

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/40-156

Ссылка для цитирования этой статьи:

Тарасов С.М. Исследование погрешностей определения координат центров изображений звезд по экспериментальным данным наземных астрономических наблюдений // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2022. №4

УДК 520.8, 528.52, 531.749

DOI: 10.24412/2541-9269-2022-4-25-28

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗВЕЗД ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Тарасов С.М.¹

¹АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Россия, Санкт-Петербург

A STUDY OF ERRORS IN DETERMINING THE STAR IMAGE COORDINATES USING EXPERIMENTAL GROUND-BASED ASTRONOMICAL OBSERVATION DATA

Tarasov S.M.¹

¹Concern CSRI Elektropribor, JSC, Russia, Saint Petersburg

Аннотация. Рассматриваются вопросы, связанные с влиянием атмосферы на точностные характеристики наземных автоматизированных астрономических комплексов, предназначенных для определения астрономических координат и азимутов. На основе экспериментальных данных оцениваются погрешности определения координат энергетических центров изображений звезд в плоскости фотоприемного устройства.

Ключевые слова: влияние атмосферы, точностные характеристики, автоматизированные астрономические комплексы, фотоприемное устройство

Abstract. The issues related to the influence of the atmosphere on the accuracy of the ground-based automated astronomical systems designed to determine astronomical coordinates and azimuths are considered. Using experimental astronomical observation data, the errors of determining the star image coordinates in the photodetector plane are estimated.

Keywords: atmospheric effects, accuracy characteristics, automated astronomical complexes, photodetector

Введение. В АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» на протяжении многих лет разрабатываются и успешно применяются наземные автоматизированные астрономические комплексы, предназначенные для определения астрономических координат места и астрономических азимутов [1-5]. При наземных астрономических наблюдениях одним из основных

факторов, обуславливающих погрешности определения координат изображений звезд в плоскости фотоприемного устройства (ФПУ), и, следовательно, погрешности определения астрономических координат и азимутов, является влияние атмосферы [6, 7].

Разработка и развитие подобных средств требует создания моделей погрешностей комплексов, учитывающих не только характеристики и инструментальные погрешности самих изделий, но и факторов окружающей среды, влияющих на итоговую погрешность определения требуемых параметров.

Результаты математического моделирования, рассмотренные в работе [8], показали, что погрешности определения координат точки в плоскости ФПУ, соответствующей центру визирной оси оптико-электронного блока автоматизированного астрономического комплекса, в большей степени зависит от статистических характеристик влияния атмосферы и в меньшей степени от оптических характеристик самого прибора.

Вследствие прохождения излучения от звезд через атмосферу Земли возникают искажения изображения звезд в плоскости ФПУ, обусловленные отклонениями излучения от прямолинейной траектории его движения. В результате изображения звезд в плоскости ФПУ формируются с погрешностью относительно их действительных положений. Влияние атмосферы условно можно представить в виде трех компонент: боковая рефракция (преломления излучения в горизонтальной плоскости), вертикальная рефракция (преломления в вертикальной плоскости) и атмосферная турбулентность – случайные искажения волнового фронта излучения, обусловленные хаотичным движением воздушных масс на пути следования излучения.

Боковая рефракция может быть исключена при астрономических наблюдениях на высотах не менее 40° , а вертикальная рефракция – с использованием известных математических моделей и таблиц рефракции [9]. Атмосферная турбулентность носит случайный характер, сложна в описании и последующем учете, поэтому исключить погрешности определения координат изображений звезд в плоскости ФПУ, обусловленных атмосферной турбулентностью, не представляется возможным.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния атмосферной турбулентности на погрешности определения координат энергетических центров изображений звезд в плоскости ФПУ автоматизированных астрономических комплексов.

Описание исследований. Исследование погрешностей определения координат изображений звезд в плоскости ФПУ, обусловленное влиянием атмосферной турбулентности, проводилось по экспериментальным данным астрономических наблюдений, полученных с использованием автоматизированного астрономического стационарного комплекса и автоматизированного зенитного телескопа [4, 5]. Схемы проведения экспериментов представлены на рис. 1.

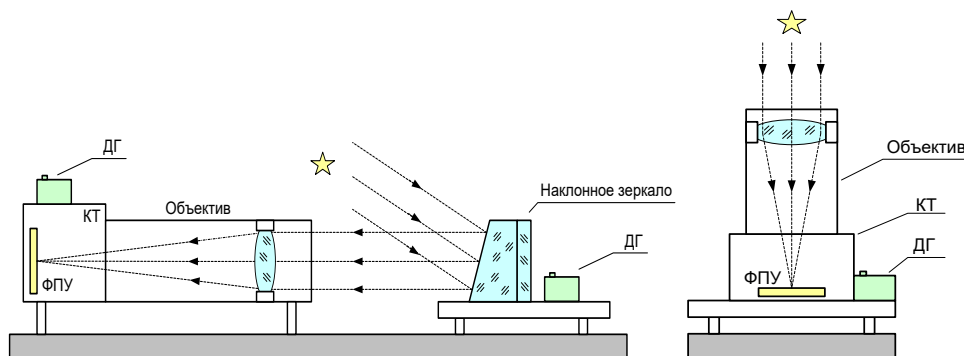


Рис. 1. Схемы проведения астрономических наблюдений с использованием астрономического стационарного комплекса (а) и автоматизированного зенитного телескопа (б)

Работа с астрономическим стационарным комплексом (рис. 1а) осуществлялась в специальном сооружении на развязанном фундаменте. Наблюдения звезд проводились близи круга равных высот 40° . Для обеспечения наблюдения звезд на высоте 40° напротив объектива и камеры телевизионной (КТ) устанавливался оптический элемент, имеющий наклонную зеркальную поверхность под углом 20° относительно его основания (наклонное зеркало на рис. 1а). Изображения звезд в плоскости ФПУ формировались в результате преломления излучения от звезд наклонным зеркалом в направлении объектива, как показано на рис. 1а.

Второй эксперимент проводился с использованием автоматизированного зенитного телескопа (рис. 1б), оптическая ось которого устанавливалась в направлении астрономического зенита (высота наблюдения звезд равнялась 90°). В обоих экспериментах при выполнении астрономических наблюдений изменения положений элементов астрономических комплексов (КТ, наклонного зеркала и основания зенитного телескопа) контролировались с использованием высокоточных двухосных датчиков горизонта (ДГ).

Для проведения исследований в процессе астрономических наблюдений формировались массивы координат изображений видимых звезд x_{ij}, y_{ij} , где i – порядковый номер обнаруженной звезды, j – порядковый номер кадра. Далее, для каждой i -ой видимой звезды, при условии, что за все время наблюдений она была видна минимум в N_{ki} кадрах, по ее координатам x_{ij}, y_{ij} проводилась аппроксимация траектории движения ее изображения в плоскости ФПУ.

Погрешности определения координат энергетических центров изображений звезд $\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}$ представляют собой разности полученных координат изображений звезд x_{ij}, y_{ij} и расчетных значений координат изображений звезд, полученных по данным аппроксимации,

$$\Delta x_{ij} = x_{ij} - Fx_i(j); \Delta y_{ij} = y_{ij} - Fy_i(j), \quad (1)$$

где $Fx_i(j), Fy_i(j)$ – функции зависимости координат изображений i -ой звезды от номера кадра, описывающие траекторию движения i -ой звезды в направлении строк и столбцов матрицы ФПУ, соответственно.

Заключение. На основе экспериментальных данных наблюдений с использованием наземных автоматизированных астрономических комплексов исследованы погрешности определения координат энергетических центров изображений звезд в плоскости ФПУ, обусловленные атмосферной турбулентностью. Результаты исследований могут быть использованы при формировании моделей погрешностей вновь разрабатываемых астрономических комплексов.

Литература

1. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли / Под ред. В.Г. Пешехонов, О.А. Степанов. СПб.: АО Концерн ЦНИИ «Электроприбор», 2017. 390 с.
2. Tarasov S.M. Calibration of the azimuth drive angle sensor of the mobile automated astronomical system by stars observation // The International Workshop on Navigation and Motion Control. 2021.
3. Тарасов С.М. Исследование влияния инструментальной погрешности автоматизированного астроуниверсала в задаче определения азимута наземного ориентира // Гирокоспия и навигация. Том 29. №2 (113). 2021. С. 97-109.
4. Цодокова В.В., Гайворонский С.В., Тарасов С.М., Русин Е.В. Определение астрономических координат автоматизированным зенитным телескопом // Навигация и управление движением: материалы XVI конференции молодых ученых. СПб.: ГНЦ РФ ОАО Концерн ЦНИИ «Электроприбор», 2014. С. 269-276.
5. Гайворонский С.В., Кузьмина Н.В., Цодокова В.В. Результаты разработки высокоточной оптико-электронной системы определения астрономического азимута // Материалы докладов XXVIII конференции памяти выдающегося конструктора гирокоспических приборов Н.Н. Острякова. СПб.: ГНЦ РФ ОАО Концерн ЦНИИ «Электроприбор», 2012.
6. Копчинский И.Г. Оптическая нестабильность земной атмосферы при наблюдении звезд. Киев: Наукова думка, 1967. 184 с.
7. Сычев В.В. Влияние атмосферы на качество изображения в оптических телескопах // Наука и образование: Научное издание МГУ им. Н.Э. Баумана. 2012. №5. С. 26. DOI 10.7463/0512.0414002.
8. Тарасов С.М., Цодокова В.В. Исследование влияния характеристик оптико-электронного блока автоматизированного астрономического универсала на точность определения азимута наземного ориентира // Навигация и управление движением: материалы XXIII конференции молодых ученых с международным участием. СПб.: ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2021. С. 22-25.
9. Таблицы рефракции Пулковской обсерватории / Под ред. В.К. Абалакина Изд. 5-е. Л.: Наука, 1985. 48 с.