V-R)_i^{(2)}| < 2(\sigma_{V-R,i}^{(1)} + \sigma_{V-R,i}^{(2)})$  для всех  $i$ ;
- 3)  $|\Delta\varphi_i^{(1)} - \Delta\varphi_i^{(2)}| < 0,15(\Delta\varphi_i^{(1)} + \Delta\varphi_i^{(2)})$  также для всех  $i$ .

Близкие фотометрические портреты эталонных НО и материалов, используемых в космических технологиях, объединяются в группы.

8. По совокупности полученных измерений проводятся анализ и оценка типа НО, принимается решение о его распознавании.

В ходе распознавания НО осуществляется сопоставление текущего фотометрического портрета с эталонными, как описано в п. 7. Кроме того, сопоставляя вычисленные показатели цвета и фотометрические портреты НО со спектральными характеристиками известных материалов, можно сделать предположение о наблюдаемом элементе конструкции объекта [7].

После обработки результатов наблюдений объектов вся измерительная информация поступает в блок Каталога наблюдаемых объектов, где осуществляется её сбор, накопление, централизованная обработка, хранение, обобщение и анализ в целях выработки новых указаний для оптических средств наблюдения.

Возможна ситуация, когда фотометрический портрет НО оказывается одновременно близок к нескольким группам эталонных объектов. В этом случае его классификация производится вручную на основе экспертной оценки специалиста. При одиночном совпадении происходит автоматическая классификация.

**Заключение.** Таким образом, результатом решения задачи определения типа НО в соответствии с представленным способом является отождествление фотометрического портрета объекта с одним из типовых, имеющихся в базе данных текущих и эталонных фотометрических портретов НО. В дальнейшем это позволит выявлять известные типовые объекты независимо от наличия априорной информации о них. Причём сопоставить фотометрический портрет можно с каждым НО.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке гранта Президента России (проект НШ-1357.2022.6 «Модели, методы и средства получения и обработки информации о космических объектах в широком спектральном диапазоне электромагнитных волн»).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков А. О., Логунов С. В. Способ определения конструктивных особенностей космических объектов по спектральным характеристикам // Нелинейный мир. 2013. 11, № 8. С. 554–558.
2. Жуков А. О., Заверзаев А. А. Разработка научно-методического аппарата построения фотометрических эталонов космических объектов // Сб. матер. III Всеросс. науч.-практич. конф. М.: Экспертно-аналитический центр, 2018. С. 140–143.
3. Жуков А. О., Харламов Г. Ю., Харламов Ю. Г. Алгоритмы учёта высокочастотных атмосферных искажений в телевизионной ПЗС-фотометрии околоземных космических объектов // Нелинейный мир. 2013. 11, № 11. С. 771–775.
4. Багров А. В., Смирнов М. А. Об определении формы небесных тел по фотометрическим наблюдениям // Научн. информ. Астрон. совета АН СССР. 1986. № 58. С. 152–161.
5. Миронов А. В. Основы астрофотометрии. Практические основы фотометрии и спектрофотометрии звёзд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 260 с.
6. Диденко А. В. Оптические и орбитальные характеристики ГСС США и их разгонных блоков // Третьи фесенковские чтения «Современная астрофизика: традиции и перспективы». Междунар. конф., посвящённая 60-летию Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова. Алматы: АФИФ, 2010. С. 89–98.
7. Багров А. В., Выгон В. Г., Рыхлова Л. В., Шаргородский В. Д. Исследование состояния аварийного геостационарного спутника по данным фотометрических наблюдений // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых небесных тел Солнечной системы: сб. науч. тр. конф. М.: Ин-т астрономии, 2000. С. 276–290.

*Поступила в редакцию 05.07.2021*

*После доработки 13.04.2022*

*Принята к публикации 28.04.2022*