

УДК 520.3

С. З. Малинич¹, І. Я. Підстригач²

¹Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка
79005 Львів, вул. Кирила і Мефодія, 8

²Кафедра механіки Львівського національного університету імені Івана Франка
79000 Львів, вул. Університетська, 1

Модифікація хромосферного телескопа для здійснення цифрової реєстрації зображень

Методом комп'ютерного моделювання визначено оптичні та конструкційні параметри вузла спряження хромосферного телескопа АФР-2 із цифровою фотокамерою Sony DSC-S85. Визначено оптимальне взаєморозташування камери, оптики телескопа та колективної лінзи. Як параметр оптимізації (критерій якості зображення сонячного диску у лінії H_{α}) використовувалася функція передачі модуляції.

МОДИФИКАЦИЯ ХРОМОСФЕРНОГО ТЕЛЕСКОПА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, Малинич С. З., Пидстригач И. Я. — Методом компьютерного моделирования определены оптические и конструктивные параметры узла сопряжения хромосферного телескопа АФР-2 с цифровой фотокамерой Sony DSC-S85. Определено оптимальное взаиморасположение камеры, оптики телескопа и коллективной линзы. В качестве параметра оптимизации (критерия качества изображения солнечного диска в линии H_{α}) использовалась функция передачи модуляции.

MODIFICATION OF THE CHROMOSPHERE TELESCOPE FOR DIGITAL IMAGING, by Malynych S. Z., Pidstryhach I. Ya. — Optical and constructive parameters of a junction of the chromosphere telescope with the digital still camera Sony DSC-S85 are determined from computer simulation. The optimal arrangement of the camera, telescope optics, and collecting lens is found. Modulation transfer function is used as an optimization parameter (criterion of image quality for solar disk in H_{α} spectral line).

З часу свого винаходу на початку 1970-х рр. матричні приймачі зображень на основі пристроїв із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) посіли визначне місце у практиці астрономічних спостережень і майже витіснили традиційні фото-матеріали та фотопомножувачі [2]. Їхня висока чутливість та низькі значення темного струму, широкий динамічний діапазон та отримання зображень одразу в оцифрованому вигляді робить такі приймачі абсолютно незамінними у спостережувальній астрономії. Разом з тим розвиток комп'ютерних методів обробки зображень та можливість швидкої передачі даних по інтернету також сприяють широкому застосуванню ПЗЗ для реєстрації

зображень небесних об'єктів. Така оперативність має особливе значення для завдань моніторингу швидкозмінних процесів на Сонці.

На жаль, надзвичайно висока вартість професійних астрономічних камер з ПЗЗ-матрицями робить їх практично недоступними для вітчизняних обсерваторій. Альтернативним шляхом вирішення цієї проблеми є оснащення телескопів значно дешевшими побутовими цифровими фотокамерами, технічні характеристики яких часто бувають цілком адекватними певним задачам астрофотографії. Саме у такий спосіб проведено модифікацію хромосферного телескопа АФР-2 в астрономічній обсерваторії Львівського національного університету ім. І. Франка. Оскільки оптична система телескопа початково була розрахована для проектування зображення повного диску Сонця на площину фотоплівки (тобто, на виході телескопа отримується суттєво розбіжний, а не паралельний пучок променів), а об'єктів фотокамери є конструктивно невіддільним від самої камери, то для спряження оптичних систем телескопа та фотокамери виявилось необхідним обладнати телескоп додатковими оптичними елементами. При такому спряженні дуже важливим є не лише зміна масштабу зображення та перенесення його із фокальної площини проєкційного об'єктива у площину ПЗЗ-матриці, але й збереження роздільної здатності системи телескоп-фотокамера.

Хромосферний рефрактор АФР-2 (H_{α} -кінематограф) був сконструйований у СибІЗМІР для реєстрації зображення повного диску Сонця у спектральній лінії H_{α} ($\lambda = 656.3$ нм) на фотографічну плівку високої роздільної здатності [1]. Оптична система телескопа складається з двохлінзового об'єктива ($D = 18$ см, $f = 2.157$ м), польової лінзи, інтерференційно-поляризаційного фільтра (ІПФ) та проєкційного об'єктива. Польова лінза розташована за об'єктивом телескопа на відстані, що дорівнює її фокусній відстані. В цьому випадку пучок променів, що йдуть від усіх ділянок Сонця та проходять через довільну точку об'єктива, після польової лінзи стає паралельним, тому всі точки зображення знаходяться в однакових умовах проходження променів крізь фільтр (телецентричний хід променів). Тим самим забезпечується спектральна однорідність зображення по всьому полю зору.

Проєкційний (збільшувальний) об'єktiv переносить первинне зображення сонячного диску діаметром 22 мм, що розташоване всередині світлофільтра, у еквівалентну фокальну площину, де діаметр зображення становить вже 50.5 мм. Проєкційний об'єktiv телескопа має можливість переміщення вздовж оптичної осі системи, що дає змогу фокусувати зображення та компенсувати температурне розширення труби телескопа. Роздільна здатність зображення визначається головним чином характеристиками фотоматеріалів та умовами спостережень, а не оптикою телескопа [1].

Цифрова фотокамера Sony DSC-S85 призначена для фотографування об'єктів у діапазоні відстаней від 0.1 м до нескінченності без застосування додаткової оптики. Камера оснащена варіоб'єктивом Carl Zeiss 2/7-21; тривалість експозиції може змінюватися від 0.001 до 8 с, діафрагмове число 2...16. ПЗЗ-матриця має формат 7.176×5.319 мм (2272×1704 пкл). Фотокамера має відеовихід, що дозволяє спостерігати зображення за допомогою телевізійного монітора у реальному часі. Навіть при максимально відкритій діафрагмі вхідна зіниця фотокамери є значно меншою за діаметр зображення Сонця у еквівалентному фокусі, тому для фотографування повного диску Сонця необхідно встановити додаткову оптичну систему між дійсним зображенням диска, утвореним телескопом, та об'єктивом фотокамери. Така оптична система має переносити це зображення крізь об'єktiv фотокамери у площину матричного приймача. Абераційні розрахунки показали, що з цією метою достатньо буде використати двоопуклу лінзу.

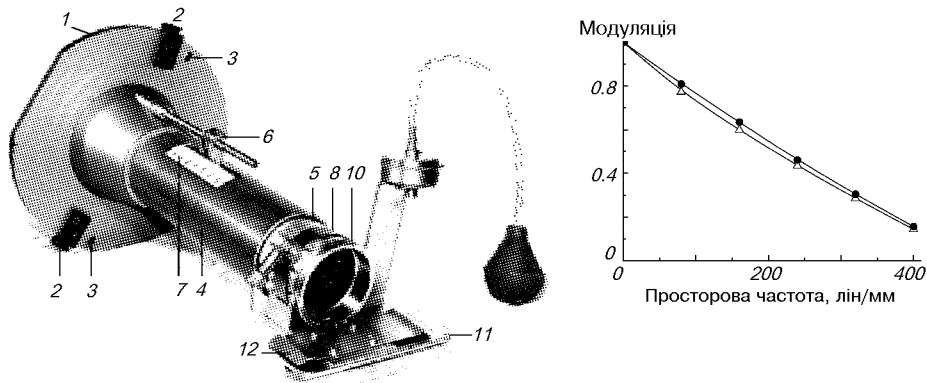


Рис. 1. Зовнішній вигляд вузла кріплення цифрової фотокамери до телескопа (пояснення у тексті)

Рис. 2. Функція передачі модуляції системи телескоп — колективна лінза — фотокамера (трикутники), функція передачі модуляції еквівалентної ідеальної оптичної системи (точки)

Враховувалися сферична аберація, кома та астигматизм. Хроматичною аберацією можна знехтувати, оскільки спостереження ведуться в межах однієї спектральної лінії. Діаметр такої колективної лінзи (лінзи спряження) повинен бути більшим за діаметр зображення сонячного диска (50.5 мм), щоб уникнути віньєтування.

Для оптичного спряження хромосферного телескопа з фотокамерою вибрано лінзу діаметром 70 мм та оптичною силою $D = 5.26$ дптр (фокусна відстань 190 мм). Колективна лінза роташована дещо далі зображення, сформованого проєкційним об'єктивом. Така схема вибрана для того, щоб дефекти та пил на поверхні колективної лінзи не знаходилися у фокусі об'єктива фотокамери. Для механічного кріплення колективної лінзи та фотокамери з телескопом було виготовлено фотоприставку. Фотоприставка (рис. 1) складається з фланця 1, на якому є центрувальні отвори 3 та вуха 2 для кріплення фотоприставки до телескопа. До фланця прикріплена зовнішня труба 4, у якій за допомогою кремальєри 6 пересувається внутрішня труба 5.

Положення внутрішньої труби визначається по шкалі 7, яка показує відстань від задньої поверхні колективної лінзи до площини приєднання фотокамери. Для приєднання фотокамери служить перехідне об'єктивне кільце 10, хомут 8 та гайка 9. До кінця внутрішньої труби також прикріплена основа 11, на якій знаходиться пружна пластина 12 для точного встановлення нахилу фотокамери відносно добової паралелі руху Сонця. На скобі основи змонтовано пневмоспуск затвора фотокамери 13. Колективна лінза закріплена у фланці за допомогою перехідного кільця. Фотокамера має можливість переміщення вздовж оптичної осі для мінімізації віньєтування пучка апертурою її об'єктива, яка у даному випадку становить 6.6 мм. Фотокамера попередньо фокусується на відстань 0.3 м (ручне фокусування камери здійснюється лише для певних фіксованих величин: 0.1, 0.2, 0.3 м тощо). Для знаходження оптимального розташування фотокамери експериментально було визначено положення площини її апертури. З урахуванням впливу колективної лінзи площина апертури фотокамери перебуває на відстані 33.5 мм від зображення. Остаточне фокусування здійснюється переміщенням проєкційного об'єктива та контролюється візуально на екрані телемонітора.

Фотографування проводиться у напівавтоматичному режимі (пріоритет діафрагми), причому величина відносного отвору камери є найбільшою для максимального оптичного збільшення і становить 3.2. Вимірювання часу експозиції проводиться по центру кадра для виключення ефекту перетримки. Поправки експозиції фотокамери підбираються з умови досягнення найбільшого динамічного діапазону зображення. Для збільшення масштабу зображення у площині ПЗЗ використовується максимальне значення оптичного збільшення фотокамери, що досягається встановленням фокусної відстані об'єктива у 21 мм. Діаметр зображення повного диска Сонця на поверхні матриці у цьому випадку становить 4.1 мм (1310 пкл).

Для абераційних розрахунків, а також розрахунків параметрів колективної лінзи та взаємного розташування всіх оптичних елементів використовувалася загальнодоступна версія програмного забезпечення OSLO-EDU v. 6.3.4 (<http://www.lambdages.com>). Програма володіє потужним графічним інтерфейсом і дозволяє представити на моніторі комп'ютера зображення світної точки, утворене оптичною системою, з урахуванням усіх аберацій. Змінюючи відстані між телескопом, колективною лінзою та фотокамерою, можна добитися найкращого фокусування, а за ним визначити геометричні параметри системи. Проте зручнішим та строгим є використання функції передачі модуляції як параметра оптимізації та універсального критерія якості оптичних систем.

Функція передачі модуляції показує, наскільки повно оптична система відтворює деталі на різних просторових частотах при різних рівнях контрасту, тобто одночасно дає інформацію про роздільну здатність оптичної системи та контраст. Розраховану функцію передачі модуляції для системи телескоп — колективна лінза — фотокамера показано на рис. 2.

На рівні контрасту 0.2, що приблизно відповідає критерію Релея, розраховане значення функції передачі модуляції становить 380 лін/мм (або пар контрастних ліній на міліметр). Враховуючи розмір пікселя матричного приймача фотокамери, який становить близько 3 мкм, визначаємо, що на один піксел припадає 1.2 лінії. Отже, кінцева роздільна здатність розрахованої оптичної системи обмежується головним чином розміром пікселів ПЗЗ-матриці, а оптичні характеристики колективної лінзи практично не впливають на якість зображення. В реальних умовах спостережень основним чинником, який обмежуватиме роздільну здатність, будуть спотворення, внесені земною атмосферою.

Роботу виконано у рамках бюджетної теми № 0103U001905.

1. Банин В. Г., Клевцов Ю. А., Скоморовский В. И., Трифонов В. Д. H_{α} — кинематограф СиБИЗМИР // Солнеч. данные.—1981.—№ 1.—С. 90—94.
2. Maskay C. D. Charge-coupled devices in astronomy // Annu. Rev. Astron. and Astrophys.—1986.—24.—Р. 255—283.

Надійшла до редакції 18.05.06