

**Д.В. Бодрягин, Л.Е. Бондарчук, Н.В. Майгурова**

Научно-исследовательский институт «Николаевская астрономическая обсерватория»,  
ул. Обсерваторная, 1, Николаев, 54030, Украина, тел. +38 (0512) 56-40-40

## АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИЗБРАННЫХ ЗВЕЗД КАТАЛОГА WDS



*Представлены результаты наблюдений двойных звезд, наблюдавшихся в НИИ «НАО» на протяжении 2013–2016 годов. Выполнена астрометрическая редукция полученных кадров до получения экваториальных координат компонентов двойных и кратных систем на момент наблюдения. Комбинация полученных ПЗС-положений с другими каталогами Страсбургской базы позволили определить новые значения собственных движений наблюдавшихся звезд. Для 214 двойных систем были измерены параметры взаимной конфигурации компонентов (позиционный угол и угловое расстояние). Приведен анализ результатов измерений. Результаты измерений включены в базу каталога WDS.*

*Ключевые слова: ПЗС-наблюдения, астрономические базы данных, визуально-двойные звезды, собственные движения.*

Астрометрические наблюдения визуально-двойных звезд являются основным источником позиционной информации. В результате таких наблюдений получают экваториальные координаты, оценку блеска, взаимное угловое расстояние, а также позиционный угол взаимной ориентации для компонентов двойных систем. Эти данные по мере их накопления используют для построения дуги видимой орбиты второго компонента относительно более яркой главной звезды. Если наблюдения продолжаются достаточно долго (несколько десятков лет и более), можно проследить полное обращение второй звезды относительно главной звезды. Визуально-двойные звезды — это достаточно яркие объекты, видимая звездная величина главной звезды для 90 % известных звезд не превышает  $15^m$ , для второго компонента —  $17^m$ . Угловое расстояние между компонентами для 60 % систем составляет более  $4''$ , что делает возможными наблюдения их небольшими наземными телескопами. В настоящее время су-

ществует несколько каталогов двойных и кратных систем. Наиболее полным каталогом на сегодня является Вашингтонский каталог визуально-двойных звезд (Washington Double Star Catalog, WDS) [1]. Этот каталог двойных звезд в настоящее время поддерживается Морской обсерваторией США (USNO). В каталоге представлены положения, звездные величины, собственные движения и спектральные классы 138 234 пар двойных и кратных звезд (по состоянию на сентябрь 2016 г.). Каталог включает в себя информацию не только о двойных, но также и о кратных звездных системах. Каждому компоненту таких систем в каталоге соответствует отдельная запись.

Каталог TDSC (Tycho Double Star Catalogue) [2] создан на основе объединения результатов наблюдений космического аппарата Hipparcos с каталогом WDS. Он содержит 103 259 записей с информацией о 66 219 компонентах 32 631 двойных и кратных систем.

Каталог CCDM (Catalog of Components of Double and Multiple Stars) [3] включает 105 838 записей для 49 325 систем двойных и крат-

ных звезд с информацией о координатах, звездных величинах, спектральных классах и собственных движениях каждого компонента. Следует отметить, что, несмотря на то, что вышеперечисленные каталоги содержат десятки и даже сотни тысяч объектов, каталог ORB6 (Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars) [4], который содержит системы, для которых получены элементы орбит, насчитывает всего 2558 систем (по состоянию на апрель 2016 г.).

### НАБЛЮДЕНИЯ

Регулярные наблюдения двойных и кратных звезд в НИИ «НАО» проводятся с 2013 года. Для наблюдений используются два телескопа, оснащенные ПЗС-камерами. В данной работе приводятся результаты обработки наблюдательного массива, полученного в период 2013–2016 гг. В период 2013–2014 гг. наблюдения проводились на двух телескопах — КТ-50 комплекса Мобител и АМК (Аксиальный меридианный круг). После выхода ПЗС-камеры АМК из строя дальнейшие наблюдения проводятся только на телескопе КТ-50. В будущем, после установки новой камеры, планируется продолжить наблюдения двойных звезд на АМК. Характеристики телескопов и установленного оборудования приведены в таблице.

Программа наблюдений составлялась на основе каталога WDS с учетом возможностей ис-

пользуемых телескопов. Для составления наблюдательной программы при выборе объектов использовались следующие критерии:

- ✦ склонение объекта — более  $-20^\circ$ ;
- ✦ звездная величина каждого из компонентов — не слабее  $17^m$  для наблюдений на КТ-50 и  $14,5^m$  — для наблюдений на телескопе АМК;
- ✦ угловое расстояние между компонентами — более  $4-6''$ , что для наших изображений соответствует  $2-3$  FWHM (Full Width at Half Maximum) — полная ширина на половине амплитуды. Время экспозиции на экваторе составляло 102 с для телескопа АМК и 85 с — для телескопа КТ-50, что обеспечивало размер поля зрения  $25,6' \times 22,9'$  и  $21,2' \times 42,5'$  соответственно.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Обработка полученных наблюдений включала два этапа.

На **первом этапе** выполнялись стандартные астрометрические редукиции с помощью программы Астрометрика [5]. В результате выполнения этого этапа получался массив положений всех звезд, попавших в поле зрения кадра в виде экваториальных координат (прямого восхождения и склонения) на момент наблюдения, а также ориентация кадра в экваториальной системе координат, которая использовалась на следующем этапе обработки. В качестве опорного каталога при выполнении астрометрических редукиций использовались каталоги UCAC2 и UCAC4.

В результате выполненных астрометрических редукиций полученных ПЗС-кадров был получен каталог положений и собственных движений всех объектов, которые попадают в поле зрения вместе с программной звездой. Для отождествления всех объектов каталога WDS, которые могли попасть в поле зрения кадра, выполнялась кросс-идентификация полученных каталожных массивов с каталогом WDS программным обеспечением TOPCAT (Tool for Operations on Catalogues And Tables). Всего было найдено 1038 двойных и кратных звезд ката-

Характеристики телескопов НИИ «НАО»

	АМК	КТ-50
Тип телескопа	Меридианный круг	Телескоп Максутова
Параметры оптической системы	$D = 180$ мм, $F = 2500$ мм	$D = 500$ мм, $F = 3000$ мм
Камера	S1C	Alta U9000
Размер матрицы	$1040 \times 1160$ pix	$3056 \times 3056$ pix
Характеристики пикселя	16 мкм, квадратный	12 мкм, квадратный
Режим съемки	drift scan	
Угловой масштаб	$1,32''/\text{pix}$	$0,83''/\text{pix}$
Фильтр	V	OC-14

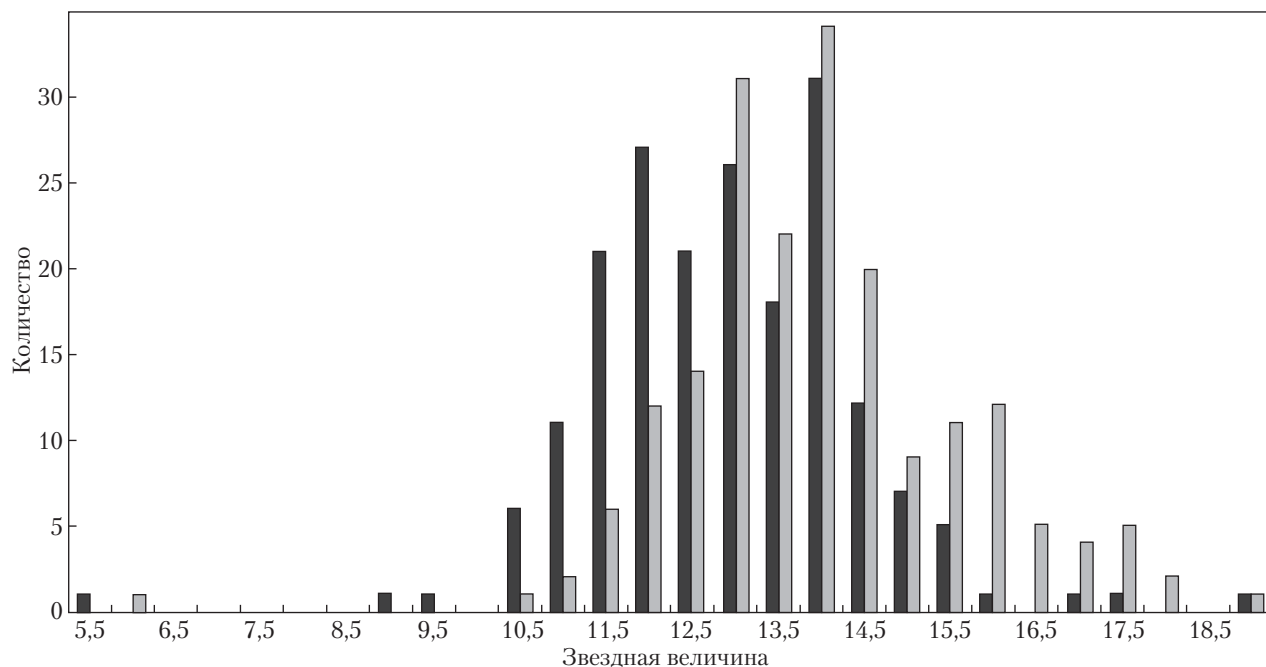


Рис. 1. Распределение первичных (показаны черным) и вторичных (показаны серым) компонент измеренных двойных систем по звездным величинам

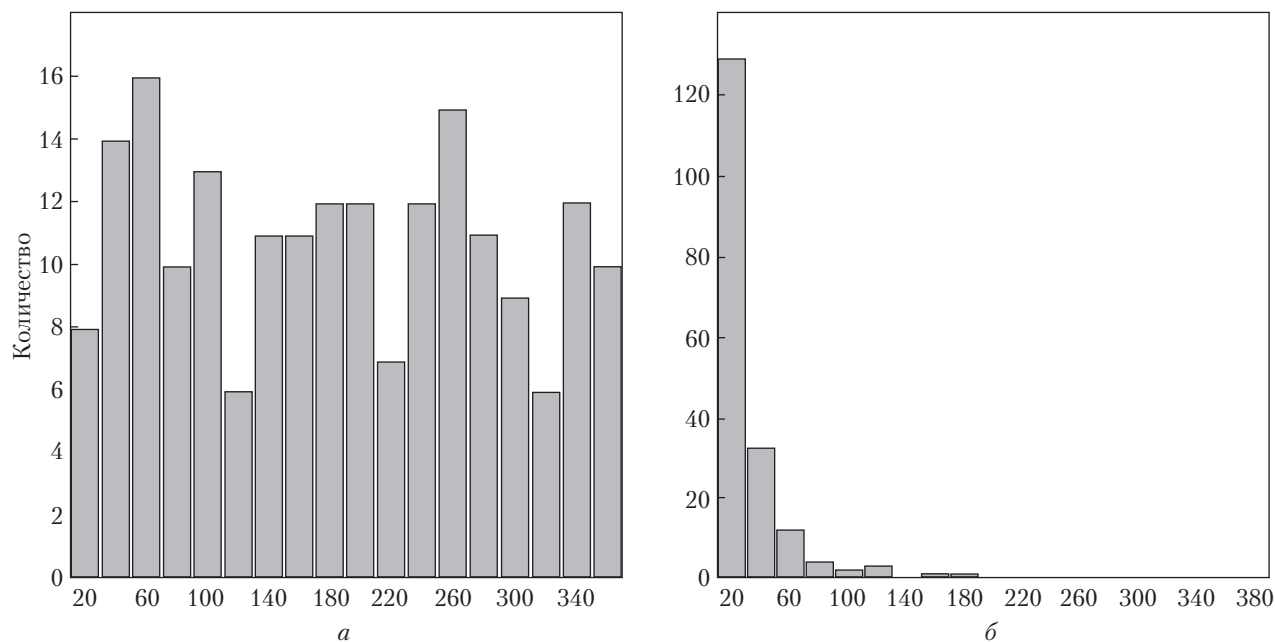


Рис. 2. Гистограмма распределения измеренных двойных систем по позиционному углу (а) и угловому расстоянию (б)

лога WDS, из них 98 — в массиве наблюдений, полученных на телескопе АМК.

Гистограмма распределения звездных величин компонентов, представленная на рис. 1, показывает, что наблюдения на телескопе КТ-50 позволяют проводить измерения двойных систем, у которых звездная величина второго компонента не слабее  $17,5^m$ . Среднее число наблюдений одной звезды на телескопе АМК составляет 4, на телескопе КТ-50 — 7,5. Ошибка каталожного положения звезды для наблюдений на КТ-50 находится в пределах  $(20-60)$  mas для звезд  $(10-17,5)^m$ , для наблюдений на АМК —  $(50-80)$  mas для звезд  $(8-13,5)^m$ . Оценка внешней точности положений, полученная в результате сравнения с другими каталогами, составляет менее 100 mas. В качестве первой эпохи положений для вычисления новых собственных движений компонент были взяты положения этих звезд из каталога USNOA2.0. Средняя разность эпох наблюдений для северной полусферы в нашем случае составляет около 60 лет, что позволяет получить точность собственных движений около 5 mas/год.

Для отдельных двойных систем собственные движения вычислялись из решения системы линейных уравнений методом наименьших квадратов с применением линейной модели движения звезды. Для этого привлекались данные нескольких современных каталогов, что позволило улучшить точность вычисления собственных движений до 2 mas/год. Более подробно результаты исследования полученных собственных движений приведены в [6].

**Второй этап** обработки заключался в измерении параметров, характеризующих взаимное положение компонентов. Ухудшающееся состояние матрицы на телескопе АМК привело к тому, что вторые компоненты двойных звезд на многих кадрах отсутствовали или имели очень низкое отношение *сигнал/шум*. Поэтому для измерений были отобраны только изображения объектов, полученные на телескопе КТ-50. Всего было измерено около 2000 кадров 214 двойных и кратных систем каталога WDS.

Измерения выполнялись с использованием программного пакета REDUC [7]. Следует отметить, что REDUC для вычисления позиционного угла и углового расстояния использует не экваториальные координаты измеряемых звезд, а прямоугольные координаты центра изображений и ориентацию измеряемого кадра в экваториальной системе координат. Для измерений выбирались серии последовательных наблюдений программного объекта, как правило, включающие от 5 до 10 кадров, с хорошим качеством изображения. Среднее число кадров в серии наблюдений одной звезды составляло 9. Были измерены параметры взаимной конфигурации 214 систем каталога WDS. Полученный массив измерений содержит позиционный угол, угловое расстояние между компонентами и их среднеквадратическое отклонение (СКО), значение разности блеска между компонентами, дату наблюдения и количество наблюдений каждого объекта. На рис. 2 представлены гистограммы распределения измеренных систем по позиционным углам и угловым расстояниям. Основная часть измеренных нами систем (84 %) имеет значение углового расстояния в пределах от 6 до 40". Анализ полученных результатов измерений показал, что ошибка определяемых параметров зависит от углового расстояния между компонентами [8]. При угловых расстояниях менее 10" наблюдается резкое ухудшение точности измерений. Среднее значение стандартной ошибки измерения позиционного угла составило  $\pm 0,2^\circ$ , углового расстояния — 0,06". Полученные данные измерений параметров 194 двойных и кратных систем включены в базу записей каталога WDS, что составляет около 20 % от всех имеющихся наблюдений для этих 194 звезд.

## ВЫВОДЫ

В результате ПЗС-наблюдений на телескопах НИИ «НАО» в период 2013–2016 гг. был получен массив положений звезд, входящих в состав двойных и кратных систем. Для 214 объектов каталога WDS выполнены измерения позици-

онних углов и угловых расстояний со средней стандартной ошибкой позиционного угла  $\pm 0,2^\circ$  и углового расстояния —  $0,06''$ . Результаты измерений 194 двойных систем были опубликованы в JDSO и добавлены в базу каталога WDS.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mason B.D., Wycoff G.L., Hartkopf W.I., Douglass G.G., Worley C.E. The Washington double star catalog. *Astron. J.* 2001. No. 122. P. 3466–3471.
2. Fabricius C., Hog E., Makarov V.V., Mason B.D., Wycoff G.L., Urban S.E. The Tycho double star catalogue. *Astron. Astrophys.* 2002. No. 384. p. 180–189.
3. Dommangeat J., Nys O. VizieR Online Data Catalog: CCDM (Catalog of Components of Double & Multiple stars). *Observations et Travaux.* 2002. No. 54. P. 5.
4. Hartkopf W.I., Mason B.D., Worley C.E. The Fifth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars. *Astron. J.* 2001. No. 122. P. 3472–3479.
5. *Astrometrica*. URL: <http://www.astrometrica.at/>.
6. Bodryagin D.V., Maigurova N.V. Results of Double Stars Observations at Nikolaev Observatory. *Odessa Astronomical Publications.* 2015. No. 28. P. 163–164.
7. REDUC. (n.d.). Retrieved September 25, 2016, from HFOSAF website, <http://www.astrosurf.com/hfosaf/>.
8. Bodryagin D., Bondarchuk L., Maigurova N. Double Stars Measurements from Astrometric CCD Observations at the Nikolaev Observatory (Ukraine). *J. of Double Star Observations.* 2016. No. 12. P. 320–326.

#### REFERENCES

1. Mason, B.D, Wycoff, G.L, Hartkopf, W.I, Douglass, G.G, Worley, C.E. The Washington double star catalog. *Astron. J.* 2001. 122: 3466–3471.
2. Fabricius, C, Hog, E, Makarov, V.V, Mason, B.D, Wycoff, G.L, Urban, S.E. The Tycho double star catalogue. *Astron. Astrophys.* 2002. 384: 180–189.
3. Dommangeat, J., Nys, O. VizieR Online Data Catalog: CCDM (Catalog of Components of Double & Multiple stars). *Observations et Travaux.* 2002. 54: 5.
4. Hartkopf, W.I., Mason, B.D., Worley, C.E. The Fifth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars. *Astron. Journal.* 122 (6): 3472–3479.
5. *Astrometrica*. (n.d.). Retrieved September 25, 2016, from Astrometrica website, <http://www.astrometrica.at/>.
6. Bodryagin, D.V., Maigurova, N.V. Results of Double Stars Observations at Nikolaev Observatory. *Odessa Astronomical Publications.* 2015. 28: 163–164.
7. REDUC. (n.d.). Retrieved September 25, 2016, from HFOSAF website, <http://www.astrosurf.com/hfosaf/>.

8. Bodryagin, D., Bondarchuk, L., Maigurova, N. Results of 194 Double Stars Measurements from Astrometric CCD Observations at the Nikolaev Observatory (Ukraine). *Journal of Double Star Observations.* 2016. 12: 320–326.

*D. Bodryagin, L. Bondarchuk, N. Maigurova*

Research Institute «Mykolaiv Astronomical Observatory»,  
1, Observatorna Str., Mykolaiv, 54030, Ukraine,  
tel. +38 (0512) 56-40-40

#### ASTROMETRICAL OBSERVATIONS OF THE SELECTED WDS STARS

The results of double stars observations, which were carried out at the Research Institute NAO during the 2013–2016 years are presented. Astrometric reduction of the received frames until the equatorial coordinates of binary and multiple systems components at the time of observation was made. The combination of the CCD received data with other Strasbourg base catalogs allowed to determine the new values of the observed stars' proper motions. Parameters of mutual component configuration (position angle and separation) were measured for the 214 double stars. The analysis of the measurement results was carried out. The measurement results were added to the WDS directory database.

*Keywords:* CCD observations, astronomical databases, visual binaries, proper motions.

*Д.В. Бодрягин, Л.Е. Бондарчук, Н.В. Майгурова*

Науково-дослідний інститут  
«Миколаївська астрономічна обсерваторія»,  
вул. Обсерваторна, 1, Миколаїв, 54030, Україна,  
тел. +38 (0512) 56-40-40

#### АСТРОМЕТРИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ОБРАНИХ ЗІР КАТАЛОГУ WDS

Наведені результати спостережень подвійних зір, що спостерігалися в НДІ «МАО» протягом 2013–2016 років. Виконана астрометрична редукція отриманих кадрів до отримання екваторіальних координат компонентів подвійних і кратних систем на момент спостереження. Комбінація отриманих ПЗЗ-положень з іншими каталогами Страсбурзької бази дали можливість визначити нові значення власних рухів зірок, що спостерігались. Для 214 подвійних систем були виміряні параметри взаємної конфігурації компонентів (позиційний кут і кутова відстань). Проведено аналіз результатів вимірювань. Результати вимірювань додані в базу каталогу WDS.

*Ключові слова:* ПЗЗ-спостереження, астрономічні бази даних, візуально-подвійні зорі, власні рухи.

Стаття надійшла до редакції 21.10.16